

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос снаге флуидом

Број индекса: 39/2014

Тамара Н. Богдановић

Анализа струјања течности кроз канализационе цеви

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Вања Шуштершич, ред. проф.- ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- опише типове канализационих система,
- прикаже материјале од којих се изграђују канализационе цеви,
- опише основне једначине које описују принцип срујања кроз канализационе цеви,
- прикаже пример прорачуна струјања кроз канализациону цев, користећи неки од савремених софтверских алата.

Препоручена литература:

[1] Повреновић Д., Кнежевић М.: „Основе технологија пречишћавања отпадних вода“, Технолошко-металуршки факултет, Београд, 2013.

[2] Sewerage manual (*with Eurocodes incorporated*), Key Planning Issue and Gravity Collection System, Third Edition, Drainage Services department, 2013.

[3] Маргета Ј.: „Канализација насеља: одводња и збрињавање отпадних и оборинских вода“, Грађевинско-архитектонски факултет, Сплит, 2009.

Крагујевац, септембар 2017.

ментор:

Вања Шуштершич, ред. проф.

Резиме

У оквиру овог завршног рада извршена је анализа струјања течности у канализационим цевима, са освртом на све аспекте утицаја на струјање. Дата је подела канализационих система одвођења отпадних вода, као и њених основних делова и описана је њихова примена. У даљем раду било је речи о шемама канализационих мрежа, материјалима и облицима канализационих цеви и ограничења која се спроводе у системима. На крају рада, дефинисане су основне једначине у хидрауличком прорачуну које описују принцип струјања кроз канализационе цеви и дат је пример прорачуна струјања кроз канализациону цев, користећи *Mathcad*.

Кључне речи: отпадне воде, канализациона мрежа, канализациони системи, хидраулички прорачун.

Abstract

In this final work was carried out an analysis of the flow of liquids in sewage pipes, with an overview of all aspects of the impact on the flow. The division of the sewage systems of wastewater disposal is given, as well as its basic parts and their application is described. In the further, there were words about the sewerage network schemes, materials and forms of sewer pipes and the restrictions that are implemented in the systems. At the end, the basic equations in the hydraulic calculation are defined, which describe the flow principle through the sewer pipes and give an example of the flow calculation through the sewer pipe using Mathcad.

Key words: wastewater, sewage network, sewage systems, hydraulic calculation.

Садржај

Увод	1
1. Историјат.....	2
2. Опис канализационих система.....	4
2.1 Управљање отпадним водама	4
2.2 Системи за одвођење отпадних вода.....	5
2.3 Системи за одвођење према начину прихватања и довођења отпадних вода.....	7
2.3.1 Мешовити систем одвођења отпадних вода	7
2.3.2 Разделни систем одвођења отпадних вода.....	11
2.3.3 Полураздељени систем одвођења отпадних вода	12
2.3.4 Комбиновани систем одвођења отпадних вода	14
2.4 Систем одвођења отпадних вода према погонском режиму.....	14
3. Канализационе мреже	16
3.1 Шема канализационе мреже.....	16
3.2 Канализационе мреже према облику канала	18
3.3 Канализационе цеви према материјалу израде	20
4. Ограничење пројектних параметра	25
4.1 Ограничење најмањих профила.....	25
4.2 Ограничење брзина	25
4.3 Ограничење уздужних падова.....	27
4.4 Ограничење висине пуњења каналом	29
4.5 Ограничење дубине уградње канала	29
5. Основне једначине које описују принцип струјања кроз канализационе цеви	30
6. Одређивање хидрауличких параметара струјања у канализационим цевима	38
7. Пример прорачуна струјања у канализационим цевима испуњеним више и мање од 50%	40
8. Закључак	47
Литература	48

Увод

Данас се нормалан живот не може замислити без воде у стану, нити функционалног канализационог система за одвођење отпадних вода. Нешто што се данас сматра основним потребама, које данашњи живот чине угоднијим и лакшим, до пре само неколико стотина година није ни постојало.

Проблеми снабдевања становништва водом и одвођење отпадних вода почињу са настанком првих организованих насеља. Људима је одмах по почетку живљења у градовима, постало јасно да ако не предузму нешто врло брзо биће затрпани смећем. У почетку су купатила и тоалети били повезани са градским одводима замљаним цевима, а отпад се изливао на околна поља, што је за данашњу цивилизацију незамисливо. Будући да се број становника стално повећавао, проблем се све теже решавао. Временом, развитком човекове свести и интелекта, почео је спознавати све више ствари које му Земља пружа и дошао до нових решења.

Канализација у облику који данас познајемо почиње масовно да се гради у великим градовима тек крајем XIX века, уз напомену да су уређаји за биолошко пречишћавање отпадних вода уведени тек у првој половини XX века.

Изградња канализационих канала се битно променила од некад типично зидарских до данас претежно монтажног карактера. У изградњи су се мењале и карактеристике канала, од некад претежно изведених решења на лицу места конструкција са сводом и издужених облика, до данас претежно округлих цеви које се уграђују на лицу места. Мењали су се и материјали од којих су се градили канали, некад од опеке и камена, преко бетона и азбестног цемента, па до ливеног гвожђа и синтетичких материјала као што су ПВЦ, полиетилен и полистирен.

Данас у развијеном свету, јављају се све већи захтеви у циљу заштите човекове средине који битно утичу на пројектовање канализационих система од којих се пре свега захтева велики квалитет израде, првенствено водонепропусност и функционисање.

Како се изграђеност насеља, живот и активности становника стално мењају тако се мењају и карактеристике отпадних и атмосферских вода, а тиме и захтеви који се морају испунити приликом пројектовања канализација. Фактори који су битни приликом пројектовања су карактеристични протоци у цевима, максималне брзине, ограничење падова, ограничење минималних профила, ограничење висине пуњења канализационих колектора. Неке факторе је тешко предвидети у прорачуну, као што је на пр. проток. Зато се у прорачуну усвајају највероватнији улазни подаци, који се најчешће базирају на претпоставкама.

1. Историјат

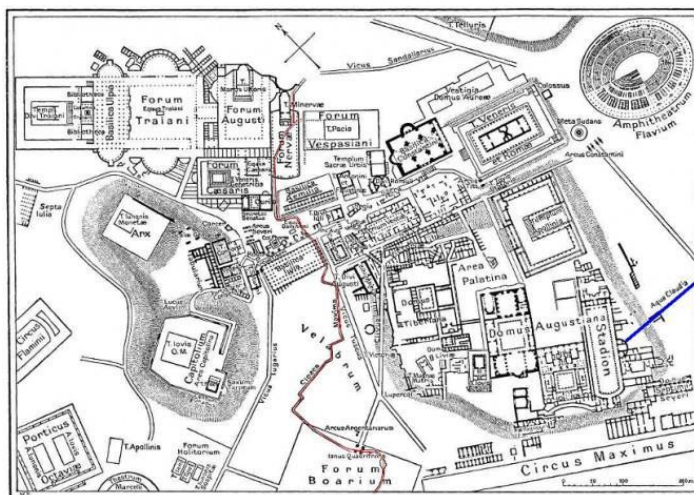
Први познати систем одводних цеви, није се појавио у неком од урбаних центара већ на острву Орки које се налази у близини северне Шкотске. Почетком трећег миленијума пре нове ере, тачније 3200 година пре нове ере, изградили су канале обложене каменом и дубине 35-60 центиметара, који су одводили отпадне воде и фекалије. Предпоставља се да су одводи били испод насеља и пружали се све до оближње литице где се садржај изливао у море [1].

Затим су људи у долини реке Инд дошли до новог решења, а то је изградња мреже одвода од цигала. Ти одводи су пратили смер главних улица и пролазили су поред кућа. Палате у древном свету биле су опремљене мрежама канализационих одвода, где је главни одвод био обложен каменом и у њега је велики број канала доводио кишницу.

У Месопотамији 4000 – 2500 година пре нове ере, цеви су биле направљене од опеке која се пекла на Сунцу или ломљеног камена. Палате из првог миленијума пре нове ере су имале одводе, који су толико били широки да су на крајевима цеви морали да стављају решетке. У Егејској цивилизацији (острво Крета, Минос) 3000-1000 година пре нове ере, коришћене су каде за купање без одвода, а нужници су се испирали водом из великих бокала.

У римском царству је између 800-753 године пре нове ере изграђена је прва канализација, где се вода доводила аквадуктима. *Cloaca Maxima* је довршена 510. године пре нове ере, и њу су изградили етрурски краљеви. Коришћена је за дренарање мочваре на којој је био изграђен највећи део Рима, а исто тако и главни сакупљач канализација.

Главни канал је изграђен од тесаног камена, попречног пресека 3,3/3,6 метара, и буквално су могле кочије да прођу, за шта су касније и коришћени ти тунели после њиховог затварања. Након пада римског царства враћају се на саме почетке изградње. Вера је проповедала да је непрање блиско са богом, и тако настаје низ болести као што су колера и куга. Све ово је трајало до XIX века, а једино се Дубровник издвајао јер је имао изграђену канализацију унутар зидина градова.



Слика 1. *Cloaca Maxima* [3]

На слици 1 је црвеном линијом је представљена Сцоаса Махима, на карти Рима за време принципатa.

У Паризу покренути епидемијом колере, до 1870. године изграђено је преко 500 километара нових канала, а до 1930. године цео систем мешовите канализације је био завршен: „Један канал за сваку улицу“.

У Лондону су на почетку били отворени јарци са падом према реци Темзи. *Sir John Harrington* је 1596. године осмислио за краљицу Елизабету тоалет са котлићем за испирање. Овај изум је имао доста недостатака, првенствено непријатан мирис. Касније га је водоинсталатер *Thomas Crapper* усавршио.

У Хамбургу је 1840. године, након што је изгорео стари део града, кренула обнова и увођење новог система одвођења. Вентилација се изводила преко извода кућних прикључака на крововима зграда, а главни сакупљачи су се испирали једном недељно коришћењем плиме. Овај систем почиње да се примењује широм Европе и САД-а. Тек много година касније изграђена је канализација са чистим и испраним цевима и скоро без јаким мириса [2].

2. Опис канализационих система

2.1 Управљање отпадним водама

Под управљањем отпадним водама, сматрамо скуп објеката и мера које служе за што брже одстрањивање загађених вода из људске околине, уз што боље санитарне, техничке, технолошке и економске захтеве. Систем одстрањивања се састоји из неколико фаза:

- сакупљање отпадних вода у урбаним и индустријским срединама;
- транспорт до места пречишћавања;
- чишћење до степена одређеног законима;
- испуштења пречишћене воде у реципијент [5].

