

**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: 354/2012

Андреја В. Лазаревић

Управљање отпадним водама

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Добрица Миловановић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2015

Садржај

1. У В О Д	1
1.1. Управљање отпадним водама.....	1
2. СИСТЕМИ ЗА ОДВОЂЕЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА.....	3
2.1. Системи за одвођење према начину прихватања и одводње отпадних вода	4
2.1.1. Мешовити систем одвођења отпадних вода.....	4
2.1.2. Комбиновани систем одвођења отпадних вода	9
2.2. Системи одвођења отпадних вода према погонском режиму....	10
2.2.1. Гравитациони систем одвођења отпадних вода.....	10
2.2.2. Комбиновани систем одвођења отпадних вода	10
2.2.3. Пројектно раздобље	11
3. МЕРОДАВНЕ КОЛИЧИНЕ ОТПАДНИХ ВОДА.....	12
3.1. Кућне отпадне воде	12
3.2. Индустријске отпадне воде.....	13
3.3. Атмосферске воде	13
3.4. Процедне воде	18
3.5. Пројектне количине отпадних вода.....	18
4. КАНАЛИЗАЦИОНЕ МРЕЖЕ	19
4.1. Шема канализационе мреже	19
4.2. Канализационе мреже према облику канала.....	22
4.3. Канализационе мреже према материјалу израде.....	24
4.3.1. Бетонски канали	24
4.3.2. Армирано бетонски канали	25
4.3.3. Азбест цементне цеви	26
4.3.4. Пластичне цеви	27
4.3.5. Челичне цеви	27
4.3.6. Керамичке цеви	28
4.4. Цеви од ливеног гвожђа	28
4.4.1. Ограничења пројектних параметара канализационих мрежа	29
4.4.2. Ограничење најмањих профила.....	29
4.4.3. Ограничење брзина	30
4.4.4. Ограничење уздужних падова	31
4.4.5. Ограничење висине пуњења каналом	32

4.4.6. Ограничење дубине уградње канала	33
4.5. Уградња и испитивање канала	33
4.6. Хидраулички прорачун канализационе мреже	37
4.7. Приказивање канализационе мреже у пројекту	47
5. ГРАЂЕВИНСКЕ КАНАЛИЗАЦИОНЕ МРЕЖЕ	49
5.1. Сливници	49
5.2. Улазна окна	51
5.3. Прикључне грађевине	57
5.4. Прекидна окна	57
5.5. Резервоари за атмосферску воду	59
5.6. Пумпне станице	61
6. ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА.....	66
6.1. Својства отпадних вода	66
6.2. Својства пријемника	71
6.3. Врсте пречишћавања отпадних вода.....	76
6.3.1. Механичко пречишћавање	77
6.3.2. Биолошко пречишћавање	81
6.3.3. Физикално – хемијско пречишћавање	88
6.4. Обрада муља.....	90
7. ИСПУСТИ	93
8. ЗАКЉУЧАК	95
ЛИТЕРАТУРА:	96

РЕЗИМЕ

У овом раду се свеобухватно обрађује проблематика управљања отпадним водама. Полази се од значаја третмана отпадних вода и представљања расположивих система за одвођење отпадних вода чији је основни задатак да се отпадне воде уз што повољније санитарне услове што брже одстране из људске близине и да се пре испуштања у реципијент пречисте до степена који ће у складу са прописаним стандардима гарантовати тражену чистоћу тога простора. Поред тога, разматрају се меродавне количне отпадних вода. Даље се обрађују канализационе мреже, шеме канализационих мрежа и подела канализационих мрежа према облику и изради материјала. Такође је представљен хидраулички прорачун као и приказивање канализационе мреже у пројекту. У наставку рада обрађене су грађевинске канализационе мреже и пумпне станице. Нарочита пажња је посвећена пречишћавању отпадних вода и њиховом испуштању у природу. У оквиру тога описане су различите врсте пречишћавања, својства отпадних вода и пријемника, као и обрада муља. На крају су представљене различите конструкције испуста за испуштање пречишћене воде у природу.

Кључне речи: отпадне воде, канализација, пречишћавање, испуштање.

ABSTRACT

This work globally deals with problems of waste water management. We start with significance of waste water management, and present available systems of waste waters drainage, its main task being extraction of waste water with affordable sanitary conditions away from human vicinity and cleaning it to a degree which will according to declared standards guarantee demanded purity of the given space before it is put to use. Proper amount of waste water is also being discussed. Furthermore, sewage network, their schemes, as well as sorting according to shape and materials are given. What is also presented is the hydraulics calculations as well as presenting sewer network in a project. In the second part of the work construction sewer network and pump stations are explained. Special attention was paid to wastewater treatment and its release into nature. As a part of that the different kinds of waste water treatment are given, as well as waste water characteristics, including the recipient and sludge processing. In the end the water discharge types are described.

Keywords: waste water, sewage, treatment, discharge.

1. У в о д

1.1. Управљање отпадним водама

Управљање отпадним водама је систем објеката и мера за што брже прикупљање и одстрањивање отпадних вода из насеља, њихово пречишћавање и испуштање, као и збрињавање муља који настаје у поступку пречишћавања отпадних вода. Дакле, основни задатак система за одвођење отпадних вода је да се отпадне (загађене) воде уз што повољније санитарне услове што брже одстране из људске близине и да се пре испуштања у реципијент (или коришћења у неке друге сврхе) прочисте до степена који ће у складу са прописаним стандардима гарантовати тражену чистоћу тога простора. Отпадним водама називају се воде које су биле употребљене у одређену сврху и при томе прикупиле допунска загађења због којих је дошло до промене њихових (i) физичких, (ii) хемијских, (iii) биолошких и (iv) бактериолошких својстава. Отпадним водама такође припадају и воде које доспевају у системе за пречишћавање отпадних вода од падавина и процеђивања подземних вода. Према пореклу и карактеру загађења уобичајна је подела отпадних вода у четири основне групе:

- 1) кућне или санитарне отпадне воде: потрошне и фекалне,
- 2) индустријске отпадне воде: загађене и условно чисте,
- 3) атмосферске воде: од кише, снега и прања улица,
- 4) процеђене воде: од процеђивања подземних вода.

Кућне отпадне воде или мешавина кућних и индустријских отпадних вода и/или атмосферских вода називају се комуналним отпадним водама.

1) Кућне отпадне воде резултат су коришћења воде у сеоским и градским домаћинствима, угоститељству (туризму), здравству, школству, услужним и другим непроизводним делатностима. То су воде искоришћене за: припремање хране (кување), производњу намирница, прање посуђа, рубља, одржавање личне хигијене и стана (потрошне воде) и воде из санитарних уређаја (фекалне воде). Састав отпадних материја у кућним отпадним водама зависи од низа чинилаца, а посебно од начина живота, климатским приликама, изграђености система за водоснабдевање и расположивих количина воде. У погледу органских материја и посебно биолошких контаминената (првенствено вируса и бактерија) ове воде припадају групи загађених вода (нарочито фекалне воде). Кућне отпадне воде су неугодног изгледа, боје и мириса, што у естетском погледу представља додатно загађење пријемника таквих вода.

2) Индустријске отпадне воде настају употребом воде у технолошким процесима и у производњи енергије (нпр. као средство за хлађење у измењивачима топлоте код термоелектрана и нуклеарних електрана). Оне имају специфична својстава која зависе од врсте индустрије и примењеног технолошког процеса. Ради тога се не могу генерализовати општим показатељима, већ је потребно сваку индустрију разматрати посебно. Могу бити врло разнородно загађене (тешким металима, киселинама, базама, минералним солима, биоцидима, минералним уљима, угљоводоницима, фенолима,

ароматским органским једињењима, радиоактивним материјама, синтетским хемијским производима и патогеним микроорганизмима), али и условно чисте, тј. да употребом нису претрпеле значајнију промену физичких и хемијских својстава, као што су нпр. воде из расхладних уређаја. Загађене индустријске воде могу се сврстати у две основне групе: (а) биолошки разградиве или компатибилне, које се смеју мешати са кућним отпадним водама, (б) биолошки неразградиве или инкомпатибилне, које се не смеју мешати са кућним отпадним водама без претходног пречишћавања (предтретмана). Индустријске отпадне воде, нарочито ако су токсичне, могу бити изузетно штетне по здравље људи, а посебно по биљни и животињски свет у пријемнику (уколико би се испуштале без пречишћавања). Због корозивног деловања могу бити штетне и за објекте где се врши пречишћавање отпадних вода (првенствено цеви), а такође могу неповољно деловати и на поједине врсте, односно фазе, процеса пречишћавања отпадних вода. Употребљене воде из санитарних уређаја у индустрији истих су својстава као и кућне отпадне воде.

(3) Атмосферске воде последица су палих падавина (првенствено кише и снега) на урбано сливно подручје, као и прања улица (пошто и те воде у погледу степена и карактера загађења, те начин решавања одводње, одговарају атмосферским водама).

Степен загађења атмосферских вода које са урбаног подручја дотичу у системе пречишћавања отпадних вода, односно реципијент, зависи од више чинилаца као што су врста површинског покривача, интензитет и врста саобраћаја, утицај индустрије, јачина и трајање падавина, загађеност атмосфере, трајање сушног периода и сл. Концентрација загађења у атмосферској води мења се током трајања падавина, односно у процесу отицања, тако да је код првих дотока атмосферске воде концентрација суспендованих материја и до десет пута већа него у завршним фазама отицања.

4) Процеђене воде јесу подземне воде које продиру у канализациону мрежу кроз неисправне (водопрпусне) спојеве, пукотине, кућне прикључке и прикључке цеви на поједине објекте (нарочито улазна окна, пумпне станице). Овој групи вода (која се може назвати и туђим водама) убрајају се и непосредни дотоци атмосферских вода који пролазе кроз одговарајуће поклопце у канализационој мрежи (нпр. улазних окана и пумпних станица), затим дренажне воде уз темеље грађевина, те воде од неисправно изведених прикључака кровова и дворишта зграда. Процеђене воде нису према својим својствима и саставу отпадне воде, али их је (количински) потребно одредити (проценити) како би се, ради контроле пропусне моћи канала и прорачуна погонских трошкова пумпних станица и уређаја за пречишћавање отпадних вода, евентуално узеле у обзир.

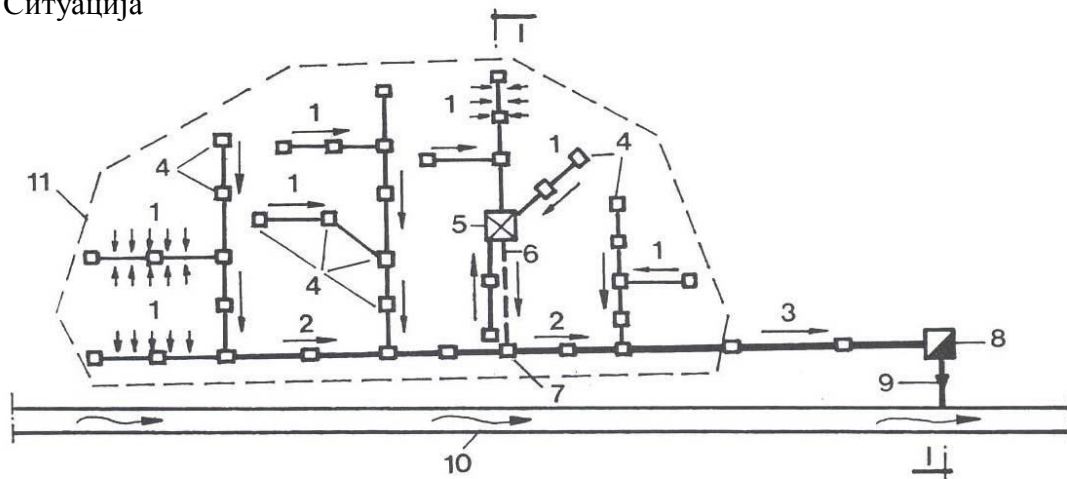
2. Системи за одвођење отпадних вода

Системи за одвођење отпадних вода је систем мера повезаних у функционалну целину са основним циљем прикупљања, одвођења и пречишћавања отпадних вода, њиховог испуштања након пречишћавања, уз збрињавање муља који настаје у поступку пречишћавања отпадних вода, на технички што исправнији и економичнији начин.

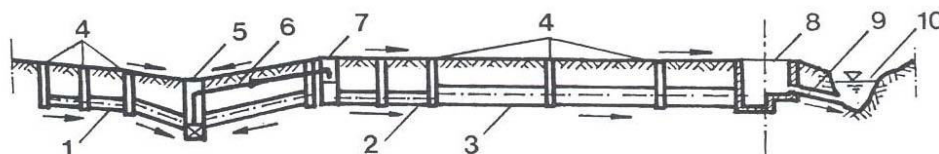
Одвођење отпадних вода системом јавне канализације функционално је повезано са водоснабдевањем, односно системом водоснабдевања. Систем одвођења отпадних вода, (слика 2.1), чине следеће главне групе објеката:

- 1) канализациона мрежа, односно споредна (секундарна) и главна (примарна) канализациона или колекторска мрежа, којом се отпадне воде прикупљају и одводе до уређаја за пречишћавање,
- 2) грађевинске канализационе мреже (пумпне станице, улазна и прекидна окна, преливне грађевине, итд.), којима се омогућује исправно функционисање, управљање и одржавање мреже,
- 3) уређаји за пречишћавање отпадних вода, којима се отпадне воде пречишћавају на степен који је у складу са прописаним стандардима,
- 4) испусти, којима се пречишћене (или непречишћене) отпадне воде испуштају у пријемник.

Ситуација



Пресек 1-1



Слика 2.1. Дефиницијска шема система одвођења отпадних вода

1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - улазна окна; 5 - пумпна станица; 6 - потисни цевовод; 7 - прекидно окно; 8 - уређај за пречишћавање; 9 - испуст; 10 - пријемник; 11 - граница подручја

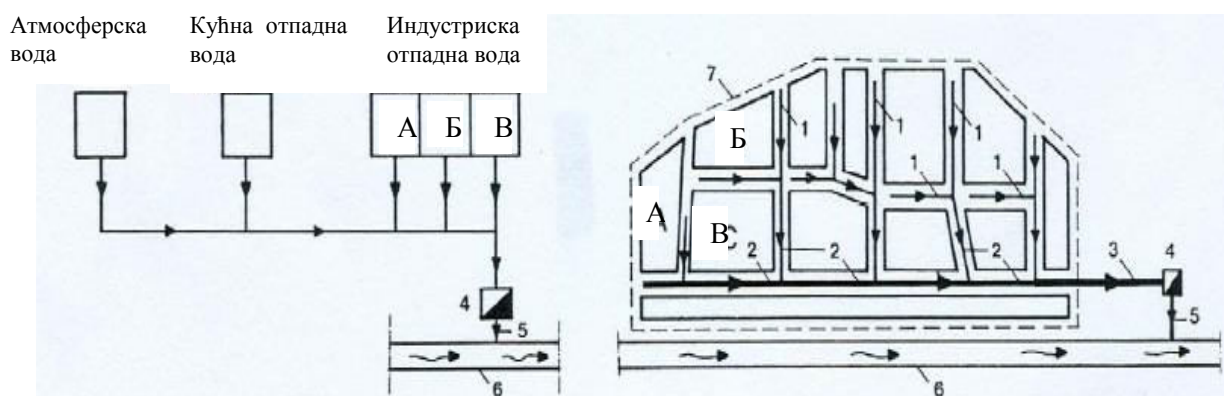
Због начелног карактера (слика 2.1) могуће је да неки од приказаних објеката изостане (нпр. пумпна станица, ако топографски односи омогућују комплетно гравитационо одвођење) или да се изграде додатни (нпр. уређај за предтретман индустријских отпадних вода). Основни елементи који одређују поделу система одвођења отпадних вода јесу:

- начин прихватања и пречишћавања отпадних вода: (а) мешовити или групни, (б) подељени или одвојени (сепаратни), (в) полуподељени или делимично подељени, (г) комбиновани системи,
- погонске особине система: (а) гравитациони и (б) комбиновани (гравитационо - потисни) системи.

2.1. Системи за одвођење према начину прихватања и одводње отпадних вода

2.1.1. Мешовити систем одвођења отпадних вода

Мешовитим се назива систем прикупљања и одвођења отпадних вода код којег се све групе отпадних вода одводе истим (заједничким) каналима или колекторима, (слика 2.2)



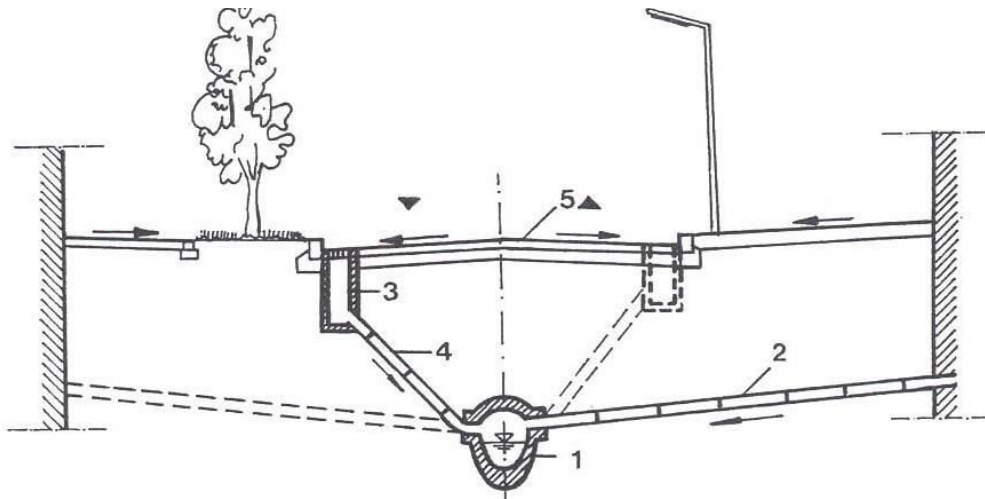
Слика 2.2. Шема мешовитог система одвођења отпадних вода

(а) погонска шема; (б) шема техничког решења

А, Б и В - индустријски погони; 1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3-главни одводни колектор; 4 - уређај за пречишћавање; 5 - испуст; 6 - пријемник; 7 - граница подручја

Код приказане шеме овог система претпостављено је да индустријске отпадне воде не садрже агресивне и штетне састојке који би негативно утицали на изграђену или планирану канализацију и на предвиђени процес заједничког пречишћавања отпадних вода. У супротном, пре упуштања индустријских отпадних вода у заједнички колектор потребно их је подвргнути предтретману, односно прочистити их до нивоа и карактера загађености кућних отпадних вода.

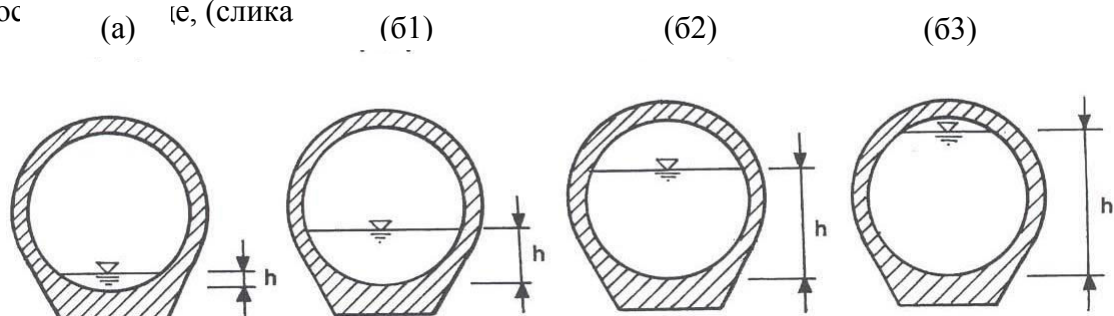
На (слици 2.3) приказан је положај канала и каналских прикључака у попречном пресеку улице са мешовитим системом одвођења отпадних вода.



Слика 2.3. Положај канализације и каналских прикључака у попречном пресеку улице са мешовитим системом одвођења отпадних вода

1 - колектор; 2 - прикључак кућних и индустријских отпадних вода; 3 - сливник; 4 - прикључак атмосферске воде; 5 – коловоз

Основно количинско оптерећење оваквих система узрокују атмосферске воде, пошто је за просечно стање однос кућних и атмосферских вода $\approx 01:40$ до $1:60$ (у граничним случајевима и $1: 100$). Зато, код мешовитих система пречишћавања отпадних вода функционалне димензије канала произлазе као резултат потребног прихвата атмос



Слика 2.4. Дубина воде у каналима код мешовитог система одвођења
(а) сушно раздобље; (б1), (б2) и (б3) кишно раздобље

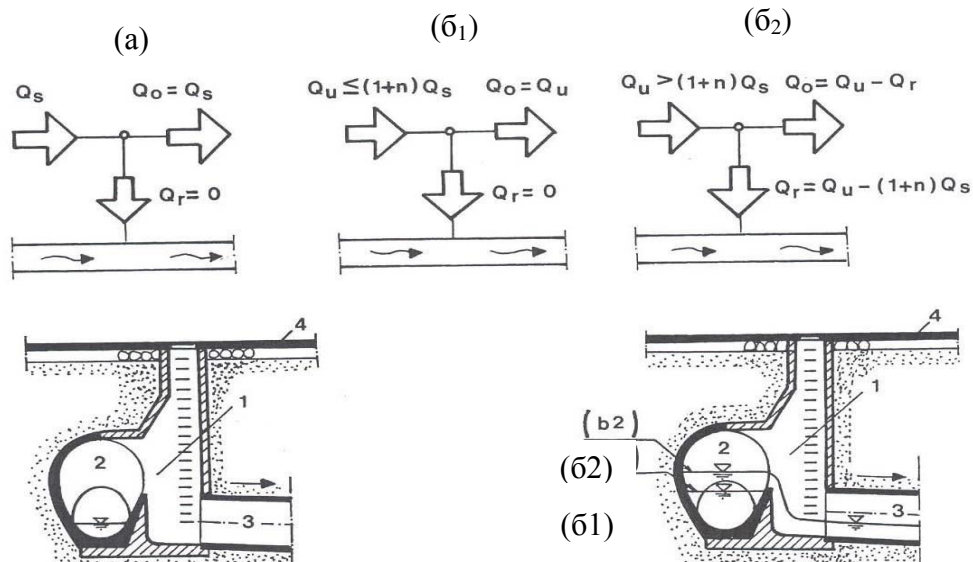
Због уважавања економичности и чињенице да су атмосферске воде мање загађене од кућних, на мешовитим системима се изводе преливне грађевине (кишни преливи), којима се у време јаких киша растеређује каналски систем директним испуштањем разређених вода у пријемник, (слика 2.5).

У сушном периоду колектором протичу само кућне и индустријске отпадне воде, док се надоласком кише формира мешовито отицање, при чему код граничног разређења

$$Q_o = Q_u = (1 + n)Q_s \quad (2.1)$$

долази до растеређења разређене отпадне воде.

Вредност коефицијента разређења, n [-], базирана је на услову који произлази из санитарних норми испуштања отпадних вода у пријемник и прорачунава се у зависности од локалних прилика, хидролошких карактеристика подручја са којег се одводе отпадне воде и самопрочишћавајуће способности пријемника.



Слика 2.5. Принцип рада кишних прелива

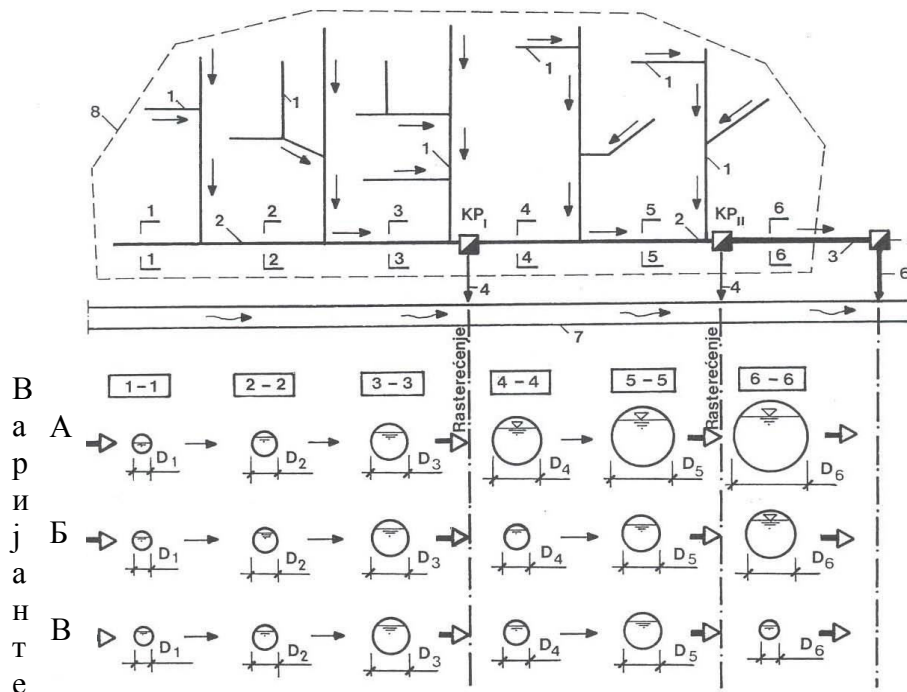
(а) сушно раздобље; (б1) и (б2) кишно раздобље

Q_s - проток отпадне воде који дотиче у сушном периоду; Q_o - проток отпадне воде који отиче ка колекторима; Q_r - проток отпадне воде који се испушта у пријемник

1 - окно кишног прелива; 2 - колектор; 3 - одводни колектор (према пријемнику); 4 – коловоз

На (слици 2.6) приказан је значај примене кишних прелива код мешовитог система одвођења. При томе су анализиране 3 варијанте техничких решења:

- А - без кишних прелива,
- Б - са једним кишним преливом,
- В – са два кишна прелива.



Слика 2.6. Примена кишних прелива код мешовитог система одвођења отпадних вода

А, Б и В - варијанте решења

ii - ознака попречног пресека главног колектора; KP_I и KP_{II} - кишни преливи; D_i - пречник канала;

1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - испуст разређене воде; 5 - уређај за пречишћавање; 6 - испуст; 7 - пријемник; 8 - граница подручја

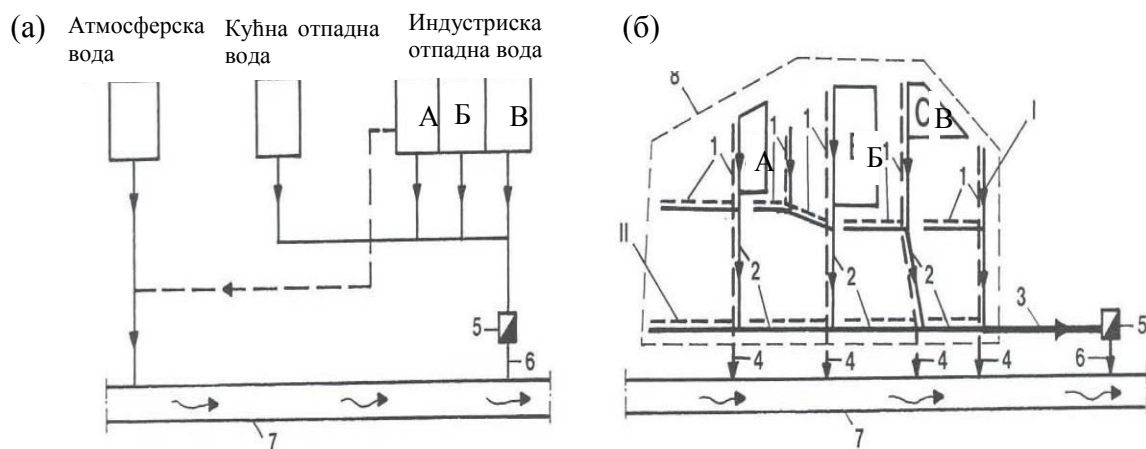
Основне мане мешовитог система одвођења отпадних вода су у томе да је у сушном периоду брзина воде мала, што узрокује таложење на дну колектора, а за време јаких пљускова канализациона мрежа често не може прихватити укупне падавине па може доћи до плавлјења нижих подручја градских агломерација (подрума, гаража и сл.).

2.1.1.1. *Раздељени систем одвођења отпадних вода*

Овај систем може бити:

- 1) потпуно раздељени,
- 2) непотпуно раздељени.

1) Потпуно раздељени систем изводи се са две одвојене канализационе мреже, од којих једна служи за одвођење атмосферских вода а друга за кућне и индустријске отпадне воде, (слика 2.7).

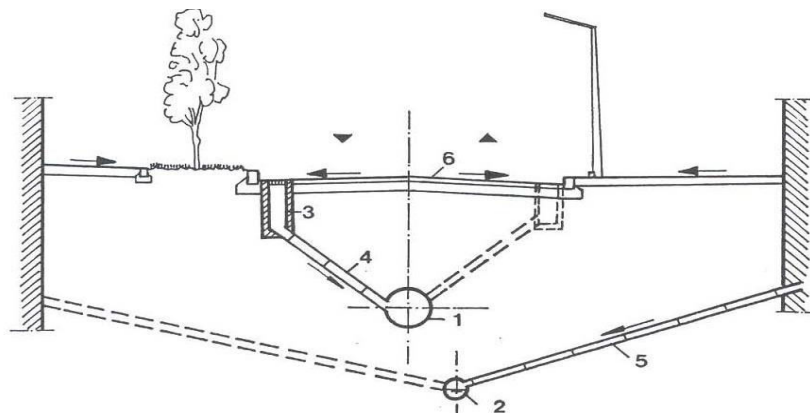


Слика 2.7. Шема потпуно раздељеног система одвођења отпадних вода

(а) погонска шема; (б) шема техничког решења

А, Б и В - индустријски погони, I - канали за кућну и индустријску отпадну воде; II - канали атмосферске воде; 1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - испуст атмосферске воде; 5 - уређај за пречишћавање; 6 - испуст пречишћене воде; 7 - пријемник; 8 - граница подручја

На слици 2.8 приказан је положај канала и каналских прикључака у поперечном пресеку улице са потпуно раздељеним системом одвођења отпадних вода.



Слика 2.8. Положај канала и каналских прикључака у поперечном пресеку улице са потпуно раздељеним системом одвођења отпадних вода

1 - колектор атмосферске воде; 2 - колектор кућних и индустријских отпадних вода; 3 - сливник; 4 - прикључак атмосферске воде; 5 - прикључак кућних и индустријских отпадних вода; 6 - коловоз

Поред шеме приказане на слици 2.7 могућа су и решења:

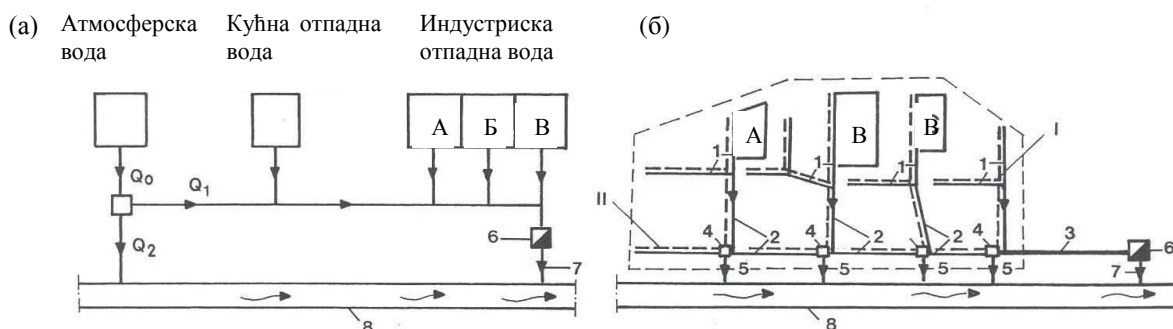
- (а) директног испуштања у пријемник (без пречишћавања) само атмосферских вода, док се кућне и индустријске отпадне воде такође испуштају одвојено, али свака након сепаратног пречишћавања,
- (б) директног испуштања у пријемник атмосферских и условно чистих индустријских отпадних вода, док се кућне и остале индустријске отпадне воде (индустријске након предтретмана) скупно одводе на заједнички уређај за пречишћавање, те након пречишћавања испуштају у пријемник.

Потпуно раздвојени систем пречишћавања отпадних вода је начелно скупљи од мешовитог, јер се изводе две одвојене каналске мреже. Међутим, у санитарном погледу овај систем је повољан јер се све кућне воде одводе на уређај за пречишћавање.

2) Непотпуно раздвојеним системом назива се систем пречишћавања отпадних вода намењен за одвођење само кућних и загађених индустријских отпадних вода. Атмосферске и условно чисте индустријске отпадне воде одводе се директно у пријемник на најједноставнији начин путем јарака, ригола и отворених канала. Овај систем је јефтинији јер је избегнута изградња атмосферске канализације.

2.1.1.2. Полураздвојени систем одвођења отпадних вода

Полураздвојени систем одвођења отпадних вода, (слика 2.9), се такође састоји од одвојених канализационих мрежа као и потпуно раздвојени систем, с том разликом што су на атмосферским каналима изведени раздвојени кишни преливи којима се вода од прања улица и падавина малог интензитета, Q_1 , а такође и највише загађени први дотоци атмосферске воде од јаких плускова, аутоматски уводе у канализациону мрежу за отпадне воде (индустријске и кућне) и одговарајућим колектором даље одводе према уређају за пречишћавање. Остале, сразмерно чисте атмосферске воде, Q_2 , упуштају се директно у пријемник.

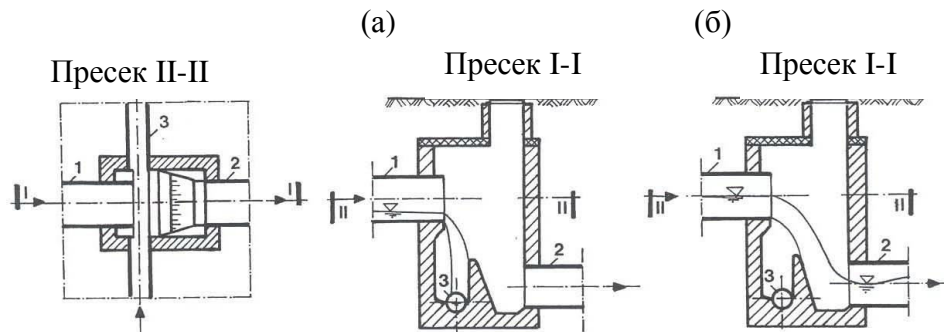


Слика 2.9. Шема полураздвојеног система одвођења отпадних вода

(а) погонска шема; (б) шема техничког решења

A, B и B - индустријски погони; I - канали за кућну и индустријске отпадне воде; II - канали за атмосферску воду I - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - раздвојени кишни преливи; 5 - испуст атмосферске воде; 6 - уређај за пречишћавање; 7 - испуст пречишћене воде; 8 - пријемник; 9 - граница подручја за одводњавање

На слици 2.10 приказано је принцип рада раздвојеног кишног прелива. Слика 2.10(а) приказује режим рада кишног прелива код полураздвојеног система у време малих дотока атмосферских вода (или дотока од прања улица), док слика 2.10(б) приказује режим рада кишног прелива у време интензивних киша.



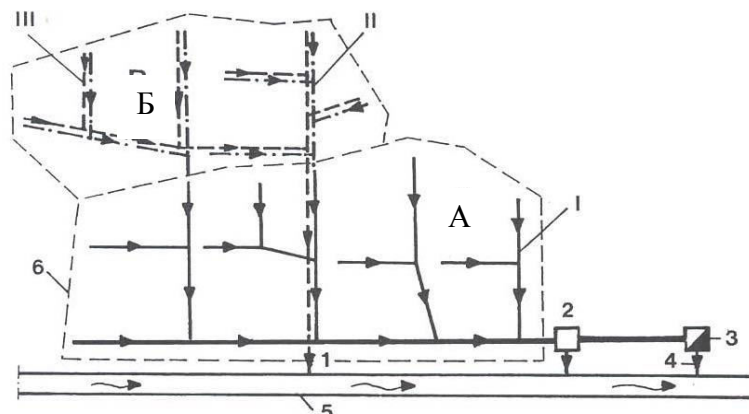
Слика 2.10. Принципи рада кишиног прелива

(а) сушни и критични период; (б) кишино раздобље

1 - канал атмосферске воде; 2 - одводни канал атмосферске воде према пријемнику; 3 - канал кућне отпадне воде

2.1.2. Комбиновани систем одвођења отпадних вода

Комбиновани систем одвођења отпадних вода, (слика 2.11), најчешће настаје као резултат ширења градова, када се у старијем делу града задржи мешовити систем, док се у новијем делу изводи раздвојени систем.



Слика 2.11. Шема комбинованог система одвођења отпадних вода

А - подручје са мешовитим системом пречишћавања отпадних вода; Б - подручје са раздвојеним системом пречишћавања отпадних вода

I - канали мешовите одводњавања; II - канали за кућне и индустријске отпадне воде; III - канали за атмосферску воду

1 - испуст атмосферске воде; 2 - кишино прелив; 3 - уређај за пречишћавање; 4 - испуст пречишћене воде; 5 - пријемник; 6 - граница подручја одвођења отпадних вода

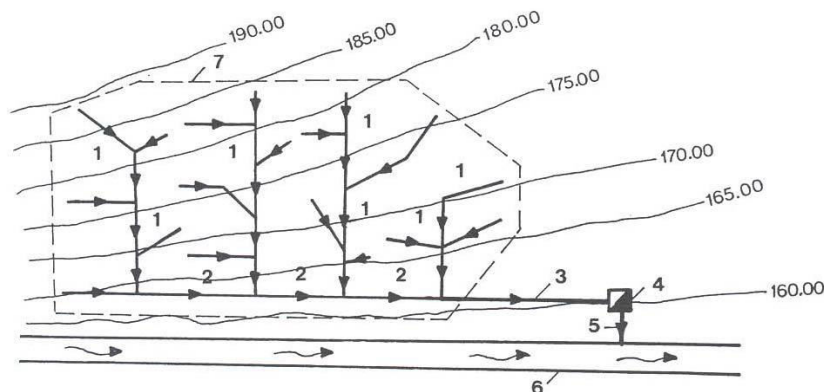
Примена комбинованог система одвођења отпадних вода заснива се на чињеници да су у сушном периоду колектори мешовитог одвођења отпадних вода делимично испуњени отпадним водама, тако да је на њих могуће прикључити кућне и индустријске отпадне воде нових агломерација, док се за атмосферске воде које не могу прихватити постојећи колектори мешовитог одвођења отпадних вода изграђује посебно одвођење атмосферских вода са њиховим директним испуштањем у пријемник.