Најбитнији задатак канализације јесте да у што краћем временском року и најкраћим путем одстрани отпадну воду из наше околине до места пречишћавања и коначног испуштања. Задатак је такође и да пречисти те скупљене воде до одређеног степена који ће заједно са прописаним стандардима гарантовати чистоћу.

Отпадним водама се сматрају воде које су искоришћене за одређену сврху и том приликом се и њихов састав мења под утицајем различитих загађивача. Током употребе се мењају њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике, тако да она постаје неупотребљива у њеној основној намени. Канализацијска вода јесте она која се одводи канализацијским каналима и може да се састоји од неколико врста отпадних вода. Према пореклу разликујемо неколико врста отпадних вода, а то су:

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

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

- *Кућне отпадне воде* обухватају воде из купатила и кухиње за испирање санитарних уређаја и од прања. То су воде које су искоришћене за обављање основних потреба као што је прање посуђа, припремање хране, производњу намерница, прање рубља, одржавање личне хигијене и воде које потичу из санитарних чворова куће (фекалне воде). Ове воде се састоје из 99,9% воде и 0,1% других материја које су пресудне за санитарно-хигијенско стање истих. Поред материја у води које су органског и минералног карактера, она још садржи и значајне количине папира, сапуна и других средстава за прање, отпадака од хране и великог броја других отпадних материја. Органске материје подложне су аеробној и анаеробној разградњи, а делимично и минерализацији. Због процеса разградње ове воде су непријатног мириса, а такође и боје.

- *Индустријске отпадне воде* су оне воде које су искоришћене у технолошким процесима и више не одговарају првобитној употреби, а поједине се могу користити у рецикулацији за друге сврхе. Користе се и у помоћним операцијама приликом прања апарата, уређаја, хлађења у измењивачима топлоте код термоелектрана и нуклеарним електранама, транспорта сировина и слично. Постоји велики број по карактеру различитих индустријских отпадних вода, које се деле у зависности од технологије производње, па тако имамо: (а) биолошки разградиве или компатибилне, које се могу мешати са кућним отпадним водама; (б) биолошки неразградиве или инкомпатибилне, које се не мешају са кућним отпадним водама без претходног пречишћавања. У отпадним водама може се појавити велики број разноврсних загађујућих материја као што су неорганске соли, микроорганизми, тако и токсичне материје као што су цијаниди, тешки метали, киселине, радиоактивне материје. Већина ових вода делује агресивно на материјале који се најчешће примењују за изградњу канализационе мреже. Агресивност највише зависи од рН вредности, неких соли и гасовитих продуката. Битно је и да се корозија челика одвија у присуству соли бакра, олова, никла и калаја.
- *Атмосферске воде* или *кишне* су воде настале приликом атмосферских падавина (киша и снег). Ове воде никада нису чисте у градским условима, зато што се у каналима сливају и отпадне воде од прања уличних површина, тротоара. Количина и квалитет ових вода зависи од интензитета и учесталости падавина, интензитета моторног саобраћаја, врсте површинске обраде терена и саобраћајних површина, загађења атмосфере и од климатских услова. Спирењем са појединих локација, као што су индустријска постројења, вода са собом носи значајне количине арсена, бакра, олова. Такође, и са асфалтних површина долази до спирања нафтних продуката.
- *Процеђене воде* су подземне воде које продиру у канализациону мрежу преко цевних спојева, пукотина, кућних прикључака и прикључних цеви на поједине објекте. По свом квалитету су најчистије, али када су у мешавини са санитарним водама, могу да поремете биолошко пречишћавање на постројењима. Зато је веома битно да се процени количина отпадних вода због контроле пропусне моћи канала и прорачуна погонских трошкова пумпних станица и уређаја за пречишћавање отпадних вода [7].

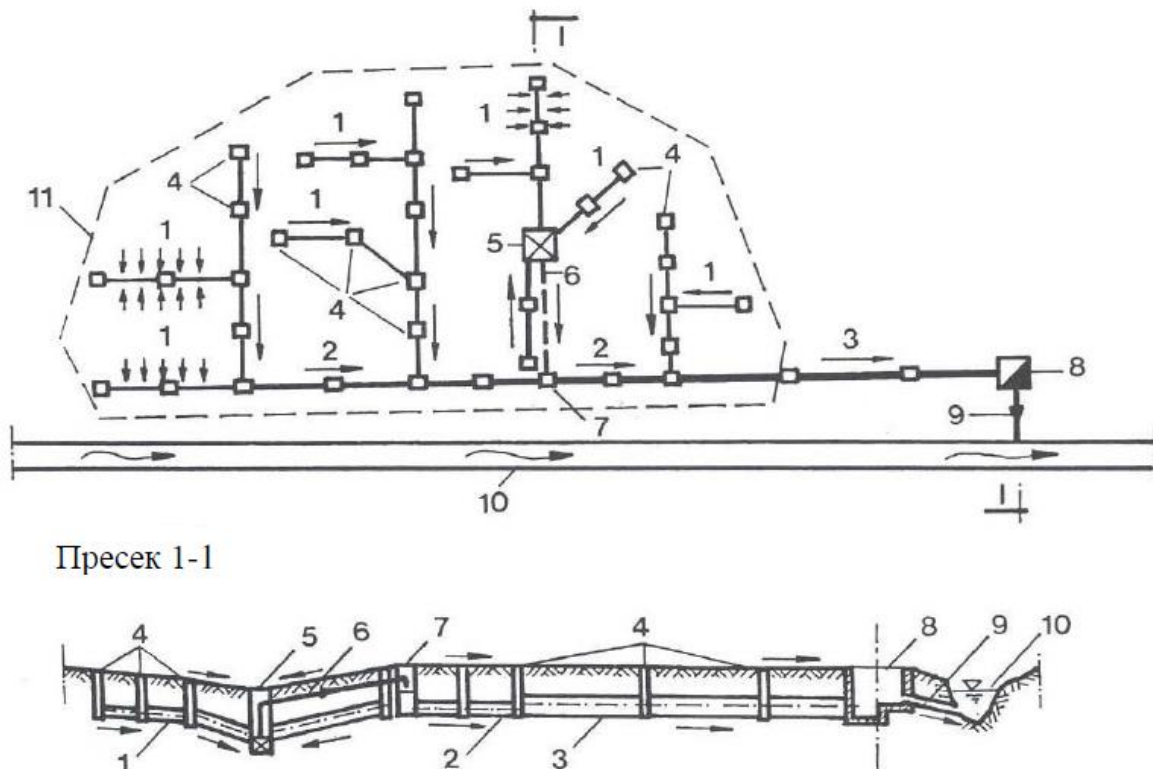
2.2 Системи за одвођење отпадних вода

Системом за одвођење отпадних вода се назива систем који се састоји од низа мера повезаних у целину, чији је основни циљ прикупљање, одвођење и пречишћавање отпадних вода, накнадно испуштање након пречишћавања и збрињавање муља насталог у току процеса пречишћавања, на технички што исправнији и економичнији начин [4].

Одвођење отпадних вода системом јавне канализације функционално је повезано са водоснабдевањем. Да би канализација испунила све захтеве потребно је изградити читав

низ објеката и канала како би био формиран један канализациони систем. Групе објекта који чине систем су (слика 2.1):

- *Канализациона мрежа*, односно споредна (секундарна) и главна (примарна) за сакупљање употребљених и атмосферских вода. Састоје се од колектора или канализацијских цеви, а то су цеви или канали одговарајућег облика, углавном затворен и углавном никад испуњен до врха, који служе за одвод отпадних и атмосферских вода. Могу бити још и колектори отпадних вода из домаћинства, колектори за прикупљање атмосферских отпадних вода, мешовити колектори, примарни (главни), секундарни (споредни) и лателарни (бочни) колектори [4].
- *Грађевинске канализационе мреже* (пумпне станице, улазно и прекидно коло, преливне грађевине, итд.). Њима се обезбеђује исправно функционисање.
- *Постројења за пречишћавање отпадних вода* при упуштању у реципијент (скуп поступака и радњи којима се отпадне воде пречишћавају на степен који је у складу са прописаним стандардима).
- *Испусти*, објекти којима се пречишћене или непречишћене отпадне воде после пречишћавања испуштају у природни реципијент.



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 [4]

Могуће је да неки од објеката на приказаној слици буду изостављени, као што је пумпна станица (ако је омогућено гравитационо одвођење) или да се изграде неки додатни објекти, као што је нпр. уређај за предтретман индустријских отпадних вода.

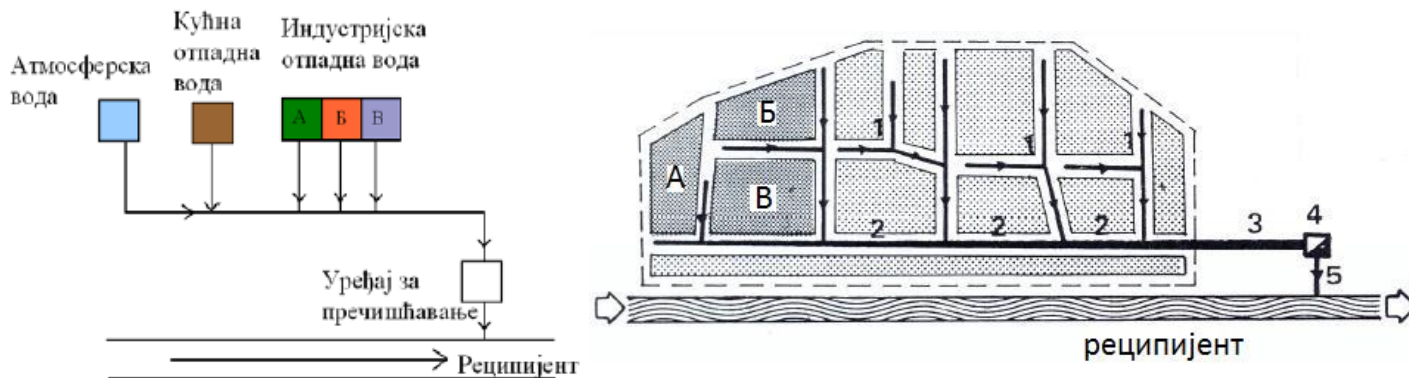
Основни елементи на основу којих се врши подела система одвођења отпадних вода јесу:

- начин прихватања и пречишћавања отпадних вода мешовити или групни, подељени или одвојени (сепаратни), полуподељени или делимично подељени и комбиновани системи.
- погонске особине система: гравитациони, комбиновани (гравитационо-потисни) системи [5].