Избор између описаних система одвођења отпадних вода треба спровести на основу анализе (а) локалних услова (топографије, густине и начина изграђености насеља, положаја пријемника према сливном подручју и његов карактер), (б) санитарних захтева и (в) техничко - економских прорачуна.

2.2. Системи одвођења отпадних вода према погонском режиму

2.2.1. Гравитациони систем одвођења отпадних вода

Због поузданости у раду и минималних погонских трошкова систем одвођења отпадних вода се увек настоји извести као потпуни гравитациони систем са отицањем са слободном површином. Отицање под притиском је код гравитационог система недопустиво, јер би дошло до плављења отпадним водама прикључних места (нарочито нижих и подрумских делова зграда) и објеката система за одвођење отпадних вода. Код трасирања канала веома су битне топографске прилике, при чему се осигурава комплетно гравитационо отицање, (слика 2.12).



Слика 2.12. Шема гравитационог система одвођења отпадних вода

1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - уређај за пречишћавање; 5 - испуст; 6 - пријемник; 7 - граница подручја за одвођење отпадних вода

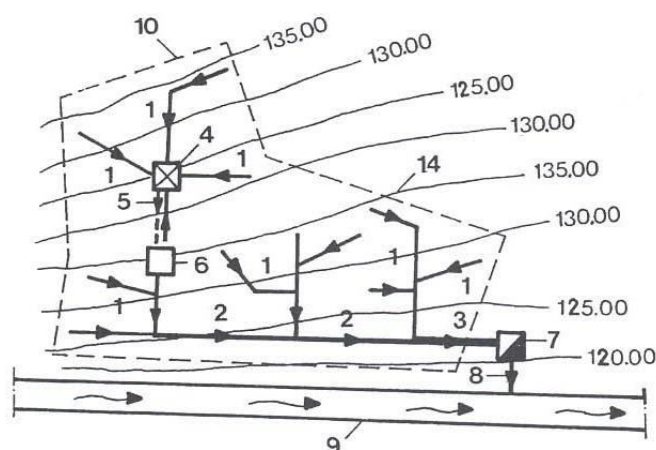
2.2.2. Комбиновани систем одвођења отпадних вода

Овакав се систем изводи као гравитацијско - потисни систем код којег је претежни део гравитацијски, (слика 2.13), будући да је изградња комплетно потисног система готово увек економски неоправдана.

Комбиновани састав одвођења отпадних вода се најчешће изводи када се због локалних топографских прилика не може осигурати гравитацијско одвођења са целокупног подручја, већ се кућне и загађене индустријске отпадне воде нижих зона пумпама потискују до висинске локације (прекидног окна) одакле је осигурано гравитацијско отицање.

Овакви случајеви су у пракси доста чести, пошто би инсистирање на решењу са комплетном гравитацијским одвођењем условило израду канала или колектора на дубинама код којих ископ постаје економски неприхватљив. Додатни разлог за овакав начин одвођења отпадних вода може бити и стога што је у неким подручјима висок ниво подземне воде или се ради о неповољним геомеханичким приликама.

У пракси се понекад изводи и варијантно решење у односу на претходно, тако да се кућне и индустријске отпадне воде из сабирних резервоара, у које се ове воде доводе гравитациони, пумпама препумпавају потисним цевоводом до прекидног окна. Потисни део канализације се може применити и за прикључке ниже од главног гравитационог колектора. Тиме се смањује дубина укопавања главног колектора, јер се не предвиђа гравитационо приључење појединих изузетно ниско смештених прикључака.



Слика 2.13. Шема комбинованог система одвођења отпадних вода

1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - пумпна станица; 5 - потисни цевовод; 6 - прекидно окно; 7 - уређај за пречишћавање; 8 - испуст; 9 - пријемник; 10 - граница подручја одвођења отпадних вода

Напоменимо да су, мада данас у пракси ређе, могућа решења и вакуумске канализације (комплетне или у комбинацији са гравитационом), која је слична претходној, са разликом да се у главном вакуумском цевоводу одржава подпритисак. У сабирним резервоарима појединих зграда (или групе зграда) уграђује се вакуумски затварач који се отвара када се у резервоару сакупи одређена количина отпадних вода. Вакуумски затварач се затвара након што је усисана отпадна вода и тако се одржава подпритисак у целој или делу каналске мреже. Пумпна вакуумска станица помоћу које се одржава подпритисак у канализационој мрежи обично се налази крај прекидног окна или уређаја за пречишћавање.

2.2.3. Пројектно раздобље

Приликом пројектовања система за одвођење отпадних вода потребно је (као и код водовода) одабрати пројектне периоде за главне групе објеката.

Стога је у (табели 2.1), приказана уобичајена периода изградње за делове система пречишћавања отпадних вода.

Табела 2.1. Пројектни периоди за објекте система одвођења отпадних вода

Врсте објекта	Особине	ПРОЈЕКТНО РАЗДОБЉЕ R_p [godina]
Главни колектори и испусти	Скупо и тешко повећање капацитета	40 - 50
Пумпне станице и уређаји за пречишћавање	Код мањег прираста становништва и мање камате (≤ 3 % годишње)	20 - 25
Колектори профила преко 400 mm	Замена мањих цеви је кроз дуже раздобље скупља.	20 - 30

3. Меродавне количине отпадних вода

Меродавне количине отпадних вода чине количине кућних, индустријских, атмосферских и процедурних вода, изражених у временској јединици, које је потребно прикупити и одвести системом за одвођење.

Анализа меродавних количина отпадних вода заснива се са једне стране на подацима о потрошњи вода (за кућне и индустријске отпадне воде), а са друге стране на подацима о падавинама (за атмосферске воде) и подацима о процеђивању подземне воде (за процедурне воде). Зато ће се у наставку приказати методологија прорачуна меродавних количина за све четири групе отпадних вода.

3.1. Кућне отпадне воде

Приликом одређивања количина кућних отпадних вода користе се:

(1) специфична потрошња воде, q_{sp} [l /становник/дан],

(2) број становника, N_k [-],

коначне фазе развоја, односно краја пројектног периода.

Према томе, количина ових вода првенствено зависи од степена санитарно - техничке опремљености станова, изграђености насеља, квалитета и цене воде, постојања одвођења и климатских прилика.

Број становника на крају пројектног периода, претпостављајући геометријски прираст, дефинисан је следећим изразом (из тачке 1.3.1. чији је рада Живка Вуковића - Водоснабдевање и пречишћавање отпадних вода 1).

$$N_k = N_0 \left[1 + \frac{p}{100} \right]^{R_p} \quad (3.1)$$

где су:

N_0 - садашњи број становника, [-],

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_{sr} [l/d], применом израза:

$$Q_{sr} = q_{sp} N_k \quad (3.2)$$

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

$$q_{sr} = \frac{Q_{sr}}{24} = \frac{q_{sp} N_k}{24} \quad (3.3)$$

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

$$Q_{max} = K_d Q_{sr} = 24 K_d q_{sr} \quad (3.4)$$

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:

$$q_{max} = K_h \frac{Q_{max}}{24} = K_d K_h q_{sr} = K_d K_h \frac{q_{sr} N_k}{24} \quad (3.5)$$

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

Одређују се конзумне потреба становништва за пијаћом водом које се осигуравају из водовода. Наравно, део пијаће воде се троши за намене које не подлежу пречишћавању отпадних вода (нпр. поливање баште и паркова, губици у водоводној мрежи). Ове намене износе у просеку 10 до 15 % укупне дневне потрошње воде, што зависи од карактера насеља и одржавању вода снабдевања објеката. У случају изражених губитака на водоводној мрежи поменуто умањење може износити и преко 30 %.

3.2. Индустијске отпадне воде

Меродавне количине индустијских отпадних вода у најтешњој су вези са примењеним технолошким процесом, будући да свака индустрија има специфичне производне процесе. У стручној литератури често се налазе подаци о количинама отпадних вода, најчешће по јединици производа. Међутим, у примени таквих података треба бити обазрив из два разлога. Прво, потрошња воде по јединици производа знатно варира и често је врло различита чак и у аналогним подuzeћима, будући да зависи од типа примењене опреме, шеме технолошког процеса и локалних услова. Друго, технолошки процеси већине индустрија се временом усавршавају, чиме се мења и потреба за водом. Зато количине индустијских отпадних вода из литературе могу послужити само као оријентациони показатељи. Такође, сам податак о количини потребне воде у индустрији обично није довољан за одређивање меродавне количине отпадне воде, јер је од битног значења и познавање режима испуштања индустијских отпадних вода из појединих технолошких процеса. Стога се количина и режим испуштања индустијских отпадних вода најбоље одређује анкетом код производних технолога, дакле, посебно од случаја до случаја, респектирајући конкретне захтеве, јер разлике у односу на податке из литературе могу бити вишеструке. Приликом решавања индустијског пречишћавања отпадних вода потребно је узети у обзир и количине воде које се унутар погона користе за санитарне сврхе. Овај је податак од нарочитог значаја код индустрија које запошљавају велик број радника, односно које у свом производном процесу или не садрже значајних количина индустијских отпадних вода или санитарне воде у укупној отпадној води учествују са значајним износом.

3.3. Атмосферске воде

Прорачун меродавних количина атмосферских вода које дотичу у канализациону мрежу хидролошки је проблем површинског отицања. У инжењерској пракси површинско отицање атмосферских вода најчешће се одређује према изразу.

$$Q_{max} = ci(t_o, P_r)A = ci(t_c, P_r)A, \quad (3.6)$$

где су:

Q_{max} - максимални проток са посматраног слива,

c - коефицијент отицања, [-],

$i(t_o, P_r)$ - меродавна јачина падавина одређеног трајања, t_o [min], једнаког времену сабирања (времену концентрације) слива, t_c [min], и одређеног повратног периода, P_r [година], [l/s/ha],

A - величина сливне површине, [ha].

Дакле, применом формуле (3.6) добије се максимални проток, Q_{max} , који се формира на неком сливном подручју за случај када је време трајања падавина, t_o , једнако времену сабирања слива, t_c .

При томе, методологија дефинисања наведених параметара је следећа:

(1) Одређивање коефицијента отицања, c , се код проблема пречишћавања отпадних атмосферских вода са урбаних површина у правилу своди на дефинисање средње вредности коефицијента отицања, будући да се заправо ради о композицији различитих врста сливних површина (нпр. асфалтне површине, кровови, паркови, спортска игралишта), коју сваку понаособ карактерише одређена вредност коефицијента отицања, (табела 3.1).

Табела 3.1. Вредности коефицијената отицања према Фрухлингу (1903) у зависности о врсти сливне површине

Врста сливне површине	Коефицијент отицања c [-]
Метални кровови, поцакљени црепови	0,95
Обични кров и покривач лепенком	0,90
Асфалтни покривач и потпуно покривени ходници	0,85 до 0,90
Стари, густо изграђени делови зграде	0,70 до 0,90
Камени или дрвени плочници без спојница	0,80 до 0,85
Камени или дрвени плочници са спојница	0,70 до 0,80
Дрвени или цементни кровови	0,50 до 0,70
Делови зграде са затвореном, блоковском, изградњом	0,50 до 0,70
Разне врсте плочника (мозаик, камен)	0,40 до 0,50
Делови града отворене изградње	0,25 до 0,50
Коловози од макадама	0,25 до 0,45
Шљунчани путеви	0,15 до 0,30
Спортска игралишта	0,10 до 0,25
Неизграђене површине	0,10 до 0,15
Паркови, зелене површине, ливаде, оранице и слично	0,05 до 0,10
Шумске површине које се одводњавају према граду	0,01 до 0,10

Тада се за надлежну узима средња вредност коефицијента отицања, c_{sr} , темељем следећег односа:

$$C_{sr} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{c_i A_i}{A} \quad (3.7)$$

где су:

c_i - коефицијент отицања i -те сливне површине, [-],

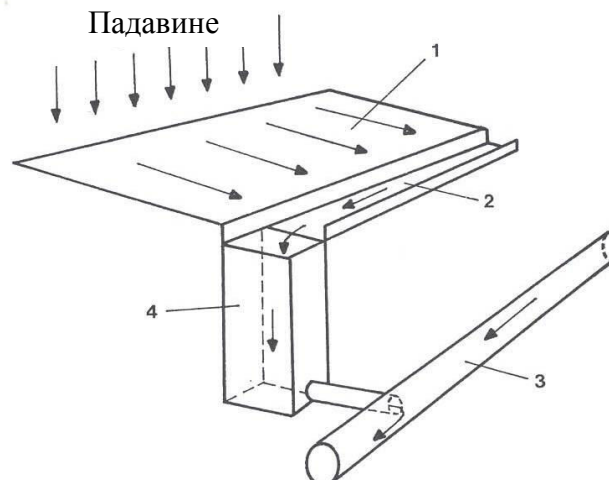
A_i - величина i -те сливне површине, [ha],

A - укупна величина обрађиваног слива, [ha].

Помоћу горњег израза могуће је израчунати средњи коефицијент отицања појединих насеља или појединих карактеристичних делова насеља, уколико код отицања са тих подручја унутар јединствене агломерације постоје битне разлике. Ово је примерено већим градовима, где су знатно већа отицања у средишњим него ли у периферним деловима.

(2) Одређивање меродавне јачине падавина, $i(t_o, P_R)$, у функцији њиховог трајања, t_o , и понављања, P_R , засновано је на статистичкој обради података о падавинама, тј. на дефинисању *ИТР* односа.

(а) Трајање падавина, t_o , односно време концентрације слива, t_c , представља податак који карактерише трајање отицања од најудаљеније тачке канализационог сливног подручја до анализираног профила каналске мреже, (слика 3.1).



Слика 3.1. Шема отицања атмосферске воде

1 - отицање са сливне површине; 2 - отицање риголом; 3 - отицање каналом; 4 – сливник

Ово је време утврђено односом:

$$t_o = t_c = t_{sl} + t_r + t_k \quad (3.8)$$

где су:

t_{sl} - време површинског сабирања атмосферске воде, [min],

t_r - време површинског отицања атмосферске воде ригол до сливника, [min],

t_k - време отицања атмосферске воде каналима до анализираног профила каналске мреже, [min]

(i) Време површинског сабирања, t_{sl} , обично се узима са вредношћу $t_{sl} = 10 \text{ min}$, што приближно одговара средњој вредности јединичног слива и равничарској структури терена с просечном учесталошћу водонепропусних површина.

(ii) Време површинског отицања, t_r , риголима до сливника дефинисано је изразом:

$$t_r = \frac{\beta L_r}{60 v_r} \quad (3.9)$$

где су:

β - коефицијент, [-], који узима у обзир постепени пораст брзине атмосферске воде у ригол. Обично се узима, $\beta = 1,25$,

L_r - дужина ригола, [m],

v_r - брзина атмосферске воде на крају ригола, [m/s].

Будући да одређивање времена површинског отицања према горњем изразу претпоставља познавање брзине атмосферске воде у риголима, што је иначе релативно тешко тачно дефинисати, за практичне потребе прорачуна задовољава се са вредношћу времена површинског отицања, $t_r = 5 \text{ min}$.

(i) Време отицања каналима, t_k , до анализираног профила каналске мреже дато је изразом:

$$t_k = \frac{v}{60} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{L_i}{v_i} \quad (3.10)$$

где су:

v - коефицијент, [-], који укључује попуњавање проточног профила канала код појаве кише, односно постепени пораст брзине атмосферске воде. Обично се узима, $v = 2,0$,

n - број каналских акција, [-],

L_i - дужина и-те каналске деонице, [m],

v_i - брзина атмосферске воде у и-тој каналској деоници, [m/s].

Из (израза 3.10) је видљиво да за дефинисање времена отицања атмосферске воде каналима такође треба знати брзину атмосферске воде у тим каналима. За њено одређивање ипак је потребно знати проток који се управо преко надлежног интензитета падавина жели прорачунати.

Према томе, решење је једино могуће добити итеративно, претпостављајући брзину атмосферске воде у каналима и посредством ње закључно дефинисати меродавну јачину падавина, те помоћу израза (3.10) израчунати количину атмосферске воде, која онда представља улазни податак хидрауличног прорачуна у канализационој мрежи. Ако се прорачуном добије да је вредност брзине атмосферске воде у каналима једнака претпостављеној, прорачун се завршава. У противном, итеративни поступак се понавља све док прорачуната брзина не буде (у границама захтеване тачности) једнака претпостављеној. Стриктно придржавање претходно објашњеног поступка знатно компликује изналажење меродавне јачине падавина, а да то већином нема неког практичног значења на тачност коначног прорачуна. Осим тога, код савремених решења одвођења отпадних атмосферских вода јавља се тенденција одабирања мањих вредности трајања меродавних падавина у односу на вредности добијене претходно изложеном методологијом. На пример, у Немачкој, Швајцарској и већини других западно европских земаља трајање меродавне кише обично се узима са вредношћу $t_o =$

15 min, а у Русији с вредношћу $t_o = 20$ min, уз напомену да се интерпретација даљњег отицања обавља уз корекцију продужења трајања меродавне падавине, чиме се укључује смањење рачунског дотока, односно уважава се значај ретардације у отицању. Стога се за праксу препоручује да се прелиминарно одабере трајање меродавне падавине, $t_o = 15 - 20$ min.

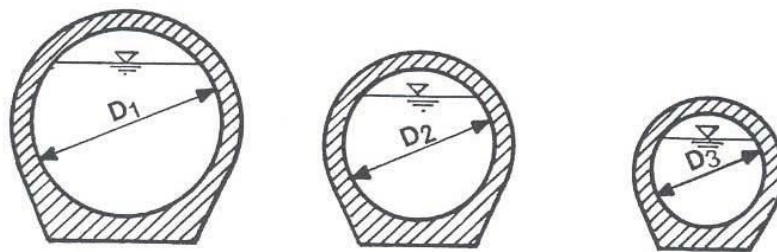
(б) Повратни период меродавних падавина, P_R , карактерише учесталост појаве комплетног капацитета (атмосферске) канализационе мреже. Одабира се анализом пратећих последица услед падавина одређеног повратног периода с обзиром на одабране димензије канала. Овај појам ни у ком случају се не сме поистоветити са пројектним периодима меродавним за димензионисање других објеката система пречишћавања отпадних вода.

На слици 3.2 приказане су 3 величине канала за одвођење атмосферских вода са истог сливног подручја, али за друге повратне периоде меродавних падавина. Видљиво је да се смањењем повратног периода потребне димензије канала битно смањују. Тиме се уједно смањују и трошкови изградње канала, тако да је логична примена што нижих повратних периода меродавне јачине падавина.

$P_R = 10$ година

$P_R = 3$ година

$P_R = 0,5$ година



Слика 3.2. Димензије канала у функцији повратног периода меродавне јачине падавина

Међутим, са друге стране поставља се питање колике су могуће штете као последица функционалне поддимензионираности канала узимањем ниских вредности повратних периода, а тиме и мањих интензитета падавина. Будући да се последице тога првенствено огледају у задржавању воде на сливним површинама, затим у формирању деломичних површинских токова, а тек изузетно у појави мањих штета због уласка воде у подруме, гараже и сл., логично је да повратни период меродавних падавина треба разматрати уз другачије услове него што је случај код нпр. регулације природних водотока, када се ради заштите од поплава обично рачуна са повратним периодима великих вода реда величине стотину и више година. Стога се рачунско понављање падавина за канализационо одвођење обично узима од 0,5 до 3,0 године. Одабирање конкретне вредности унутар овог интервала препоручује се да се вежу уз системе одвођења, тако да се као оријентациони могу усвојити следеће вредности:

(i) за мешовите системе одвођења, $P_R = 1-2$ (изузетно 3) године,

(ii) за разделне системе одвођења, $P_R = 0,5 - 1$ године,

с тим да се код сваког конкретног случаја спроведу детаљније анализе, уважавајући параметре који су од значајнијег утицаја за доношење одлуке о избору одређеног повратног периода.

(3) Одређивање величине сливне површине A , врши се са геодетских подлога (карата) одговарајуће размере, најчешће поступком планиметрије.

3.4. Процедне воде

Процену количина процедурних вода које ће доспети у канализациону мрежу врло је тешко спровести. Ова количина зависи од хидро-геолошких прилика, величине урбанизованог сливног подручја, размака и дубине укопавања канала, врсте и квалитета спојева, одржавања канализационе мреже и сл. У инжењерској пракси постоји мноштво искуствених података, односно препорука (нарочито америчких, руских) за прорачун дотока процедурних вода. Као најчешће наводе се следеће препоруке:

- (а) горња гранична вредност дотока процедурних вода једнака је протоку кућних отпадних вода анализираног канала,
- (б) доток процедурних вода износи 10 - 20 л/становник/дан,
- (в) доток процедурних вода износи 3 - 5 % максималног часовног протока кућних отпадних вода или 10 - 15 % средњег дневног протока свих отпадних вода,
- (г) максимални доток процедурних вода износи 45 л/дан по 1 km дужине и 1 mm пречника канала,
- (д) доток процедурних вода са канализиране сливне површине износи 0,2 - 30 м³ /дан/ha.

Мада на први поглед ови подаци сугеришу могућност узимања количина процедурних вода у релативно широким границама, ипак треба напоменути да они, осим у неким посебним случајевима, начелно не доминирају (или су чак занемариви) у укупној количини отпадних вода. Зато се процедурне воде не узимају у обзир код прорачуна мешовите и атмосферске канализације, већ једино код прорачуна канализације кућних и индустријских отпадних вода.

3.5. Пројектне количине отпадних вода

Одређивање функционалних димензија објеката система за одвођење отпадних вода врши се на основу њиховог хидрауличког оптерећења, где се узима у обзир збирна количина свих група отпадних вода које се прикупљају, одводе, пречишћавају и испуштају. Код тога је потребно израчунати следеће карактеристичне протоке (количине) отпадних вода:

- (1) највећи дневни и средњи часовни проток,
- (2) највећи дневни и највећи часовни проток (сушни и кишни),
- (3) најмањи часовни проток.

Који је од ових протока (или њихова комбинација) меродаван за хидраулички прорачун пре свега зависи од врсте и режима рада система за одвођење отпадних вода и грађевина канализационе мреже.

Будући да ће о канализационим грађевинама бити говора у наредном тексту, овде се неће улазити у детаљнију спецификацију меродавних количина отпадних вода за њихов хидраулички прорачун, већ ће се то учинити приликом описа самих грађевина.

4. Канализационе мреже

Канализациону мрежу чине сви главни и споредни канали или колектори, међусобно спојених преко појединих објеката системом одвођења у функционалну целину, ради прикупљања и одвођења. Канализациони канал или колектор је канал или цев одређеног облика који служи за прикупљање, односно одвођење. Споредни колектори су одводници који примају на себе низ прикључака. Главни колектори су одводници који примају на себе низ споредних колектора. Главни одводни колектор је колектор који све прикупљене воде одводи до уређаја за пречишћавање или до испуста. Канализациона мрежа је основни објекат система одвођења отпадних вода и неретко чини преко 95 % укупне изградње. Основни захтеви који се постављају код канализационе мреже исти је са онима код водоводне мреже, наведеним у уводном делу у раду „Водоснабдевање“, са разликом што се критеријум глаткоће унутрашњих зидова канала поставља ради смањења отпора течењу и спречавања таложења у каналима. Подела комплетних канализационих мрежа или њихових делова најчешће се спроводи према:

- (1) шеми мреже: попречне, обухватне, уздужне, радијалне, прстенасте, разгранате и зонираним,
- (2) облику канала: отворене и затворене,
- (3) материјалу извођења: бетонске, армиранобетонске, азбест цементне, пластичне, челичне, керамичке (од каменштине) и ливено гвоздене,
- (4) функцији: сабирне и одводне,
- (5) погонском режиму: гравитационе и комбиноване (гравитационо - потисне),
- (6) начину течења воде: са слободним водним лицем и комбиноване (са слободним водним лицем и под притиском).

4.1. Шема канализационе мреже

Под шемом канализационе мреже подразумевамо ситуацијски облик мреже (са припадним објектима) унутар канализационог урбаног подручја. Шема канализационе мреже се прави према технички - економском решењу система одвођења, уз уважавање релевантних локалних чинилаца (рељеф, решење саобраћајница, услови земљишта, хидрогеолошки услови, положај пријемника у односу на подручје које се каналише) и перспективног развоја канализационе мреже. Са обзиром на изражену разноврсност и међусобну повезаност ових фактора постоји неколико основних шема канализационих мрежа, (слика 4.1), као нпр.:

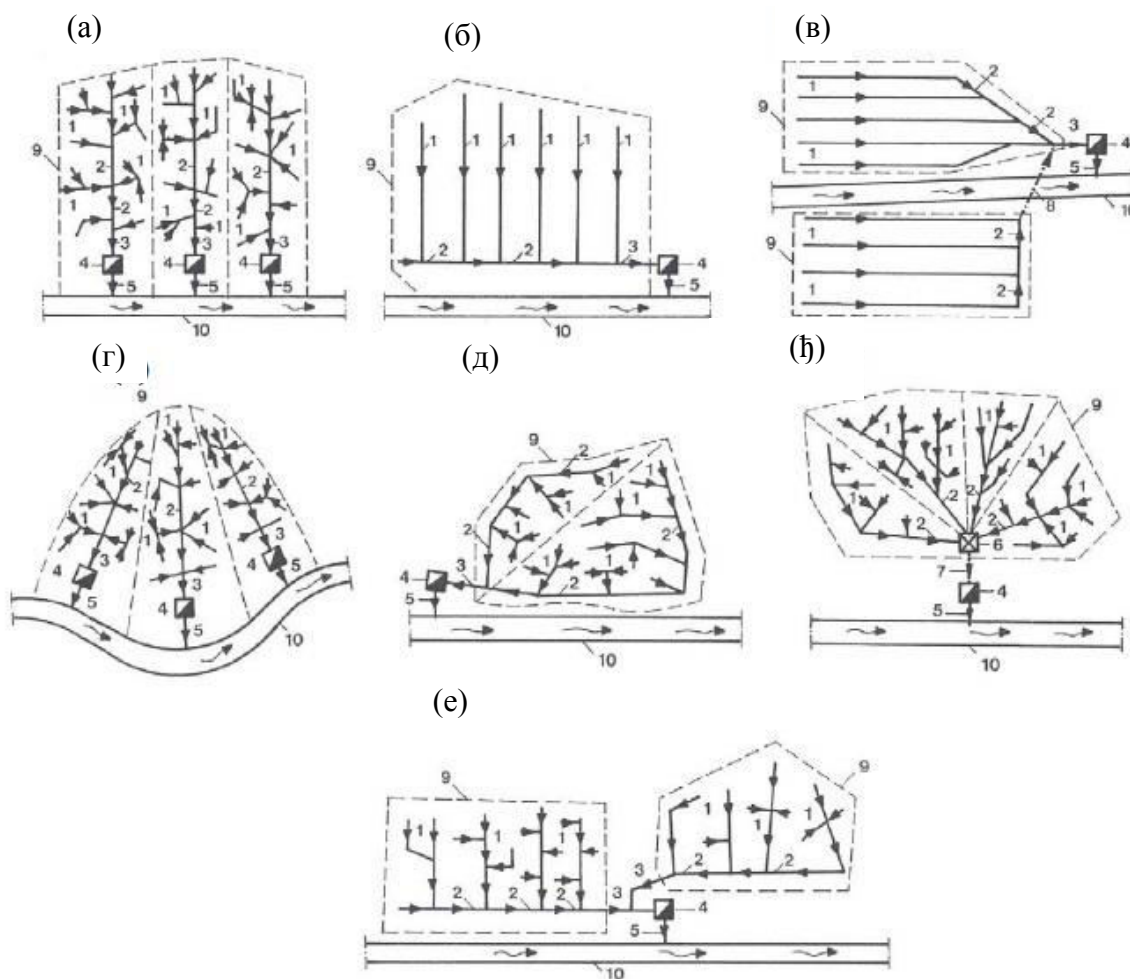
(а) Шема попречне (вертикалне, нормалне) канализационе мреже, (слика 4.1(а)), код које се поједини делови (зоне) урбаних подручја (насеља) канализирају мрежом секундарних колектора спојених на главне колекторе који су положени вертикално на пријемник, а отпадне воде се транспортују или до уређаја за пречишћавање или (ако се ради о условно чистим водама - нпр. атмосферским) директно испуштају у пријемник. Ова шема се првенствено користи код насеља смештених уздуж обала пријемника

(река, језера и мора) са мање - више израженим падом терена према пријемнику. Карактеристично је да су овом шемом претежно решавани старији системи одвођења, када се настојало да се отпадне воде гравитациом (што краћим путем и без пречишћавања) доведу до пријемника. Данас је у погонском погледу ова шема неприкладна, јер изискује неколико одвојених уређаја за пречишћавање (који се најчешће налазе у истом сливу), што знатно поскупљује овакво решење.

(б) Шема обухватне канализационе мреже, (слика 4.1(б)), карактерисана је положајем главног колектора паралелно са пријемником, а на њега вертикално (у смеру највећег пада терена) прикључују се секундарни канали или колектори. Примена ове шеме долази до изражаја у готово свим алтернатијама када је село формирано на релативно уском појасу паралелно са реципијентом. Ако је урбано подручје смештено са обе стране пријемника обично се изводе два (паралелна) главна колектора, на свакој страни по један. Тада се један од њих спаја са другим (обично сифоном) да би се пречишћавање отпадних вода обавило на једном уређају.

(в) Шема уздужне (паралелне) канализационе мреже, (слика 4.1(в)), карактерисана је међусобно паралелним положајем главнине споредних канала. Такође, основна мрежа код ове шеме најчешће је паралелна и са пријемником. Све отпадне воде одлазе у главни колектор, а потом главним одводним колектором транспортују до уређаја за пречишћавање. Ако је село смештено само на једној обали пријемника, реч је о једностраној уздужној шеми. У противном, ради се о лепезастој уздужној шеми (као у приказаном примеру). Уколико ипак канализацију појединих делова насеља није могуће решити гравитационим одвођењем, него се то остварује помоћу пумпних станица, тада се ради о (једностраној или двостраној) уздужној зонској шеми.

(г) Шема радијалне канализационе мреже, (слика 4.1(г)), приказана је са неколико засебних система одвођење појединих зона унутар јединственог подручја одвођења са радијалним положајем главних колектора од центра према периферији. Ова шема се примењује у подручјима код којих није техничко - економски оправдано да све отпадне воде одводе према једном (централном) уређају за пречишћавање. Најчешће се користи код већих градова који су се постепено ширили или су због топографских прилика децентрализовани по стамбеним зонама са засебним системима одвођења. У погонском погледу недостатак ове шеме исти је као код шеме попречне канализационе мреже.



Слика 4.1. Шеми канализационих мрежа

(а) попречна; (б) обухватна; (в) уздужна; (г) радијалне; (д) прстенаста; (ђ) разграната; (е) зонирана
 1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - уређај за пречишћавање; 5 - испуст; 6 - пумпна станица; 7 - потисни цевовод; 8 - сифон; 9 - граница подручја одвођења; 10 - пријемник

(д) Шема прстенасте канализационе мреже, (слика 4.1(д)), примењује се у случајевима када је село смештено на израженом рељефном подручју (брежуљак, брдо и сл.), при чему вододелница разграничује село на више локалних сливних зона. Полагањем два (ободна) главна колектора у облику прстена по најнижим (периферним) деловима насеља обухватају се сви секундарни колектори, односно читаво урбанизовано подручје. У овој су шеми споредни колектори обично кратки и мањих профила, док се (ободни) главни колектори спајају у главни одводни колектор којима се отпадне воде одводе на заједнички уређај за пречишћавање.

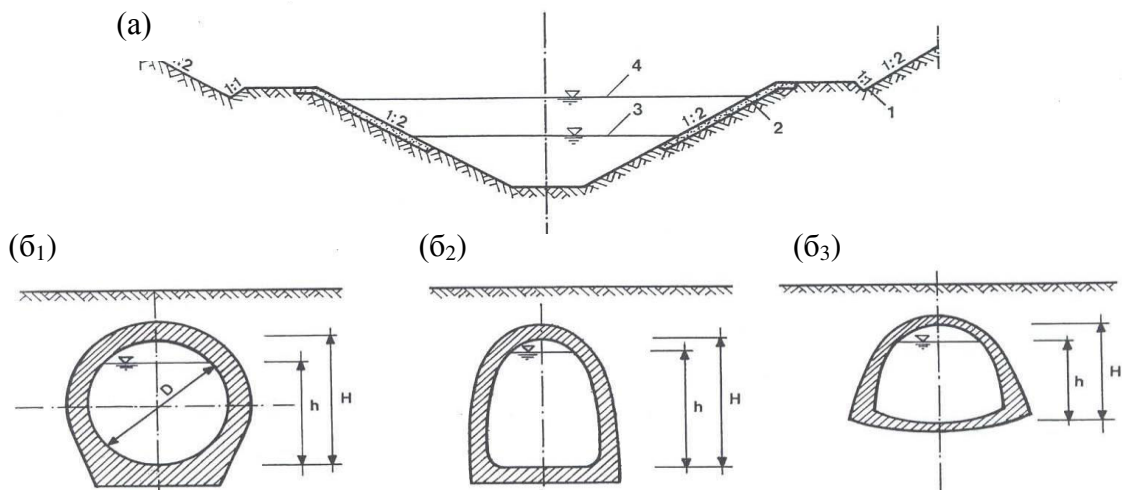
(ђ) Шема разгранате канализационе мреже, (слика 4.1(ђ)), не садржи посебно изражен главни (одводни) колектор, већ низ секундарних колектора којима се отпадне воде одводе према најнижој локацији подручја одвођења. При томе је врло често да се на тој локацији, ради могућности даљег транспорта отпадних вода до уређаја за пречишћавање, појављује потреба за изградом пумпне станице. Ова шема се обично примењује на урбаним подручјима са врло развијеним рељефом или у случајевима етапне изградње (што јој је нарочита погодност), при чему поједине зоне у топографском погледу гравитирају некој најнижој тачки.

(е) Шема зониране канализационе мреже, (слика 4.1(е)), карактерисана је двома (или више) зонама са независним канализационим мрежама. Међутим, упркос поделе насеља на независне зоне, систем одвођења је јединствен, будући да се све отпадне воде доводе (гравитационо или црпљењем) до заједничког уређаја за пречишћавање. Ова се шема претежно користи или код проширења старих насеља, односно формирања нових приградских, или када топографске прилике условљавају проширење урбаног подручја на више зона.

4.2. Канализационе мреже према облику канала

Најпре, канали или колектори могу бити:

- (i) отворени,
 - (ii) затворени.
- (i) Код отворених канала слободна површина је видљива, јер канал нема покривну конструкцију. Претежно су, као и код главних водоводних доводних канала, трапезног облика, (слика 4.2. из рада „Водоснабдевање“(а)). Ови канали се могу користити искључиво за одвођење релативно чистих вода (нпр. атмосферских), односно вода које у санитарном погледу нису опасне за околину.



Слика 4.2. Канал и цевоводи са слободном површином

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

- (ii) Под затвореним каналима подразумевају се канали код којих се цео профил налази у затвореној конструкцији, по правилу потпуно укопаној испод саобраћајних или слободних површина. Канали затвореног типа обавезно се примењују у канализационој мрежи унутар урбаног подручја.

Основна подела ових канала је могућа према:

- (1) облику профила,
 - (2) величини профила.
- (1) Према облику профила уобичајено је да затворене канале, (слика 4.3) сврстамо у три основне групе:
- (а) канали кружног облика, $B = H = 2r = D$,

(б) канали издуженог (јајоликог, полукружног и правоугаоног) облика, $H > B$,

(в) канали компримованог (потковичастог и капастог) облика, $H < B$,

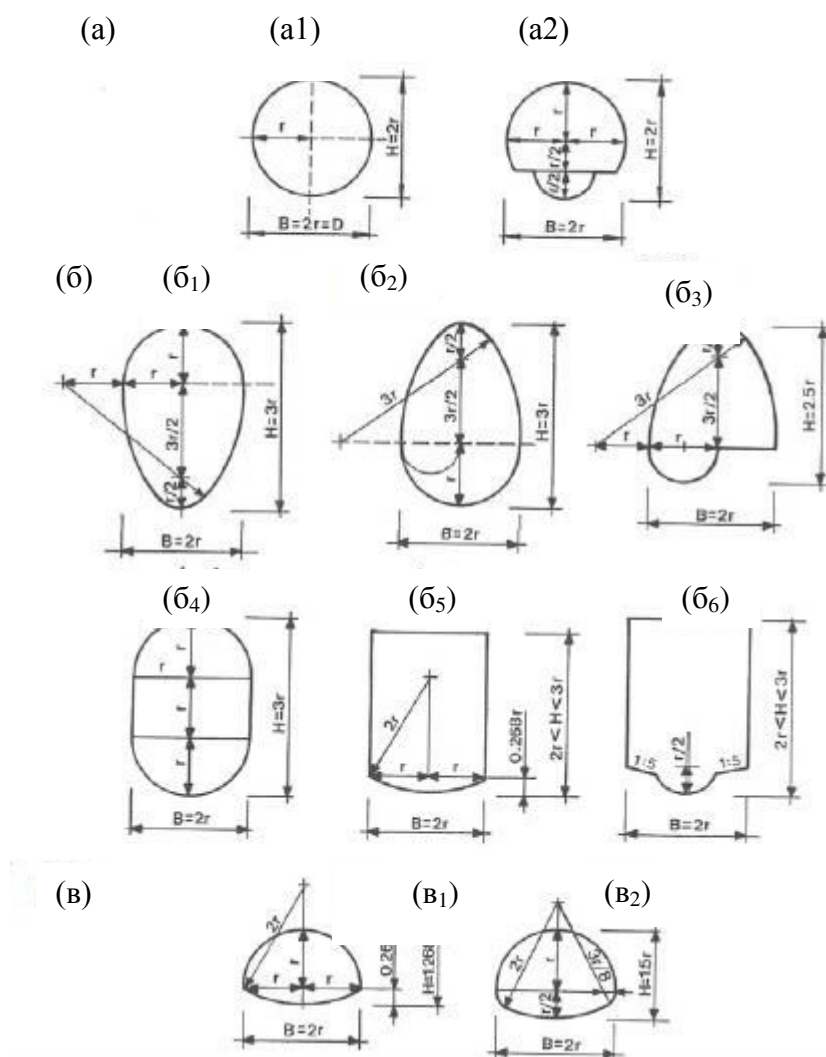
где су:

B - ширина канала, [m],

H - висина канала, [m],

r - радијус канала, [m],

D - пречник канала, [m].