2.3 Системи за одвођење према начину прихватања и довођења отпадних вода

2.3.1 Мешовити систем одвођења отпадних вода

Мешовити или групни систем прикупљања и одвођења отпадних вода скупља све групе урбаних вода и оне се одводе истим (заједничким) каналима или колекторима, [5]. На слици 2.2 је приказана шема једног мешовитог система одвођења отпадних вода.



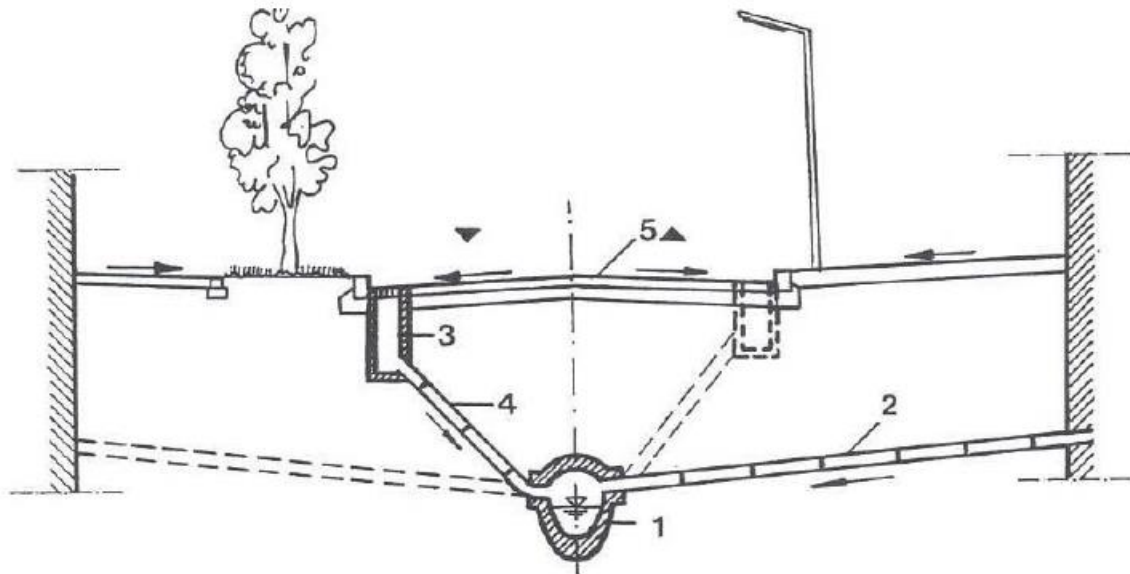
Слика 2.2 Шема мешовитог система одвођења отпадних вода

(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 [5]

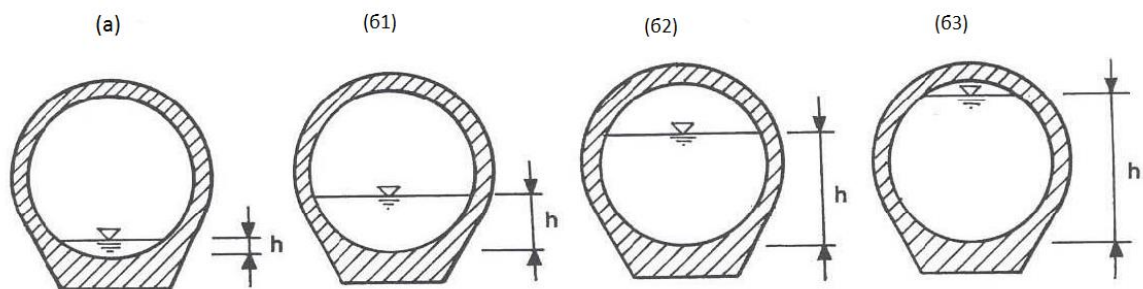
Уколико индустријске отпадне воде садрже агресивне и штетне састојке који би утицали на сам процес пречишћавања, онда се оне пре пуштања у заједнички колектор подвргавају предtretману, односно неопхофно је пречистити их до нивоа и карактера загађености кућних отпадних вода.

На слици 2.3 је приказан карактеристичан попречни пресек улице са изграђеним мешовитим системом одводње.



Слика 2.3 Положај канала 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 атмосферских вода; 5 – коловоз [5]



Слика 2.4 Дубина воде у каналима код мешовитог система канализације

(a) сушно раздобље; (б1), (б2) и (б3) кишно раздобље [4]

Највећи део прикупљених вода овим системом су атмосферске воде, а које су у односу са другим водама у каналу $\approx 1:40$ до $1:60$, [5]. Димензије цеви код мешовитог система одређују се на основу потребног прихвата. На слици 2.4 је приказ дубине воде у каналима.

Да би се постигло економично решење, на мешовити систем се изводе преливне грађевине или кишни преливи. Помоћу ових објеката се у време јаких киша растеређује каналски систем директним испуштањем разређених вода у пријемник (слика 2.5).

У сушном периоду кроз колектор протичу само отпадне воде. Надоласком киша ствара се мешовито отицање, при чему код граничног разређења:

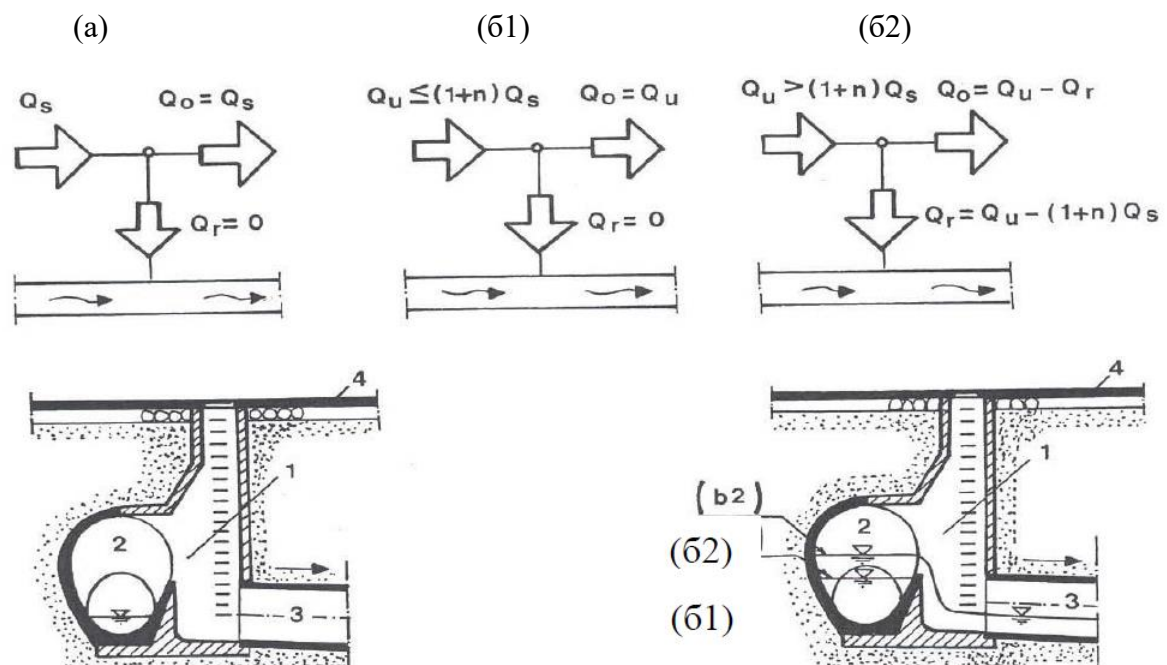
$$Q_0 = Q_u = (1 + n)Q_s \quad (1.1)$$

долази до растеређења разређене отпадне воде. У једначини (1.1)

Q_0 – је проток који отиче даље системом;

Q_s – проток отпадних вода;

n – коефицијент разређења.



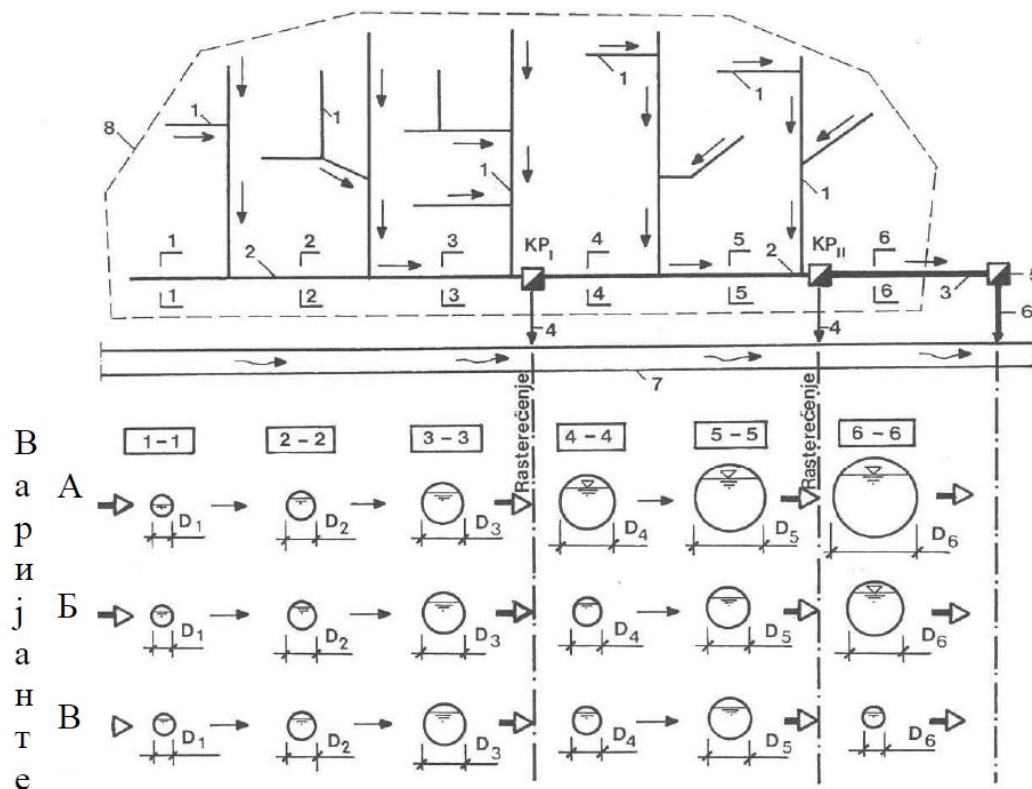
Слика 2.5 Принцип рада кишних прелива

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

Q_c – проток отпадне воде која дотиче у сушном периоду; Q_0 – проток отпадне воде који дотиче ка колекторима; Q_p – проток отпадне воде која се испушта у пријемник; 1 - око кишног прелива; 2 – колектор; 3 – одводни колектор (према пријемнику); 4 – коловоз [5]

Вредност коефицијента разређења, n [-], зависи од услова који су одређени санитарним нормама испуштања отпадних вода у пријемник и прорачунава се у зависности од локалних карактеристика подручја са којег се одводе отпадне воде и самопречишћавајуће способности пријемника.