Слика 4.3. Карактеристични облици канала

(а) канали кружног облика; (б) канали издуженог облика; (в) канали стлаченог облика

(а1) кружни облик; (а2) кружни облик с Кинетом (б1) јајолики облик; (б2) јајолики окренути облик; (б3) јајолики окренути облик с Кинетом; (б4) полукружни облик; (б5) правоугаони облик заобљеног дна; (б6) правоугаони облик с Кинетом (в1) потковичасти облик; (в2) капаста облик

Савремена пракса грађења система одвођења у највећој мери користи канале кружног облика. Овакав облик канала поседује изразито повољне хидрауличке особине и једноставан је за индустријски начин производње и монтажу. Јајолики и полукружни канали издуженог облика, због повољних преузимања статичких и динамичких оптерећења, претежно се користе за плића укапања испод интензивно оптерећених

саобраћајних површина. По хидрауличким особинама ови су канали готово еквивалентни каналима кружног облика. Једино су код правоугаоних облика канала ове карактеристике нешто слабије. Канали стлаченог облика углавном се користе уместо канала кружног облика код пресецања трасе канала са трасама подземних комуникација које ограничавају пуну висину кружног профила.

(2) Према величини профила затворене канале делимо на:

- (а) проходне,
- (б) непроходне.

Проходни канали су они чије димензије омогућавају улазак радника у канале ради њихове ревизије, чишћења и поправки. У противном, канали су непроходни. Сматра се да је висина канала, $H = 1,000 \text{ mm}$, гранична величина поделе канала на проходне и непроходне.

4.3. Канализационе мреже према материјалу израде

Основни избора материјала за израду канализационих мрежа су:

- (1) количина и својства отпадних вода,
- (2) услови земљишта: геомеханички и хидрогеолошки,
- (3) начин израде: канали од фабрички изведених (монтажних или полумонтажних) производа и канали грађени на лицу места.
- (4) квалитет материјала: чврстоћа, еластичност, трајност, водонепропустљивост и антикорозивност,
- (5) трошкови: набавке, транспорта и монтаже,
- (6) хидрауличка храпавост унутрашњих зидова,
- (7) погонска сигурност.

С обзиром да се за израде канала или колектора канализационих мрежа претежно користе материјали који се примењују и за израду водоводних мрежа, приказано је у раду „Водоснабдевање“. У овом раду ће се донекле опширније описати оне врсте канала или цеви које се не сусрећу код израде водоводних мрежа (нпр. бетонске и керамичке цеви). За цеви које се користе и код водовода указаће се само на одређене посебности с обзиром на њихову примену у канализацији. При томе, такође као и код примене водоводних цеви, треба имати на уму да сваки произвођач канализационих цеви располаже са перспектима производног асортимана где се могу наћи сви потребни подаци о производном типу цеви.

4.3.1. Бетонски канали

Примењују се код канализационих мрежа са отицањем са слободном површином.

Ова врста канала се може изградити од:

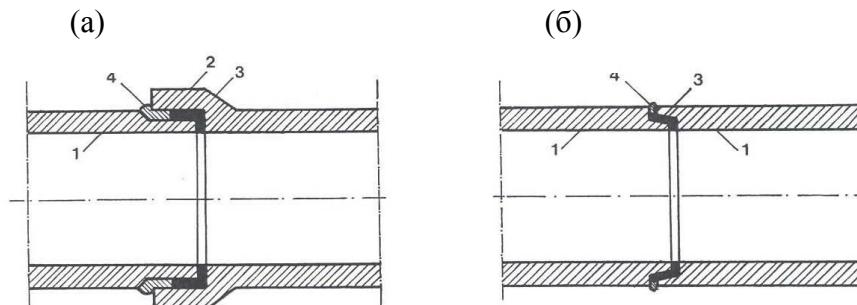
- (а) фабричких израђених цеви,
- (б) канала грађених на лицу места (у рову).

(а) Фабричке израђене цеви су обично кружног и јајоликог облика, са подложном стопом, (слика 3.2), или без ње. Кружне цеви израђују се са унутрашњим пречником, D

= 100 - 1200 mm, а јајолике најчешће димензија $B / H = 300/450, 400/600, 500/750$ и $600/900$ mm, дужина, $L = 1$ m (изузетно 2 m). Бетонске се цеви претежно користе за одвођење атмосферских вода, будући да кућне и индустријске отпадне воде обично садрже агресивне састојке који разграђују зидове цеви. Због тога је код одвођења ових отпадних вода потребна заштита унутрашњих зидова антикорозивним средством (нпр. битуменом).

Наредна мана бетонских цеви огледа се у релативно великом броју спојева и њиховој недовољној сигурности на водонепропустљивост. То треба имати у виду код примене бетонских цеви код канализационих мрежа положених испод ниво подземне воде (могућност процеђивања), као и код канализационих мрежа изнад нивоа подземне воде (могућност загађења) која се користи у водоснабдевању.

Даље, ову врсту цеви карактерише и релативно велика храпавост, што резултира смањењем протока и већом могућношћу таложења крутих отпадних материја. Цеви се производе са наглавком и равним крајем, тако де се према типу цеви комбинују и спојеви, (слика 4.4).



Слика 4.4. Спајање бетонских цеви

(а) једињење са наглавком; (б) спој са жлебом и пером

1 - равни крај цеви; 2 - наглавак; 3 - пластична ваздух трака; 4 - заштитни цементни малтер

Приказани начини спајања бетонских цеви са пластичним заптивним тракама готово су у потпуности потиснули претходну праксу комплетног спајања цементним малтером.

(б) Канали грађени на лицу места углавном се користе код изградње већих профила који се не производе фабрички. Додатни разлози могу бити условљени скупом превоза великих профила на веће удаљености, сложеност њихове монтаже и могућношћу израде најповољнијих облика профила (кружног, издуженог и итд.) као резултат хидрауличког или статичког прорачуна. Мане су им исте као и код фабричких израђених цеви.

4.3.2. Армирано бетонски канали

Ови канали могу, као и бетонски, могу бити изграђени од:

- (а) фабричких изграђених цеви,
- (б) канала грађених на лицу места.

(а) Фабричке изграђене цеви су обично кружног облика, унутрашњег пречника, $D = 500 - 2000$ mm, дужине, $L = 1$ m (мањи профили) и 2 m (већи профили), једнострано или двострано армиране. Примена (с обзиром на врсте отпадних вода), мане и начини спајања исти су као и код бетонских цеви.

(б) Канали грађени на лицу места изводе се из истих разлога као и бетонски канали, са тим да додатни разлог може бити условљен изложеношћу канала знатном спољном оптерећењу (нпр. прометном у случају проласка канала испод железничке пруге).

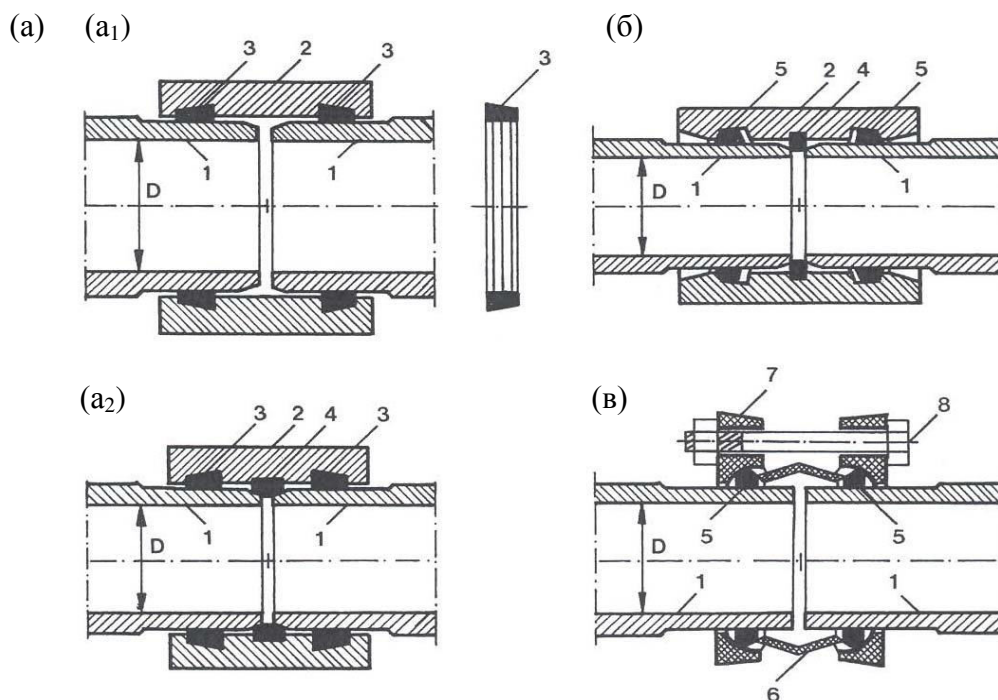
4.3.3. Азбест цементне цеви

Ове се цеви производе фабрички, кружног профила, на исти начин као и водоводне цеви, с тим да постоје два основна типа цеви:

- (а) лаки тип, КЦ - Л,
- (б) тешки тип, КЦ - Т.

Примена појединих типова цеви зависи од величине спољног оптерећења, дубине уградње цеви и особинама тла.

Тип КЦ - Л се користи када се не очекују већа спољна оптерећења, док се тип КЦ - Т употребљава у свим тешким условима израде и код већих спољних оптерећења. Азбест цементне канализационе цеви се производе унутрашњег пречника, $D = 50-1300 \text{ mm}$, дужине, $L = 5 \text{ m}$. Већа дужина азбест цементних цеви указује да канали изведени од ових цеви имају релативно мали број спојева, а тиме и знатно смањену могућност процеђивања подземних вода. Спајање азбест цементних цеви спроводи се на исти начин као и код водоводних цеви, (слика 4.4). Разлози постепеног напуштања примене ове врсте цеви исти су као и код њихове примене у водоснабдевању.



Слика 4.4. Спајање азбестно-цементних цеви

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

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

На слици 4.4.(а) приказан је патентирани спој DALMA REKA, који се изводи у две варијанте. Прва варијанта споја, слика 4.4.(а1), изводи се без средњег гуменог прстена,

а друга варијанта, слика 4.4.(a2), са средњим гуменим прстеном. На слици 4.4.(б) приказан је спој *VITLAK*, а на слици 4.4, (в) спој *GIBAULT*.

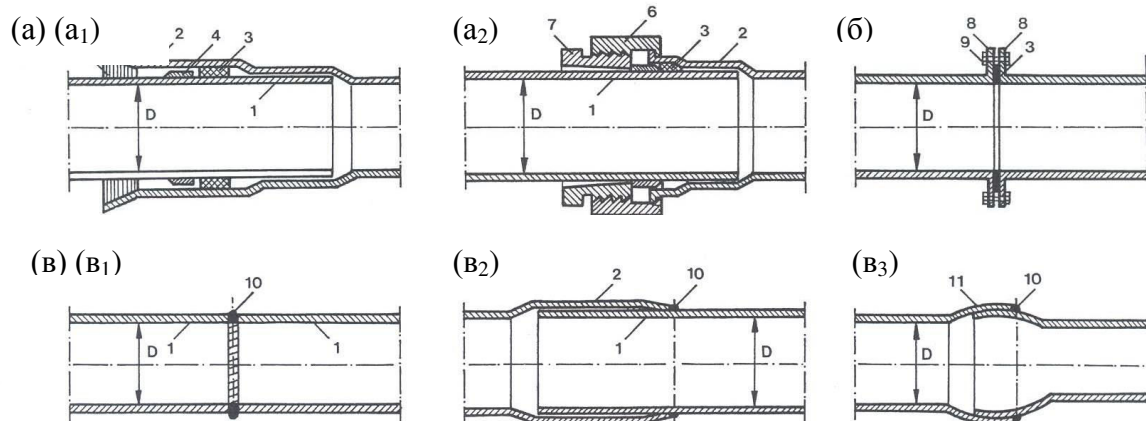
Ови спојеви осигуравају њихову потребну еластичност, што је прилично важно за релативно крхке азбестно-цементне цеви. За прелаз на цеви из других материјала и за спајања различитих пречника израђују се посебни наглавци.

4.3.4. Пластичне цеви

Ове су цеви по фабричком начину производње, особинама и начину спајања исте као водовodne. Због добрих особина и релативно повољне цене пластичне су цеви данас код нас сигурно у највећој примени.

4.3.5. Челичне цеви

Мада се ове цеви ретко примењују у системима одвођења, ипак су у неким специјалним случајевима незаменљиве (нпр. код стрмих терена, где би због ограничења брзине за цеви из осталих материјала било потребно изградити читав низ прекидних окана, у очекивању знатних динамичких оптерећења, код подводних колектора, сифона, потисних делова одводних система, пумпних станица и сл.). Начин производње ових цеви, њихове особине и начини спајања описани су у раду „Водоснабдевање“, (у тачки 8.2.2), с напоменом да се од приказаних начина спајања, слика 4.5, због величине профила најчешће користи заваривање.



Слика 4.5. 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

а) **Спојеви са наглавком** (слика 4.5.(а).

Релативно најчешћи спој је *SIGUR*, слика 4.5.(a1), који се примењује за спајање челичних цеви унутрашњег пречника, $D = 50 - 800 \text{ mm}$. Као заптивка служи гумени прстен, који се навлачи на равни крај цеви, тако да је при навлачењу у наглавак друге цеви и при уздужним помацама 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 4.5(a2). Делови са навојем су од ливеног гвожђа, а заптивни прстен од гуме.

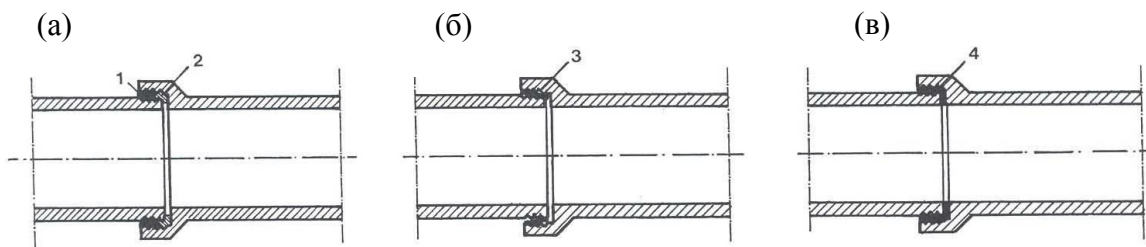
б) **Спој са прирубницама** (слика 4.5.(б)) се по правилу примењује код цевовода положених на површину терена. Заптивање се постиже гуменим или металним прстеном постављеним између прирубница које се притежу завртњима.

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 4.5.(в)) се користи готово по правилу ако је унутрашњи пречник челичних цеви, $D > 500 \text{ mm}$. Заварени спој може бити чеони, слика 4.5.(в1), са завареним наглавком, слика 4.5.(в2) или са кугластим завареним наглавком, слика 4.5.(в3).

4.3.6. Керамичке цеви

Ове цеви имају највећу традицију примене у канализационим мрежама. Данас се све мање користе због мале механичке отпорности (што захтева брижљиво руковање и посебну припрему подлоге код полагања). Керамичке цеви се производе фабрички. Материјал за њихову успешност је глина, кварцни песак и шамот. У процесу производње цеви пролазе кроз тунелске пећи са температуром од 1400°C , где им се због садржаја натријум-силиката формира глеђ. Ова глеђ чини керамичке цеви изузетно отпорним на киселине, што погодује њиховој примени за одвођење индустријских отпадних вода, и код кућних инсталација, односно прикључака. Производе се кружног облика и унутрашњег пречника, $D = 50 - 600 \text{ mm}$ (изузетно 1200 mm), и дужине, $L = 1 - 2 \text{ m}$. Будући да се керамичке цеви производе са наглавком и равним крајем, њихово спајање се спроводи на један од три начина приказана на слици 4.6.



Слика 4.6. Спајање керамичких цеви помоћу наглавка

1- асфалтни мастикс; 2 - конопља; 3 - конусни гумени заптивни прстен; 4 - пластина заптивна маса

4.4. Цеви од ливеног гвожђа

По фабричком начину производње, особинама и начину спајања ове су цеви исте као водоводне (које су приказане у раду „Водоснабдевање“, у тачки 8.2.1). Примена ових цеви у канализацији је данас готово застарела, осим у потисним деловима система одвођења, посебно унутар пумпних станица, где се обично користе дуктилне цеви. Главни разлози напуштања примене ливено гвоздених цеви су због значајног смањења њиховог века трајања код одвођења отпадних вода са агресивним састојцима и у агресивном тлу, повећања храпавости унутрашњих зидова током експлоатације и због нееластичности спојева код слегања тла.

4.4.1. Ограничења пројектних параметара канализационих мрежа

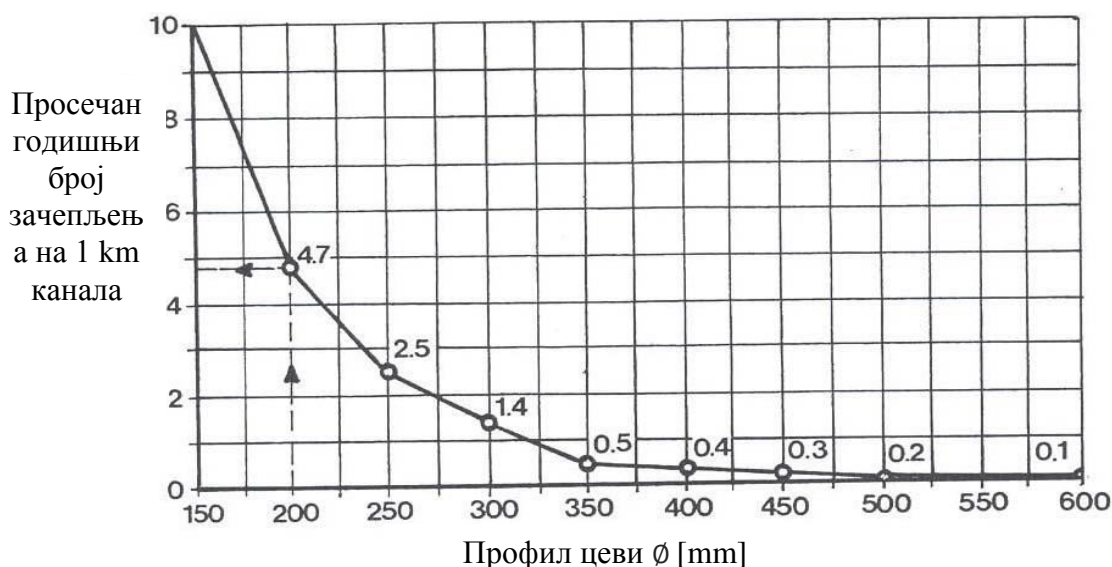
Ради исправног функционисања канализационих мрежа потребно је приликом њиховог пројектовања и извођења респектовати следећа ограничења:

- (1) ограничење најмањих профила,
- (2) ограничење брзина,
- (3) ограничење уздужних падова,
- (4) ограничење висине пуњења канала,
- (5) ограничење дубине уградње канала.

4.4.2. Ограничење најмањих профила

Из разлога што отпадне воде често одводе и крупне отпадне предмете који могу изазвати зачепљење канала, што се понекад на дну канала задржи талог па се битно смањи слободан профил канала, што на почетку канализационих деоница може доћи до знатног хидрауличног оптерећења и да би се олакшало чишћење канализације, ограничава се коришћење најмањих профила канала или колектора, независно од њиховог задовољавања минималне брзине тока и испуњености профила.

Тако су нпр. вишегодишња истраживања (Русије, Немачке) указала да просечан годишњи број зачепљења директно зависи од димензија профила, слика 4.7.



Слика 4.7. Просечан годишњи број зачепљења канала у функцији његовог профила

На дијаграму је видљиво да је нпр. просечан годишњи број зачепљења канала код профила 200 mm двоструко мањи него код профила 150 mm, односно код профила 300 mm преко три пута мањи него код профила 200 mm. С друге стране, пракса је показала да нема потребе за посебном штедњом у димензијама најмањих профила, будући да код изградње канализационих мрежа (поготово ако се ради о мањим профилима до ≈ 300 mm) већи део инвестиционих трошкова (70 - 80 %) отпада на пратеће радове (раскопавање, ископавање рова, разупирање, евакуација подземних вода, израду постељице, затрпавање, одвожење сувишног материјала и евентуални повраћај саобраћајне површине у првобитно стање), док на сам цевни материјал отпада мањи

део (15 - 30 %), зависно од величине профила, дубини ископа, категорији тла и сл. Зато је код јавне канализације потребно користити следеће минималне профиле, ϕ_{min} :

- (1) за канализацију кућних отпадних вода, $\phi_{min} = 250 \text{ mm}$ (боље $\phi_{min} = 300 \text{ mm}$),
- (2) за мешовиту и атмосферску канализацију, $\phi_{min} = 300 \text{ mm}$ (боље $\phi_{min} = 400 \text{ mm}$).

4.4.3. Ограничење брзина

Ограничење брзине односи се на њене минималне и максималне допуштене вредности. Наиме, за осигурање нормалних погонских услова у канализационој мрежи где се формира ток са слободном површином нису пожељне ни мале, а ни велике брзине. Мале брзине се не препоручују, првенствено због таложења крутих отпадних материја и могућности зачепљења, а велике брзине нису пожељне због абразије цеви и спојева, узроковане деловањем суспензија у отпадној води. При томе су од битне важности брзине при дну, јер првенствено од њих зависи процес таложења и абразије. Међутим, због практичности ограничење се спроводи за средњу брзину.

(1) Најмање брзине. Као што је из хидраулике познато, код (једноликог) течења са слободним водним лицем брзина је у функцији храпавости, уздужног пада и хидрауличког радијуса, израз (8.3) из рада „Водоснабдевање“ (тачка 8.3.2).

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

За канале изведене од истог материјала и уз исти пад, брзина је једино у функцији хидрауличког радијуса, тј. облика и димензија канала. Зато су канали који имају већи хидраулички радијус повољнији. То је разлог што је већина израза за прорачун минималне брзине, $v_{min} \text{ [m/s]}$, код које још неће доћи до таложења суспензија, приказана у функцији хидрауличког радијуса, $R \text{ [m]}$.

Тако се нпр. у пракси учестало користи емпиријска формула Федорова (1968):

$$v_{min} = 1,57 R^{\frac{1}{k_f}} \quad (4.1)$$

где је:

$$k_f = 3,5 + 0,5R \quad (4.2)$$

За округле профиле добију се вредности најмање дозвољених брзина према табели 4.1.

Табела 4.1. Најмање дозвољене брзине у округлим каналима за дубину воде $H = D/2$ или D

Пречник D [mm]	Најмања брзина $v_{min} \text{ [m/s]}$	Пречник D [mm]	Најмања брзина $v_{min} \text{ [m/s]}$
250	0,72	800	1,00
300	0,75	900	1,04
350	0,79	1000	1,07
400	0,82	1100	1,10
450	0,85	1200	1,13
500	0,88	1300	1,16
600	0,92	1400	1,18
700	0,97	1500	1,20

Како је у многим конкретним случајевима ташко задовољити ове најмање брзине, допуштају се и њихове мање вредности:

- (а) за канализацију кућних отпадних вода, $v_{min} = 0,5 \text{ m/s}$ (изузетно $0,3 \text{ m/s}$,
- (б) за мешовиту канализацију, $v_{min} = 0,6 \text{ m/s}$ (уз претпоставку испуњења канализационих профила 50 % или више),
- (в) за кишну канализацију, $v_{min} = 0,9 \text{ m/s}$.

Нешто већа вредност минималне брзине код кишне канализације условљена је потребом спречавања таложења песка (и евентуално шљунка) ког атмосферске воде садрже у знатним количинама. Пракса је показала да је код ових вредности брзина осигурано одржавање чврсте супстанце у лебдећем стању, односно самоочишћење канала.

(2) Највеће брзине. Уз особину суспензија у отпадној води, првенствено значење на развој процеса абразије у канализационим цевима имају особине (врста) цевног материјала и брзине течења, које се онда ограничавају до вредности које тај процес елиминишу. Сматра се да код уобичајене израде канала највеће брзине не би требале прелазити вредност $2,5 - 3,0 \text{ m/s}$, с тим да се код краћих канализационих акција и канала код којих се највеће брзине ретко појављују и кратко трају (нпр. канали мешовите воде, односно кишна канализација) могу, већ према материјалу и изради канала, допустити максималне брзине према табели (4.2).

Табела 4.2. Највеће допуштене брзине у каналима

Врсте цеви	Највећа брзина $v_{min} \text{ [m/s]}$
Бетонске цеви	3,0
Армиранобетонске цеви	4,0
Азбест цементне цеви	4,5
Пластичне цеви	5,0
Челичне цеви	8,0

4.4.4. Ограничење уздужних падова

Будући да су уздужни падови и брзине у директној функционалној зависности, када се говори о најмањим и највећим брзинама може се говорити и о најмањим и највећим падовима. Међутим, падови су у функцији хидрауличког радијуса и храпавости, те ако ови подаци нису познати, не може се говорити о стварним падовима. Зато се ограничења везана уз уздужне падове могу користити само као прелиминарне, односно оријентационе величине, док се усвојена вредност уздужног пада мора увек проверити преко брзине.

(1) Најмањи уздужни падови. У пракси пројектовања канализационих мрежа уобичајено је да се најмањи уздужни пад округлог канала одреди коришћењем једноставне емпиријске формуле (4.3):

$$I_{min} = \frac{1}{D} \quad (4.3)$$

где су:

I_{min} - најмањи уздужни пад канала, [-],

D - унутрашњи пречник канализационе цеви, [mm].

У сваком конкретном случају овако добијен најмањи пад треба проверити на основу најмање допуштене брзине и хидрауличких карактеристика цевовода.

(2) Највећи уздужни падови. За оријентацију се такође може користити емпиријска формула (4.4):

$$I_{max} = \frac{1}{D} \quad (4.4)$$

где су:

I_{max} - највећи уздужни пад канала, [-],

D - унутрашњи пречник канализационе цеви, [dm].

И овде је потребно у сваком конкретном случају овако добијену вредност највећег пада проверити на основу највеће допуштене брзине и хидрауличких карактеристика цевовода.

4.4.5. Ограничење висине пуњења каналом

Гравитационо течење са слободним водним лицем у каналима је неопходно како би се осигурало исправно извођење кућних прикључака, одношење пливајућих материје, прозрачивање канала или колектора, и тако осигурао простор за непредвиђени доток процедурних вода и сл. Зато се зависно од величине канала спроводи ограничење висине пуњења канала. У табели (4.3) приказане су препоручене вредности висине пуњења, h_{vp} [mm], за округле профиле. Код других облика профила канала такође се могу користити вредности према табели (4.3), с тим да се уместо пречника, D , користи висина канала, H . У складу са овим, рачунска висина пуњења канала (пуњење код рачунског протока) треба бити једнака или мања од дозвољене (препоручене) вредности. Како у каналима мешовитог и атмосферског одвођења протока отпадне воде траје релативно кратко, па су у сушном периоду канали атмосферске воде празни, а у каналима мешовитог одвођења протичу само кућне (и евентуално индустријске) отпадне воде, тако да је висина пуњења врло мала. Зато је код канала атмосферског и мешовитог одвођења допуштено потпуно пуњење, тј. $h_{vp} = D$ (или H).

Табела 4.3. Препоручене вредности висине пуњења округлих канала

Пречник канала D [mm]	Висина пуњења h_{vp} [mm]
250 – 300	0,60 D
350 – 450	0,70 D
500 – 900	0,75 D
Више од 900	0,80 D

4.4.6. Ограничење дубине уградње канала

Дубина уградње канала зависи од низа чинилаца: климатским условима (могућност смрзавања), геомеханичким особинама тла, нивоу (дубини) подземне воде, износу спољног оптерећења, дубини прикључака, положају осталих инсталација, величини профила канала, материјалу и начину израде канала и сл. Зато у сваком конкретном случају треба сагледати ове факторе и њиховом анализом одредити оптималну дубину уградње.

- (1) Најмања дубина уградње канала. Углавном је код пројектовања канализационе мреже потребно најпре дефинисати најнижа места која онда диктирају даље услове за најмањом дубином уградње канализационе мреже. Ако локалне прилике дозвољавају, најмања дубина уградње канала не би смела бити мања од 1,5 m, мерена од дна рова, односно најмање 1 m, мерена од темена канала. Повећањем профила канала ова величина има тенденцију пораста.
- (2) Највећа дубина уградње канала. Ова дубина је искључиво ствар економских прорачуна. Углавном се сматра да је дубина до 6 m (изузетно 7 m) прихватљива. Ако се ради о краћим деоницама или посебним ситуацијама понекад су прихватљиве и веће дубине. Тада се користи тунелски начин извођења (пробијања) рова.

4.5. Уградња и испитивање канала

(1) Уградња канала. Гледајући претходно разматрана ограничења дубине уградње канала и сагледавајући нарочито особине терена и материјала израде канала, приступа се уградњи канала и њиховом испитивању на водонепропустљивост. Код тога углавном преовладавају сличности с уградњом водоводне мреже, тачка из рада „Водоснабдевање“ (8.5.1), али има и одређених разлика.

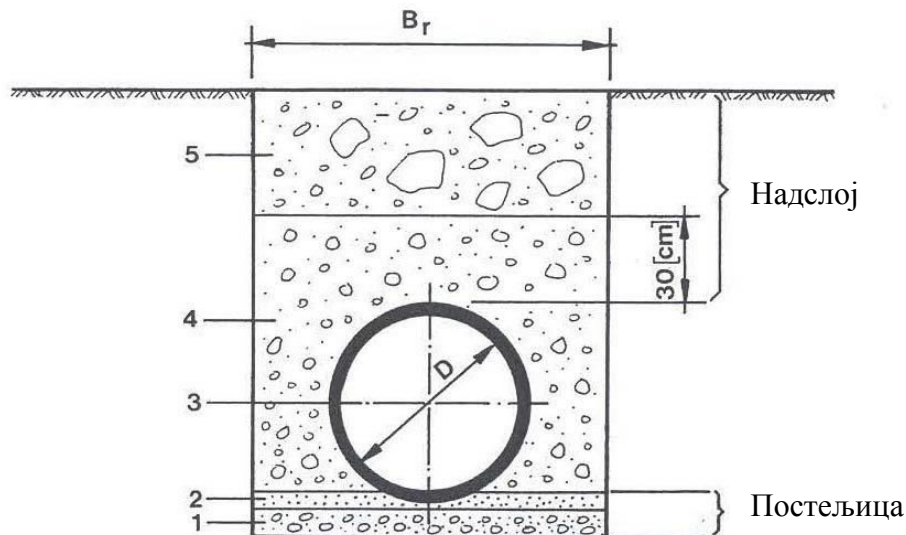
(а) Сличности су претежно садржане у следећем:

(i) потребна ширина рова за стандардне прилике и необложене канале примарно је у функцији пречника канала, тако да се могу користити подаци из табеле (4.4), из рада „Водоснабдевање“. За канале накнадно обложене бетоном, најмања ширина рова једнака је највећој спољној ширини облоге, увећана за 0,6 m,

Табела 4.4. 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	$D + 1,2$

(ii) израда постељице, засипавање канала до темена и израде надслоја обавља се у стандардним условима (ако произвођач цевног материјала не захтева другачије) према поступку описаном код уградње водоводних цеви, слика 4.8,



Слика 4.8. Нормални попречни пресек рова

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

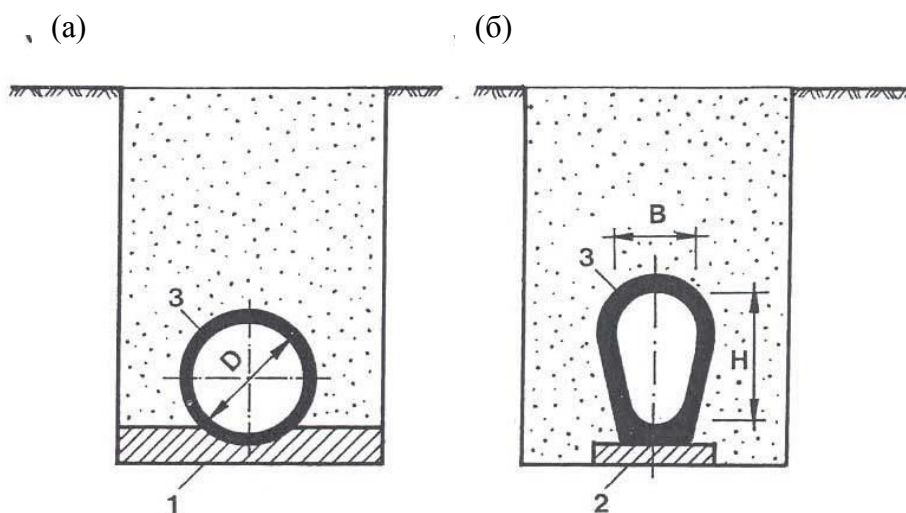
(iii) након израде канала, а пре потпуног затрпавања рова, спроводи се испитивање на водонепропустљивост.

(б) Разлике су углавном условљене следећим разлозима:

(i) с обзиром на већу дубину у којој се изводе канали од оне на коју се уграђују водоводне цеви, копање рова се у мекшим земљиштима у начелу изводи са косим зидовима. Закошење је зависно од геомеханичких особина материјала, а у функцији спречавања клизања бочних страна рова. Међутим, ако се копање рова обавља у густо изграђеном насељу, овакав начин извођења је најчешће немогућ, јер ров и депонија ископаног материјала или заузимају прекомерно простора или само копање рова може угрозити стабилност основних зидова околних објеката. Тада се копају ровови с вертикалним или благо нагнутим зидовима, тј. са углом нагиба знатно стрмијим од угла природног нагиба (унутрашњег трења) за конкретно тло. Такве ровове је онда потребно изводити са подграђивањем, како не би дошло до урушавања бочних страна рова.

(ii) такође с обзиром на релативно већу дубину уградње канала могуће је (код виших нивоа подземне воде) процеђивање знатних количина воде у ров. Зато је потребно поред рова извести бунар из којих ће се испумпавати вода. Ови бунари се изводе и хидраулички прорачунавају истом методологијом као и у сврху водоснабдевања, (тачка 4.2.) из рада „Водоснабдевање“. За несметано копање рова потребно је да ниво подземне воде буде снижен испод дна рова за најмање 0,5 m, и то на месту где је вода највиша, тј. на средини између два последња и суседна бунара у низу.

(iii) за канале који се изводе у тврдим земљиштима и испод нивоа подземне воде у меким земљиштима, треба посебну пажњу посветити њиховој механичкој отпорности и стабилности. Такви канали морају бити обавезно положени на бетонску постељицу, или (ако је реч о каналима на чврстом тлу) на бетонску подлогу, (слика 4.9).

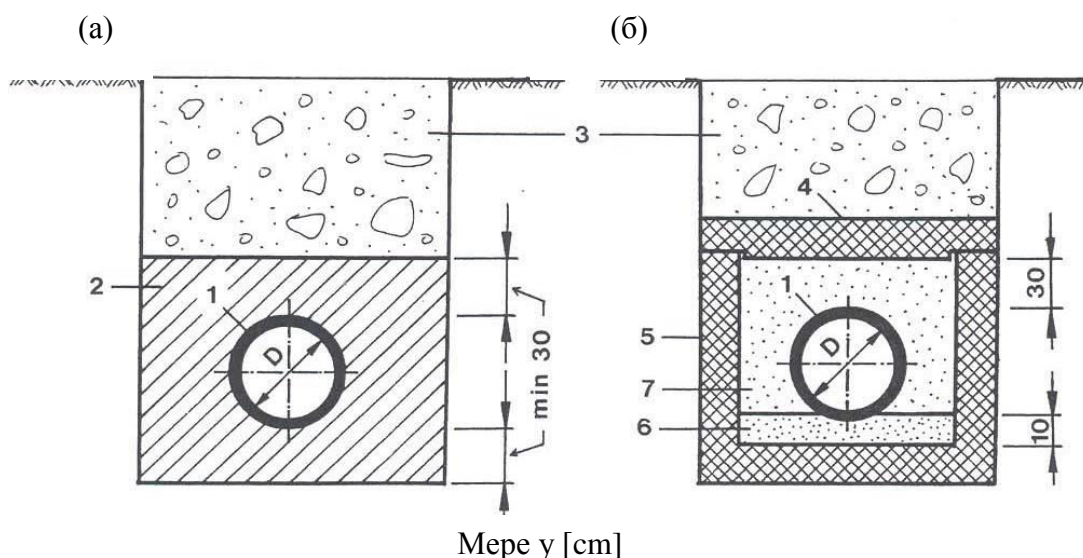


Слика 4.9. Полагање канала на посебне подлоге

(а) у меким земљиштима; (б) у тврдим земљиштима

1 - бетонска постелица; 2 – бетонска подлога; 3 - канализациона цев

Ако је ниво подземне воде у односу на канал тако висок да код мале испуњености канала отпадном водом деловање потиска може нарушити његову стабилности, или се ради о знатном износу спољног оптерећења, потребно је спровести потпуно или делимично облагање канала бетоном, (слика 4.10(а)). У првом случају због повећања тежине, а у другом ради повећања отпорности на спољно оптерећење. Један од начина заштите канала је и примена монтажних армиранобетонских сандука, (слика 4.10(б)).



Мере у [cm]

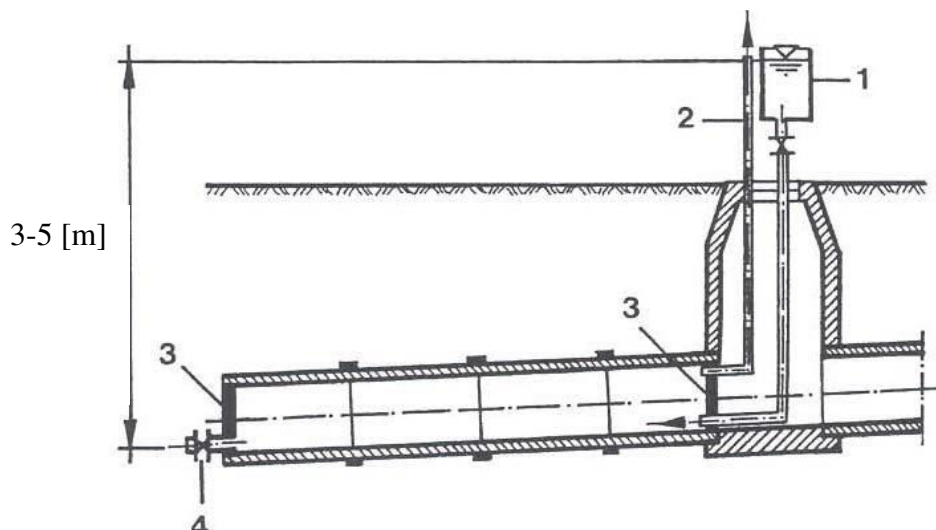
Слика 4.10. Заштита канала

(а) бетонском облогом; (б) армиранобетонским сандуком

1 - канализациона цев; 2 - бетонска облога; 3 - материјал од ископавања; 4 - армиранобетонски поклопац; 5 - армиранобетонски сандук; 6 - пешчана постелица; 7 – пешчани засип

Генерално, код сваког конкретног случаја уградње канала потребно је статичким прорачуном проверити величину напрезања, одакле може уследити и потреба за додатном заштитом канала. Параметре и методологију оваквог прорачуна, с обзиром на особине цевног материјала, геомеханичке особине тла, врсту и износ оптерећења, дају произвођачи цеви.

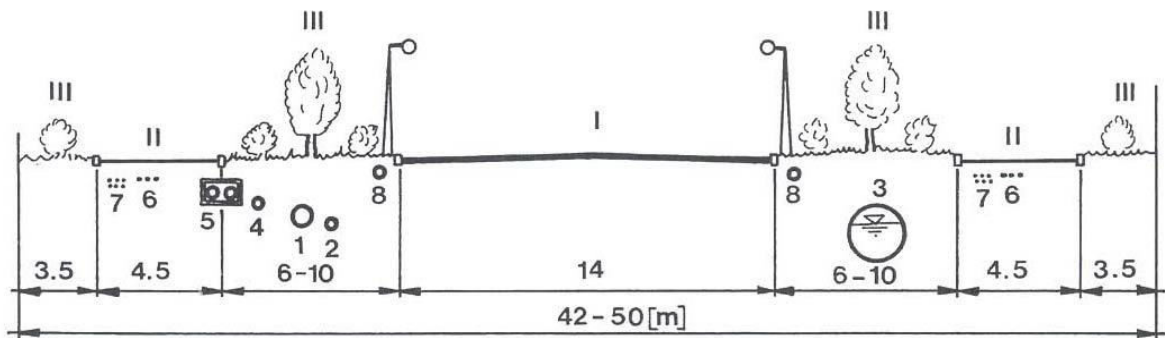
(2) Испитивање канала. Код потисних деоница канализационе мреже методологијом испитивања на водонепропустљивост идентична је као код водоводне мреже. Испитивање спојева и могућих пукотина на водонепропустљивост код новоизведених канализационих мрежа у условима течења са слободним водним лицем спроводи се са далеко мањим испитним притиском него код водоводних мрежа. Испитивање се спроводи по деоницама између два улазна (ревизијска) окна, тако да се канал напуни водом чији ниво обезбеђује хидростатички притисак од 0,3 - 0,5 bara, (слика 4.11). Након одређеног времена (обично 2 - 3 h) констатује се евентуалан губитак воде на испитivanoј деоници који не би смео бити већи од дозвољеног (прописаног) с обзиром на врсту канализационих цеви.



Слика 4.11. Шема испитивања канала на водонепропустљивост

1 - водоспрема; 2 - цев за испуштање ваздуха; 3 - заптивке; 4 - вентил за испуштање воде

Један од битних параметара уградње канала или колектора је и њихов просторни положај испод површине терена и саобраћајница. Не постоје нека посебна правила помоћу којих се сигурно долази до оптималног решења. Очито је да код тога треба поћи од урбанистичких карактеристика канализационог подручја, односно планова, разматрајући притом потребу усаглашености с осталим инсталацијама (водовод, топловод, гасовод, електрични и телефонски каблови), али и са јавним зеленилом, стубовима јавне расвете, темељима других објеката и сл. Испод ужих саобраћајница (ширине до ≈ 10 m), канали се најчешће постављају средином саобраћајнице, (слике 2.3 и 2.8). Кад су саобраћајне површине шире, могуће је решење са каналом само са једне стране саобраћајнице, слика 4.12, али у начелу увек треба разматрати могућност израде канала са обе стране саобраћајнице. Свакако, положај и број канала у попречном пресеку прометне улице треба одредити на основу поређења трошкова градње прикључака те споредних и главних колектора. Такође, при трасирању канализационе мреже треба настојати да се избегну пресецања са водотоцима, железничким пругама, подземним објектима и другим инфраструктурним мрежама, јер су у техничком смислу решења оваквих пресецања често врло сложена, што условљава веће трошкове изградње, а касније су на тим местима и израженије потешкоће у експлоатацији канализационе мреже.

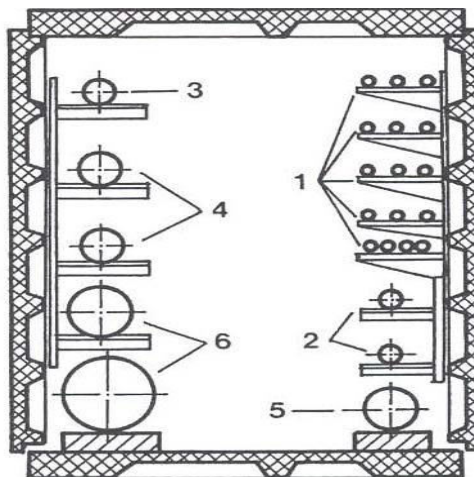


Слика 4.12. Пример распореда цеви у попречном пресеку улице

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

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

Исто тако, приликом каналисања стамбених зона и при реконструкцији градске инфраструктуре, у главним улицама, ради рационалније градње и ефикасније експлоатације препоручљиво је изводити специјалне подземне објекте тунелског типа, слике 4.13, где је смештен већи број инфраструктурних мрежа, укључујући и канализационе.



Слика 4.13. Проходни тунел

1 - водови под напонам; 2 - птт водови; 3 - гасовод; 4 - топовод; 5 - водовод; 6 - канализација

4.6. Хидраулички прорачун канализационе мреже

Сходно меродавним количнама отпадних вода (тачка 3.4) и пројектованим особинама канализационе мреже (материјал извођења, положај и режим рада објекта на мрежи, топографски услови) увек је потребно хидраулички димензионисати канализациону мрежу, тако да она својом пропустљивошћу у сваком тренутку омогућава несметану одвођење отпадних вода. Хидраулично димензионисање канализационе мреже спроводи се за највећу часовну количину отпадних вода по припадајућим деоницама мреже. С обзиром на режим течења у канализационој мрежи, односно њеном делу, генерално су могуће две врсте прорачуна:

- (I) хидраулички прорачун течења са слободним водним лицем,
- (II) хидраулички прорачун течења под притиском.

L - дужина цеви, [m],

λ - коефицијент отпора трења, [-],

D - унутрашњи пречник цеви, [m],

v - (средња) брзина, [m/s],

g - убрзање поља силе теже, [m/s²].

Вредност коефицијента λ је у општем случају дата је *Colebrook – Whiteov*-ом једначином, израз (4.7), која обухвата турбулентно прелазни режим и асимптотски задовољава турбулентно храпави и турбулентно глатки режим:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (4.7)$$

где су:

ϵ – апсолутна хидрауличка храпавост, [mm],

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

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (4.8)$$

где је ν [m²/s] кинематички коефицијент вискозности воде.

Комбинујући једначине (4.6 - 4.8) добије се израз за брзину:

$$v = -2 \log \left(\frac{2.51\nu}{D\sqrt{2gI_E D}} + \frac{\epsilon}{3.71D} \right) \sqrt{2gI_E D} \quad (4.9)$$

а помоћу једначине непрекидности и за проток:

$$Q = vA = -\log \left(\frac{2.51\nu}{D\sqrt{2gI_E D}} + \frac{\epsilon}{3.71D} \right) \frac{D^2 \pi}{2} \sqrt{2gI_E D} \quad (4.10)$$

За одређивање брзине у цевима које нису кружног профила потребно је у изразу (4.9) уносити четвороструку вредност кружног пречника, R , јер је код округлих цеви:

$$R = \frac{A}{O} = \frac{D^2 \pi / 4}{D \pi} = \frac{D}{4} \Rightarrow D = 4R \quad (4.11)$$

где су:

A - проточна површина, [m²],

K – оквашени омотач, [m],

тако да имамо:

$$v = -4 \log \left(\frac{0.314\nu}{R\sqrt{2gI_E R}} + \frac{\epsilon}{14.84R} \right) \sqrt{2gI_E R} \quad (4.12)$$

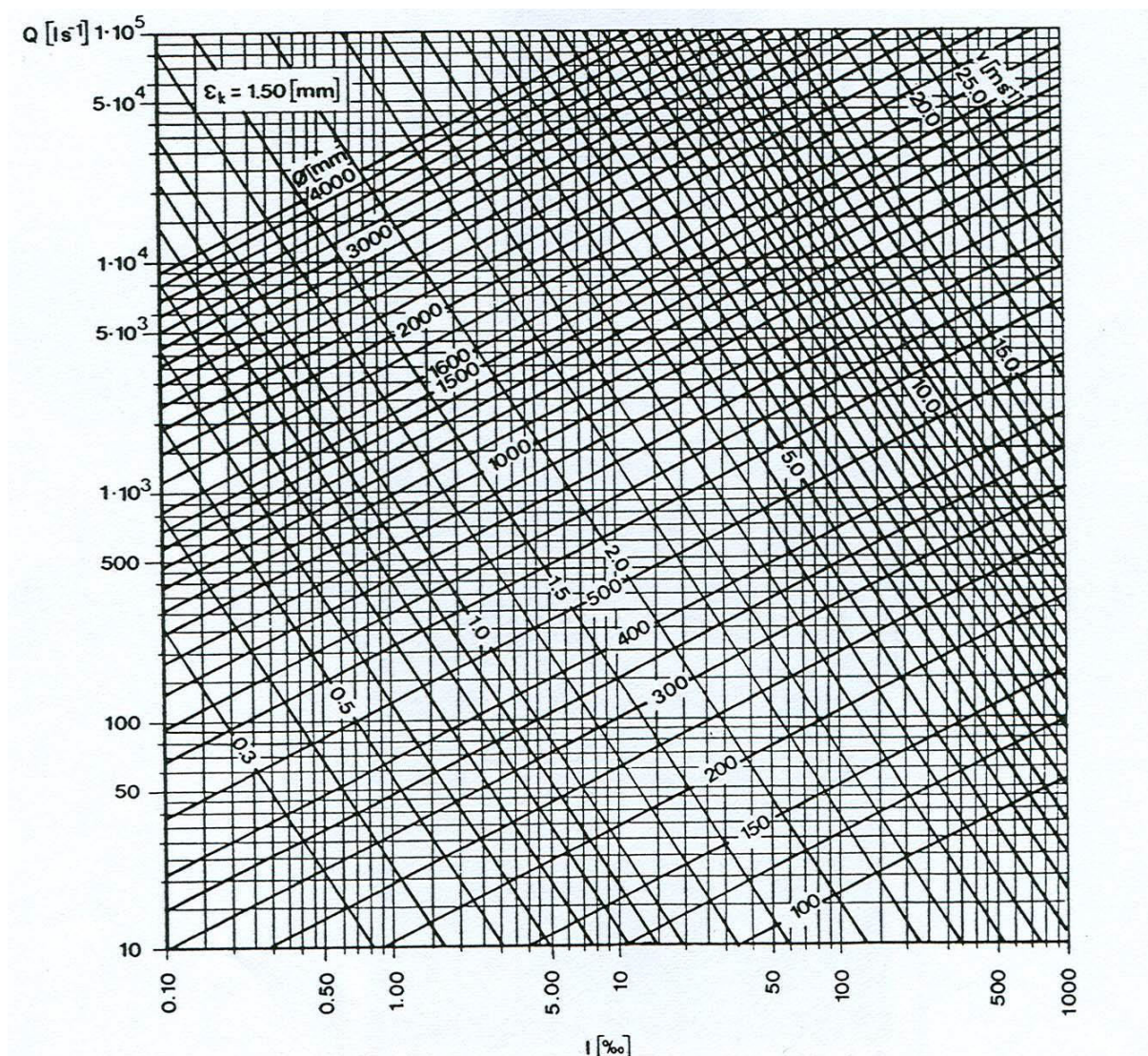
Проток се, наравно, опет одређује из једначине континуитета:

$$Q = vA \quad (4.13)$$

Да би се у пракси избегло учестало рачунање по претходним изразима и на тај начин олакшао хидраулички прорачун, постоје таблице које су изражене у функцији:

- (i) профила цеви, ϕ [mm],
- (ii) протока, K [l/s],
- (iii) брзине, v [m/s],
- (iv) хидрауличног градијента, $IE = I_o = I$ [-] и
- (v) апсолутне погонске храпавости, ϵ_k [mm], с вредношћу кинематичког коефицијента вискозности, $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, што одговара температури воде, $T = 10^\circ\text{C}$.

Пример једног таквог табеларног приказа хидрауличног параметара дат је у табели (4.5) за цеви округлог и јајоликог профила. Наравно, хидрауличке је параметре могуће приказати и у номограмског облику, (слика 4.15).



Слика 4.15. Номограм хидрауличких параметара потпуно испуњених канализационих цеви округлог облика профила према формули Colebrook – Whitea

Табела 4.5. Табеларни приказ хидрауличких параметара потпуно испуњених канализационих цеви округлог и јајоликог профила према формули Colebrook – Whitea

$\epsilon_k = 1.50 \text{ [mm]}$		$Q \text{ [l s}^{-1}\text{]}, v \text{ [m s}^{-1}\text{]}$							
$I \text{ [‰]}$									
1.95		2.00		2.05		2.10			
Q	v	Q	v	Q	v	Q	v		
									
2.3	0.29	2.3	0.29	2.3	0.30	2.4	0.30	100	
4.1	0.34	4.2	0.34	4.3	0.35	4.3	0.35	125	
6.8	0.38	6.8	0.39	6.9	0.39	7.0	0.40	150	
14.6	0.46	14.8	0.47	15.0	0.48	15.2	0.48	200	
26.5	0.54	26.8	0.55	27.1	0.55	27.5	0.56	250	
43.0	0.61	43.5	0.62	44.1	0.62	44.6	0.63	300	
64.7	0.67	65.6	0.68	66.4	0.69	67.2	0.70	350	
92.3	0.73	93.5	0.74	94.6	0.75	95.8	0.76	400	
126	0.79	128	0.80	129	0.81	131	0.82	450	
167	0.85	169	0.86	171	0.87	173	0.88	500	
270	0.95	273	0.97	277	0.98	280	0.99	600	
405	1.05	410	1.07	416	1.08	421	1.09	700	
576	1.15	584	1.16	591	1.18	598	1.19	800	
786	1.24	796	1.25	806	1.27	816	1.28	900	
1 037	1.32	1 050	1.34	1 064	1.35	1 076	1.37	1 000	
1 333	1.40	1 350	1.42	1 367	1.44	1 383	1.46	1 100	
1 675	1.48	1 697	1.50	1 718	1.52	1 739	1.54	1 200	
2 067	1.56	2 094	1.58	2 120	1.60	2 146	1.62	1 300	
2 511	1.63	2 543	1.65	2 575	1.67	2 606	1.69	1 400	
3 010	1.70	3 048	1.72	3 086	1.75	3 124	1.77	1 500	
3 565	1.77	3 611	1.80	3 656	1.82	3 700	1.84	1 600	
4 855	1.91	4 917	1.93	4 979	1.96	5 039	1.98	1 800	
6 399	2.04	6 481	2.06	6 562	2.09	6 641	2.11	2 000	
8 213	2.16	8 318	2.19	8 422	2.22	8 524	2.24	2 200	
10 314	2.28	10 446	2.31	10 576	2.34	10 705	2.37	2 400	
12 717	2.40	12 879	2.43	13 040	2.46	13 198	2.49	2 600	
15 437	2.51	15 634	2.54	15 829	2.57	16 021	2.60	2 800	
18 488	2.62	18 724	2.65	18 957	2.68	19 188	2.71	3 000	
									
268	0.93	271	0.94	275	0.96	278	0.97	500/750	
433	1.05	439	1.06	445	1.08	450	1.09	600/900	
651	1.16	659	1.17	667	1.19	676	1.20	700/1 050	
925	1.26	937	1.27	949	1.29	960	1.31	800/1 200	
1 261	1.36	1 278	1.37	1 293	1.39	1 309	1.41	900/1 350	
1 664	1.45	1 685	1.47	1 706	1.49	1 727	1.50	1 000/1 500	
2 686	1.62	2 721	1.65	2 755	1.67	2 788	1.69	1 200/1 800	
4 026	1.79	4 077	1.81	4 128	1.83	4 178	1.86	1 400/2 100	

Приметимо да су таблица и номограм направљени (између осталог) и у функцији тзв. апсолутне погонске храпавости. Наиме, као што је истакнуто, у пракси се показало да је почетна храпавост, коју произвођачи канализационих цеви анализирају и одређују у лабораторији на новим цевима (а у складу са том храпавошћу прилажу табели и номограм), потпуно неадекватна за хидраулички прорачун, јер занемарује монтажни карактер канализационе мреже и све њене претходно споменуте погонске особине. Зато је стварна погонска храпавост канализационих цеви веома већа од фабрички декларисане и утврђене лабораторијским испитивањима. Међутим, како су потребне димензије профила и функционисање пројектоване канализационе мреже, директно зависи од величине претпостављене храпавости (мања храпавост условљава већу пропусну моћ канала), код пројектаната је присутна тежња да се бира што мања храпавост. С тога је препоручљиво, пошто је стварну храпавост врло тешко одредити, за величину погонске храпавости одабрати средње вредности, добијене на основу

досада проведених мерења и искуства пројектаната. Сматра се да као најмања вредност апсолутне погонске храпавости за уобичајене случајеве канала у мрежи не би требало узимати храпавост мању од $\varepsilon_k = 0,4 \text{ mm}$. Као горња вредност препоручује се $\varepsilon_k = 1,5 \text{ mm}$, а изузетно $\varepsilon_k = 3,0 \text{ mm}$, ако се ради о старим и изразито храпавим каналима. Напоменимо такође да је за притисак црева уобичајено узимати, $\varepsilon_k = 00:25 - 0,1 \text{ mm}$, већ према материјалу израде водова и канала. Нагласимо да су се досадашња разматрања односила на одређивање хидрауличких параметара потпуно испуњених канала. Међутим, будући да канали најчешће нису испуњени до врха, потребно је располагати поступком за прорачун хидрауличких параметара (првенствено брзине и протока) у деломично испуњеним каналима.

У том се случају поменути хидраулички параметри рачунају према функцијама:

$$\frac{v_d}{v_p} = f_1 \left(\frac{h_d}{h_p} \right) \quad (4.14)$$

где су:

v_d – брзина воде код делимичног испуњења, [m/s],

v_p – брзина воде код потпуног испуњења, [m/s],

K_d – проток код делимичног испуњења, [m³/s],

K_p – проток код потпуног испуњења, [m³/s],

$H_d = h$ – дубина воде код делимичног испуњења, [m],

$H_p = (D = H)$ – дубина воде код потпуног испуњења, [m].

Као приближна апроксимација двеју последњих релација добију се изрази за брзину:

$$\frac{v_d}{v_p} = \frac{A_d}{A_p} \left(\frac{R_p}{R_d} \right)^{5/8} \quad (4.15)$$

и за проток:

$$\frac{Q_d}{Q_p} = \frac{A_d}{A_p} \left(\frac{R_p}{R_d} \right)^{5/8} \quad (4.16)$$

где су:

R_d - хидраулички радијус код делимичног испуњења, [m],

R_p - хидраулички радијус код потпуног испуњења, [m],

A_d - протјечајна површина код делимичног испуњења, [m²],

A_p - протјечајна површина код потпуног испуњења, [m²].

Иако су ови изрази изведени за цеви кружног облика, могу се са задовољавајућом тачношћу користити и за прорачун других облика профила. Пошто изрази (4.15 и 4.16) нису директно решиви, у пракси се користимо таблицама које су израђене у функцији облика профила цеви и односа K_d / K_p , h / D (или h / H), v_d / v_p , A / D^2 (или A / H^2), b / D (или b / H), R / D (или R / H) и O / D (или O / H), (табела 4.6)

Табела 4.6. Табеларни приказ хидрауличких параметара канализационих цеви кружног облика профила при делимичном испуњењу

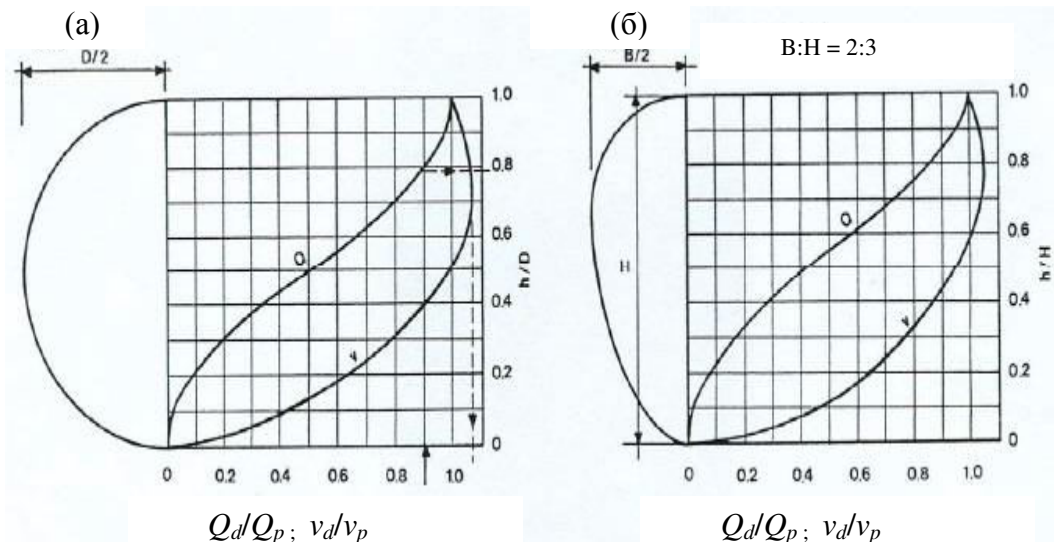
$\frac{Q_d}{Q_p}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{v_d}{v_p}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{Q}{D}$
0,001	0,023	0,17	0,00462	0,2998	0,0152	0,3045
0,002	0,032	0,21	0,00756	0,352	0,021	0,3507
0,003	0,038	0,24	0,00976	0,3824	0,0249	0,3924
0,004	0,046	0,26	0,01214	0,4102	0,0287	0,4227
0,005	0,049	0,28	0,01429	0,4317	0,0319	0,4454
0,006	0,053	0,29	0,01601	0,4481	0,0345	0,4646
0,007	0,057	0,3	0,01783	0,4637	0,037	0,4822
0,008	0,061	0,32	0,01932	0,4787	0,0395	0,4991
0,009	0,065	0,33	0,02166	0,4931	0,042	0,5156
0,01	0,068	0,34	0,02315	0,5005	0,0439	0,5276
0,011	0,071	0,35	0,02468	0,5136	0,0458	0,5394
0,012	0,074	0,36	0,02624	0,5235	0,0476	0,551
0,013	0,077	0,36	0,02782	0,5332	0,0495	0,5624
0,014	0,08	0,37	0,02944	0,5426	0,0513	0,5735
0,015	0,083	0,38	0,03108	0,5518	0,0532	0,5845
0,016	0,086	0,39	0,03273	0,5607	0,055	0,5953
0,017	0,088	0,39	0,03387	0,5666	0,0562	0,6024
0,018	0,091	0,4	0,03559	0,5752	0,0581	0,6129
0,019	0,093	0,41	0,03674	0,5809	0,0593	0,6198
0,02	0,095	0,41	0,03791	0,5864	0,0605	0,6266
0,022	0,1	0,42	0,04088	0,6	0,0635	0,6435
0,024	0,104	0,43	0,04339	0,6105	0,0659	0,6576
0,026	0,108	0,45	0,04576	0,6206	0,0683	0,6697
0,028	0,112	0,45	0,04826	0,6307	0,0707	0,6825
0,03	0,116	0,46	0,508	0,6404	0,0731	0,6951
0,032	0,12	0,47	0,05339	0,6499	0,0755	0,7075
0,034	0,123	0,48	0,05535	0,6509	0,0772	0,7167
0,036	0,127	0,49	0,05799	0,6699	0,0796	0,7288
0,038	0,13	0,5	0,6	0,6726	0,0813	0,7377
0,04	0,134	0,5	0,06271	0,6813	0,0827	0,7495
0,045	0,141	0,52	0,06753	0,696	0,0877	0,7699
0,05	0,149	0,54	0,07316	0,7122	0,0923	0,7926
0,055	0,156	0,55	0,7819	0,7257	0,0963	0,8121
0,06	0,163	0,57	0,08332	0,7387	0,1002	0,8312
0,065	0,17	0,58	0,08854	0,7513	0,1042	0,85
0,07	0,176	0,59	0,09307	0,761	0,1075	0,8658
0,075	0,182	0,6	0,09767	0,7717	0,1108	0,8815

0,08	0,188	0,61	0,10233	0,7814	0,1141	0,8969
0,085	0,194	0,62	0,10709	0,7909	0,1174	0,9122
0,09	0,2	0,63	0,11182	0,8	0,1206	0,9273
0,095	0,205	0,64	0,11584	0,8074	0,1233	0,9397
0,1	0,211	0,65	0,12071	0,816	0,1263	0,9545
0,105	0,216	0,66	0,12481	0,823	0,1291	0,9667
0,11	0,221	0,67	0,12894	0,8258	0,1317	0,9788
0,115	0,226	0,68	0,13311	0,8365	0,1343	0,9908
0,12	0,231	0,69	0,13791	0,8429	0,1369	1,0027
0,125	0,236	0,69	0,14154	0,8492	0,1395	1,0146
0,13	0,241	0,7	0,1458	0,8554	0,1421	1,0263
0,135	0,245	0,71	0,14923	0,8602	0,1441	1,0356
0,14	0,25	0,72	0,15355	0,866	0,1466	1,0472
0,145	0,255	0,72	0,15789	0,8717	0,1491	1,0587
0,15	0,259	0,73	0,16139	0,8762	0,1511	1,0679
0,155	0,263	0,74	0,1649	0,8805	0,1531	1,077
0,16	0,268	0,74	0,16932	0,8858	0,1556	1,0883
0,165	0,272	0,75	0,17287	0,89	0,1575	1,0973
0,17	0,276	0,76	0,17644	0,894	0,1595	1,1063
0,175	0,281	0,76	0,18092	0,899	0,1619	1,1174
0,18	0,285	0,77	0,18492	0,9028	0,1638	1,1263
0,19	0,293	0,78	0,19177	0,9103	0,1676	1,144
0,2	0,301	0,79	0,19909	0,9174	0,1714	1,1615
0,21	0,309	0,8	0,20645	0,9242	0,1751	1,1798
0,22	0,316	0,81	0,21294	0,9298	0,1784	1,1939
0,23	0,324	0,82	0,2204	0,936	0,182	1,2111
0,24	0,331	0,83	0,22697	0,9411	0,1851	1,226
0,25	0,338	0,84	0,23128	0,9467	0,1907	1,242
0,26	0,346	0,85	0,24117	0,9514	0,1918	1,2577
0,27	0,353	0,86	0,24785	0,9558	0,1948	1,2724
0,28	0,36	0,86	0,25433	0,96	0,1978	1,287
0,29	0,367	0,87	0,26128	0,964	0,2007	1,3016
0,3	0,374	0,88	0,26805	0,9677	0,2037	1,316
0,31	0,381	0,89	0,27683	0,9713	0,2066	1,3305
0,32	0,387	0,89	0,28067	0,9741	0,2069	1,3428
0,33	0,397	0,9	0,2875	0,9773	0,2118	1,3572
0,34	0,401	0,91	0,29435	0,9802	0,2146	1,3715
0,35	0,407	0,92	0,30024	0,9825	0,217	1,3807
0,36	0,414	0,92	0,30713	0,9851	0,2197	1,3979
0,37	0,42	0,93	0,31304	0,9871	0,223	1,4101
0,38	0,426	0,93	0,31897	0,989	0,2243	1,4223
0,39	0,433	0,94	0,3259	0,991	0,2269	1,4364
0,4	0,439	0,95	0,33145	0,9925	0,2291	1,4485

0,41	0,445	0,95	0,33781	0,9939	0,2313	1,4606
0,42	0,451	0,96	0,34378	0,9952	0,2334	1,4726
0,43	0,458	0,96	0,35075	0,9965	0,2359	1,4867
0,44	0,464	0,97	0,35673	0,9974	0,238	1,4987
0,45	0,47	0,97	0,36272	0,9982	0,2401	1,5108
0,46	0,476	0,98	0,36871	0,9988	0,242	1,5228
0,47	0,483	0,99	0,37436	0,9994	0,2441	1,5348
0,48	0,488	0,99	0,3807	0,9997	0,2461	1,5468
0,49	0,494	1	0,3867	0,9999	0,2481	1,5583
0,5	0,5	1	0,3927	1	0,25	1,5708
0,51	0,506	1	0,3987	0,9999	0,2529	1,5828
0,52	0,512	1,01	0,4047	0,9997	0,2538	1,8948
0,53	0,519	1,01	0,41169	0,9989	0,2559	1,6055
0,54	0,525	1,02	0,41769	0,9987	0,2577	1,6208
0,55	0,531	1,02	0,42368	0,9981	0,2595	1,6328
0,56	0,537	1,02	0,42967	0,9978	0,2612	1,6449
0,57	0,543	1,03	0,43565	0,9963	0,2629	1,6569
0,58	0,55	1,03	0,44262	0,995	0,2649	1,671
0,59	0,556	1,03	0,44858	0,9937	0,2665	1,683
0,6	0,562	1,04	0,45454	0,9929	0,2681	1,6951
0,61	0,568	1,04	0,46049	0,9907	0,2697	1,7072
0,62	0,575	1,04	0,46742	0,9887	0,2715	1,7214
0,63	0,581	1,05	0,47534	0,9868	0,2731	1,7335
0,64	0,587	1,05	0,47926	0,9847	0,2745	1,7457
0,65	0,594	1,05	0,48614	0,9822	0,2762	1,7599
0,66	0,6	1,05	0,49203	0,9798	0,2776	1,7722
0,67	0,607	1,06	0,49888	0,9765	0,2793	1,7865
0,68	0,613	1,06	0,50473	0,9741	0,2806	1,7988
0,69	0,62	1,06	0,51154	0,9708	0,2821	1,8135
0,7	0,626	1,06	0,51733	0,9673	0,2834	1,8255
0,71	0,633	1,06	0,57411	0,964	0,2848	1,84
0,72	0,64	1,07	0,53085	0,96	0,2862	1,8546
0,73	0,646	1,07	0,5366	0,9564	0,2874	1,8671
0,74	0,653	1,07	0,54328	0,952	0,2887	1,8818
0,75	0,66	1,07	0,54992	0,9474	0,29	1,8965
0,76	0,663	1,07	0,55454	0,9426	0,2912	1,9113
0,77	0,675	1,07	0,56406	0,9367	0,2925	1,9284
0,78	0,682	1,07	0,5746	0,9314	0,2936	1,9434
0,79	0,689	1,07	0,5771	0,9258	0,2947	1,9584
0,8	0,693	1,07	0,58448	0,9191	0,2958	1,9758
0,805	0,701	1,08	0,58115	0,9156	0,2964	1,9845
0,81	0,705	1,08	0,5918	0,9121	0,2969	1,9933
0,815	0,709	1,08	0,59544	0,9084	0,2974	2,002

0,82	0,713	1,08	0,59907	0,9047	0,2979	2,0109
0,825	0,717	1,08	0,60268	0,9009	0,2984	2,0197
0,83	0,723	1,08	0,60628	0,897	0,2989	2,0286
0,835	0,725	1,08	0,60986	0,893	0,2993	2,0376
0,84	0,729	1,09	0,61342	0,88	0,2997	2,463
0,845	0,734	1,09	0,61785	0,8837	0,3002	2,0578
0,85	0,738	1,09	0,62138	0,8794	0,3006	2,0669
0,855	0,743	1,09	0,62489	0,8751	0,301	2,076
0,86	0,747	1,09	0,62925	0,8695	0,3014	2,875
0,865	0,751	10,9	0,63272	0,8649	0,3018	0,20967
0,87	0,756	1,09	0,63703	0,859	0,3022	2,1089
0,875	0,761	1,09	0,64131	0,8529	0,3025	2,12
0,88	0,766	1,09	0,64556	0,8467	0,3028	2,1318
0,885	0,77	1,09	0,64893	0,8417	0,3031	2,1412
0,89	0,775	1,07	0,65315	0,8352	0,3033	2,1532
0,895	0,781	1,07	0,65811	0,8271	0,3036	2,1676
0,9	0,786	1,07	0,66223	0,8203	0,3038	2,1797
0,905	0,791	1,07	0,66631	0,8132	0,304	2,192
0,91	0,797	1,07	0,37117	0,8045	0,3041	2,2068
0,915	0,803	1,06	0,67597	0,7955	0,3042	2,2218
0,92	0,808	1,06	0,67993	0,7877	0,3043	2,2345
0,925	0,814	1,06	0,68162	0,7782	0,3043	2,2498
0,93	0,821	1,06	0,69003	0,7667	0,3043	2,2679
0,935	0,827	1,06	0,6946	0,7565	0,3042	2,2837
0,94	0,834	1,05	0,69985	0,7442	0,304	2,3023
0,945	0,841	1,05	0,70502	0,7314	0,3037	2,3213
0,95	0,848	1,05	0,71081	0,7161	0,3033	2,3434
0,955	0,856	1,05	0,71577	0,7022	0,3029	2,3631
0,96	0,865	1,04	0,72201	0,6834	0,3022	2,3891
0,965	0,874	1,04	0,72807	0,6697	0,3014	2,4158
0,97	0,883	1,04	0,73393	0,9428	0,3004	2,4434
0,975	0,894	1,03	0,74088	0,6157	0,2989	2,4784
0,98	0,905	1,03	0,74749	0,5864	0,2972	2,5189
0,985	0,919	1,02	0,75542	0,5457	0,2946	2,5644
0,99	0,935	1,02	0,76374	0,4931	0,2938	2,626
0,995	0,956	1,01	0,77326	0,4102	0,2844	2,7189
1	1	1	0,7854	0	0,25	3,1416

Однос поменутих параметара могуће је приказати и графички, што је за округли и јајолики облик профила цеви приказано на слици 4.16.



Слика 4.16. Параметри канализационих цеви за буџет делимично испуњених профила
(а) округли облик; (б) јајолики облик

Дијаграми Q_d / Q_p и v_d / v_p у зависности од h / H за друге облике профила канала имају начелно исти облик. На крају истакнимо да се резултати хидрауличног прорачуна канализационе мреже према Чезијевој формули с Маннинговим коефицијентом храпавости те применом *Darcy – Weisbachove* и *Colebrook – Whiteove* формуле приближно поклапају ако се у првом случају одабере, $n = 0,013-0,014 \text{ s/m}^3$, а у другом случају, $\varepsilon_k = 1,5 \text{ mm}$. Исто тако, локални хидраулички губици у канализационој мрежи се не рачунају, будући да су укључени у погонску храпавост.

(II) Хидраулички прорачун течења под притиском односи се на буџет течења у делу канализационе мреже где влада притисни режим, што је нпр. случај за потисне цевоводе пумпних станица код комбинованих система одвођења. Тада се хидраулички прорачун своди на буџет струјања под притиском према поступку изведеном у раду „Водоснабдевање“ (тачка 5.1). У оквиру овог хидрауличног буџета начелно се спроводи и анализа водног удара код пумпних станица, о чему су уводне информације такође дате у раду „Водоснабдевање“ (тачка 5.1).

4.7. Приказивање канализационе мреже у пројекту

Канализациона мрежа се у пројекту, као и водоводна мрежа, приказује:

- (1) ситуацијским плановима,
- (2) уздужним профилима канала или колектора,
- (3) карактеристичним нормалним пресецима канала или колектора (за главне и извођачке пројекте).

(1) Ситуациони план канализационе мреже црта се на котираном ситуацијском плану подручја одвођења. У њега се уносе:

- (а) граница подручја одвођења,
- (б) трасе канала или колектора са ознаком смера одвођења и потисних цевовода,

- (в) припадне (планиметрирањем или аналитички израчунате) сливне површине у [ha] с коефицијентима отицања (код мешовите и атмосферске канализације) за сваки канал или колектор,
- (г) ознаке и бројеве појединих група грађевина (сталних тачака) канализационе мреже (нпр. ревизијских окана - RO 1, RO 2, ..., пумпних станица - CS 1, CS 2, ...),
- (д) посебни објекти на мрежи (нпр. прелази испод река и железничких пруга, заштита канала и сл.),
- (ђ) димензије профила и врсте цеви за сваку деоницу између објеката (нпр. ревизијских окана, прекидних окана и сл.),
- (е) стационажа,
- (ж) локација уређаја за пречишћавање отпадних вода,
- (з) траса испуста и локација испуштања пречишћене воде у пријемник.

Ситуацијски план се обично црта на картама мерила 1: 2500-1: 5 000 за студије и идејне пројекте, а 1: 500-1: 1000 за главне и извођачке пројекте.

(2) Уздужни профили се цртају за сваки канал или колектор и потисни цевовод на посебно снимљеним уздужним профилима по траси уградње цеви. У њима треба бити учртано и уписано:

- (а) ознака и бројеви свих објеката (сталних тачака) канализационе мреже из ситуацијског плана,
- (б) димензије профила и врсте цеви по деоницама из ситуацијског плана,
- (в) падови дна канала у [%] и дужине деоница за те падове у [m],
- (г) раскрснице улица које се укрштају са улицом чији се профил црта и висински положај канала у бочним улицама,
- (д) коте дна канала (нивелете) у [m n. m.], на преломима дна канала,
- (ђ) коте терена у [m n. m.], на преломима терена,
- (е) коте дна рова у [m n. m.], на преломима дна канала,
- (ж) дубине ископа у [m], на преломима дна рова,
- (з) размак профила у [m], на преломима (г) до (е),
- (и) стационажа.

Уколико се ради о потпуно раздјељеном и полураздјељеном систему одвођења, тада се код цртања уздужних профила канализационих мрежа приказују међусобни висински положаји обе мреже. Код цртања уздужних профила обично се узима исто мерило за дужине у којем је израђен и ситуациони план, а за висине се најчешће бира мерило 1: 100.

(3) Карактеристични нормални пресеци обично се цртају у размери 1: 5 до 1:50 (1: 100), зависно од димензија профила и дубини ископа. У њих се уноси:

- (а) геометрија рова (ширина, дубина и нагиб зидова),
- (б) димензија и врста цеви, односно канала,
- (в) димензије и структура постељице, засипа до 30 cm изнад темена цеви, односно канала (или њихове заштите) и надслоја.