На слици 2.6 шематски је приказана улога кишних растеређења у мешовитом систему одвођења.



Слика 2.6 Примена кишних прелива код мешовитог система одвођења отпадних вода

А, Б и В – варијанте извођења

ii – ознака попречног пресека главног колектора; KP_1 и KP_2 – 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 [5]

Анализиране су три варијанте техничких решења:

А – без кишних прелива,

Б – са једним кишним преливом и

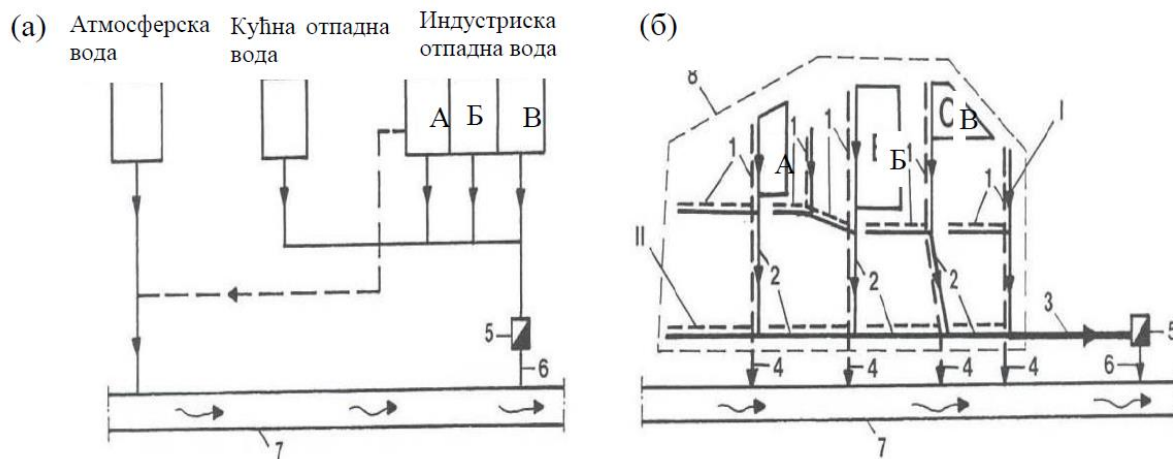
В – са два кишна прелива.

Највећи проблем мешовитог система одвођења отпадних вода је велико осциловање отицања у колекторима. У сушном периоду долази до стварања талоба на дну колектора, зато што је брзина воде мала, док за време јаких плускова често долази до преоптерећења што може довести до плављења подрума, гаража итд.

2.3.2 Разделни систем одвођења отпадних вода

Овај систем може бити:

- потпуно разделни,
- непотпуно разделни, [5].
- *Потпуно разделни систем одвођења* је систем код кога постоје углавном две канализацијске мреже, од којих је једна намењена за одвођење атмосферских вода и друга која одводи кућне и индустријске (слика 2.7). Овај систем је скупљи, јер је укупна мрежа дужа за 30 – 40 % у односу на мешовити систем. У еколошком смислу овај систем је задовољавајући, јер омогућава примену делотворних пречишћавања.

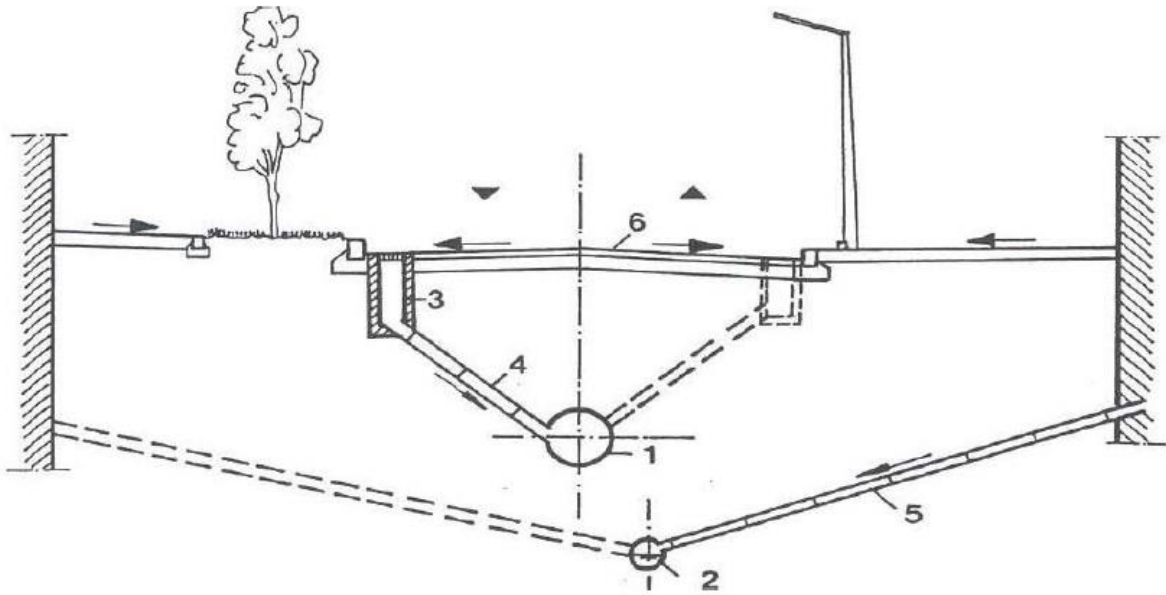


Слика 2.7 Шема потпуног разделног система одвођења отпадних вода

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

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

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



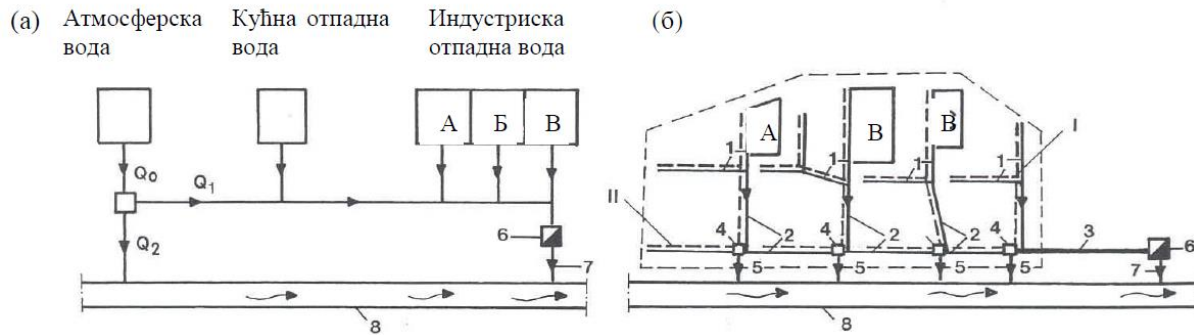
Слика 2.8 Положај канала и канлских прикључака у попречном пресеку улице са потпуно раздвојеним системом одвођења отпадних вода

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

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

2.3.3 Полураздвојени систем одвођења отпадних вода

Мрежа код полураздвојеног система (слика 2.9) је иста као код потпуно раздвојеног система, са том разликом да су на атмосферским каналима изведени раздвојени кишни преливи којима се вода од прања улица и падавина малог интензитета, Q_1 , аутоматски одводи у канализациону мрежу за отпадне воде и одговарајућим колекторима даље одводи према уређају за пречишћавање. Остале, сразмерно чисте воде, Q_2 , упуштају се директно у пријемник [4].

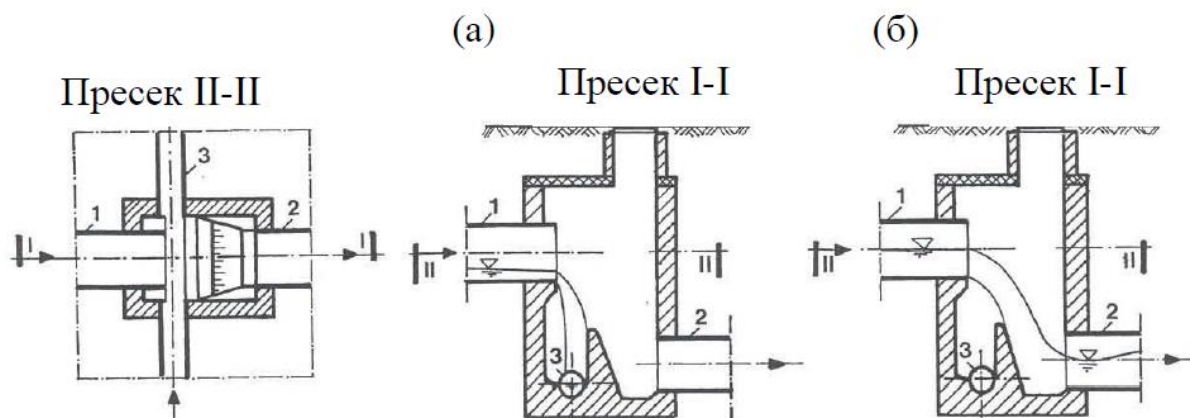


Слика 2.9 Шема полураздељеног система одвођења отпадних вода

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

A, B и B – индустријски погони; I – канали за кућну и индустријску отпадну воду; II – канали атмосферске воде; 1 – споредни колектори; 2 – главни колектори; 3 – главни одводни колектор; 4 – радијелни кишни преливи; 5 – испуст атмосферске воде; 6 – уређај за пречишћавање; 7 – испуст пречишћене воде; 8 – пријемник; 9 – граница подручја за одвођење [5]

На слици 2.10 приказано је принцип рада раздељеног кишног прелива. Слика (а) приказује режим рада кишног прелива код полураздељеног система у време малих дотока атмосферских вода, док слика (б) приказује режим рада кишног прелива у време интензивних киша.



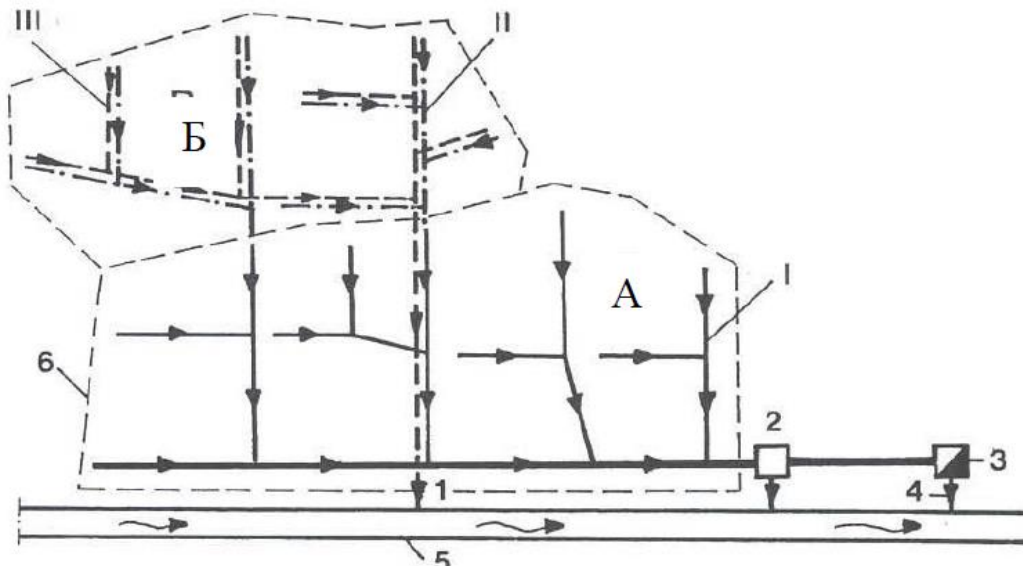
Слика 2.10 Принцип рада кишног прелива

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

1 – канал атмосферске воде; 2 – одводни канал атмосферске воде према пријемнику; 3 – канал кућне отпадне воде [4]

2.3.4 Комбиновани систем одвођења отпадних вода

Комбиновани системи (слика 2.11) су системи који имају неколико засебних система (мешовити, раздвојени итд.). У сушном периоду су колектори мешовитог одвођења канализације само делимично испуњени, па је на њих могуће повезати кућну канализацију неких нових агломерација. За атмосферске воде, које не могу примити постојећи колектори мешовитог система одвођења отпадних вода, израђује се одвојена канализација са испустом атмосферских вода у пријемнике.



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 мешовитог одводњавања; II – канали за кућне и индустријске отпадне воде; III – канали за отпадне воде; 1 – испуст атмосферске воде; 2 – кишни прелив; 3 – уређај за пречишћавање; 4 – испуст пречишћене воде; 5 – пријемник; 6 – граница подручја одвођења отпадних вода [5]

2.4 Систем одвођења отпадних вода према погонском режиму

Гравитациони систем одвођења отпадних вода је систем који се односи на канализацију са отицањем са слободном површином. Када би отицање било под притиском дошло би до плављења отпадним водама нижих и подрумских делова зграда и објеката система за одвођење отпадних вода, [4].

Комбиновани систем одвођења отпадних вода се најчешће изводи када није могуће са целог подручја остварити гравитационо одвођење, већ је потребно кућне и загађене индустријске воде пумпама потиснути до висине локације, прекидног окна, одакле је

могуће гравитацијско отицање. За овај систем се каже да је гравитацијско – потисни систем код којег је претежни део гравитацијски, јер би изградња целог потисног система економски била неприхватљива. Такође, још један од економских разлога због чега је овај систем чест случај је ископ, који би код потпуно гравитацијског система био неопходан за постављање канала иили колектора на већим дубинама.

Вакум канализација се данас ретко користи у посебним приликама (сушна подручја) и објектима (бродови). Овај тип канализације може бити комплетне или у комбинацији са гравитационом. Захтевају уградњу посебних цеви, објеката и санитарних уређаја. Врло је слична комбинованом систему извођења са разликом да се у главном вакуумском цевоводу одржава подпритисак. Па тако, у зградама се у сабирном резервоару уграђује вакуумски затварач који се отвара када се у резервоару скупи одређена количина отпадних вода. Када се усиса отпадна вода, вакуумски затварач се затвара и тако се одржава подпритисак [6].

3. Канализационе мреже

Основни елементи канализације су главни и споредни канали или колектори, који су међусобно спојени 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, одвођење. Споредни колектори на себе примају низ прикључака, а главни колектор прима низ споредних колектора, даље су повезани на главни одводни колектор одакле се одводе до уређаја за пречишћавање или до испуста. Подела комплетних канализационих мрежа или њихових делова најчешће се спроводи према:

- шеми мреже на: попречне, обухватне, уздужне, радијалне, прстенасте, разгранате и зониране.
- облику канала: отворене и затворене,
- материјалу за извођење: бетонске, армирано бетонске, азбест, цементне, пластичне, челичне, керамичке и ливено гвоздене,
- функцији: сабирне и одводне,
- погонском режиму: гравитационе и комбиноване (гравитационе – потисне),
- начину течења воде: са слободним водним лицем и комбиноване (са слободним водним лицем и под притиском) [5].

3.1 Шема канализационе мреже

Под шемом канализационе мреже подразумевамо ситуацијски облик мреже (са припадним објектима) унутар канализационог урбаног подручја. Шема канализационе мреже се прави у зависности од рељефа, постојећој и планираној урбаној градњи, саобраћајница, услова земљишта, хидрогеолошких услова и положаја пријемника [5]. Постоји неколико основних шема канализационих мрежа (слика 3.1), као нпр.:

Шема попречне (нормалне, вертикалне) канализационе мреже (слика 3.1 (а)) користи се код насеља смештених уздуж обала пријемника (река, језера и мора) са израженим падом терена према пријемнику. Главни колектори су положени вертикално на пријемник, а отпадне воде се транспортују или до уређаја за пречишћавање или (ако се ради о условно чистим водама) се директно испуштају у пријемник. Данас је ова шема неприкладна, јер изискује неколико одвојених уређаја за пречишћавање, што знатно поскупљује решење.

Шема обухватне канализационе мреже (слика 3.1 (б)) има секундарни канал положен у смеру највећег пада терена, док је главни колектор паралелан са пријемником и положен у паду према уређају за пречишћавање. Шема има примену када се насеље налази на ужем или ширем појасу пареленом са пријемником. Ретко је могуће без препумпавања скупити све отпадне воде до уређаја за пречишћавање, па зато на главном сабирном

колектору углавном имамо низ црпних станица помоћу којих се све воде обједињују на уређај и испуст.

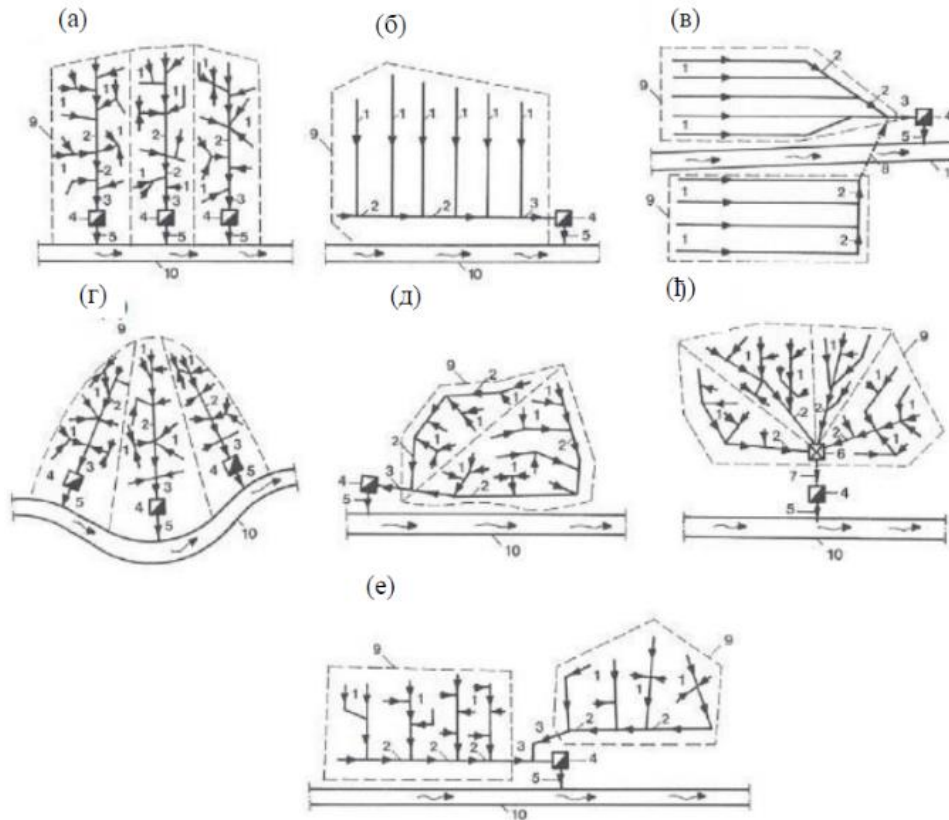
Шема уздужне (паралелне) канализационе мреже (слика 3.1 (в)) има положене секундарне канале паралелно са пријемником, а главни прати пад терена. У главном колектору се сакупљају све отпадне воде, одакле се главним одводним колектором транспортују до одговарајућих уређаја за пречишћавање. У зависности од терена, положаја пријемника, шема може да има различите облике. Ако се читава канализација налази са једне стране пријемника, онда је реч о паралелној-једностраној, а ако је са обе онда је то паралелно-лепезаста. Када се све више зоне повезују гравитацијски за уређај, а само оне ниже препумпавају реч је о паралелној-зонској.

Шемом радијалне канализационе мреже (слика 3.1 (г)) приказана су више засебних система одвођења појединих зона унутар јединственог подручја одвођења са радијалним положајем главних колектора од центра према периферији. Примењује се у великим градовима, где није рационално да се све воде одводе до једног места, централном уређају за пречишћавање.