5. Грађевинске канализационе мреже

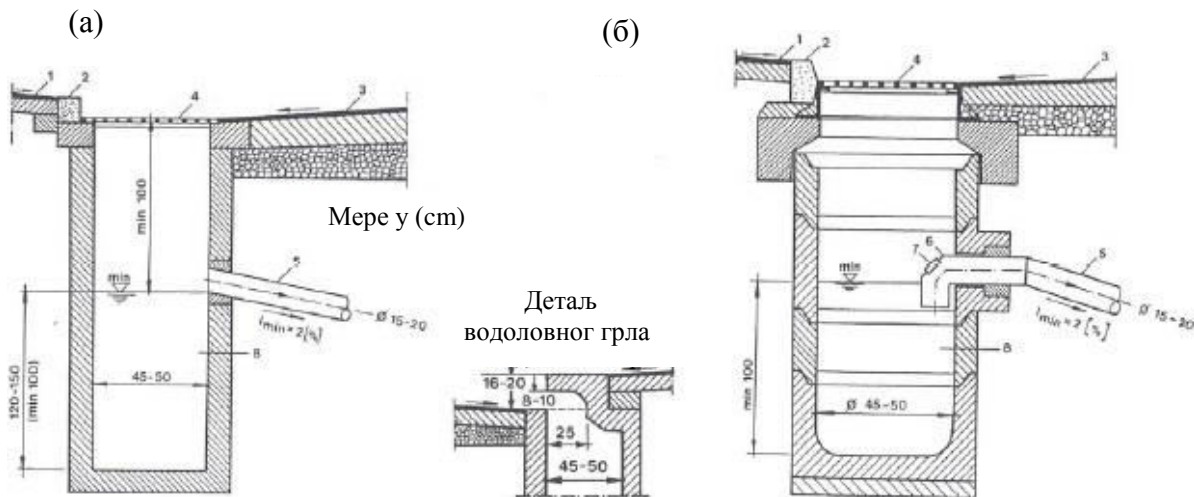
Грађевинске канализационе мреже су елемент система одвођења којима се омогућава исправно функционисање, управљање и одржавање мреже. На канализационој мрежи најчешће сусрећемо следеће грађевине:

- (1) сливнике,
- (2) улазна (ревизиона) окна,
- (3) прикључне грађевине,
- (4) прекидна окна,
- (5) резервоаре за атмосферску воду (Ретенцијске базене),
- (6) пумпне станице,
- (7) преливне или растеретне грађевине (кишне преливе),
- (8) грађевине за убацивање снега,
- (9) вучење.

О преливним грађевинама је већ било говора у тачки (2), а у наставку ће се још описати првих шест грађевина.

5.1. Сливници

Сливници су грађевине које служе за прихватање атмосферских вода које отичу тереном и за њихово испуштање у канале или колекторе. Изводе се уз сам руб површине са које се одводи кишна вода (саобраћајнице, тротоари) или на средини (паркиралишта, тргова). Испуштање воде из сливника у канал спроводи се директно или посредством мањих базена - таложника. Директно испуштање се користи када су атмосферске воде релативно чисте (без песка и других суспензија које се могу таложити у каналу). У супротном се изводе сливници са мањим таложница који служе за скупљање суспензија. На слици 5.1 приказани су вертикални пресеци сливника са таложником. У улазном делу, који служи за хватање атмосферских вода, уграђује се решетка или се у ивичњаку изводи бочни отвор - водоловно грло. Решетка се поставља ако се са дотоком атмосферске воде очекују знатне количине загађења (папира, лишћа, крпа, крутих отпадака), док се водоловна грла користе ако се ради о релативно чистијим водама. Димензије решетки и водоловних грла са слике 5.1 нису само у функцији прихватања атмосферских вода, него и потребе за доступност таложнику ради чишћења, које се обично обавља специјалним цистернама.

**Слика 5.1. Сливници**

(а) монолитни са директним прикључком; (б) монтажни са сифонским прикључком
 1 - тротоар; 2 - ивичњак; 3 - коловоз; 4 - решетка; 5 - прикључак на колектор (нпр. бетонском или пластичном цеви); 6 - титранта; 7 - отвор са поклопцем; 8 - таложник

Прикључак може бити изведен са директним, (слика 5.1(а)), или сифонским, (слика 5.1(б)), испуштањем атмосферских вода у колектор. Затезање се примењују код мешовитих система одвођења ради спречавања излаза непријатних мириса из канализационих колектора, што је пожељно на местима где се задржавају људи (тргови, плочници). Међутим, да би титранта функционисала, у таложнику увек треба имати воде, што значи да је у сушном периоду потребно редовно прати површине са којих се атмосферске воде хватају овом врстом сливника. У свим случајевима натеге треба избегавати, јер спречавају проветравање канала. Осим тога, често се зачепљују и тешко одржавају, због чега морају бити изведене са отворима за ревизију. Сливници се изводе:

(I) на лицу места (монолитно), од бетона, (слика 5.1(а)),

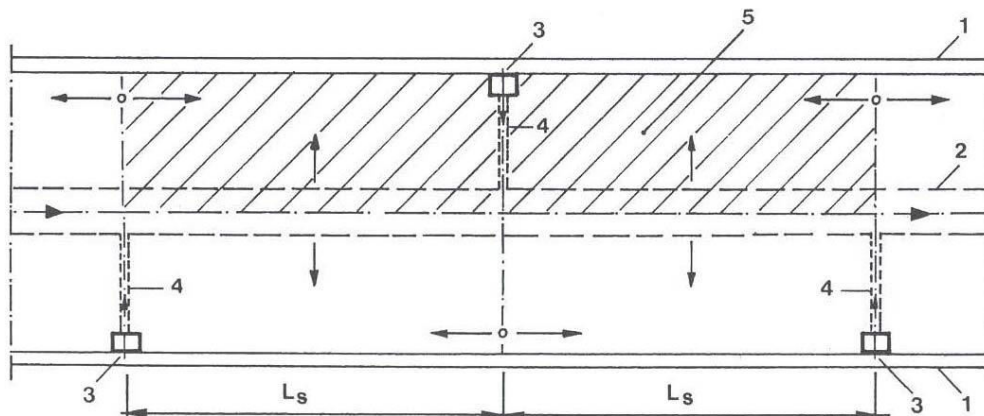
(II) монтажно, најчешће од бетонских и пластичних прстенова, слика 5.1(б)).

Основни облик сливника је кружни или квадратни, с карактеристичном основном димензијом 0,45 - 0,50 m. Функционално димензионисање сливника се не спроводи појединачно, већ се оно састоји у размештању ових грађевина у складу са њиховим појединачним капацитетима. Капацитет зависи од величине улазног отвора и особинама тока атмосферске воде према сливнику. Будући да не постоји теоријски поуздан начин функционалног димензионисања сливника, њихово се димензионисање (првенствено међусобни размак и величина припадне сливне површине) проводи у складу са искуствима и препорукама. Тако нпр. Енглеске препоруке за величину припадне сливне површине са које атмосферске воде дотичу у сливник, третирају се зависно од пада саобраћајнице, (табела 5.1).

Табела 5.1. Припадна сливна површина једном сливнику.

Пад саобраћајнице [%]	Припадна сливна површина [m ²]
0,50	160
1,00	167
1,25	180
1,67	200
2,50	240
3,30	275
5,00	330

У складу са овим величинама сливних површина, на саобраћајницама је уобичајен међусобни размак сливника, $L_s = 30$ (за површине са већим нагибима) до 80 (100) m (за површине са мањим нагибом). Под размаком сливника подразумевамо растојање сливника с једне стране пута и најближег с друге стране цесте (слика 5.2).

**Слика 5.2.** Ситуацијска шема међусобног размака сливника

1 - ивичњак; 2 - канал или колектор; 3 - сливник; 4 - прикључак; 5 - припадна сливна површина једном сливнику

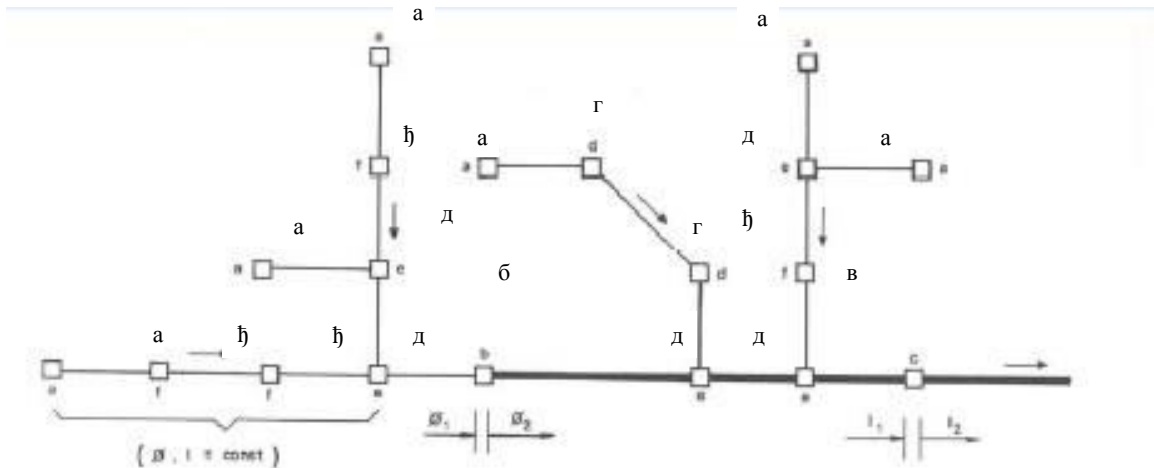
У случају одвођења великих површина (паркиралишта, тргови, аеродроми) изводе се линијски хватачи атмосферских вода, било у облику непрекидних решетки или водоловних грла. Ова решења примењују се зато што због малих падова оваквих површина и немогућности њиховог профилисања на тачкаста места сакупљања (сливника) не постоји други начин ефикасног хватања знатних количина атмосферских вода. Прикључак линијских хватача на канале или колекторе, а по потреби и израде таложника и натеча, проводи се на исти начин као и код сливника.

5.2. Улазна окна

Улазна окна су грађевине које служе за приступ каналима са површине терена ради прегледа, чишћења и поправки канала. Додатни задатак ових грађевина је да омогући технички исправно прикључење и скретање канала, промену њиховог уздужног пада и профила. У складу са овим, улазна окна се постављају:

(а) на почетку сваког канала (а, слика 5.3),

- (б) на местима промене профила канала (б, слика 5.3),
- (в) код промене уздужног пада канала (в, слика 5.3),
- (г) на местима скретања канала (г, слика 5.3),
- (д) на местима прикључака канала до профила, $\phi = 600 \text{ mm}$, (д, слика 5.3),
- (ђ) на каналима у правцу, због одржавања и ревизије, (ђ, слика 5.3).

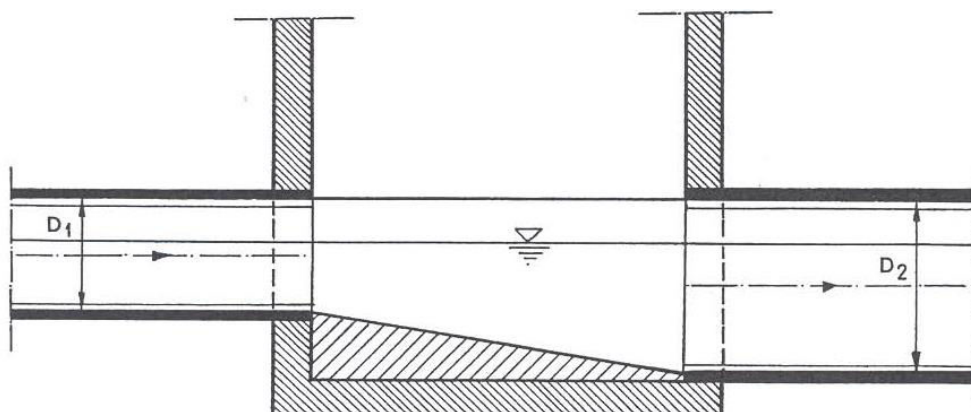


Слика 5.3. Распоред улазних окна на каналској мрежи

Канализациона мрежа се између два улазна окна изводи у правцу са истим параметрима канала. Код канала који су у правцу, улазна окна треба предвидети на максималном размаку од:

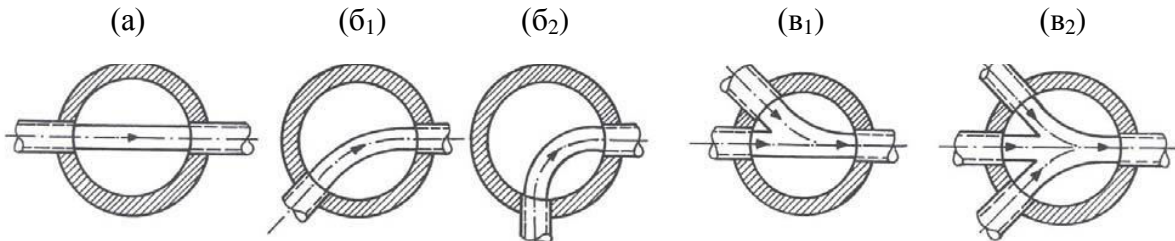
- (i) $L_{max} = 50 \text{ m}$, за профиле, $250 \text{ mm} \leq \phi \leq 600 \text{ mm}$,
- (ii) $L_{max} = 75 \text{ m}$, за профиле, $700 \text{ mm} \leq \phi < 1400 \text{ mm}$,
- (iii) $L_{max} = 150 \text{ m}$, за профиле, $\phi \geq 1400 \text{ mm}$.

Ови размаци су последица услова одржавања, будући да је одржавање канализационе мреже знатно отежано код непроходних канала (малих профила), а лакше код проходних канала. Прикључке канала који се изводе у улазним окнима треба спровести тако да се не ствара успоровање у мрежи. Зато се канали прикључују висински у нивоу водног лица, или низводне нивоа морају бити ниже од узводних. У пракси се то обично изводи на тај начин да се канали висински постављају тако да су им темена на истој висини, слика (5.4), или да су код низводних нижа.



Слика 5.4. Принцип висинског положаја канала у улазном окну

Основна решења, а тиме и облици хоризонталног пресека ревизијских окна, зависе од њихових функција (прикључење канала, промена уздужног пада, промена смера), материјала израде, величини профила, пракси и типизацији коју готово свака комунална организација спроводи на свом подручју. На слици (5.5) приказане су три варијанте улазног окна округлог основа у односу на смерове и број канала.

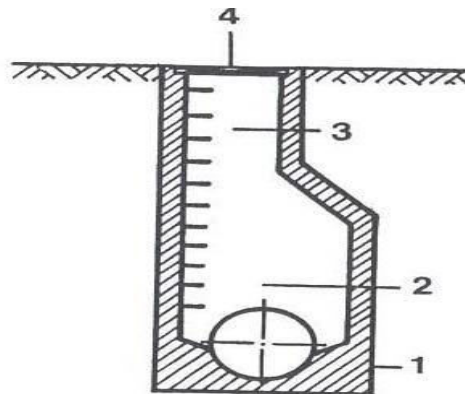


Слика 5.5. Основна решења округлог улазног окна

(а) оклоп на каналу у правцу; (б) оклоп на скретању канала; (в) оклоп на прикључењу канала

Уз приказани округли основни облик, улазна окна се могу извести и полигоналног (квадратног, правоугаоног или трапезног) облика. Независно од основног облика окна, радијус кривине канала се не препоручује да буде мањи од троструке вредности пречника канала, а максимално скретање које се у канализацији примењује не сме бити мање од 90° , (слика 5.5(б2)). Свако растуће окно, (слика 5.6), састоји се од:

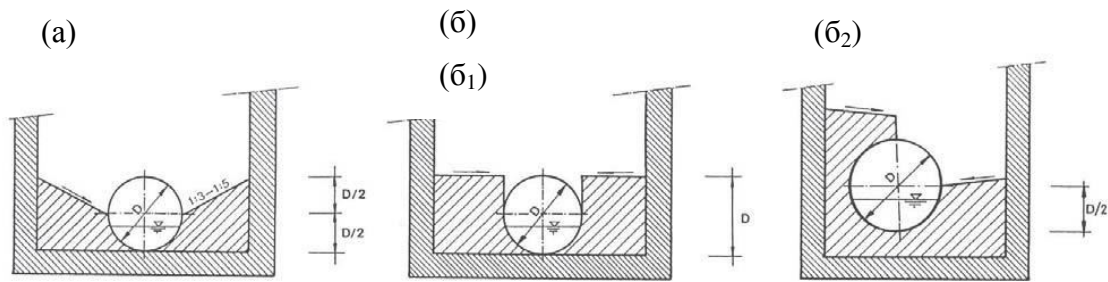
- (1) дно с кинетом,
- (2) радног простора (радне коморе),
- (3) грла или врата окна,
- (4) отвора са поклопцем.



Слика 5.6. Делови улазног окна

1 - дно с кинетом; 2 - радни простор; 3 - силазни простор; 4 - улазни простор са поклопцем

(1) Кинета се обликује на дно окна ради протицања воде кроз окно у предвиђеном смеру. Висина кинете се претежно узима пола пречника канала, с тим да се бокови кинете према вертикалној страници окна изводе у нагибу 1: 3-1: 5 до пуне висине профила, (слика 5.7(а)). Код већих брзина ($v > 2,5 \text{ m/s}$) кинете у кривини се могу једнострано или двострано подигнути до пуне висине профила, (слика 5.7(б)). Подизање кинете се изводи ради спречавања отицања ван кинете.

**Слика 5.7. Кинете**

(а) пола висине профила; (б) пуне висине профила;
(б1) двострано подигнута; (б2) једнострано подигнута

(2) Радни простор служи за све манипулације радника код одржавања и чишћења канала. Зато овај простор (радна висина) мора бити толики (обично најмање 1,8 m) да омогућава употребу потребног алата за несметано обављање свих радова. Основне димензије радне коморе произилазе из радних услова и димензија прикључних канала или колектора. Као најмања карактеристична основна димензија радног простора код ревизијских окна за канале до профила, $\phi = 600 \text{ mm}$, узима се (0,6) - 1,0 m.

(3) Грло окна служи за силажење и излажење радника у / из радног простора. Зато карактеристична основна димензија грла окна износи барем 0,6 m, а код дужих силазних простора (преко 1 m) најмање 0,8 m.

(4) Улазни отвор је снабдевен ливено гвозденим поклопцем, лаке (мање носивости) или тешке (већа носивост) верзије. Тешка верзија се користи на саобраћајним површинама.

Поред наведених делова у улазном окну се за силазак и излазак радника уграђују (ливено гвоздене) мердевине, с којима се код дубљих окна ($> 3,0 \text{ m}$) поставља заштитна ограда. С обзиром на начин израде улазних окна, могућа је подела на:

- (i) монолитна окна, изведена на лицу места,
- (ii) монтажна окна, изведена од готових елемената,
- (iii) полумонтажна окна, изведена као комбинација прва два случаја.

(i) Монолитна окна се могу изводити:

- (1) од бетона и армираног бетона, (слика 5.8),
- (2) зидањем бетонских блокова, опеке и камена. Савремена пракса преферира израду бетонских и армирано бетонских улазних окна.

(ii) Монтажна окна, у односу на материјал израде, могу бити:

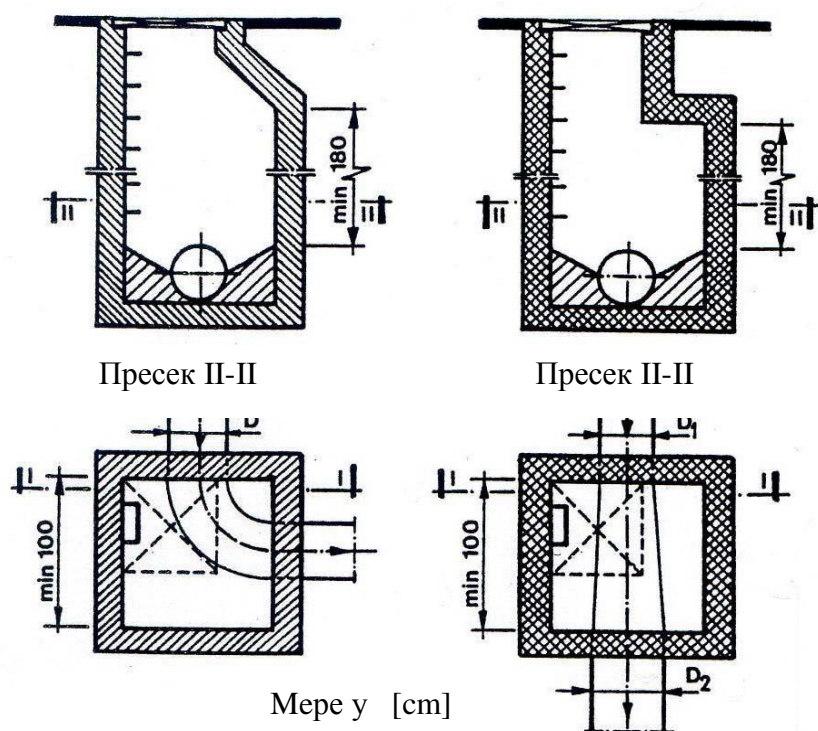
- (1) бетонска и армирано бетонска, (слика 5.9(а)),
- (2) азбест цементне, (слика 5.9(б)),
- (3) пластична (полипропиленска, полиетиленска, полиестарска), (слика 5.10).

Састоје се од дна (базе) са кинетом, тела (формираног од цеви или прстенова), врата (грла) и поклопца. Код пластичних окна изводи се и армирано бетонски дистрибутивни прстен који има функцију преноса спољног (саобраћајног) оптерећења на околно тло (а не на окно као код бетонских и армирано бетонских окана). Азбест цементна окна се данас више не производе (постоје само на изведеним канализационим мрежама). Примена пластичних окана је новијег датума, нарочито у случајевима високих

подземних вода (због водонепропусности) и агресивних отпадних вода (због отпорности на агресивно деловање отпадних вода).

(a) Пресек I-I

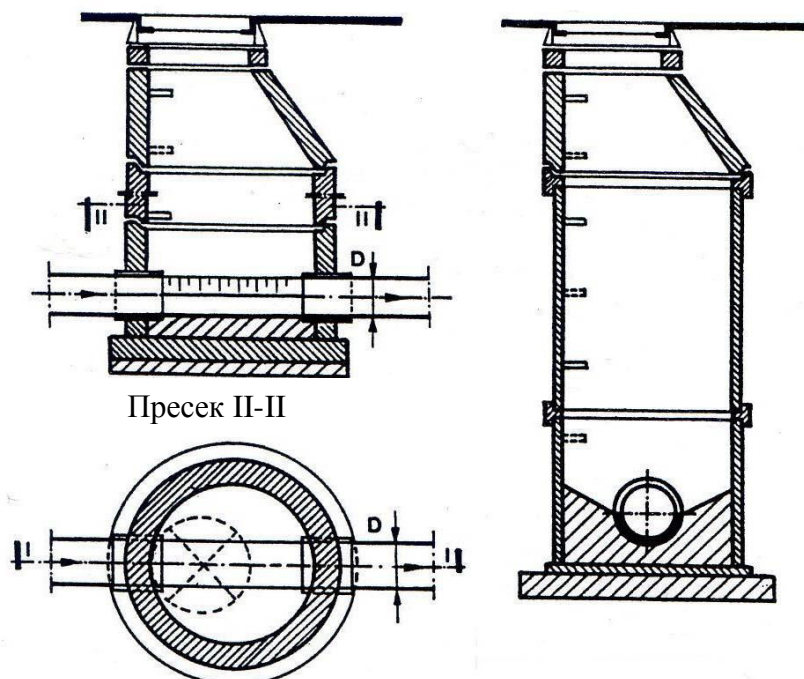
(б) Пресек I-I



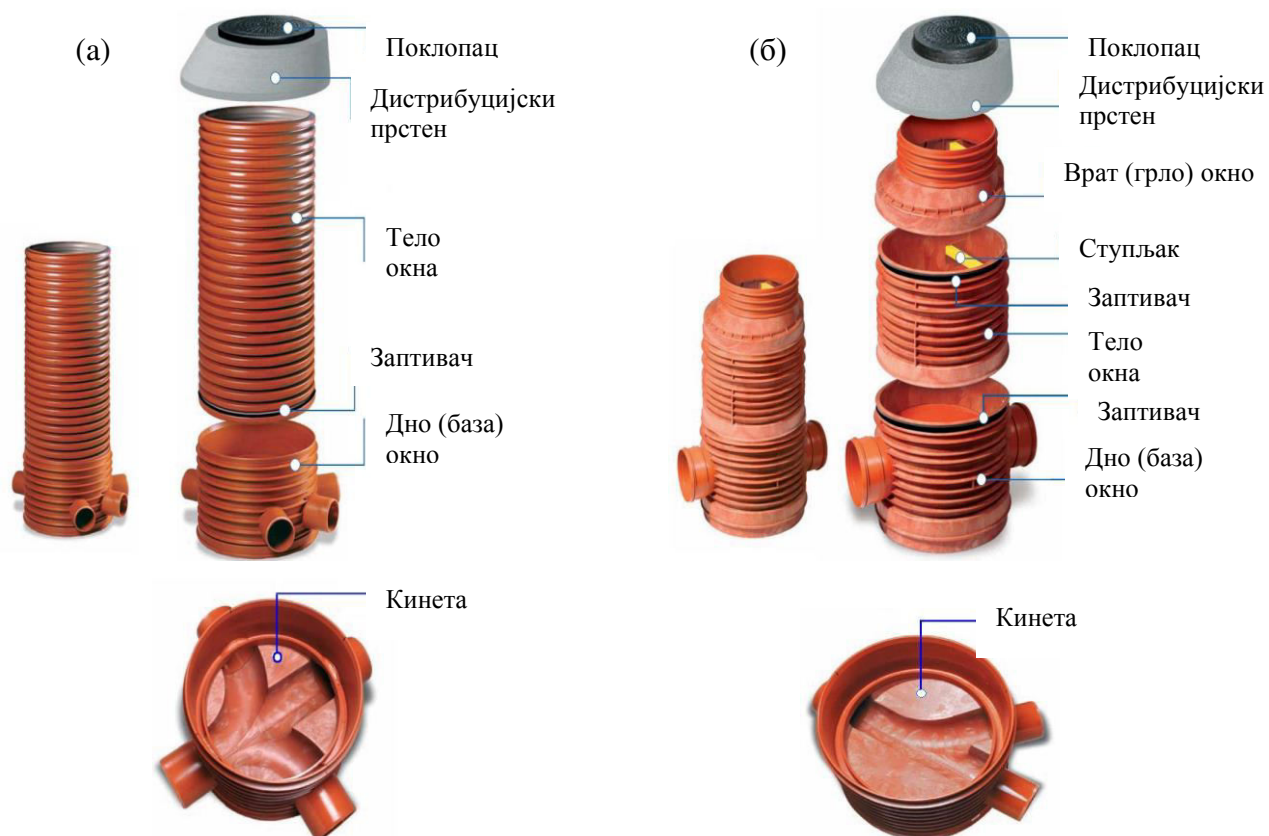
Слика 5.8. Монолитна улазна окна
(a) бетонско окно; (б) армирано бетонско окно

(b) Пресек I-I

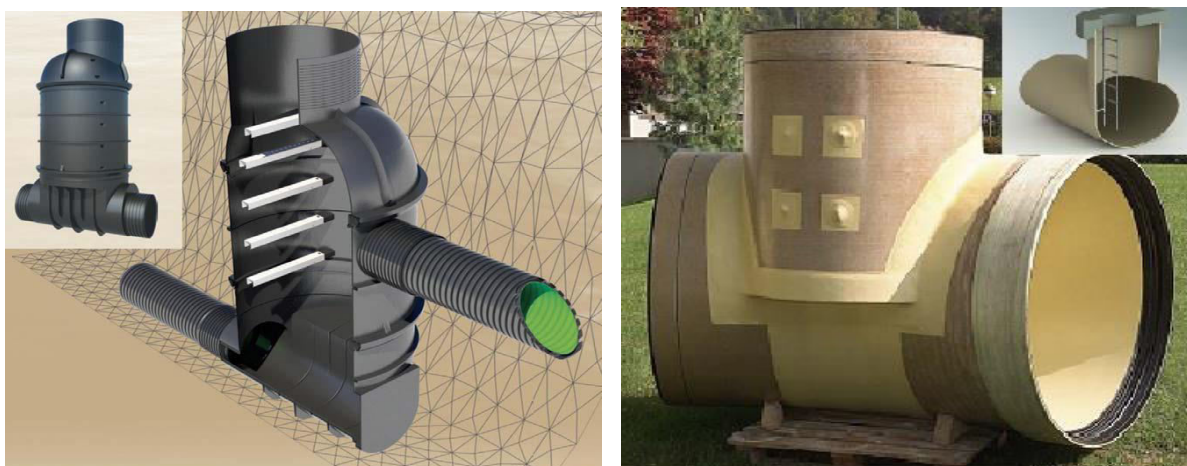
(б)



Слика 5.9. Монтажна улазна окна
(a) бетонско или армирано бетонске окно; (б) азбест цементно окна



Слика 5.10. Монтажна пластична (полипропиленска) улазна окна
(а) ϕ 600 mm; (б) ϕ 800 и 1000 mm



Слика 5.10. Монтажна пластична улазна окна (наставка)
(а) полиетиленско окно; (б) полиестер окно

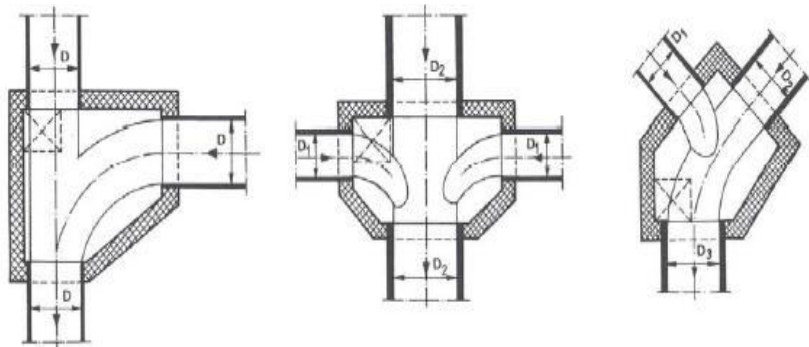
(iii) полумонтажна окна се најчешће изводе као комбинација доњег (прикључног) монолитног дела, монтажног радног и силазног дела окна.

5.3. Прикључне грађевине

Као што је у претходној тачки истакнуто, прикључење канала до профила, $\phi = 600 \text{ mm}$, изводи се у оквиру ревизијских окана. Профили, $\phi > 600 \text{ mm}$, спајају се у оквиру монолитних армирано бетонских прикључних грађевина. Основна правила код извођења ових грађевина, (слика 5.11), јесу:

- (1) прикључак се изводи тангенцијално,
- (2) прикључак се изводи у нивоу водног лица,
- (3) прикључак мора бити под углом мањим од 90° ,
- (4) најмањи радијус закривљености прикључних канала мора бити једнак петерострукој вредности унутрашњег пречника канала.

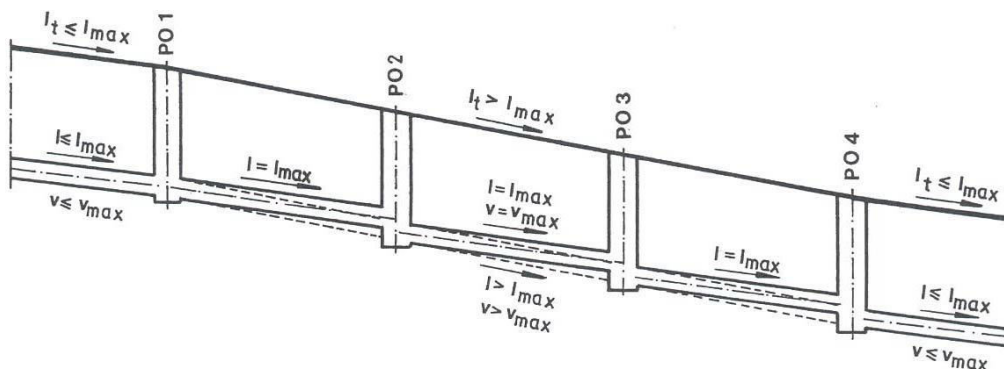
Друго правило је условљено потребом елиминисања враћања воде у узводним каналима. Зато брзина у излазном каналу мора бити једнака или већа од брзине у прикључним каналима. Ако се то не може осигурати, изводи се висинска дислокација канала која осигурава да доња вода не утиче на узводне услове течења. Унутар прикључних грађевина изводи се бетонска кинета како би се постигло тражено усмеравање протока. Такође се изводе и улазна окна којима се може извршити ревизија грађевине и канала.



Слика 5.11. Примери основних решења прикључних грађевина

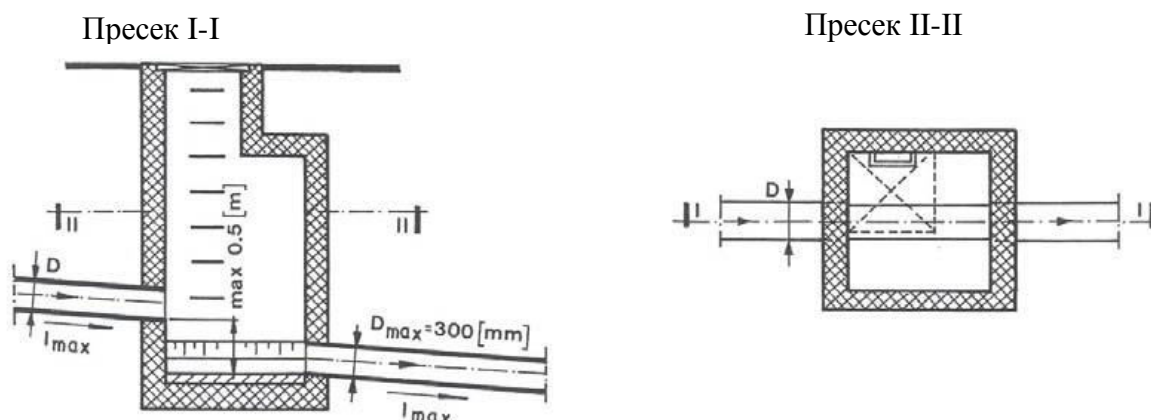
5.4. Прекидна окна

Тастер окна су грађевине које се изводе ради успостављања уздужног пада канала при коме се, с обзиром на врсту канала, брзине се ограничавају на максимално дозвољене вредности, (слика 5.12).



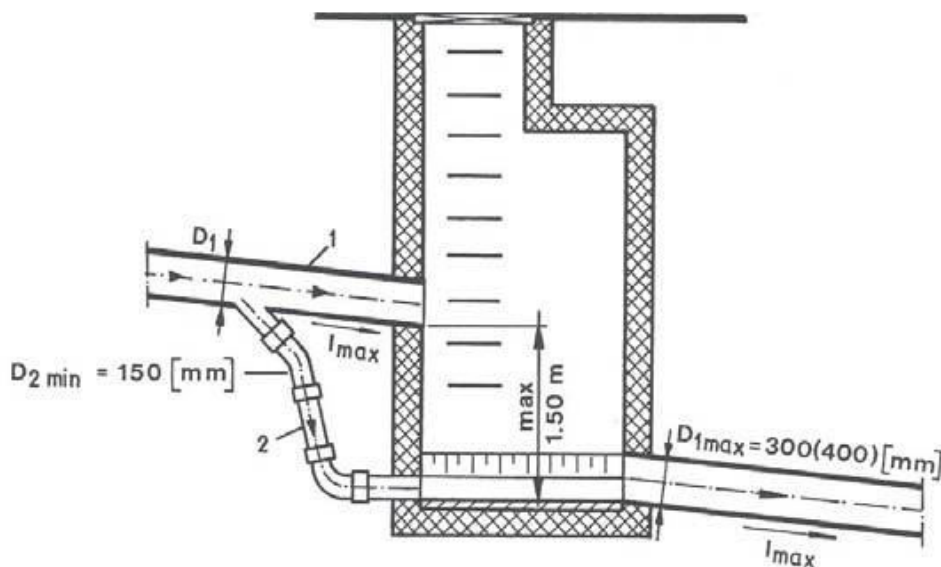
Слика 5.12. Шема положаја прекидних окана, РО, на каналу
 I_t - пад терена; I - пад канала

Обично се изводе као монолитне (бетонске) армирано бетонске грађевине. Решење прекидних окана првенствено зависе од профила канала (протока) и прекидној висини. Код профила до 300 mm и прекидне висине до 0,5 m, прекид се изводи у улазном окну, (слика 5.13).



Слика 5.13. Прекидно (растуће) окно за мање профиле и мање прекидне висине

Овакво решење је прихватљиво само у случају мањих дотока и прекидних висина код којих с обзиром на енергију водног млаза не долази до оштећења (дна) окна. Код профила до 300 - 400 mm и веће прекидне висине ($> 0.5 m$, највише 1,5 m), додатно се изводи обилазни канал, (слика 5.14).