Шема прстенасте канализационе мреже (слика 3.1 (д)) примењује се када се насеље налази на некој узвишици или брду, при чему вододелница разграничује село на више локалних сливних зона. Главни одводни колектори, направљени у облику прстена, постављени су по најнижим деловима насеља. Секундарни канали су краћи и малих димензија, а ободни (главни) колектори спајају се у главни одводни колектор којима се отпадне воде одводе на уређај за пречишћавање.

Шема разгранате канализационе мреже (слика 3.1 (ђ)) примењује се на урбаним подручјима са врло развијеним рељефом. Садржи низ секундарних колектора којима се отпадне воде одводе према најнижој локацији подручја одвођења. Ако је место за пречишћавање удаљено и ниже од пријемника, тада је потребно препумпавати воду.

Шема зониране канализационе мреже (слика 3.1 (е)) састоји се од неколико засебних независних канализационих система, који су спојним елементима повезани на јединствени систем за пречишћавање. Довођење воде је гравитационо или се доводи пумпама до уређаја за пречишћавање. Ова шема се појављује код етапног ширења урбаног подручја или код топографске прилике присилне деобе подручја на два или више независних зона [4].



Слика 3.1 Шеме канализационих мрежа

(а) попречна; (б) обухватна; (в) уздужна; (г) радијалне; (д) прстенаста; (е) зонирани; (ж) разграната; (е) зонирани; 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 [5]

3.2 Канализационе мреже према облику канала

Услови одвођења су различити од места до места, зато је потребно да се користе различите врсте и облици канала. Пре свега може се извршити подела на *отворене* и *затворене* канале. Код *отворених* канала слободна површина је видљива, јер канал нема покривну конструкцију. Користе се искључиво за одвођење атмосферских и релативно чистих вода.

Код *затворених* система канали имају цео профил покривен конструкцијом. Обично се налазе укопани испод саобраћајница или слободних површина и примењују се у канализационој мрежи унутар урбаног подручја.

У зависности од облика попречног пресека, затворени канали се могу поделити у три основне групе (слика 3.2):

- канали кружног облика, $B = H = D$;
- канали уздужног (јајоликог, полукружног и правоугаоног) облика, $H > B$;
- канали компримованог (потковичастог и капастог) облика, $H < B$, [5],

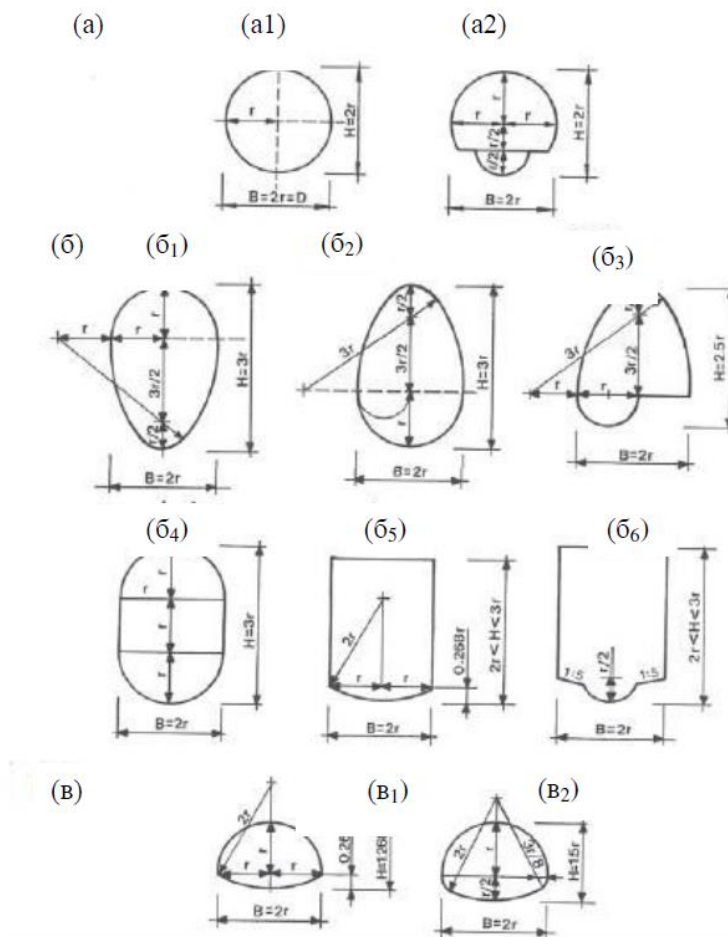
где су:

B - ширина канала, m ,

H - висина канала, m ,

r - радијус канала, m ,

D - пречник канала, m .



Слика 3.2 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) капаст облик [5]

У највећој мери користе се канали кружног облика, јер поседују одличне хидрауличке особине и једноставнији су за производњу и за монтажу. Јајолики и полукружни канали издуженог облика, користе се испод интентивно оптерећених саобраћајних канала.

3.3 Канализационе цеви према материјалу израде

Канализационе цеви израђују се из бетона, армираног бетона, азбест цемента, пластике, метала и ливеног гвожђа.

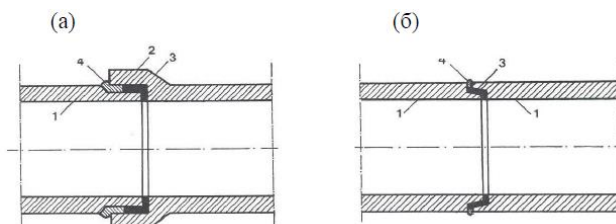
Бетонски канали

Ова врста канала се може израдити од:

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

Фабрички израђене цеви углавном се раде кружног или јајоликог облика. Кружне се израђују са унутрашњим пречником, $D = 100 - 1200 \text{ mm}$, а јајоликог облика најчешће $B/H = 300/450, 400/600, 500/750$ и $600/900 \text{ mm}$, дужина, $L = 1 \text{ m}$ [5]. Ове бетонске цеви морају да имају унутрашњу заштиту, антикорозивна средства због одвођења атмосферских и кућних вода, које садрже агресивне састојке који разграђују зидове цеви.

Поред велике тежине, још једна мана бетонских цеви је и велики број спојева и недовољна сигурност на водонепропустљивост. Због релативно велике храпавости, смањен је проток и већа је могућност таложења отпадног материјала. Комплетно спајање цементним малтером је замењено спајањем са наглавком и равним крајем (слика 3.3).



Слика 3.3 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 [5]

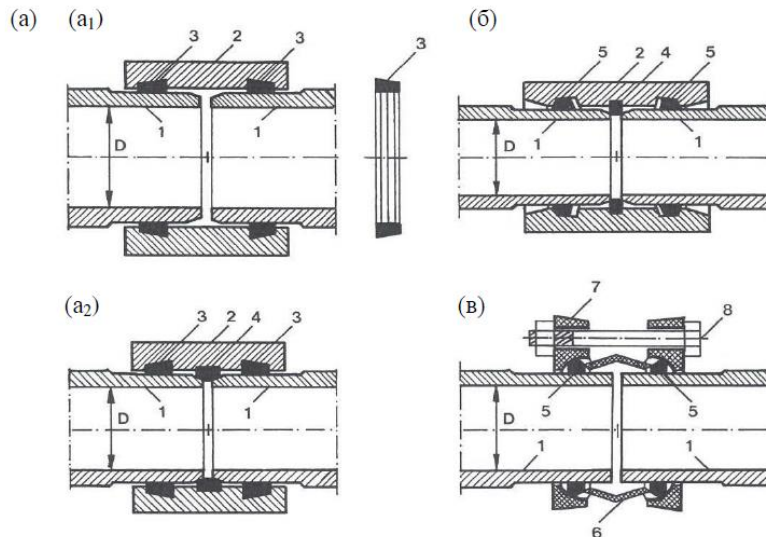
Канали грађени на лицу места користе се најчешће код изградње већих профила, који се фабрички не израђују. Мане су им исте као и код фабричких израђених.

Армирано бетонски канали

Као и код бетонских, и армирано бетонски могу бити израђени од фабричких израђених цеви или оних грађених на лицу места. Најчешће су кружног облика, унутрашњег пречника, $D = 500 - 2000 \text{ mm}$, дужине, $L = 1 \text{ m}$ (мањи профил) и $L = 2 \text{ m}$ (већи профил), једнострано или двострано армиране, [4]. Негативне карактеристике су превелика тежина, велики број спојева и недовољна сигурност у погледу водонепропусности. Највише се користе за атмосферске отпадне воде, баш због великог броја спојева и недовољне водонепропусности.

Азбест цементне цеви

Азбестно цементне цеви производе се из азбестних влакана и цемента пресовањем под великим притиском. Најчешће су кружног профила и постоје два оновна типа цеви: *лаки тип (КЦ-Л)* и *тешки тип (КЦ-Т)*. Који тип ће бити примењен зависи од: спољашњег оптерећења, дубине полагања, карактеристика тла итд. На основу тога, лаки тип КЦ-Л се користи када се не очекују већа оптерећења, док се тип КЦ-Т користи код већих спољашњих оптерећења. Унутрашњег су пречника, $D = 50 - 130 \text{ mm}$, дужине, $L = 5 \text{ m}$. Могу се и споља и изнутра превући асфалтним премазом. Боље су у односу на водонепропусност, а и у погледу храпавости. Спајање се обавља одговарајућим спојницама. На слици 3.4 су приказани неки патентирани спојеви.



Слика 3.4 Спајање азбестно-цементних цеви

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

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

Пластичне цеви

Пластичне цеви или цеви од синтетичког материјала су данас у највећој примени. У односу на сировину од којих су израђене постоје различите врсте, од којих су основне: цеви од *ПВЦ материјала*, цеви од *полиестарских материјала* и цеви од *тврдог материјала* итд. Повољне карактеристике су велика отпорност на корозију и тиме велика трајност, велика глаткост, мала специфична тежина, па су лаке за манипулацију.

Цеви од ПВЦ материјала су израђене синтетичком полимеризацијом винил-хлорида. Производе се дужине, $L = 5$ m, разних профила, углавном мањих. Спајају се на наглавак, заптивање се постиже гуменим прстеном између наглавка и цеви. Једина њихова мана је неотпорност на високе температуре.