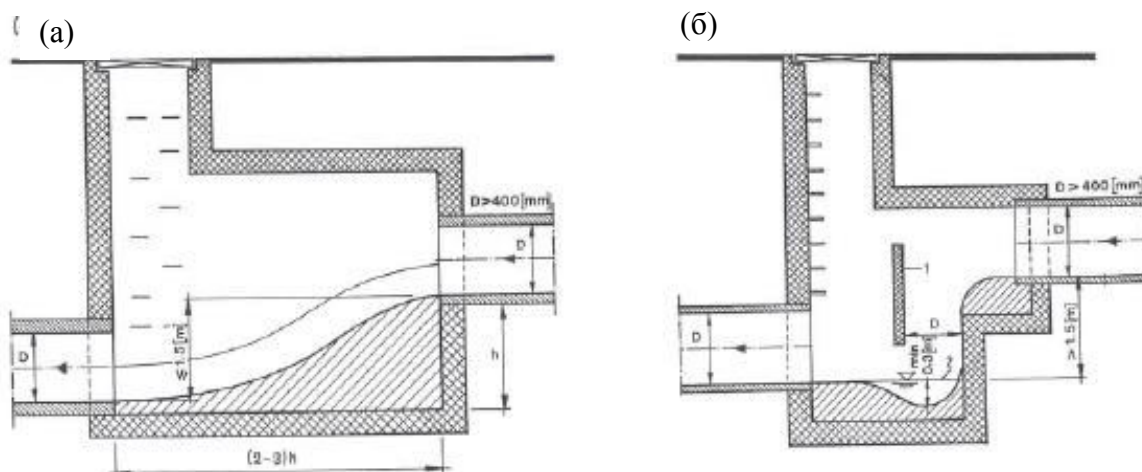


Слика 5.14. Прекидно окно за мање профиле и веће прекидне висине

1 - главни канал; 2 - обилазни канал

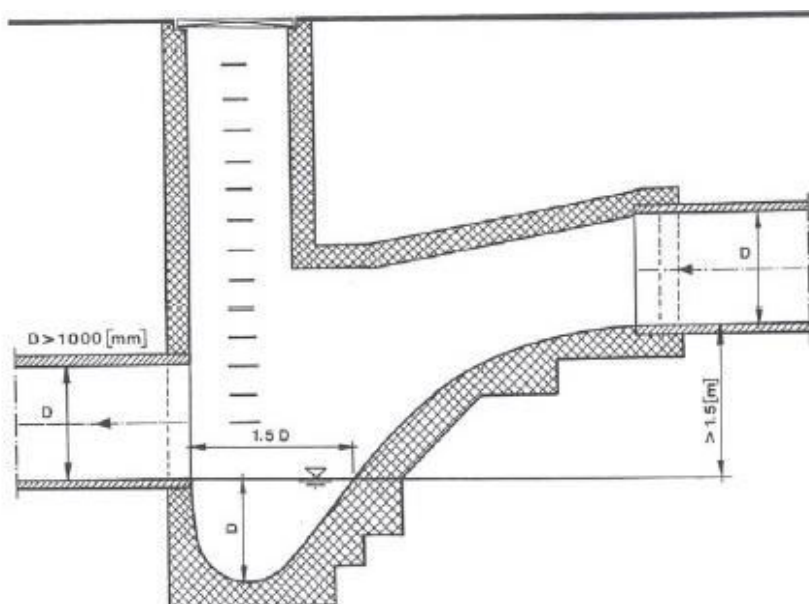
Код мањих протока воде (сушно раздобље) у прекидном окну дотичу само обилазним каналом, а код већих кроз оба доводна канала, с тим да део дотока главним каналом, који задржава уздужни нагиб с којим је положен узводно, пада на водни јастук на дно окна и тиме ублажава удар воде која слободно пада из главног канала. Код профила преко 400 mm, а тиме и већих протока, водни млаз има знатно већу енергију, па се не може више допустити да директно пада у окно. Тада се прекидна окна изводе са непрекидним падом дна, (слика 5.15(a)), а у случају и већих прекидних висина ($> 1,5$

m), додатно се изводи преграда за слабљење тока (дисипацију енергије) и приказаног профила - 2, (слика 5.15(б)).



Слика 5.15. Тастер окна за веће профиле и веће прекидне висине
(а) са непрекидним падом дна; (б) са преградом и профилем
1 - армиранобетонска преграда; 2 – профил

Профили преко 1000 mm и прекидне висине изнад 1,5 m у принципу захтевају израду комплетног слапишта с профилом у окну, (слика 5.16).



Слика 5.16. Тастер окна за велике профиле и велике отпорности висине

Тастер окна с пригушивањем тока и слапиштем настоји се увек испитати на физичким моделима. Поред изложених, постоји цео низ решења прекидних окана прилагођених локалној пракси и условима, с основним циљем да се висинска дислокација канала изведе на сигуран и технички исправан начин.

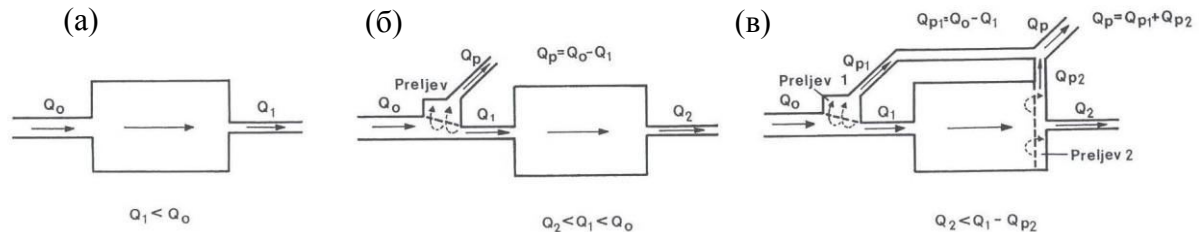
5.5. Резервоари за атмосферску воду

Резервоари за атмосферску воду су грађевине које се изводе код атмосферских и мешовитих одвођења са основним циљем прихватања и задржавања одређених

количина атмосферских и других отпадних вода. Уз ово, резервоари за атмосферску воду могу имати и додатне задатке, тако да разликујемо:

- (а) задржне резервоаре,
- (б) преливне резервоаре,
- (в) резервоаре за пречишћавање (физичко пречишћавање) атмосферских вода.

На слици 5.17 приказана је погонска шема ових грађевина.



Слика 5.17. Погонска шема резервоара за атмосферску воду
(а) задржни резервоар; (б) преливни резервоар; (в) резервоар за пречишћавање

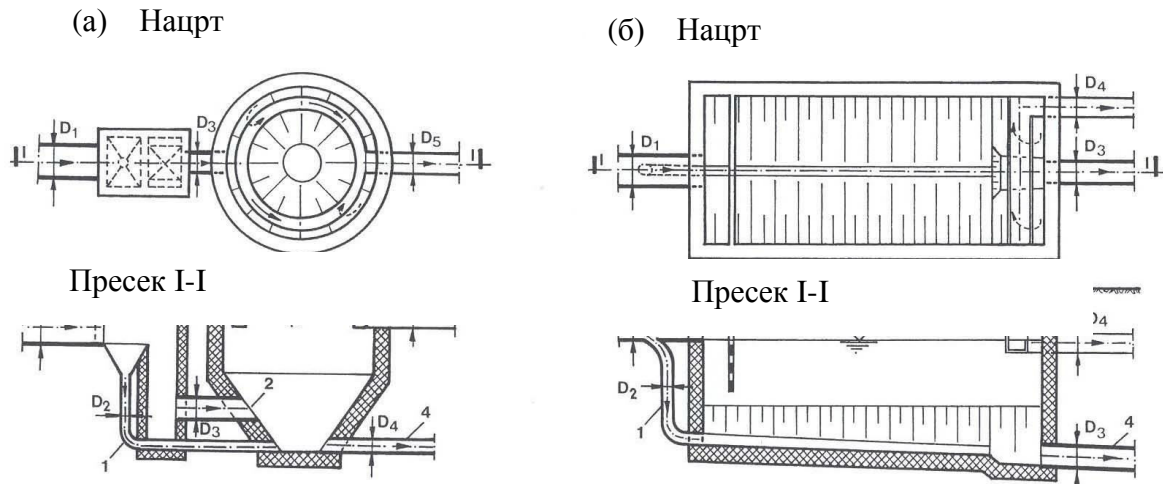
(а) Задржни резервоари се пуне за време јачих падавина (киша) делом отпадних и атмосферских вода, а празне постепено након престанка падавина. У принципу немају прелив, него само одвод прикључен на канал, пумпну станицу или уређај за пречишћавање. Једино може бити предвиђен прелив за нужду, који се активира за време обилних киша (киша већих повратних периода).

(б) Преливни резервоари, у односу на задржне, имају и (кишни) прелив којим се за време јаких киша растеређује каналски систем директним испуштањем дела разређених вода у пријемник. Дакле, ови се резервоари димензионишу тако да прихвате део атмосферских и отпадних вода које се не преливају, задрже их до престанка падавина, а затим се резервоари постепено празне. Тиме се знатно смањује хидраулично оптерећење канализационе мреже низводно од прелива и уређаја за пречишћавање.

(в) Резервоари за пречишћавање изводе се као таложници за физичко пречишћавање атмосферских вода пре њиховог испуштања у пријемник. Дакле, применом резервоара за атмосферску воду постижу се различити ефекти, као:

- (I) уштеда на инвестиционим трошковима канализационе мреже,
- (II) могућност прикључења нових делова града на постојећи систем одвођења,
- (III) санирање хидрауличног оптерећења канала,
- (IV) заштита пријемника,
- (V) растерећење уређаја за пречишћавање.

Резервоари за атмосферску воду изводе се округлог и правоугаоног основа, (слика 5.18), као монолитне армирано бетонске грађевине.



Слика 5.18. Резервоари за атмосферску воду

(а) округли; (б) правоугаони;

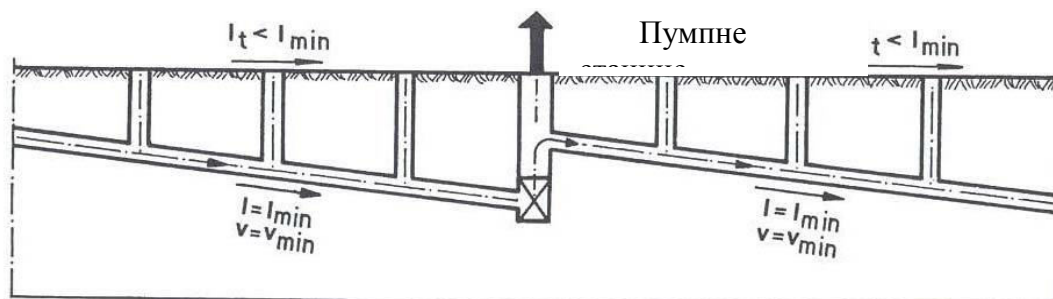
1 - доток у сушном периоду; 2 - доток у кишном периоду; 3 - прелив; 4 - одвод; 5 - преграда

Функционално димензионисање ових грађевина је хидролошко - хидраулични проблем који се састоји у прорачуну:

- (1) запремине резервоара,
- (2) времена пражњења,
- (3) времена пуњења,
- (4) прелива (код преливних резервоара) – преграда.

5.6. Пумпне станице

Пумпне станице су објекти са припадајућом електромашинском опремом којима се отпадне воде подижу с ниже на више нивое. Таквих случајева има доста у пракси, како на самој канализационој мрежи, тако и на уређајима за пречишћавање отпадних вода и обраду муља. На канализационој мрежи пумпне станице су потребне за подизање отпадних вода из дубљих у плиће делове канала када је пад канала већи од нагиба терена, (слика 5.19). Тада би инсистирање на комплетном гравитацијском одвођењу захтевало дубину уградње канала које су далеко изнад економски прихватљивих (6-7 m).



Слика 5.19. Шема положаја пумпне станице на каналу

I_t - пад терена; I - пад дна канала

Будући да су пумпне станице детаљније тумачене у претходном поглављу, (тачка 5.1.) у раду „Водоснабдевање“, где постоји аналогија у њиховој примени и изради код

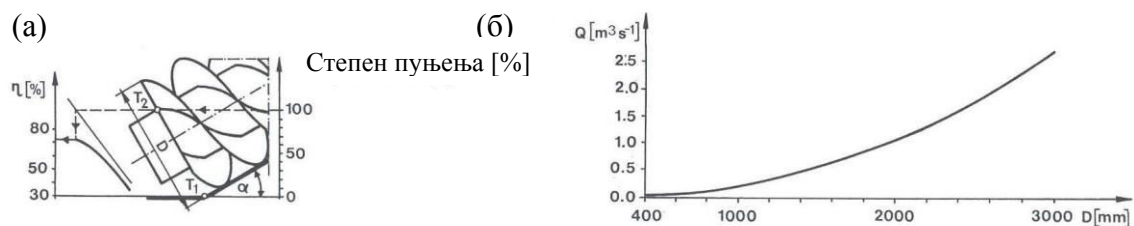
водовода и канализације, овде се неће поново износити анализе генералног значаја, већ ће се само указати на одређене посебности које постоје код примене пумпи у канализацији.

Ове су посебности углавном последица:

- (а) својства отпадних вода, због чега је потребна примена пумпи у којима је смањена могућност зачепљења (пумпе с израдом ротора које омогућавају испумпавање воде заједно са крупнијим отпадцима) и које су отпорне на хабање и корозију,
- (б) количина отпадних вода, што понекад захтева примену пумпи капацитета и до неколико кубних метара у секунди,
- (в) величине (манометарски) висине дизања, која често износи свега неколико метара.

У канализацији се употребљавају ротационе пумпе, првенствено центрифугалне, пропелерне и пужне. Према смештају мотора у пумпној станици разликују се, као и код водовода, мокра и сува израда, (слика 5.21).

Пужна пумпа је сигурно најстарија врста пумпи која се широко примењује у одвођењу отпадних вода. Принцип рада ове пумпе темељено је на гурању воде пужем дуж отвореног и косо положеног корита до излива. Пуж пумпе се изводи од носеће челичне цеви на коју је заварена спирална челична трака. Нагиб осовине пужне пумпе, α [°], је 22 - 40° (најчешће 30 - 35°). Пужне пумпе служе за подизање релативно великих количина отпадних вода (до 3,0 m³/s]) на малу висину (до највише 10 m). За веће висине дизања могу се поставити у серији. Коефицијент корисног дејства, η [-], пужне пумпе зависе и од степена пуњења (дубине воде) на доњем крају пумпе, (слика 5.20(а)). Највећи је код потпуног пуњења и износи, $\eta = 0,73$. Капацитет, Q [m³/s], пужне пумпе зависи од њених геометријских особина, броју обртаја и спољном пречнику пужа, D [mm]. Крива оријентацијског капацитета пужних пумпи при потпуном пуњењу у функцији спољног пречника пужа приказана је на (слици 5.20(б)).



Слика 5.20. Типичне криве пужне пумпе

(а) однос дубине пуњења и ефикасности пумпе; (б) оријентацијски капацитет пумпе код потпуног пуњења
 T_1 - додирна тачка; T_2 - тачка потпуног пуњења

Главна предност коришћења пужних пумпи јесте:

- (i) могу испумпавати отпадне воде са крупнијим материјама, укључујући и пливајуће,
- (ii) рад пумпе није под утицајем варијације дотока, тако да она ради непрекидно (ради чега не треба пумпни резервоар) и испумпава воду у складу са дотоком до величине максималног капацитета.

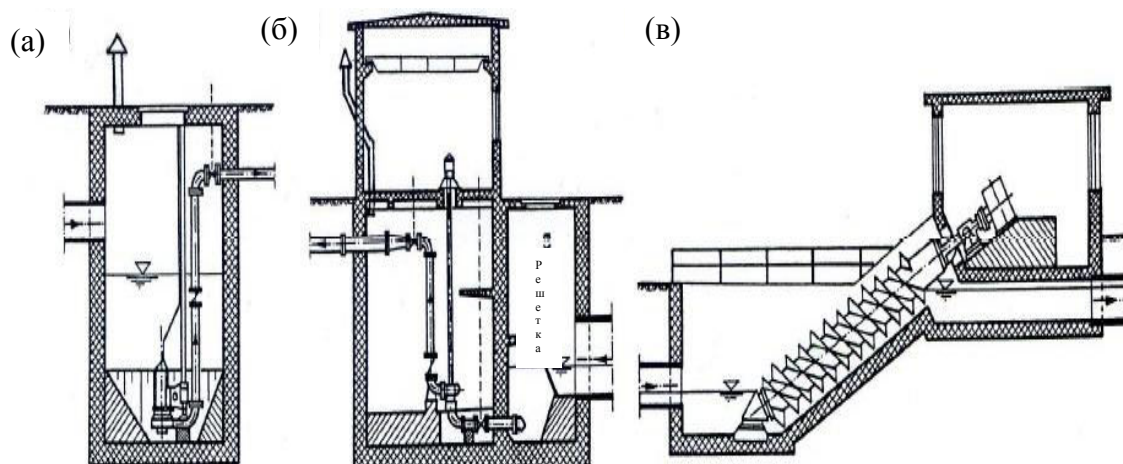
Примена осталих врста пумпи захтева израду пумпних резервоара. Време задржавања отпадних вода у пумпном резервоару не сме бити дуже од 25 min, како би се избегла разградња органске материје и тако избегли непријатни мириси. Проблем неједноликог дотока отпадних вода у пумпним станицама најчешће се решава уградњом више пумпи, које се аутоматски укључују (и искључују) према дотоку. У складу са својствима отпадних вода и величини пумпне станице, пред пумпним резервоаром се уграђује решетка или уситњивачи ради заштите пумпи од зачепљења, (слика 5.21(б)). Слободни отвор међу шипкама решетки износи 75 - 100 mm, како би се на минимум смањило задржавање отпадних (првенствено органских) материја на решетки. Због проблема таложења код отпадних вода у потисном цевоводу захтева се брзина воде између 1,0 и 1,5 m/s. Веће брзине се не препоручују због знатнијих хидрауличких губитака и евентуалне абразије цевног материјала.

Пумпне станице могу бити изведене:

(I) монолитно,

(II) монтажно.

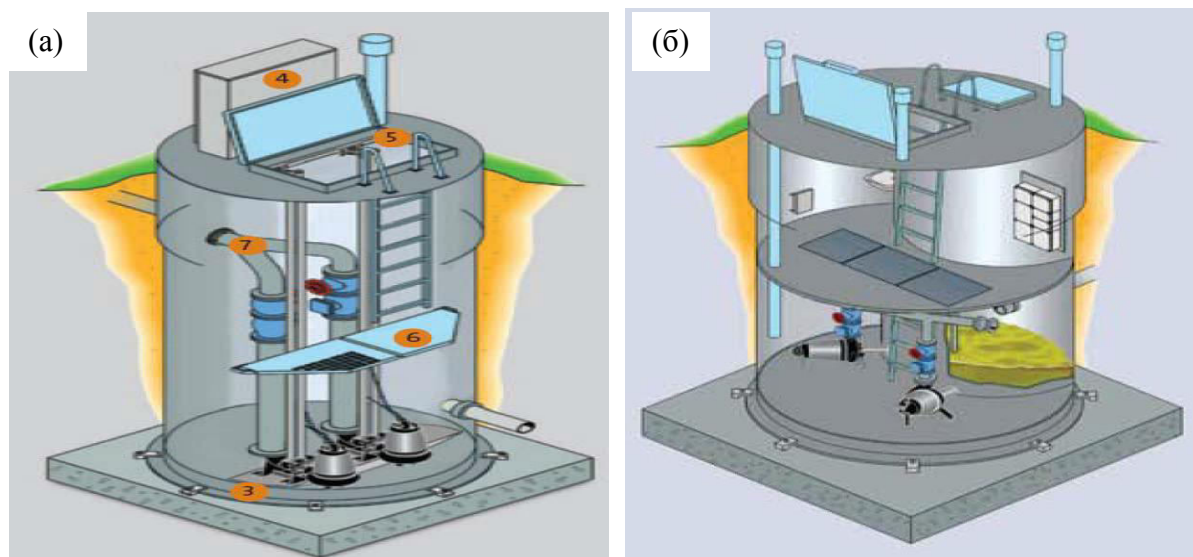
(I) монолитне пумпне станице (изведене на лицу места) углавном се раде за пумпе већег капацитета ($Q > 50 \text{ l/s}$). Изводе се као армирано бетонски објекти, (слика 5.21).



Слика 5.21. Монолитне пумпне станице

(а) са уроњеним пумпама; (б) са пумпама суве изведбе; (в) с пужним пумпама

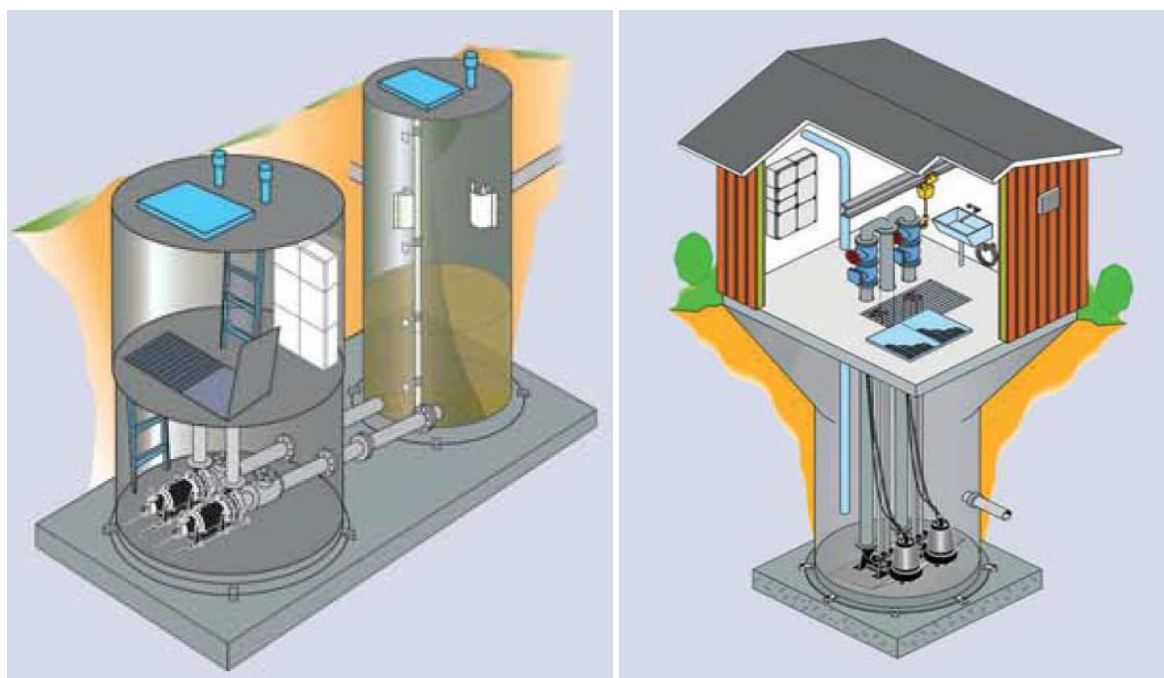
(II) Монтажне пумпне станице се претежно изводе за пумпе мањег капацитета ($Q < 50 \text{ l s}^{-1}$). Раде се фабрички за директну уградњу на градилишту, (слика 5.22).



Слика 5.22. Монтажне пумпне станице

(а) са уроњеним пумпама; (б) са пумпама суве израде

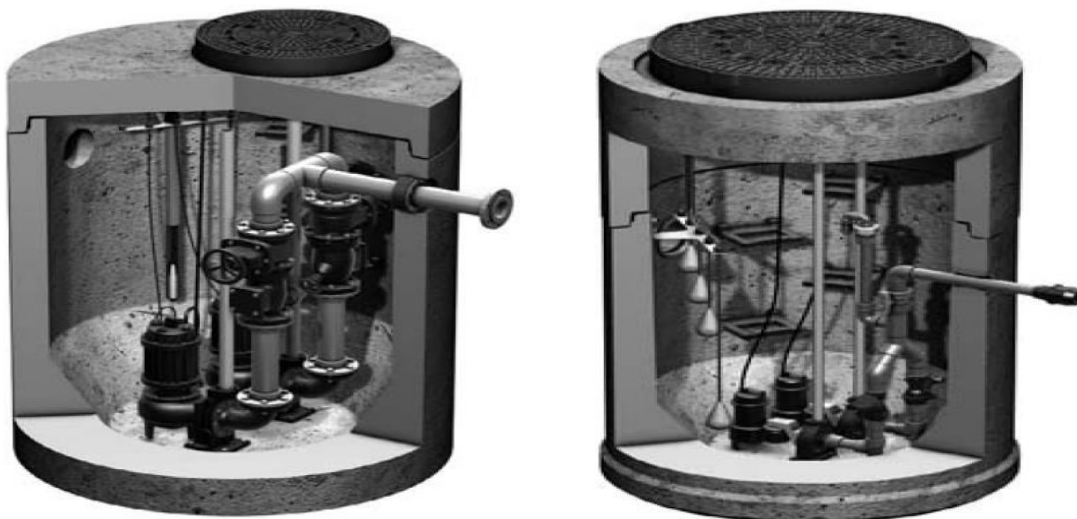
1 - темељна плоча; 2 - довод; 3 - пумпе; 4 - управљачки ормарић; 5 - отвор са поклопцем; 6 - радна платформа; 7 - одвод; 8 - вентилациона цев



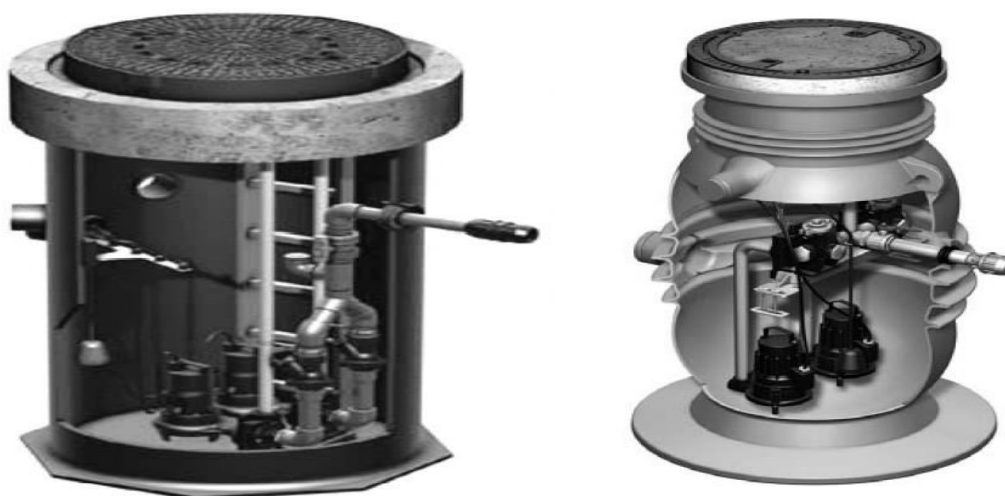
Слика 5.23. Монтажне пумпне станице (наставка)

Изводе се комплетно са свим унутрашњим цевоводима и другим компонентама, односно опремом. Зато је њихова израда редукована само на ископинама на градилишту (на лицу места), затим полагање на темељ и спајање пумпне станице на доводни (гравитациони) и одводни (тlačни) цевовод, спајању управљачког ормарића на струјни прикључак и евентуално телметријско спајање. Деловање погона за случај празне пумпне станице у принципу захтева или њено сидрење на темељну (бетонску) плочу, која такође може бити префабриковане, или израду прстенастих оребрења по спољној површини конструкције пумпне станице. Пумпна станица мора бити вентилисана у циљу превенције развоја токсичних и експлозивних гасова. Ако постоји

могућност од смрзавања, горњи део пумпне станице треба термички изоловати. Монтажне пумпне станице су опремљене приступним поклопцима од пластике, алуминијума или галванизованог (поцинкованог) челика. Унутрашњи цевоводи могу бити пластични, ливено гвоздени или од танкослојног нерђајућег челика (инокса) с фабричким фасонским коадима (коленима и оградцима). Углавном се изводе од армираног бетона, (слика 5.23), и пластике (полиестера, полиетилена), (слика 5.24).



Слика 5.23. Монтажне армирано бетонске пумпне станице



Слика 5.24. Монтажне пластичне пумпне станице

6. Пречишћавање отпадних вода

Пречишћавање отпадних вода је процес смањења загађења до оних количина или концентрација с којима пречишћене отпадне воде испуштене у пријемнике постају неопасне за живот и људско здравље и не узрокују нежељене промене у окружењу. Дакле, отпадне воде пре испуштања у пријемнике је увек неопходно прочистити, како би се из њих до одређеног степена уклониле пливајуће, лебдеће и отопљене материје, колоиди, загађења која су присутна у отпадним водама и битно карактеришу њихова својства. Код анализе проблема пречишћавања отпадних вода од темељне важности су:

- (1) количина и својства отпадних вода,
- (2) својства пријемника,
- (3) услови испуштања отпадних вода,
- (4) процеси пречишћавања отпадних вода и обраде муља.

Методологија одређивања меродавних количина отпадних вода престављена је у тачки (1.3), док ће се остало протумачити у наставку.

6.1. Својства отпадних вода

Отпадне воде представљају мешавину разних водом ношених загађења (отпадака). Зато својства ових вода битно зависе од њиховог порекла (кућне, индустријске и атмосферске воде). Главни показатељи својстава отпадних вода јесу:

- (1) крупни (површински) отпаци,
- (2) чврсте материје,
- (3) микроорганизми,
- (4) хранљиве соли (биогене соли),
- (5) постојане материје (перзистентне материје),
- (6) отровне материје,
- (7) радиоактивне материје,
- (8) растворени гасови,
- (9) повишена температура воде.

(1) Крупни отпаци јесу папир, крпе, коре од воћа и остали крупнији органски и синтетички отпаци. За разградњу (декомпозицију) крупних органских отпадака се троши кисеоник, па се тако смањује количина раствореног кисеоника у води. Међутим, у односу на чврсте материје, ови отпаци немају већег еколошког значаја.

(2) Чврсте материје су материје органског и неорганског (минералног) порекла које се у отпадним водама налазе у:

- (а) отопљеном стању, димензија честица до 1 nm,
- (б) колоидном стању, димензија честица од 1 nm до 1 μ m,
- (в) лебдећем стању, димензија честица преко 1 μ m. За димензије честица до 10 μ m крутине су неталоживе, а преко 10 μ m су таложиве.

Отопљене материје углавном узрокују промену боје, а колоиди и лебдеће материје стварају мутноћу. Повећана мутноћа воде спречава продирање светлости, што успорава фотосинтезу. Због тога се у већим дубинама смањује количина кисеоника, па се повећава зона анаеробне разградње органске материје, чиме се стварају гасови непријатног мириса. (Мирис у води може да потиче и од уношења неких хемијских једињења, нарочито кад улазе индустријске отпадне воде).

(3) Микроорганизми (вируси, рикресије, бактерије, плесни, квасци, алге, праживотиње) су једноћелијски и вишећелијски организми који се налазе у свим отпадним водама. За процесе пречишћавања отпадних вода од нарочитог значаја су следеће две групе микроорганизама:

- (а) микроорганизми разлагачи (сапрофагни микроорганизми),
- (б) микроорганизми из дигестивног тракта људи и животиња (фекални микроорганизми),

(а) Микроорганизми разлагачи биолошки разграђују органску материју до неорганске, троше растворени кисеоник, па се може појавити нежељени мањак (дефицит) кисеоника, односно анаеробно стање. Према оптималној температури, T [$^{\circ}$ C], за развој, сапрофагни микроорганизми се деле на:

- (i) криофилне (психрофилне), с оптималном температуром, $T = 0 - 5$ $^{\circ}$ C,
- (ii) мезофилне, с оптималном температуром, $T = 20 - 40$ $^{\circ}$ C,
- (iii) термофилне, с оптималном температуром, $T > 40$ (најбоље 55 - 60) $^{\circ}$ C.

(б) Микроорганизми из дигестивног тракта људи и животиња су основни показатељ кућних отпадних вода, али их има и у индустријским отпадним водама. Међу овом групом микроорганизама су посебно значајни патогени микроорганизми који могу бити узрочници обољења (тифуса, паратифуса, хепатитиса, полиомијелитиса, колере, туберкулозе, дизентерије). Болести се могу пренети купањем у нечистој води (због додира са кожом или због гутања воде) и нарочито конзумирањем производа из воде (нпр. шкољки које се једу сирове). Као индикатор загађења овим микроорганизмима обично служе бактерије нормалне цревне флоре људи и животиња - колиформне бактерије, одређене као највероватнији број бактерија (НББ). Кад фекални микроорганизми доспеју у пријемник (околину) са другачијим условима за живот (температура, концентрација водоникових јона, ултраљубичасто зрачење), постепено ишчезавају. Време ишчезавања није једнако за све микроорганизме, а првенствено зависи од садржаја растворених (хранљивих) соли у води.

(4) Хранљиве соли настају процесом разградње органске материје из отпадних вода испуштањем у природне и вештачке пријемнике. Овај је процес првенствено везан уз настанак соли азота и фосфора, које учествују у стварању беланчевина и тиме подстичу развој планктона (лебдећих микроорганизама чије је кретање зависно од струјања воде) и зелених биљака. Према томе, испуштањем великих количина отпадних вода богатих органским материјама у водне системе (пријемнике), са слабијом изменом воде (језера, акумулације, морских залива) знатно се повећава количина хранљивих соли у екосистему. Ако су при томе за развој биомасе повољни и

остали чиниоци (кисеоник, светлост и температура) може доћи до прекомерног раста планктона и цветања отровних алги, тј. до појаве еутрофног стања у пријемнику. Иначе, умерено повећана производња биомасе је уопштено корисна за развој рибарства, али и неприкладна за воде намењене рекреацији.

(5) Постојане материје су органске и синтетичке биолошки неразградиве или тешко разградиве материје. И у периоду док траје њихова евентуална разградња неповољно делују на водени живот, а могу се и гомилати у организмима.

Од ових су материје у отпадним водама од првенственог интереса:

- (а) минерална уља и њихови деривати (нарочито нафта и нафтни деривати),
- (б) пестициди,
- (в) детерџенти,
- (г) пластичне материје.

(а) Минерална уља доспевају у водне системе с кућним и индустријским отпадним водама. На водној површини стварају танку превлаку што због ометања отапања кисеоника из ваздуха смањује количину раствореног кисеоника у води, и тако искључује могућност коришћења воде за рекреацију. У топлијим подручјима Земље минерална уља су биолошки разградива (уз високу потрошњу кисеоника), док је у хладнијим пределима разградња врло спора. Иначе, минерална уља су врло отровна за живе организме у води и код концентрације испод 1 mg/L.

(б) Пестициди доспевају у воду испирањем пољопривредног земљишта (где се користе као заштитна средства), али их има и у индустријским отпадним водама. У погледу загађења вода међу најопасније пестициде убрајају се хлорични угљоводоници (ДДТ, диелдрин, линдан, ендрин) који се гомилају у масним ткивима. Додатно, ДДТ омета фотосинтезу једноставних алги.

(в) Детерџенте налазимо у кућним и индустријским отпадним водама. Њима се у водне системе уносе знатне количине фосфата, што може изазвати еутрофикацију. Постојаност детерџената зависи од њихове молекуларне структуре. Тзв. тврди детерџенти (алкилбензенсулфонати тетрамерне врсте) су практично неразградиви. На воденој површини ови детерџенти стварају пену и тиме смањују отапање кисеоника из ваздуха. Меки детерџенти (линеарни алкилсулфонати) се лакше разграђују, али су 2 - 4 пута отровнији од тврдох детерџената.

(г) Пластичне материје се налазе у кућним и индустријским отпадним водама у облику конца, мрежица и врећица. Еколошко значење ових супстанци није још у потпуности растумачено.

(б) Отровне материје су материје које према својим количинама и својствима узрокују болести живих организама, ненормално понашање, канцерогене и генетичке промене, физиолошке сметње, физичке деформације и смрт. У отпадним (првенствено индустријским) водама опасне материје су представљене:

- (а) тешким металима (жива, кадмијум, олово, никл, цинк, сребро, селен, манган, хром, бакар, гвожђе),
- (б) отровним спојевима (цијаниди, хромати, флуорида).

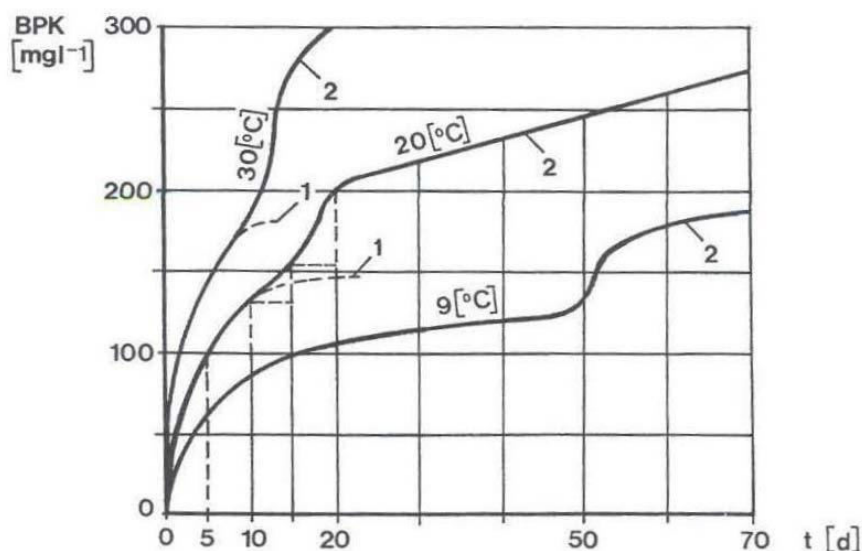
Мада су неке од ових материја у мањим количинама потребне за развој организма, у већим количинама, постају отровне материје са врло неповољним последицама.

(7) Радиоактивне материје могу у води бити природног и вештачког порекла. Природни извори зрачења су радиоактивни елементи литосфере и свемирска зрачења. Вештачки извори зрачења су радиоактивне материје које се налазе у индустријским отпадним водама, првенствено водама нуклеарних електрана, а потом и водама из индустријских погона у којима се користе радионуклеиди. Повећано зрачење може проузроковати генетичке промене, стерилност, канцерогене болести и смрт живих организама. Осим тога, радиоактивне материје улазе у биохемијске процесе, концентришући се од нижих према вишим организмима прехранбеног ланца, па могу бити веома опасне за живот човека.

(8) Растворени гасови су у отпадним водама присутни у различитим концентрацијама. Међу најважнијим је кисеоник који је битан за живот великог броја организама у води. Налази се растворен у атмосферској води и тако доспева у отпадне воде. Одређена количина кисеоника се добије и његовим обнављањем (оксигенације) из ваздуха (додиром ваздуха и слободне површине отпадних вода), као и процесом фотосинтезе. Поред кисеоника отпадне воде врло често садрже угљен диоксид, који долази отапањем из ваздуха и разградњом органске материје, као водониксулфит, који првенствено настаје разградњом органских и неорганских материја.

(9) Повишена температура воде последица је испуштања расхладних вода из индустријских постројења, посебно термоелектрана и нуклеарних електрана. Топлија вода садржи мање раствореног кисеоника, а убрзава метаболизам живих организама, тако се кисеоник брже троши, па се појављује све већи мањак кисеоника. Због тога се мењају животни услови станишта, постепено ишчежавају организми којима треба више кисеоника и почиње анаеробна разградња мртве органске материје. Уз ово, у отпадним водама могу бити присутне и друге материје (експлозивне, запаљиве и корозивне материје, киселине и алкалне материје) које могу бити штетне за канализациону мрежу и грађевине на њој, а такође могу неповољно деловати и на процесе пречишћавања отпадних вода. Стога се у начелу спроводи претходно пречишћавање оваквих отпадних вода.

У стандардним приликама главна загађења отпадних вода (посебно кућних) представљају органске материје за чију разградњу се троши растворени кисеоник из воде. Према томе, степен загађења отпадних вода органском материјом у директној је вези са количином кисеоника потребном за оксидацију, односно разградњу те материје. Количина кисеоника потребна да се разгради биолошки разградива органска материја у води посредством аеробних микроорганизама назива се биохемијска потрошња кисеоника (БПК). Укупна биохемијска потрошња кисеоника (БПК укуп) је количина кисеоника потребна за потпуну разградњу органске материје. Ради квантификовања оптерећења отпадних вода органском материјом за практичне потребе је уведен показатељ петодневне биохемијске потрошње кисеоника (БПК₅). БПК₅ се одређује тако да се релативно мала количина отпадне воде разреди у знатно већој количини дестиловане воде богате отопљеним кисеоником. Та се смеша стави у боцу у којој нема ваздуха и држи у њој 5 дана на температури 20 °C. Након тога се одреди колико је раствореног кисеоника потрошено, па се та количина изрази у милиграмима кисеоника на литар отпадне воде. Оријентационо, за отпадне воде БПК₅ износи до 400 mg/l. Ако би се потрошња кисеоника приказала кумулативном кривом у функцији времена, добио би се дијаграм попут оног са слике 6.1.



Слика 6.1. Дијаграм биохемијске потрошње кисеоника за три различите температуре воде

1 - прва фаза; 2 - друга фаза

На дијаграму можемо уочити:

- (i) да се растворени кисеоник троши брже што је виша температура воде,
- (ii) да се процес оксидације органске материје одвија у две фазе. Прва фаза, у којој долази до оксидације угљеничних материје (декарбонизација), траје релативно кратко, а друга фаза, у којој долази до оксидације азотне материје (нитрификација), траје много дуже.

Утврђено је да је БПК сваког дана прве фазе код исте температуре у одређеном односу са БПК ма ког другог дана прве фазе и са укупним БПК прве фазе. Тиме је добијена могућност увида у стање које ће се у пријемнику догађати током времена. У табели (6.1) приказани су подаци с којима су биохемијске потрошње кисеоника при различитим температурама, [°C], и временима, [d], изражене у односу на вредност БПК₅ (при 20 °C). Подвучене вредности означавају приближно прелаз на другу фазу оксидације органске материје (нитрификацију).

Табела 6.1. Подаци за прорачун вредности БПК

Дани	Температура						
	5	10	15	20	25	30	35
1	0,11	0,16	0,22	0,3	0,41	0,54	0,7
2	0,21	0,3	0,4	0,54	0,71	0,91	1,14
3	0,31	0,41	0,56	0,73	0,93	1,17	1,42
4	0,38	0,52	0,63	0,88	1,11	0,35	<u>1,6</u>
5	0,45	0,6	0,79	1	1,23	1,47	1,71
6	0,51	0,68	0,88	1,1	1,31	<u>1,56</u>	1,78
7	0,57	0,75	0,95	1,17	1,4	1,62	1,82
8	0,62	0,8	1,01	1,23	<u>1,45</u>	1,66	1,85
9	0,66	0,85	1,06	1,28	1,49	1,69	1,87
10	0,7	0,9	1,1	<u>1,32</u>	1,52	1,71	1,88
12	0,77	0,97	<u>1,17</u>	1,37	1,56	1,73	1,89
14	0,82	1,02	1,21	1,4	1,58	1,74	1,9
16	0,85	<u>1,06</u>	1,24	1,43	1,59	1,75	-
18	0,9	1,08	1,27	1,44	1,6	1,76	-
20	<u>0,92</u>	1,1	1,28	1,45	1,61	-	-
25	0,97	1,14	1,3	1,46	-	-	-
Прва фаза	1,02	1,17	1,32	1,46	1,61	1,76	1,9

Код испитивања својстава отпадних вода, нарочито индустријских, уобичајено је одређивање и хемијске потрошње кисеоника (КПК). То је укупна количина кисеоника која се потроши на разградњу органске материје, а еквивалентна је концентрацији оксиданса (калијум бихромата). Испитивања су указала да је БПК_{укуп} = (0,0 - 0,93) КПК, а БПК₅ = (0,0 - 1,0) БПК_{укуп}. Органске материје код којих се БПК_{укуп} мало разликује од КПК, а БПК₅ од БПК_{укуп}, лако оксидују. У супротном, материје са изразито различитим вредностима БПК и КПК, а нарочито БПК₅ и БПК_{укуп}, тешко оксидује. За индустријске отпадне воде које су загађене органском материјом уобичајено је БПК₅ изражавати тзв. еквивалентним бројем становника (ЕС), тј. поређењем БПК₅ индустријске отпадне воде са БПК₅ отпадне воде по становнику.

6.2. Својства пријемника

За испуштање пречишћених (и непречишћених) отпадних вода као пријемници се могу користити:

- (I) природни (водотоци, језера, мора) и вештачки (канални, акумулације) водни системи,
- (II) тло.

У пракси је најчешће испуштање у водне системе, првенствено природне, тако да ће се наредне анализе односити на ову врсту пријемника. У погледу испуштања отпадних вода, код водних система од темељне важности су следеће две групе њихових особина:

- (1) хидролошке и хидрауличке особине,
- (2) физикалне, хемијске, биолошке и бактериолошке особине.

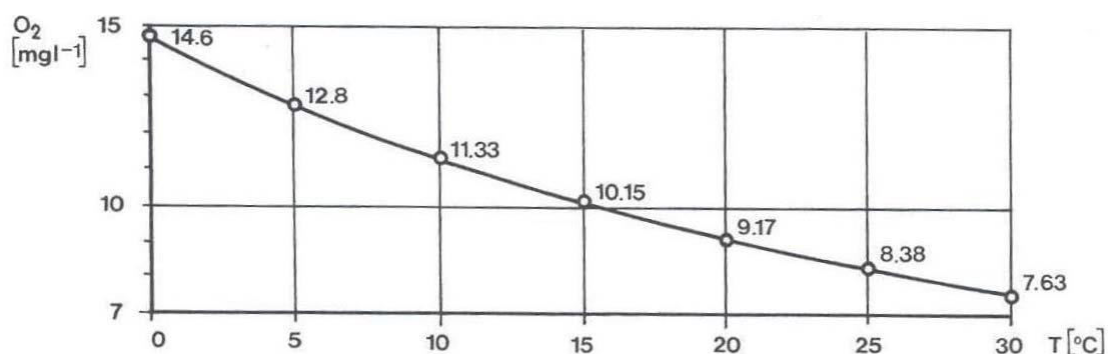
(1) Хидролошке и хидрауличке особине пријемника огледају се у следећим показатељима:

- (а) количини воде (протоку) и условима течења, односно о динамици измена водних маса (код језера, мора и вештачких водних система),
- (б) нивоу воде,
- (в) проносе наноса,
- (г) појави леда.

(2) Физичке, хемијске, биолошке и бактериолошке особине пријемника су углавном садржане у овим показатељима:

- (а) боји, мирису и укусу,
- (б) мутноћи,
- (в) температури,
- (г) концентрацији водоникових H^+ јона,
- (д) електропроводљивости,
- (ђ) укупном сувом остатку,
- (е) укупној тврдоћи,
- (ж) отопљеним гасовима,
- (з) отопљеним, колоидним и лебдећим органским и неорганским материјама,
- (и) микроорганизмима,
- (ј) животним (биљним и животињским) заједницама.

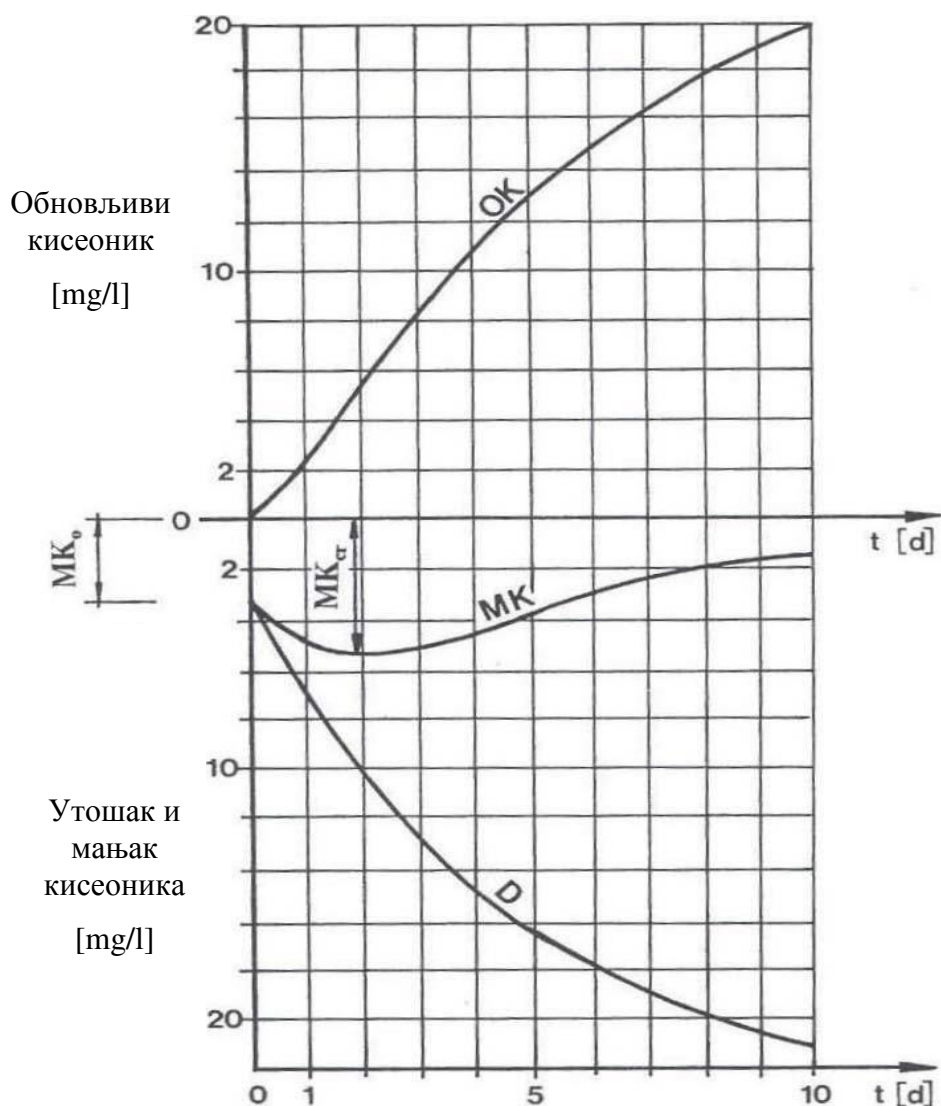
Испуштањем отпадних вода у пријемнике долази до промене вредности ових показатеља, односно до промене својстава пријемника. Промена је израженија што је нижи степен пречишћавања отпадних вода. У складу са претходним тумачењима можемо закључити да је основни проблем садржан у томе што се с отпадним водама испуштају и знатне количине разградивих отпадних материја, чиме се значајно повећава потрошња раствореног кисеоника из пријемника. Додатно, кисеоник троши водена флора и фауна, укључујући и микроорганизме (првенствено бактерије) који у исто време конзумирају кисеоник и органску материју којом се хране. Дакле, испуштањем отпадних вода у пријемнике може доћи до осетног смањења раствореног кисеоника, а у екстремним ситуацијама може и сасвим нестати, тако да у крајњем случају долази до потпуног изумирања воденог живота. Зато се у пријемницима јавља тенденција обнављања кисеоника (из ваздуха и процесом фотосинтезе). Међутим присуство (пливајућих) минералних уља и тврдих детерџената, колоидних и лебдећих материја у води знатно смањује оксигенацију. Обнављање кисеоника такође успоравају и отпадне воде са повишеном температуром, јер је кисеоник слабије растворљив у топлијој него у хладнијој води. Обнављање кисеоника у води зависи и од температуре воде и притиска ваздуха. За воду се каже да је засићена (сатуриране) кисеоником ако садржи максималну количину раствореног кисеоника коју може примити при датој температури и притиску. Дијаграм сатурацијске вредности раствореног кисеоника, O_2 , у води при њеним различитим температурама и нормалном притиску ваздуха приказан је на (слици 6.2).



Слика 6.2. Дијаграм сатурацијске вредности раствореног кисеоника у води при различитим температурама воде и нормалном притиску ваздуха

Количина раствореног кисеоника у води може се и проценити на основу организама који живе у води. Тако нпр. јако загађену воду карактерише присуство сивог фунгуса (биљака без хлорофила), а чисту (или мало загађену) воду присуство зелених алги, планктона, школки, риба и других виших облика живота. За одржавање риба треба на најнеповољнијем делу (потезу) пријемника обезбедити следеће минималне количине раствореног кисеоника: за пастрмку 7 mg/l, за осталу племениту рибу 5 mg/l, а за шарана, сома и другу обичну рибу 3,5 mg/l. Незагађени пријемници у начелу садрже количину раствореног кисеоника која приближно одговара сатурацијској вредности. Испуштањем отпадних вода оптерећених органском материјом у такав пријемник доћи ће (због деловања микроорганизама) до постепеног смањења отопљеног кисеоника у води. Вредност смањења кисеоника зависи од количинског односа чисте наспрам отпадне воде и њеним особинама. Ако су количине отпадних вода и органских материја у њима мале у поређењу са количином воде (протоком) у пријемнику, онда ће у пријемнику бити довољно раствореног кисеоника за аеробну разградњу органске материје, односно неће доћи до поремећаја првобитних особина пријемника. Међутим, код аеробног стања у пријемнику и даље ће постојати бактериолошка загађеност која представља потенцијалну опасност по здравље људи (ако претходно није извршена дезинфекција ефлуента). У реципијентима у којима количина раствореног кисеоника није довољна за процес аеробне разградње доћи ће до анаеробних процеса, односно до труљења, појаве непријатних мириса и сл. Према томе, количина раствореног кисеоника представља темељни критеријум чистоће, односно загађења пријемника.

Пример односа раствореног кисеоника у пријемнику и времена испуштања отпадних вода у тај пријемник графички је приказан дијаграмом на слици 6.3. На оси апсциса је приказано време, t , у данима, где почетна тачка представља тренутак када се отпадне воде испуштају у реципијент. O_s ордината на горњем делу дијаграма приказује обновљени кисеоник у пријемнику, а крива (ОК) тога дела дијаграма приказује укупну количину обновљеног кисеоника од момента испуштања отпадних вода у пријемник до произвољног момента после тога. Према лабораторијским испитивањима количина обнављања кисеоника на 1 m² слободне водне површине за 24 h износи: 1,4 g код стајаћих вода без ветра, 5,4 g код лаганог речног тока и до 50 g код брзог речног тока или приликом вештачког мешања воде. O_s ордината на доњем делу дијаграма приказује утрошени кисеоник и његов мањак.



Слика 6.3. Дијаграм раствореног кисеоника у пријемнику у функцији времена

OK - крива обнављања кисеоника; MK_o - почетно мањак кисеоника;

D - крива деоксигенације ($MK_o + \text{БПК}$);

MK - крива мањка кисеоника ($OK - D$); MK_{cr} - критични мањак кисеоника

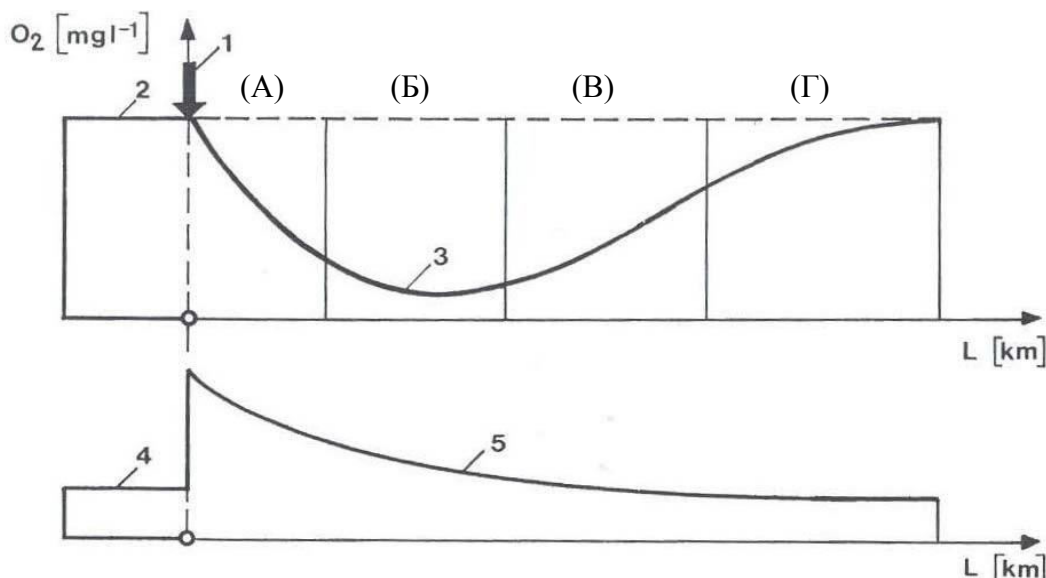
Прва крива, звана крива деоксигенације (*D*), тога дела дијаграма приказује укупну количину раствореног кисеоника која је до неког момента утрошена процесом разградње органске материје (БПК), укључујући и претпостављени мањак кисеоника (MK_o) пре испуштања отпадних вода у пријемник (због разградње органске материје која је већ присутна у пријемнику). Зато ова крива не почиње на оси ордината са вредношћу нула. Друга крива, звана крива мањка кисеоника (MK_o), тога дела дијаграма приказује колики је мањак кисеоника у пријемнику у било које време од момента испуштања отпадних вода. Добије се као разлика криве (*OK*) и (*D*). У складу са количном и степеном загађења отпадних вода и брзини опоравка кисеоника ова крива ће имати плиће или дубље седло. Према томе, најгоре стање у пријемнику је у тренутку када *MK* крива достиже најнижу тачку, односно критични мањак кисеоника (MK_{cr}). Ова крива уједно указује да у погледу мањка кисеоника најгоре стање у пријемнику није на месту испуштања отпадних вода, него низводно. Након критичне тачке повећава се количина раствореног кисеоника и пријемник се постепено враћа у првобитно стање. Овакве анализе омогућавају постављање прогнозе шта ће се са

пријемником догодити кад се у њега испусте отпадне воде, тј. колики ће мањак кисеоника настати, а нарочито хоће ли се садржај раствореног кисеоника спустити испод оне границе која се у датим приликама још може толерисати. За дефинисање мањка кисеоника у пријемнику постоје и математички модели, као нпр. *Streeter - Phelps* модел (1925), који се (иако најстарији) уз мање или веће поправке употребљава и данас. Претходна разматрања указују да сваки пријемник има способност разградње (минерализације) органске материје, што називамо самопречишћавање пријемника. Овај процес се у пријемницима одвија у истим биолошким принципима као и на уређајима за пречишћавање отпадних вода, осим што се:

- (i) разградња органске материје у пријемнику одвија на дужини тока или воденој површини од неколико километара, а на уређају за пречишћавање на неколико метара,
- (ii) оптимални услови околине за развој микроорганизама и контролу теже одржавању у пријемнику него на уређају,
- (iii) процес самопречишћавање пријемника поклапа са осталим људским делатностима (водоснабдевање, риболов, спорт, наводњавање итд.)

Из економских разлога очигледно је да је у пракси присутно настојање максималног искоришћења процеса за самопречишћавање пријемника. Међутим, оваква су настојања ограничена потребом очувања динамичке равнотеже у пријемнику. Процес самопречишћавање у пријемнику (водотоку) одвија се у четири области, (слика 6.4). То су:

- (А) подручје загађења (зона деградације),
- (Б) подручје разградње (зона декомпозиције),
- (В) подручје опоравка (зона регенерације),
- (Г) подручје чисте воде.



Слика 6.4. Подручја самопречишћавања пријемника

А - подручје загађења; Б - подручје разградње; В - подручје опоравка; Г - подручје чисте воде;
 1 - испуштање отпадних вода; 2 - почетно стање раствореног кисеоника; 3 – крива раствореног кисеоника у пријемнику; 4 - почетно стање BPK; 5 – BPK

(А) Подручје загађења почиње одмах низводно од тачке (места) испуштања отпадних вода у пријемник. У овом подручју је врло уочљива загађеност, где настаје изражена редукција раствореног кисеоника, битно се смањује број риба, велика је мутноћа, а ако је брзина тока мала долази до таложења чврстих супстанци и до стварања наслага муља који труне и доприноси даљој деградацији пријемника. Такође је интензиван и биолошки живот, са великим бројем бактерија, укључујући и патогених.

(Б) Подручје разградње карактерише процес анаеробне разградње органске материје у води, јер је готово сав растворени кисеоник потрошен. У овој зони нема риба, вода је тамне боје и непријатног мириса. Слично као и у првом подручју, наставља се процес таложења и формирања муља. Ако је количина кисеоника у пријемнику довољна да се стално одржава аеробно стање (велико почетно разређење), ово подручје може сасвим изостати тако да пријемник из прве зоне одмах прелази у трећу.

(В) Подручје опоравка карактерисано је постепеним повећањем раствореног кисеоника у пријемнику, смањењем броја микроорганизама и количине органске материје, чиме и изглед воде постаје све природнији. Такође, у овој зони могу опстати виши облици живота (рибе). Процес таложења се и даље одвија, а муљ се разграђује под утицајем црва и ларви.

(Г) Подручје чисте воде садржи растворен кисеоник близу његове сатурацијске вредности, што значи да је разградња органске материје практично завршена, микроорганизми (укључујући и бактерије) су у релативно малом броју, а остали организми који се иначе налазе у чистој води су многобројни. Према томе, у овом је подручју вода истог квалитета као и пре испуштања отпадних вода.

6.3. Врсте пречишћавања отпадних вода

Зависно од својстава отпадних вода и потребног степена њиховог пречишћавања разликујемо, (слика 6.5).

- (1) механичко или претходно (примарно) пречишћавање,
- (2) биолошко или накнадно (секундарно) пречишћавање,
- (3) физичко - хемијско (терцијарно) пречишћавање.

Механичко и биолошко пречишћавање се понекад називају конвенционално пречишћавање. Мада је ова подела у литератури и пракси врло уважена, треба је схватити доста условно, јер:

- (i) механичко пречишћавање се спроводи ради побољшања квалитета отпадних вода (смањена количина крупних пливајућих, лебдећих и масних материја) како би се уклониле оне материје које би могле оштетити уређаје за биолошко и физичко - хемијско пречишћавање. Према томе, механичко пречишћавање је претходна фаза биолошког и физичко - хемијског пречишћавања, као две основне врсте пречишћавања отпадних вода,
- (ii) сам термин механичко пречишћавање је доста неприкладан, пошто неке фазе механичког пречишћавања имају и особине физичко - хемијских процеса. Међутим, као што је истакнуто, због опште прихваћености горње поделе овде ће се такође приклонити сврставању пречишћавања отпадних вода на механичко, биолошко и физичко - хемијско. Свако од ових пречишћавања

спроводи се на објекту са припадајућом Електромашинском опремом, који називамо уређај за пречишћавање.

(1) Механичко пречишћавање



(2) Биолошко пречишћавање



(3) Физичко-хемијско пречишћавање



Слика 6.5. Врсте пречишћавања отпадних вода

(1) механичко пречишћавање; (2) биолошко пречишћавање; (3) физикално - хемијско пречишћавање
1 - довод отпадне воде; 2 - одвод пречишћене воде

6.3.1. Механичко пречишћавање

Уопштено, механичко пречишћавање отпадних вода обухвата следеће фазе, слика 6.6

- (А) решетање и / или уситњавање (дезинтеграцију),
- (Б) таложење у хватаче песка и испливање,
- (В) изједначавање (егализацију) и / или неутрализацију.

Прву и другу фазу механичког пречишћавања редовно сусрећемо код пречишћавања кућних отпадних вода. Трећа фаза се у начелу примењује за индустријске отпадне воде.

(1) Решетање је процес уклањања крупне материје (лишћа, крпа, стакла, комадића дрвета, пластике) из отпадних вода ради заштите пумпи и других делова уређаја за пречишћавање. Овај се процес одвија на решеткама, чији учинак зависи од слободног отвора међу шипкама решетке. У канализацији се углавном користе:

- (а) грубе решетке, са слободним отвором 50 - 100 mm,
- (б) средње решетке, са слободним отвором 10 - 25 mm,

(в) fine решетке, са слободним отвором 3 - 10 mm.

Највећи ефекат имају fine решетке на којима се зауставља и део лебдећих материја. Учинак пречишћавања на финим решеткама износи:

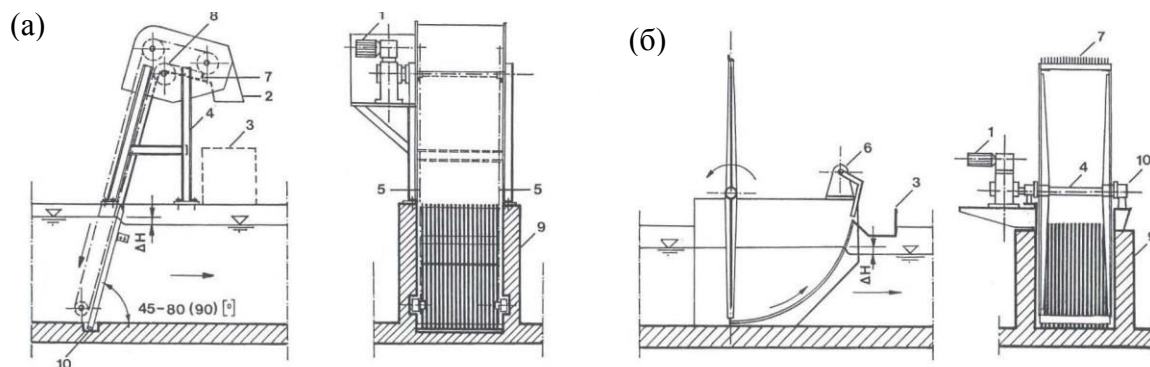
- (I) смањење БПК₅ за 3 - 10 %,
- (II) смањење лебдећих материје за 2 - 20 %,
- (III) смањење бактерија за 10 - 20 %,
- (IV) смањење КПК за 5 - 10 %.

Решетке могу бити равне и лучне, (слика 6.6). Чисте се ручно или механички. Ручно се чисте решетке на мањим уређајима и грубе решетке које се на већим уређајима постављају као заштита средњих и финих решетки. Ширина решетке, b_r [m], дефинисана је изразом 6.1 :

$$b_r = \frac{Q(s + e)}{hvef} \quad (6.1)$$

где су:

- Q - проток, [m³/s],
- s - дебљина шипке решетке, [mm],
- e - слободни отвор међу шипкама, [mm],
- h - дубина (воде) у каналу, [m],
- v - брзина воде, [m/s],
- f - степен пуњења решетке, [-], (0,8 – 0,9)



Слика 6.6. Решетке са механичким чишћењем

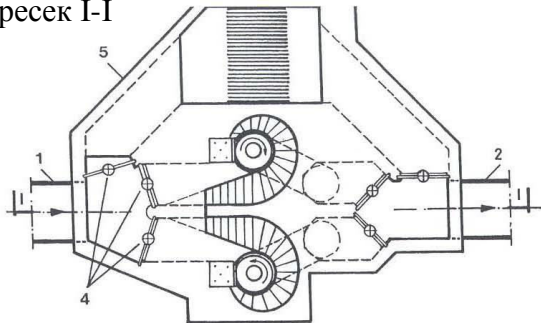
(а) равна решетка; (б) лучна решетка

1 - погонски мотор; 2 - излазни левак; 3 - сандук (подест) за отпатке; 4 - носач решетки; 5 - ланац; 6 - згртач; 7 - чешаљ за чишћење решетки; 8 - погонски ланчаник; 9 - зид канала; 10 - лежиште решетки

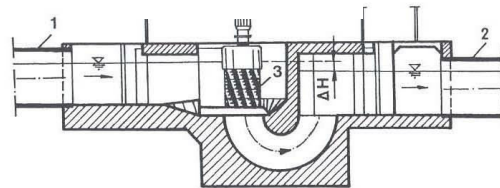
Брзина воде у каналу се обично узима од 1 - 1,5 m/s, а да би се избегло таложење отпадних материја, не би смела бити мања од 0,6 m/s. Губици висине, ΔH [m], при протицању кроз решетку износе 0,1 - 0,4 m. У технологији пречишћавања отпадних вода понекад се уместо финих решетки за уклањање крупнијих суспензија, користе макро сита. Изводе се од нерђајуће жице или прорупчаног лима са величином отвора до 3 mm. Зависно од конструкције, на ситима се задржава и до 35 % лебдећих материја. Чишћење сита је аутоматско (четкама, ваздухом или водом).

(2) Уситњавање отпадне материје је процес који или потпуно замењује решетање или се примењује након проласка отпадне воде кроз грубу решетку. Крупне отпадне материје уситне се и исеку у честице величине 3 - 8 mm и одводе даље на пречишћавање без опасности од зачепљења пумпи и других делова уређаја. Уситњавање отпадне материје се обавља уситњивачима. У пракси се најчешће употребљавају уситњивачи са слободним пролазом воде, (слика 6.7). Губитак висине, ΔH [m], на овом типу уситњивача износи 0,1 - 0,3 m.

Пресек I-I



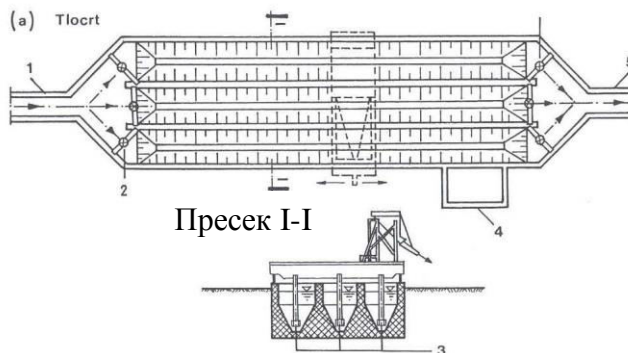
Пресек II-II

**Слика 6.7. Уситњивачи са слободним пролазом воде**

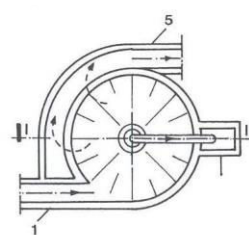
1 - довод; 2 - одвод; 3 - уситњивачи; 4 - запорнице; 5 - обилазни вод са решетком (за случај квара уситњивачи)

(3) Таложење се код механичког пречишћавања примењује за издвајање песка и осталих крупнијих честица минералног порекла из отпадних вода. То је потребо ради заштите ротора пумпи, цевовода од абразије, као и осталих делова уређаја. Ради оријентације, као просечна вредност узима се количина песка (са 50 - 60 % садржаја воде) 5 - 12 dm³/становнику/годину. Грађевине у којима се одвија овај процес зову се хватачи песка, (слика 6.8). У правилу се постављају код мешовитих система одвођења

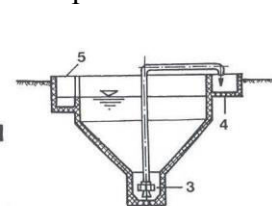
(а) Нацрт ерској каналској мрежи.



(б) Нацрт



Пресек I-I

**Слика 6.8. Хватачи песка**

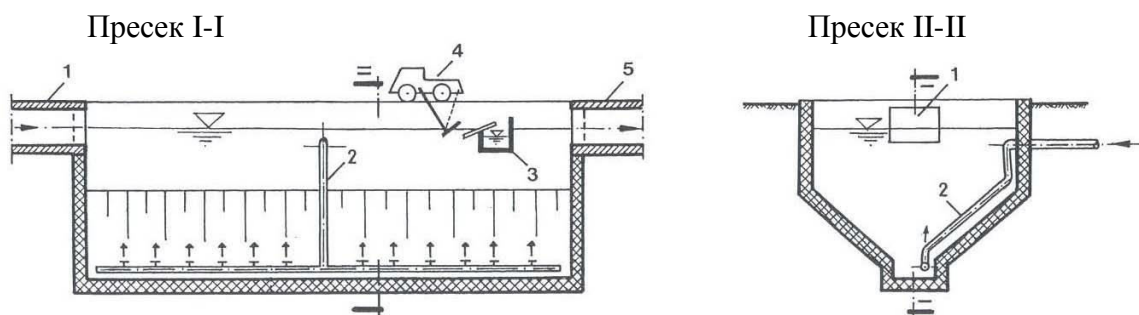
(а) правоугаони трокоморни; (б) округли једнокоморни

1- довод; 2 - запорнице; 3 - пумпе за вађење песка; 4 - комора за песок; 5 - одвод

Хватачи песка се изводе као таложници, дакле као резервоари у којима се смањује брзина воде и тако омогућава таложење зрнастих честица. Ради спречавања истовременог таложења и честица органских материја, настоји се постићи минимална (хоризонтална) брзина протицања воде кроз хватаче песка око 0,3 m/s. При овој брзини се практично исталоже све честице песка пречника већег од 0,25 mm. Време задржавања (протицања) воде кроз хватаче песка узима се 45 - 90 (најчешће 60) s. Препоручљиви односи дубине и дужине, дужине и ширине хватача песка истих су

односа као и код таложних. Хватачи песка имају правоугаону и округлу основу, (слика 6.8). Претежно су вишекоморни, како би се омогућило вађење песка и изравнавање осцилација у дотоку. Код мањих уређаја хватачи песка се чисте ручно, а код већих механички.

(4) Испливање је процес узлазног кретања честица распршених у води којима је густина мања од густине воде. Код пречишћавања отпадних вода овај се процес претежно користи за уклањање уља и масти. Разликује се природно и стимулисано испливање. Природно испливање се остварује код честица којима је густина мања од густине воде, а стимулирано најчешће убацивањем компримованог ваздуха (аерацијом) у ситним мехурићима, који се лепе на честице густине веће од густине воде, које се потом издижу на површину. Учинак флотације зависи од више чинилаца: времену задржавања воде у резервоару, густини, величини и масеном протоку честица, као и брзини протицања и температури воде. Природним испливањем може се смањити садржај пливајућих материја 80 - 90 %, а стимулираним и до 98 % (ако је температура воде нижа 30 - 35 °C). Испливање се одвија у флотаторима. То су једно или вишекоморни резервоари слични таложницима, претежно правоугаоне основе, који испред одвода (излазног прелива) имају мању преграду са сакупљачем пливајућих материја, ваздушне флотаторе и систем за удување компримованог ваздуха (под притиском 0,6 бара), (слика 6.9). Волумен (димензије) флотатора бира се из услова да време задржавања воде у базену буде 3 - 5 min. Брзина протицања воде обично се узима 0,015 m/s.



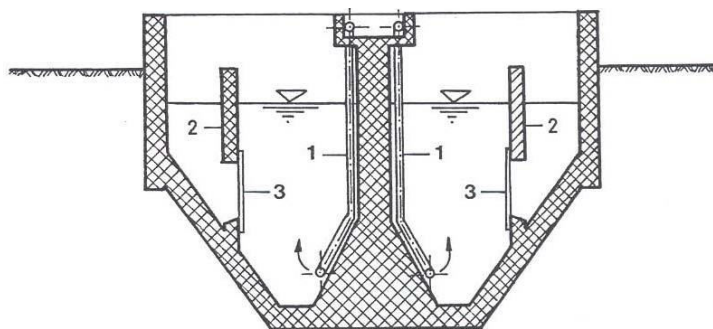
Слика 6.9. Ваздушни једнокоморни флотатор

1 - довод; 2 - систем за удување компримованог ваздуха; 3 - преграда са сакупљачем пливајућих материја; 4 - згртач пливајућих материја; 5 – одвод

Код ваздушних флотатора количина убацивања ваздуха износи реда величине $5\text{ m}^3/\text{h}$ по метру кубном волумена резервоара. За праксу се препоручују следеће вредности и односи карактеристичних параметара флотатора:

- (а) ширина, 2 - 6 m,
- (б) дубина воде, 1 - 2,5 m,
- (в) однос дубине и ширине, 0,3 - 0,5.

Код пречишћавања кућних отпадних вода, у којима просечна количина пливајућих материја (уља и масти) износи од 1 - 5 [l/становник/година] не изводе се посебни флотатори, већ се уклањање пливајућих материја обавља у хватачу песка, (слика 6.10).



Слика 6.10. Ваздушни двокоморни пјесколов и флотатор

1 - систем за удување компримованог ваздуха; 2 - уздужне преграде; 3 - хрстове плочице

(5) Изједначавање је процес задржавања отпадних вода у резервоару да се изједначе темељна својства воде (концентрација водоникових H^+ јона, боја, мутноћа, БПК, КПК и др.), уз додатне ефекте због физикалних, хемијских и биолошких промена током задржавања. Будући да је овај процес у начелу примерен за пречишћавање индустријских отпадних вода, време задржавања зависи од индустријских (технолошких) процеса и не може бити краће од трајања целокупног циклуса. Ради спречавања таложења и постизања бољег мешања воде употребљавају се механичке мешалице и примењује се удување ваздуха. Убацивањем ваздуха потпомаже се биолошка и хемијска оксидација отпадне материје.

(6) Неутрализација је процес за промену концентрације водоникових H^+ јона (вредности рН) у индустријским отпадним водама. Наиме, ове воде често садрже киселе и базне састојке у количинама с којима се не смеју испуштати у природне водне системе, где се допушта испуштање отпадних вода са вредношћу рН 6 - 9 (а код примене биолошког пречишћавања од 6,5 - 8). Неутрализација је један од темељних процеса за претходно пречишћавање индустријских отпадних вода. Најједноставније се постиже мешањем отпадних вода из различитих погона, односно мешањем киселих са базним отпадним водама. Друга је могућност додавањем реагенса (нпр. натријумове базе у киселој води, а сумпорна киселина у базној води). Избор реагенса и количина (дозирање) утврђује се експериментално.

6.3.2. Биолошко пречишћавање

Механичким се пречишћавањем из отпадних вода углавном уклања мањи део загађења (крупни отпаци, брзо таложиве чврсте материје, уља и масти), док већи део загађења остаје у отпадним водама (органске и неорганске чврсте материје у отопином и колоидном стању, микроорганизми, хранљиве соли, пестициди, детерџенти, отровне и радиоактивне материје). За уклањање крајње групе загађења потребно је применити виши степен пречишћавања отпадних вода, односно биолошко или физичко - хемијско пречишћавање.

Биолошко пречишћавање отпадних вода у општем случају обухвата следеће фазе, (слика 6.5.(2)):

- (а) решетање и / или уситњавање,
- (б) таложење (у хватачу песка) и испливање,
- (в) изједначавање и / или неутрализацију,
- (г) таложење (у претходним таложница, ПТ) и испливање,

- (д) биолошке процесе (у ваздушним резервоарима с активним муљем, лагунама, прокапницима, обртним биолошким носачима, анаеробним дигест,
- (ђ) таложење (у накнадним таложницама, НТ), испливање и процеђивање,
- (е) дезинфекцију.

Прве три фазе чине механичко пречишћавање које је претходно тумачено. Преостале фазе садрже низ процеса (таложење, процеђивање, дезинфекцију) који су тумачени у претходном поглављу приликом описа кондиционирања воде, (тачка 6.1.) из рада „Водоснабдевање“, тако да се овде неће детаљније образлагати већ ће се само изнети одређене посебности у односу на њихову улогу у процесу кондиционирања воде. Нешто шире ће се тумачити процеси са којима се до сада нисмо сусретали (биолошки процеси у ваздушним резервоарима с активним муљем, лагунама, прокапницима, обртним биолошким носачима, анаеробним дигест).