Цеви од полиестера израђују се ливењем и лепљењем. Мањи профили производе се ливењем, а већи лепљењем. Производе се дужине, $L = 6$ m. Спајају се спојним прстеном израђеним од истог материјала, а заптивност се обезбеђује заптивним прстеновима. Спајање цеви лепљењем обезбеђује се континуитет. Због нерђања, могу да се постављају и под морем.

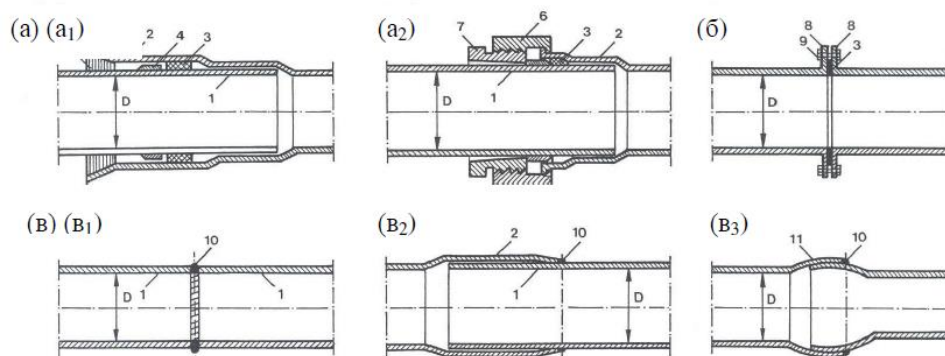
Последња врста тих цеви су *полиетиленске*. Имају врло добра хидраулична својства и њихови спојеви су варени, тако да су сигурне од цурења. Ове цеви су мекане и лагане и испоручују се у котуровима када су мањих профила, а већи у дужини, $L = 6 - 12$ m. Цеви од тврдог полиетилена претежно се раде до пречника, $D = 1200$ mm, [4].

Челичне цеви

Челичним цевима се данас губи примена, али се и даље користе у специјалним случајевима, код врло стрмих терена код којих се иначе, за друге мање чврсте материјале било потребно изградити читав низ прекидних окана, због ограничења брзине тока.

Израђују се од челичног лима са уздужним или спиралним заваривањем (шавне цеви) или ваљањем (бешавне цеви). Бешавне су бољег квалитета, па се због тога чешће користе за мале профиле, док се шавне користе за веће профиле, $D = 600 - 1600$ mm, дужине, $L = 6 - 10$ m. Могу да издрже високи притисак. Јако су подложне корозији, па је зато потребно да се премазују, са унутрашње стране цементним премазима, а споља вишеструким изолацијским слојевима. Поред цене, ово им је највећи недостатак.

На слици 3.5 приказани су начини спајања, али је најчешће примењивани начин заваривање. Коришћењем челичних лимова могуће је производити цеви профила већих од 2 m, различитих попречних пресека.



Слика 3.5 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 [5]

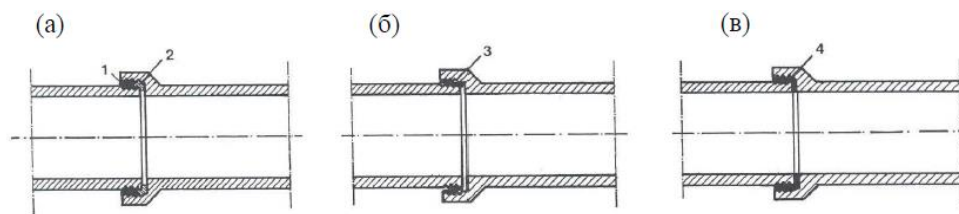
Спојеве са наглавком (слика 3.5 (а)), користе се за спајање челичних цеви унутрашњег пречника, $D = 50 - 800$ mm. Као заптивка користи се гумени прстен који се навлачи на равни крај цеви, тако да је при навлачењу у наглавак друге цеви и при уздужним помацима осигурао заптивање. Преко њега се заварује челични прстен чиме се спречава истискивање гуменог елемента, а преостали део наглавка се испуњава импрегнираним ужетом.

Спој са прирубницом (слика 3.5 (б)) примењује се код цевовода положених на површину терена. Заптивање се постиже гуменим или металним прстеном постављеним између прирубница које се притежу завртњевима, [5].

Спој заваривањем (слика 3.5 (в)), као што је већ речено највише је примењивано, користи се ако је унутрашњи пречник, $D > 500$ mm. Спој може бити чеони, слика 3.5 (в1), са завареним наглавком, слика 3.5 (в2) или са кугластим завареним наглавком, слика 3.5 (в3).

Керамичке цеви

Материјал за њихову израду је глина, кварцни песак и шамот. Цеви се пеку у тунелским цевима на температури од 1400 °C, где им се због садржаја натријум – силиката формира глеђ, због чега су отпорни на киселине због чега се и користе за одвођење опасних индустријских отпадних вода, и код кућних инсталација. Производе се кружног облика и унутрашњег пречника, $D = 50 - 600$ mm, дужине, $L = 1 - 2$ m, [6]. Производе се са наглавком и равним крајем, па је њихово спајање могуће на један од три начина приказаних на слици 3.6.



Слика 3.6 Спајање керамичких цеви помоћу наглавка

1- асфалтни мастикс; 2- конопља; 3- конусни гумени заптивни прстен; 4- пластична заптивна маса [5]

Цеви од ливеног гвожђа

Данас је њихова примена у канализацији све мања, како због економских разлога тако и због техничких. Користе се једино у потисним деловима система одвођења, посебно унутар пумпних станица где се обично користе дуктилне цеви. Постоје два основна начина производње: ливењем у калупе и центрифугалним ливењем. Центрифугално ливене цеви су лакше, тање и чвршће у односу на унутрашњи притисак, а мање отпорне на ударце. Производе се са унутрашњим пречником, $D = 1000 \text{ mm}$, дужине, $L = 2 - 7 \text{ m}$, [4]. Највећа мана ових цеви је стварање велике храпавости током времена и тиме се мењају хидрауличне карактеристике. Ради заштите премазују се асфалтним и другим премазима.

Цеви се спајају на два начина: спој са наглавком или спој са прирубницом. Још један од проблема јесте спајање и сам спој, зато што су цеви тешке и нееластичне. Најчешћи је спој са наглавком, где је додат и прстен за додатну сигурност заптивања. Најсигурнији је спој са прирубницом, али због нееластичности се користи код спајања са спојним комадима и арматурама.

4. Ограничење пројектних параметра

4.1 Ограничење најмањих профила

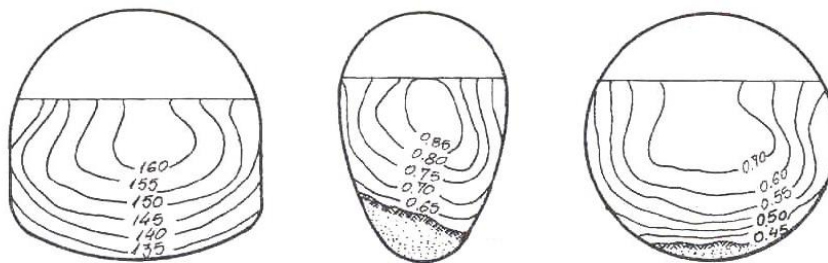
Често отпадне воде са собом носе и крупне отпадне предмете, који могу да проузрокују зачепљење цевовода или да се на дну канала задржи талог и тако смањи слободан профил канала, што може довести до повећања хидрауличног оптерећења. Да би се олакшало чишћење канализацијских колектора, ограничава се коришћење минималних профила, независно од њиховог задовољавања минималне брзине тока и испуњености профила.

Као минимални профили у свим уобичајеним условима, користе се следећи:

- за канализацију кућних отпадних вода, $\varnothing = 250 - 300 \text{ mm}$,
- за мешовиту и атмосферску канализацију, $\varnothing = 300 - 400 \text{ mm}$, [6].

4.2 Ограничење брзина

Да би се омогућили нормални услови рада канализационе мреже, потребно је да течење у каналима има одговарајућу брзину, ради онемогућавања таложења или еродирања дна канала [6]. Мале брзине доводе до таложења и могућности зачепљења, а велике брзине због ерозије и абразије цеви деловањем суспензија у води. Зато је потребно да се ограниче минималне и максималне брзине. На слици 4.1 видимо да су брзине при дну мале, и да од ње зависе процеси таложења и абразије. Због једноставности прорачуна, ограничење се спроводи за средњу брзину.



Слика 3.7 Распоред брзина у попречном пресеку профила [7]

Минималне брзине

Минимална брзина представља ону брзину при којој у канализационој мрежи још не долази до исталожавања. Често се назива и критичном брзином, [6]. Израз (4.1) представља брзину код једноликог течења са слободним водним лицем и може се приметити да је она у функцији храпавости, уздужног пада и хидрауличног радијуса.

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{I} = \frac{1}{n} R_h^{2/3} \sqrt{I_e} \quad (4.1)$$

За канале који су изведени од истог материјала и уз исти пад, брзина је једино у функцији облика и димензија канала. За прорачун критичне брзине, код које неће доћи до таложења органских и анорганских суспензија, користи се формула Федорова (4.2):

$$v_{min} = 1,57 R^{1/kf} \quad (4.2)$$

$$kf = 3,5 + 0,5R$$

где је:

v_{min} — минимална брзина, m/s ,

R — радијус, m .

За округле профиле добијају 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 , [5]

Пречник D , mm	Најмања брзина $v_{min}, m/s$	Пречник D , mm	Најмања брзина $v_{min}, m/s$
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

Пошто је тешко задовољити најмање брзине, допуштају се њихове и мање вредности:

- код мешовите и атмосферске канализације, за колекторе испуњене до 50% профила или виша, препоручује се $v_{min} = 0,6 m/s$,
- канализација кућних отпадних вода $v_{min} = 0,5 m/s$,
- кишна канализација $v_{min} = 0,9 m/s$ [5].

Кишна канализација захтева веће брзине због спречавања таложења песка или шљунка. Овим брзинама се обезбеђује лебдење чврстих супстанци у течности, односно самочишћење.