(1) Таложење се код секундарног (и терцијарног) пречишћавања отпадних вода примењује се за смањење неорганске и дела органске лебдеће материје.

Код биолошког пречишћавања разликујемо два степена таложења:

- (а) таложење у претходним таложницама, из којих се вода одводи на биолошке процесе (у ваздушним резервоарима с активним муљем, лагунама, прокапницима, обртним биолошким носачима, анаеробним дигест),
 - (б) таложење у накнадним таложницама, у које се доводи вода пречишћена биолошким процесима.
- (а) Таложење у претходним таложницама примењује се за уклањање суспензија које се у отпадним водама налазе у облику зрна и пахуљица. Учинак пречишћавања отпадних вода у претходним таложницама износи приближно:

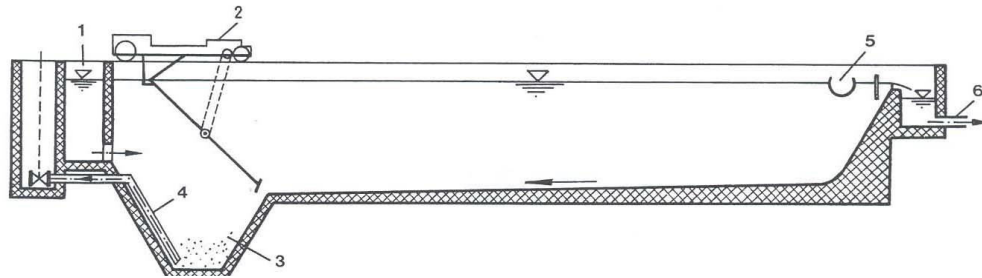
- (I) смањење БПК₅ за 25 - 40 %,
- (II) смањење укупних лебдећих материја за 40 - 70 %,
- (III) смањење бактерија за 25 - 75 %,
- (IV) смањење КПК за 20 - 35 %.

Будући да се у отпадним водама налазе измешане суспензије у облику зрна и пахуљица, учинак пречишћавања у претходним таложница зависи и од времена задржавања воде, табела 6.2.

Табела 6.2. Време задржавања отпадних вода (с мањим учешћем индустријских отпадних вода) у функцији површинског оптерећења и дубине таложника.

Површинско оптерећење, PO [m/h]	Дубина таложника, H _s [m]			
	1,5	2	2,5	3
	Време задржавања, T _s [h]			
0,8	1,87	2,5	3,12	3,75
1	1,5	2	2,5	3
1,2	1,25	1,68	2,08	2,5
1,4	1,07	1,42	1,78	2,14
1,6	0,94	1,25	1,56	1,87

За индустријске и отпадне воде са претежним уделом индустријских отпадних вода подаци за димензионисање таложника утврђују се на основу испитивања. Претходни таложници са основним, функционалним и конструктивним решењима аналогних таложника за кондиционирање воде, (тачка 6.2.4) из рада „Водоснабдевање“, са тим да су додатно опремљени сакупљачем пливајућих материја (пене с водне површине), (слика 6.11).



Слика 6.11. Правоугли претходни таложник

1 - довод; 2- згртач муља; 3 - муљна комора; 4 - одвод муља; 5 - скупљач пливајућих материја; 6 – одвод

(б) Таложење у накнадним таложницима примењује се за пречишћавање воде пречишћене биолошким процесима у којој се још налази пахуљичастог муља. То је често последња фаза пречишћавања отпадних вода. Будући да се ради о уклањању пахуљичастих суспензија, учинак таложења у накнадним таложница битно зависи од времена задржавања воде. Главни утицај на ефекат таложења у овој врсти таложника има удео индустријских отпадних вода. За избор димензија накнадних таложника за пречишћавање индустријских вода потребна су претходна испитивања. Накнадни таложници најчешће имају кружну основу.

(2) Биолошки процеси се примењују за пречишћавање кућних отпадних вода и индустријских отпадних вода са претежним уделом органске (биолошки разградиве) материје и са садржајем опасних материја испод критичних концентрација. Пречишћавање биолошким процесима темељи се на активности микроорганизама који разграђују мртву органску материју употребљавајући је као храну за градњу нових ћелија (умножавање). Уз развој микроорганизама као продукт биолошких процеса настају гасови и неразградив остатак. Према количини раствореног кисеоника у отпадној води и према приликама у станишту могући су следећи процеси:

- (I) аеробна градња и разградња ћелија,
- (II) анаеробно кисело врење и метанска разградња,
- (III) бактериолошка оксидација и редукција.

(I) Аеробни процеси настају када у води има довољна количина раствореног кисеоника. Кисеоник се троши приликом разградње лебдеће и колоидне органске материје коју микроорганизми употребљавају као храну. Истовремено микроорганизми разграђују сопствене ћелије (респирација) уз поновну потрошњу кисеоника. Аеробним процесима се производи вишак живе и мртве органске и неорганске материје који се назива вишком муља.

(II) Анаеробни процеси настају кад у води нема раствореног кисеоника. Овај процес се одвија у две фазе. У првој (киселој) фази бактерије киселог врења разграђују органску материју до органских киселина које су храна за метанске бактерије у другој

(метанској) фази разградње. Приликом анаеробних процеса настаје много мање нових ћелија (микроорганизама) него током аеробних.

(III) Бактериолошка оксидација и редукција омогућава оксидацију гвожђа, мангана и сумпорних једињења, редукцију и оксидацију азотних једињења.

Уз услове у станишту, биолошки процеси су веома осетљиви и на састав отпадних вода, првенствено на количину хранљивих материја (умножавање микроорганизама у отпадним водама сразмерно је концентрацији хранљивих материја), количини раствореног кисеоника, температури (повећањем температуре убрзавају се биолошки процеси), концентрацији водоникових H^+ јона (за већину процеса оптимално је подручје вредности рН између 6,5 и 8,5) и концентрацији отровних материја (које или успоравају биолошке процесе или могу уништити микроорганизме). С обзиром на начин одржавања микроорганизама на уређајима за биолошко пречишћавање отпадних вода у пракси се најчешће примењују објекти чија је систематизација приказана у (табели 6.3.):

Табела 6.3. Најчешћи објекти за одвијање биолошких процеса према начину одржавања микроорганизама.

Начин одржавања микроорганизама	Објекти	
	Аеробни процеси	Анаеробни процеси
Микроорганизми суспендовани у води	1. аерирана резервоари са активним муљем (биоаерацијски базени) 2. Лагуне (аеробне и аерирана)	1. Дигестори (анаеробни) 2. Лагуне (анаеробне)
Микроорганизми причвршћени на подлози (у облику биолошке опне)	1. Прокапници (биолошки филтри) 2. Обртни биолошки носачи (биодискови)	1. Лагуне (анаеробне) 2. Процеђивачи (анаеробни)

(2.1) Ваздушни резервоари са активним муљем се изводе као базени у које се уводи отпадна вода и удувава ваздух или кисеоник уз истовремено мешање садржаја резервоара, чиме се убрзава додир пахуљица хранљивих материја и микроорганизама. Активним муљем називамо масу микроорганизама распршених у резервоару који у аеробним приликама могу разградити органску материју. Учинак биоаеробних базена зависи од оптерећења активним муљем. За отпадне воде са малим уделом индустријских вода (БПК = 150 - 350 mg/l) постиже се смањење органске материје 75-95 %. Мања вредност се односи на зимски период ($T < 11\text{ }^{\circ}\text{C}$), а већа за летњи период ($T > 13\text{ }^{\circ}\text{C}$). Систем аерације и мешања воде у резервоару треба обезбедити просечну концентрацију кисеоника 1 - 2 mg/l и спречити таложење активног муља. Овај други услов захтева високи степен турбуленције у резервоару што се осигурава брзином струјања око 0,5 m/s.

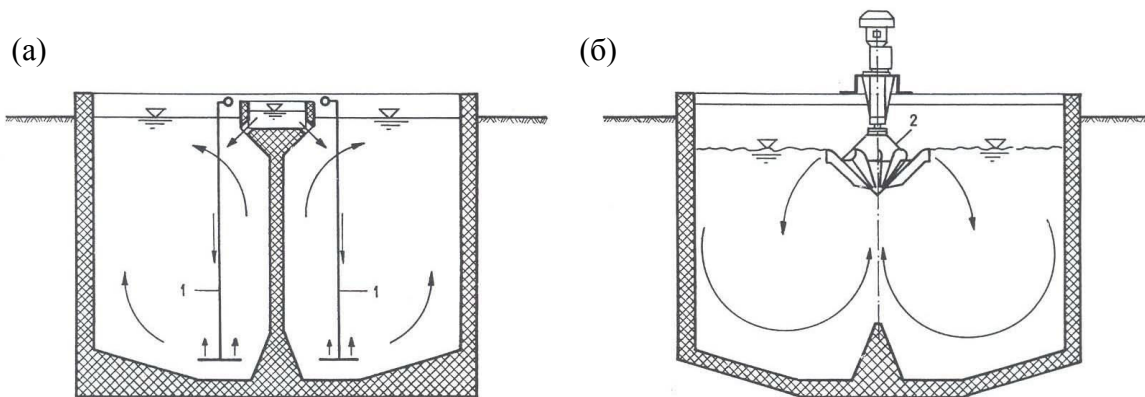
Удувавање ваздуха или кисеоника у резервоаре са активним муљем и мешање отпадних вода могуће је постићи на два основна начина:

(а) дубинском аерацијом,

(б) површинском аерацијом.

(а) Дубинска аерација се изводи помоћу распршивача распоређених при дну (дифузора), слика 6.12 (а), којима се удувава компримовани ваздух или кисеоник (под притиском 0,6 - 0,8 бара) за аерацију и мешање. За постизање добрих ефеката дубинске аерације препоручује се да волумен биоаеробног базена не буде већи од 150 m^3 , с односом ширине према дубини 1:1 и највећом дубином 4 m.

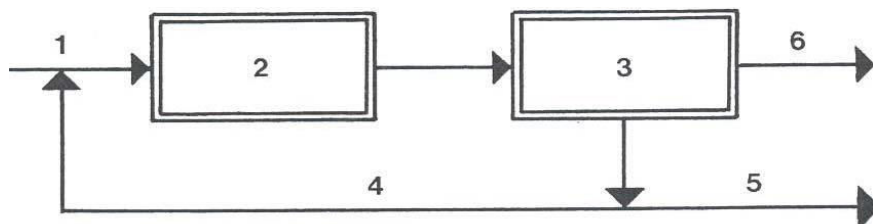
(б) Површинска аерација се најчешће изводи помоћу центрифугалних турбинских аератора, слика 6.12 (б). Они се изводе тако да се у висини нивоа воде на вертикалној осовини окреће ротор (турбина) који усисава воду, вртложи је и распрскава изнад површине. Степен аерације битно зависи од облика и пречника турбине, и њене променљиве дубине уроњење и брзине ротације (4 - 6 m/s).



Слика 6.12. Ваздушним резервоари са активним муљем

(а) с дубинским аерацијом; (б) с површинском аерацијом
1 - довод ваздуха или кисеоника; 2 - аерациони турбина

Класични биоаеробни базени се обично изводе правоугаоног основа са временом задржавања отпадних вода око 6 h. Из ваздушних резервоара са активним муљем отпадна вода се са мешавином отпадних материја и микроорганизмима доводи у накнадни таложник. Одатле се део активног муља враћа у биоаеробни базен како би се повећала концентрација микроорганизма, а остатак (вишак муља) се одводи на обраду муља, (слика 6.13).



Слика 6.13. Типична погонска шема конвенционалног уређаја са активним муљем

1- довод; 2 - ваздушни резервоар са активним муљем; 3 - накнадни таложник; 4 - повраћај муља; 5 - одвод вишка муља; 6 - одвод

(2.2) Лагуне су релативно плитке, пространи, земљани резервоари у којима се разграђују органске материје. Зато је пречишћавање отпадних вода у лагунама аналогно самопречишћавање вода у водним системима. Део микроорганизма у лагунама је распршен у води, а део се налази на дну. У складу са износом органског оптерећења, дубини воде у лагуни и климатским приликама (температура, ветар, сунчево зрачење) разградња органске материје се одвија аеробним или анаеробним

процесима уз фотосинтезу алги. Лети се у лагунама са кућним отпадним водама може постићи смањење органске материје за 80 - 95 %. Уз биолошке процесе у лагунама се истовремено одвија и таложење и испливање.

Лагуне могу бити:

- (а) аеробне,
- (б) анаеробне,
- (в) факултативне (аеробно - анаеробне),
- (г) аерирана.

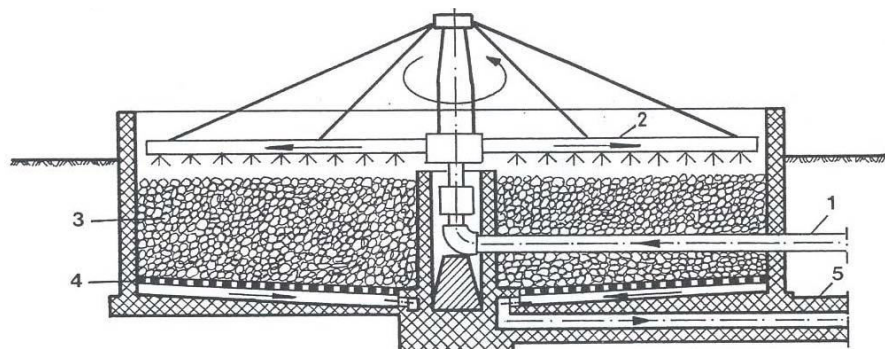
Особине ових врста лагуна приказане су у табели 6.4.

Табела 6.4. Особине врста лагуна.

Врста лагуна	Средња дубина [m]	Време задржавања [d]	Дневни органско оптерећење БПК5 [kg / ha]
Аеробне	0,5 - 1,5	10 - 40	40 - 120
Анаеробне	2,5 - 5	20 - 50	200 - 500
Факултативне	1 - 2,5	7 - 30	50 - 200
Аериране	2 - 6	3 - 10	до 500

За аериране лагуне потребно је, због веће масе органске материје у облику пахуљица, предвидети накнадно таложење. Из економских разлога се (због ниских инвестиционих и оперативних трошкова) настоји што чешће користити лагуне. Међутим, оне су углавном прикладне за мања места и за пречишћавање индустријских отпадних вода које су биолошки разградиве.

(2.3) Биолошки филтри су резервоари испуњени чврстим телима (каменом, трском, ломљеном опеком и црепом, пластичним комадима) крупноће 20 - 80 mm, на којима је опна од микроорганизама. Микроорганизми разграђују органску материју која се из отпадних вода адсорбује на опну. Биолошки филтри се обично изводе као армирано-бетонски резервоари дебљине 1,8 - 2 (3) m изнад које се доводи (распрскава) отпадна вода која је прошла процес претходног таложења. У доњем делу прокапника изводи се дренажа на одвод воде, а на дренажу се полаже испуна, (слика 6.14). Воде прокапљује кроз испуну, а у супротном смеру струји свеж ваздух.



Слика 6.14. Биолошки филтри

1 - довод; 2 - прскалице; 3 - испуна; 4 - дренажа; 5 - одвод

Довод воде на биолошки филтер могућ је:

(а) ротационим прскалицама уз стални доток и прскање,

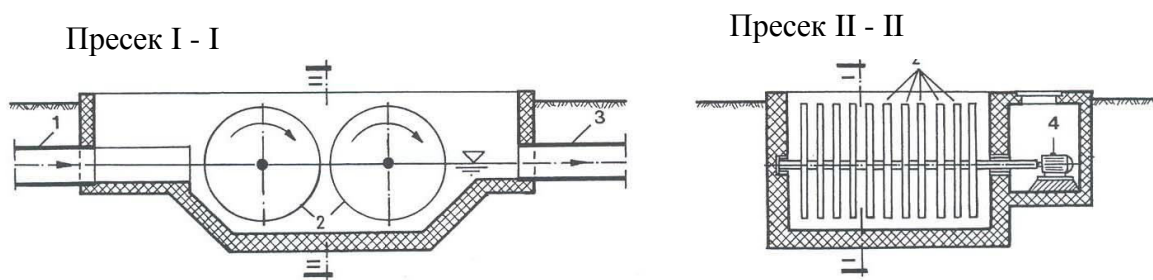
(б) фиксним прскалицама (амерички систем) уз интермитентан доток и прскање.

У оба случаја потребно је обезбедити препритисак (минимум 0,2 бара), што се постиже укапавањем биолошког филтра или црљењем. Разградњом органске материје повећава се број микроорганизама (биолошка опна), прионљивост за испуну се смањује и опна се откида, па се односи са прочишћеном водом. Тај губитак биолошке опне назива се испирање биолошког филтра. Зато је потребно накнадно таложење пречишћене воде како би се задржала откинута биолошка опна. За дејство биолошког филтра меродавно је дневно органско оптерећење (дневна маса органске материје на јединицу волумена прокапника) и дневно хидраулично оптерећење (дневни проток отпадне воде кроз јединицу површине прокапника). Према вредностима ових величина дефинисана је и оптерећеност биолошког филтра, (табела 6.5).

Табела 6.5. Оптерећеност биолошког филтра према дневном (хидрауличном и органском) оптерећењу исмањењу органске материје.

Оптерећеност биолошког филтра	Дневно оптерећење		Смањење ВРК ₅ [%]
	Хидраулично [m ³ /m ²]	Органско [kg/m ³]	
Ниска	1 - 10	0,08 - 0,48	75 - 85
Висока	10 - 40	0,48 - 1	75 - 85
Врло висока	40 - 200	0,8 - 6	70 - 90

(2.4) Обртни биолошки носачи састоје се од округлих плоча (дискова) нанизаних са малим међупростором на (једну или више) хоризонталну осовину и уроњених до половине пречника у резервоар са отпадном водом, (слика 6.15).



Слика 6.15. Обртни биолошки носач

1 - довод; 2 - округле плоче; 3 - одвод; 4 - погонски мотор

Биолошка опна налази се на површини плоча и проветрава лаганим окретањем осовине тако да је увек половина плоче у води. Учинак пречишћавања зависи од органског оптерећења површине плоча и код кућних отпадних вода достиже и до 94 %. Као и код биолошких филтра, пречишћена вода се одводи на процес накнадног таложења.

(2.5) Анаеробни дигестори (уз честу примену код обраде муља) примењују се за пречишћавање отпадних вода са врло високим органским оптерећењем (са више од 2 kg ВРК₅ по [m³]), што је погодно за пречишћавање отпадних вода прехранбене

индустрије. Анаеробна разградња органске материје обавља се у затвореним посудама (без приступа ваздуха) уз истовремено кисело и метанско врење. Коначни производ оваквог кључања је метан који се може непосредно употребити као гориво. За анаеробну дигестију се користе две врсте дигестора:

- (а) конвенционални (један резервоар без грејања и мешања),
- (б) високооптерећени (обично 2 резервоара од којих се први греје и у којем се меша вода).

Грејањем у високооптерећеном дигестору убрзава се процес, па је задржавање воде у резервоару краће, (табела 6.6).

Табела 6.6. Средње вредности параметара конвенционалног и високооптерећеног дигестора.

Врста дигестора	Време задржавања [d]	Дневно органско оптерећење [kg/m ³]
Конвенционални	30 - 90	0,5 - 1,6
Високооптерећени	1 - 20	1,6 - 6,4

Ефекат разградње органске материје анаеробном дигестијом износи око 55 %, а производња гаса до 01:12 m³ по килограму разграђене органске материје. Гас садржи 65-70 % метана.

(3) Процеђивање се користи ради задржавања чврсте супстанце присутних у отпадним водама. Код завршног пречишћавања отпадних вода (укључујући и обраду муља) процеђивање се може спровести:

- (а) површинским процеђивачима (притисни, вакуумски, тракасти, микросита), код којих се вода процеђује проласком кроз прорупчану подлогу,
- (б) дубинским процеђивачима (гравитациони, притисни, вакуумски), код којих вода опада, расте или двосмерно процеђује кроз филтерски слој састављен од гранулираног материјала.

У технологији пречишћавања отпадних вода чешћа је употреба дубинских процеђивача. Процеђивање отпадних вода на овој врсти процеђивача постиже се:

- (I) смањење укупног фосфора за 70 - 98 %,
- (II) смањење КПК за 20 - 45 %,
- (III) смањење БПК за 40 - 70 %,
- (IV) смањење мутноће за 60 - 95 %.

Учинак процеђивања, избор филтрацијског материјала и хидраулично димензионисање дубинских процеђивача најбоље је одредити испитивањем на моделима.

(4) Дезинфекција се код пречишћавања отпадних вода најчешће проводи применом хлора. Уобичајене дозе хлора износе 5 - 20 mg/l.

6.3.3. Физикално – хемијско пречишћавање

Ова врста пречишћавања отпадних вода у општем случају обухвата, (слика 6.5 (3)):

- (А) решетање и / или уситњавање,
- (Б) таложење (у хватачу песка) и испливавање,
- (В) изједначавање и / или неутрализацију,
- (Г) згрушавање, пахуљичење и хемијско обарање (хемијску преципитацију),
- (Д) таложење, испливавање и процеђивање,
- (Ђ) адсорпцију, јонску измену и мембранске процесе,
- (Е) дезинфекцију.

Аналогно тумачење биолошког пречишћавања и физичко - хемијско пречишћавање садржи низ процеса који су претходно тумачени (механичко пречишћавање, процеђивање и дезинфекцију), тако да се овде неће образлагати. За процесе са којима смо се упознали код описа кондиционирања воде (згрушавање, пахуљичење, адсорпција) изнеће се додатне специфичности, а за процесе са којима се нисмо сусретали (хемијско обарање, јонска измена и мембрански процеси) даће се (због реткости, односно специфичности њихове примене) само уводне информације.

(1) Згрушавање се првенствено користи за стабилизацију колоида и фосфата у кућним и атмосферским водама, колоида у отпадним водама из индустрије папира и челичане. Додатно, овим се процесом смањује количина пене и масноћа у отпадним водама из рафинерије и челичана. Врста и дозирање средстава за згрушавање одређује се испитивањем отпадних вода.

(2) Хемијско обарање је процес којим се уклањају непожељне отопљене материје из отпадних вода додавањем реагенса, при чему се хемијским реакцијама стварају нерастворљива једињења (првенствено соли калцијума, магнезијума и силицијума, флуориди и фосфати) који се таложе на дно резервоара. Овим се процесом из отпадних вода могу уклонити тешки метали (кадмијум, бакар, хром, никл, цинк, олово, гвожђе и сребро). У отпадној води у којој се налазе материје у распршеном и отопљеном облику одвија се истовремено згрушавање и обарање, будући да се за преципитацију користе реагенси као и за згрушавање.

(3) Адсорпцијом се из отпадних вода уклањају неразградива једињења, мириси и боје. Као адсорбент (чврста материја која адсорбује) користе се фина иловача, силицијум, активна глина и активни угаљ. Служе као филтерски материјал дубинских процеђивача.

(4) Јонска измена је процес замене јона између чврстих материја (јонског измењивача) и воде (раствора електролита). Јонски измењивачи се за пречишћавање отпадних вода изводе као затворени дубински процеђивачи. Најчешће се примењују за пречишћавање индустријских отпадних вода које садрже тешке метале, фосфате и азот.

(5) Мембрански- процеси јесу процеси пречишћавања отпадних вода помоћу полупропусних мембрана које пропуштају воду и неке отопљене материје, али су непропусне за материје које треба уклонити из воде. У технологији пречишћавања отпадних вода од мембранских процеса се примењују:

- (а) инверзна осмоза,
- (б) електродијаза,
- (в) ултрапроцеђивање (ултрафилтрација).

(а) Инверзна осмоза је процес који се заснива на осмози, с тим да се у резервоар са већом концентрацијом (отпадном водом) повећа притисак изнад осмотског, тако да ће се вода из резервоара са већом концентрацијом дотичати у резервоар са мањом концентрацијом (чистом водом). Због обрнутог тока воде у односу на ток осмозе, процес је назван инверзном осмозом. Темељни проблем шире примене овог процеса је могућност производње мембрана прихватљивих у економском и технолошком погледу.

(б) Електродијализа је процес уклањања јона из воде (катјона и анјона) који пролазе кроз полупропустљиве мембране због деловања електричног поља. Мембране су селективне, тако да једне пропуштају катјоне, а друге анјоне, а у међупростору остаје пречишћена вода.

(в) Ултрапроцеђивање је процес пропуштања отпадних вода кроз мембране које пропуштају воду, а задржавају макромолекули веће од пора мембране. Првенствено се примењују у прехранбеној индустрији за пречишћавање вина и воћних сокова, за раздвајање протеина, шећера и ензима.

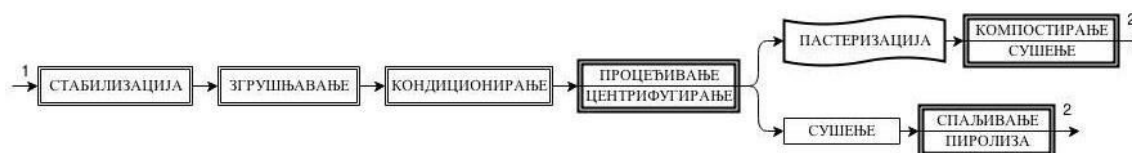
6.4. Обрада муља

Уклањањем лебдећих, колоидних и растворених материја из отпадних вода добија се концентрисани отпад који се зове муљ. Волумен муља може достићи до 1 % запремине пречишћених отпадних вода. Сирови муљ је непријатног мириса, опасан за људско здравље и околину, па се не сме испустити из уређаја пре претходне обраде.

Такав муљ се обрађује:

- (I) биолошким,
- (II) физичко - хемијским и
- (III) топлотним процесима.

Обрада муља најчешће обухвата следеће фазе, (слика 6.16).



Слика 6.16. Погонска шема обраде муља

1- довод; 2 – испуштање

- (а) стабилизацију,
- (б) згушњавање,
- (в) кондиционирање,
- (г) процеђивање или центрифугирање,
- (д₁) (пастеризацију) компостирање или сушење (код коришћења муља у пољопривредне сврхе),
- (д₂) сушење, спаљивање или пиролизу (код енергетског кориштења муља).

(1) Стабилизација је процес обраде муља којим се смањује садржај органске материје да би се спречило даље струјање. Могућа је:

- (а) аеробна стабилизација муља,
- (б) анаеробна стабилизација муља.

(а) Аеробне стабилизација муља је процес разградње органске материје у муљу помоћу аеробних микроорганизама распршених у резервоару (дигестору) којима се уноси ваздух или кисеоник уз мешање садржаја резервоара. Учинак разградње органске материје у дигестору на температури, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, уз задржавање 10 - 12 d, најчешће износи 35 - 45 %.

(б) анаеробни стабилизација муља је процес разградње органске материје у муљу у затвореним посудама без приступа ваздуха (анаеробним дигест) уз истовремено кисело и метанско врење.

(2) Згушњавање је процес повећања концентрације чврста супстанца у муљу, односно смањења запремине стабилизованог муља. Згушњавање муља се обично спроводи у згушњивачи који обично раде на принципу:

- (а) таложења,
- (б) испирања (елутрације),
- (в) испливавања.

(3) Кондиционирање је процес којим се побољшавају услови за одстрањивање воде из муља (процеђивање, центрифугирање). У пракси је најчешћа примена:

- (а) хемијског кондиционирања, које се спроводи додавањем хемијских (органских и неорганских) реагенса,
- (б) топлотног (термичког) кондиционирања, које се спроводи загревањем муља до температуре, $T = 160 - 210\text{ }^{\circ}\text{C}$, у трајању 30 - 60 min .Топлотни кондиционирани муљ је практички стерилан, без непријатног мириса. За ову врсту кондиционирања муља карактеристична је већа потрошња енергије (већи погонски трошкови).

(4) Центрифугирање је процес одвајања чврсте супстанце од воде деловањем центрифугалних сила. Пре центрифугирања потребно је провести згрушавање муља додавањем полиелектролита. Предност центрифугирања према процеђивању садржаја је у томе што је потребан мањи простор за смештај уређаја истог капацитета и што нема опасности од зачепљења. Центрифугирањем се постиже концентрација суве материје у преосталом колачу 15 - 25 % када је муљ органског порекла, односно 20 - 60 % кад је муљ неорганског порекла.

(5) Компостирање је процес разградње органске материје у муљу до неорганске. Коначни производ је сличан хумусу са садржајем воде 40 - 50 %. Може се користити у пољопривреди као побољшивач тла ако не садржи тешке метале. Разградња органске материје у компосту може бити аеробна или анаеробна. С обзиром на температуре код којих се одвија разградња познати су:

- (а) мезофилне процеси, код којих се компостирање одвија на температурама, $T = 20 - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,

- (б) Термофилне процеси, код којих се компостирање одвија на температурама, $T = 40 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При компостирању на вишим температурама (Термофилне процеси) обично се униште све бактерије и вируси, али су у неким случајевима опажени паразити. Зато је код компостирања муља на нижим температурама понекад потребно извршити и дезинфекцију муља, што зависи од врсте пољопривредне културе која се узгаја на земљиштима побољшаним компостом.

(6) Пастеризација је процес дезинфекције муља. Проводи се загревањем муља до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и држањем на тој температури 20 min. Пастеризовати се може свежи и стабилизовани муљ.

(7) Сушење (топлотно) је процес испаравања воде из муља при температурама $200 - 400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тако осушени муљ (гранулат) садржи око 90 % суве материје. Ако не садржи тешке метале може се искористити у пољопривреди као побољшивач тла. Мана топлотног сушења је у томе што је потребна велика количина енергије за испаривање воде. Због тога топлотном сушењу муља мора претходити процеђивање или центрифугирање да би се смањио садржај воде у муљу.

(8) Спаљивање је процес сагоревања свих органских материја у муљу уз испаривање укупне воде на температурама $600 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коначни производ је неорганска материја (пепео). Због високих температура сагоревања у гасовима нема непријатних мириса. Међутим, тешки метали из муља остају у пепелу, што треба сагледати приликом избора места за коначно одлагање пепела (депоније).

(9) Пиролиза је процес разградње органске материје на високим температурама без приступа кисеоника. Коначни производ пиролизе су гасови (метан, водоник, угљен моноксид), угљенисана чврста материја, уља, катран и пепео, од којих се већина може искористити као гориво.

7. Испусти

Испусти су грађевине којима се непрочишћене или пречишћене отпадне воде испуштају у пријемник. Према врсти пријемника могући су:

(I) испусти којима се отпадне воде испуштају у природне (водотоке, језера, мора) и вештачке (канале, акумулације) водне системе.

(II) испусти којима се отпадне воде испуштају у тло.

Будући да је у пракси најчешће испуштање у водне системе, даље ће се изнети основне информације о овој врсти испуста. Код ових испуста могућа је њихова класификација у односу на:

(а) положај испуста према нивоу воде пријемника:

(а₁) површински или непотопљени испусти (испуст је изнад нивоа воде пријемника),

(а₂) подводни или потопљени испусти (када је испуст испод нивоа воде пријемника),

(б) положај испуста према обали пријемника:

(б₁) обални испуст (када испуст завршава на самој обали),

(б₂) приобални испуст (када испуст завршава близу обале),

(б₃) изванобални испуст (када испуст завршава даље од обале),

(в) хидродинамични режим у пријемнику:

(в₁) испусти којима се отпадне воде испуштају у стајаће (језера, мора, канале, акумулације),

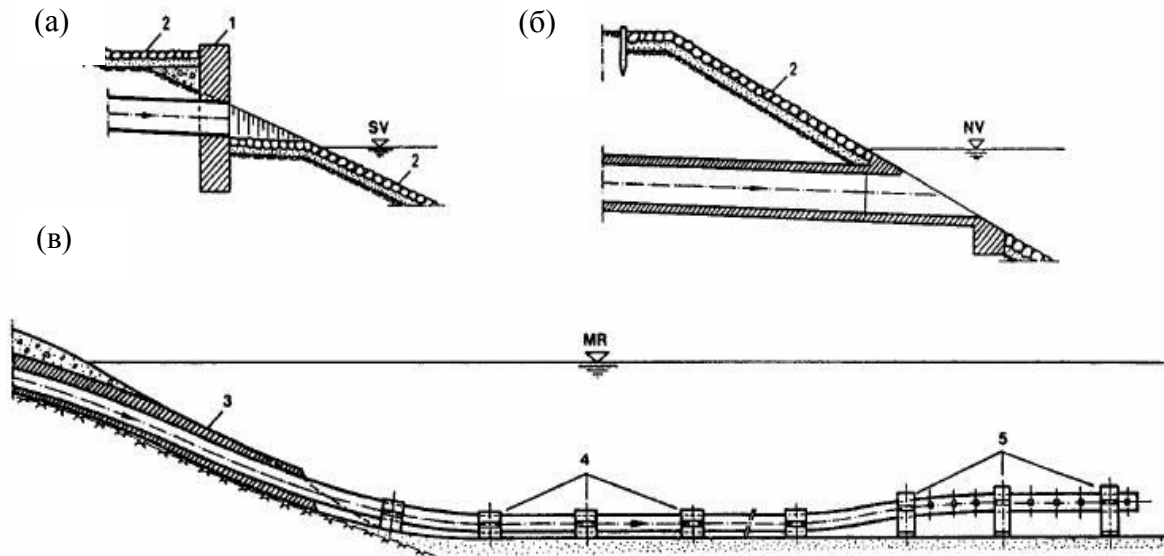
(в₂) испусти којима се отпадне воде испуштају у текуће (водотоке - реке, потоке).

Од набројаних врста испуста могуће су неке комбинације. Тако нпр. испусти којима се отпадне воде испуштају у стајаће и текуће могу бити површински и подводни, обални, приобални и изванобални (првенствено морски и језерски). Обални испусти могу бити површински и подводни, док су приобални и изванобални испусти подводни. Од набројаних комбинација неколико је приказано на слици 7.1. Из санитарних разлога и због потребе што интензивнијег мешања отпадних вода са водама пријемника увек је препоручљива израда подводних испуста. На крају копнене деонице испуста често се изводи испусно окно које служи за ревизију испуста, а код обалних испуста и за смештај заштитних арматура и уређаја (резе, жабљих поклопаца, решетки и др.). Сваки од претходно наведених испуста има своје специфичне особине у складу са количином и квалитетом отпадних вода, и особинама пријемника. Зато, код анализе сваког испуста у начелу проводимо:

(1) хидраулични прорачун,

(2) еколошки буџет,

(3) буџет механичке отпорности и стабилности.



Слика 7.1. Испусти

(а) површински обални; (б) подводни обални; (в) изванобални (подморски)
 1 - бетонски зид; 2 - камена облога; 3 - бетонска облога; 4 - оптеживачи; 5 – јахачи

(1) Хидрауличким прорачуном се дефинишу брзине (нарочито излазне), димензије и висински положај испуста у односу на ниво воде у пријемнику. Овим се буџетом требају задовољити два темељна захтева:

- (а) испуштања отпадних вода не сме се створити успоравање у канализационој мрежи и на уређају за пречишћавање,
- (б) ради што интензивнијег мешања отпадних вода са водама пријемника потребно је да су излазне брзине (првенствено код подводних испуста) најмање $1,5 \text{ m/s}$, тако да је на крају испуста потребно имати одређени препритисак.

Због последњег разлога на крају подводног испуста се обично поставља дифузор. Хидраулични прорачун се спроводи за све карактеристичне комбинације протока у испусту и нивоа воде у пријемнику (комбинације најмањег и највећег протока са најнижом и највишим нивоом воде).

(2) Еколошким буџетом се дефинише положај испуста у пријемнику (почетно разређење на месту испуста и накнадно разређење до забрањене зоне), у складу са тим потребан је степен пречишћавања отпадних вода на копну.

(3) Буџетом механичке отпорности и стабилности дефинишу се напрезања у испусном цевоводу и његова стабилност (првенствено на испливање) у односу према претпостављеним акцијама (утицајима, оптерећењима) којима ће бити изложен током израде и експлоатације. Овај је буџет посебно значајан код подводних (првенствено подморских) испусних цевовода.

8. Закључак

Развој насеља и повећање стандарда становништва повећавају загађење човекове околине, а међу најтеже облике загађења свакако се убраја и загађење вода. Потрошња воде за разне потребе постаје све већа што узрокује и пораст количина отпадних вода. Оваквим трендом пораста загађења вода значајно се угрожава човекова животна средина. Узме ли се у обзир чињеница да многа места, па и градови, данас не располажу са исправним санитарно-техничким решењем одвођења отпадних вода, неопходно је приступити изградњи јединственог система одвођења и пречишћавања отпадних и загађених вода, што је нужан корак према очувању здраве човекове околине и један од основних услова даљег развоја читавог система. Данас у неким деловима развијених и неразвијених деловима насеља (градова) не постоји изграђена канализација већ се одводњавање решава индивидуално испустима у отворене јарке, а део изведених канализационих система се улива директно у водотоке. Такво решење не задовољава данашње потребе и стандарде како на подручју становања, тако и на подручју заштите вода. Одвођење фекалних вода такође је делом решена септичким јамама или директним испуштањем у отворене канале (пored путева и сл.). Већина ових канала је замуљена тако да је смањен протицајни профил, па након кишних периода долази до задржавања воде и таложења честица што узрокује ширење смрада у непосредну околину. Одвођења отпадних вода сматра се једном од најбитнијих комуналних функција градова. Многи градови и места данас имају систем одвођења који није целовит (у смислу покривености читавог подручја града канализационим системом којим би се отпадне воде транспортовале на локацију за пречишћавање), а није изграђен ни уређај (систем) за пречишћавање отпадних вода у којем би се након одговарајућег третмана постигли параметри који би дозволили испуштање обрађених отпадних вода у водоток. Из горе наведених разлога, закључује се да је за квалитетно обављање комуналне делатности управљања и пречишћавања отпадних вода градова и места, као и постизање вишег стандарда заштите вода, нужно приступити изградњи целовитог система одвођења отпадних вода, са посебним акцентом на правилно и целовито димензионисање система за пречишћавање отпадних вода.

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. Arsenović, B.: *Prečišćavanje otpadnih voda*, Sveučilište u Zagrebu, Gradjevinski fakultet, Zagreb, 2011.
4. Margeta, J.: *Kanalizacija naselja*, Gradjevinski fakultet, Split, 1998.
5. Милојевић, М.: *Снабдевање водом и каналисање насеља*, Грађевински факултет, Универзитет у Београду, 1981.
6. Kardum M.: *Prečišćavanje otpadnih voda na bazi aktivnog mulja*, Urbanistički institut Hrvatske, Zagreb, 2008.