Максималне брзине

Максималне дозвољене брзине су оне брзине које у каналима неће изазвати ерозију канала [6]. Битне су такође и због заштите цеви од стругања и испирања спојева. Због

развијања процеса абразије битно је сагледати материјал цеви и брзине течења. Максималне брзине које се препоручују код уобичајене израде канала би требало да прелазе вредности $v_{max} = 2,5 - 3 \text{ m/s}$. За неке врсте материјала, код краћих канализационих цеви и мешовите воде, допуштају се следеће максималне брзине (табела 4.2):

Табела 4.2 Максималне дозвољене брзине у каналима [5]

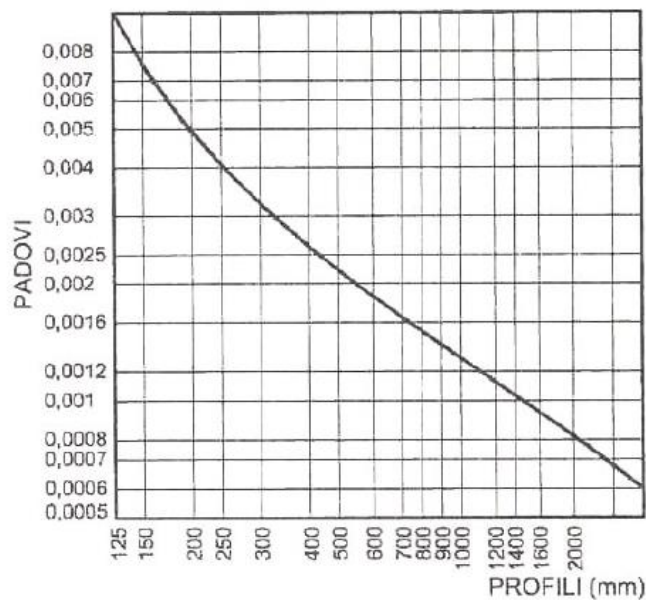
Врсте цеви	Максимална брзина $v_{max}, \text{m/s}$
Бетонске цеви	3,0
Армиранобетонске цеви	4,0
Азбест цементне цеви	4,5
Пластичне цеви	5,0
Челичне цеви	8,0

4.3 Ограничење уздужних падова

Брзине и падови су у функционалној зависности, па зато када говоримо о минималним или максималним брзинама можемо говорити и о минималним и максималним падовима. Брзина у цевоводу је последица уздужног нагиба цеви. Падови су у функцији облика и величини профила, као и храпавости, па ако нам нису познати ови подаци не можемо да говоримо о стварним падовима. Усвојена вредност уздужног пада се мора увек проверавати преко брзине.

Минимални падови

Минимални пад је онај пад при коме се код одређеног пуњења обезбеђује минимална дозвољена брзина. Коришћењем Федорове формуле (4.2) за минималне брзине у зависности од ограничења за поједине округле профиле у формулу за брзине, добијају се припадајући уздужни падови (слика 4.2).



Слика 4.2 Минимални падови у функцији профила према формули Федорова [7]

Можемо и коришћењем једноставне емпиријске формуле (4.3) да добијемо сличне резултате:

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

где је:

I_{min} – минимални уздужни пад канала, -,

D – унутрашњи пречник канализационе цеви, mm.

Максимални падови

Максимално дозвољени падови за одређено рачунско пуњење одређују се према дозвољеној максималној брзини [6]. Такође и за максималне падове може се користити једноставна емпиријска формула (4.4):

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

где је:

I_{max} – максимални уздужни пад канала, -,

D – унутрашњи пречник канализационе цеви, dm.

У сваком граничном и конкретном случају минималне и максималне падове, потребно је проверити на основу минималне и максималне брзине.

4.4 Ограничење висине пуњења каналом

Течење воде у канализационим цевима је најчешће гравитационо течење са слободним водним лицем, чиме је омогућено правилно прикључење кућних прикључака, одношење пливајућих предмета, прозрачивање канала или колектора итд. Тако је осигуран простор за непредвиђени доток процедурних вода. Зато се спроводи ограничење висине пуњења канала, у зависности од величине канала. Следеће висине се препоручују за округле профиле (табела 4.3):

Табела 4.3 Препоручене вредности висине пуњења округлих канала [5]

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

У складу са овим, рачунска висина пуњења за меродавни проток, мора бити једнака или мања од препоручене висине. Потпуно пуњење канала је једино могуће код атмосферских и мешовитих система одвођења, због релативно кратког трајања максималног протока.

4.5 Ограничење дубине уградње канала

Дубина уградње канала зависи од климатских прилика (дубина смрзавања), хидрогеолошких особина тла, спољашњег оптерећења, дубине прикључака, положаја осталих инсталација, величине профила канала, материјала и начина израде канала.

Најмања дубина уградње канала, ако локалне прилике дозвољавају би била 1,5 m, мерена од дна рова, односно најмање 1 m, мерена од темена канала. Највећа дубина уградње канала, је само питање економских прорачуна. Прихватљива дубина је 6 m, док је за неке краће деонице могућа и већа дубина када се користи тунелски начин извођења (пробијања) рова [6].

5. Основне једначине које описују принцип струјања кроз канализационе цеви

По уласку отпадне воде у систем одводње, она мења своје карактеристике и састав што утиче на отицање и сигурност рада система. У канализационим мрежама одвијају се различити процеси, и све те промене зависе од низа фактора који су такође променљиви па их је тешко предвидети у прорачуну. Зато се код прорачуна система одводње користе највероватнији улазни подаци [7].

Једначина средње брзине тока отпадне воде је (5.1):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5.1)$$

где је:

v – средња брзина, m/s ,

Q – проток, m^3/s ,

A – проточна површина, m^2 .

За округле цеви са испуњеним профилом, проточна површина је (5.2):

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (5.2)$$

где је D – унутрашњи пречник цеви, m .

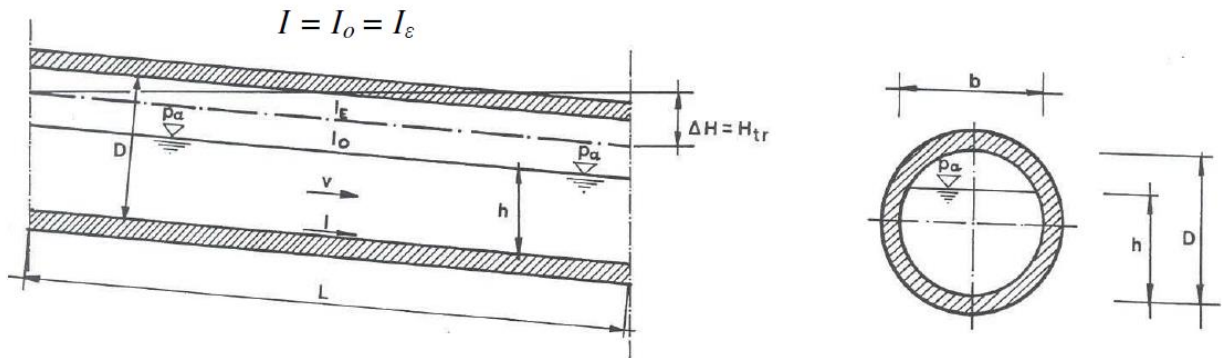
У стварности не постоји један режим течења, али ради поједностављења претпоставља се да се ради о стационарном, једноликом течењу. Хидраулично димензионисање канализацијске мреже спроводи се за највећу часовну количину отпадних вода по припадајућим деоницама мреже. С обзиром на режим течења у канализационој мрежи, односно њеном делу, могуће су две врсте прорачуна:

- хидраулички прорачун течења са слободним водним лицем,
- хидраулички прорачун течења под притиском, [5].

Хидраулички прорачун течења са слободним водним лицем

Хидраулички прорачун течења са слободним водним лицем је најчешћи случај течења и најчешће се односи на комплетну канализациону мрежу или на њен претежни део.

Хидраулички прорачун се спроводи уз претпоставку једноликог, стационарног течења. Такав режим (слика 5.1) одвија се са константном дужином воде, h [m], истим уздужним падовима дна канала, I [-], водног лица, I_0 [m] и линије енергије (хидрауличким падом), I_E [-]. У реалним условима се течење отпадних вода са слободним водним лицем одвија у условима турбулентног и неустаљеног режима.



Слика 5.1 Графички приказ равномерног течења у округлој канализационој цеву

Основна једначина за прорачун једноликог течења је Чезијева формула за брзину, v [m/s], која уз супституцију Манинговог коефицијента храпавости, n [s/m³], даје формулу (5.3):

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I_r^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I_o^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

па је проток једнак (5.4):

$$Q = vA = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (5.4)$$

где је R —хидраулички радијус, m.

Независно од материјала израде мреже, усваја се да је коефицијент храпавости, $n=0,013$ (0,014) s/m³ [5]. Постоји и таблице за различите материјале, али је утврђено да се временом храпавост зидова мења потпуно после одређеног времена.

Данас се хидраулички прорачун канализационе мреже спроводи употребом *Darcy-Weisbachove* и *Colebrook – Whiteove* једначине [5], зато што дају резултате ближе стварности, будући да течење у канализацијској мрежи залази у турбулентно прелазни режим. Према законима струјања флуида, губитак енергије у цеву кружног пресека рачуна се према изразу *Darcy- Weisbach* (5.5). Посматрање течења почиње у округлој цеву испуњеној до врха, а затим на основу *Darcy- Weisbachove* једначине за прорачун пада енергетске линије због трења по дужини цеви можемо писати израз (5.6):

$$\Delta H = \lambda \frac{L}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (5.5)$$

где је:

ΔH — енергетски губитак висине, m,

λ — коефицијент отпора трења, -,

R — хидраулички радијус, m,

L – дужина цеви, m.

$$I_k = I_o = I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{\Delta H_{tr}}{L} = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (5.6)$$

где је:

ΔH_{tr} – хидраулички губици због отпора трења, m,

g – убрзање поља силе теже, m/s^2 .

Израз за коефицијент трења мења се у зависности од режима течења. Прорачун се код димензионисања канализационе мреже спроводи у складу са *Colebrook – Whiteov*-ом једначином (5.7):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon l D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (5.7)$$

где је:

ε – апсолутна хидраулична храпавост, mm ,

Re – Рејнолдсов број, - , дефинисан изразом (5.8):

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (5.8)$$

где је ν – кинематички коефицијент вискозности воде, m^2/s .

Комбинујући једначине (5.6 – 5.7) добија се израз (5.9):

$$v = -2 \log \left(\frac{2.51\nu}{D\sqrt{2gI_E D}} + \frac{\varepsilon}{3.71D} \right) \sqrt{2gI_E D} \quad (5.9)$$

А помоћу једначине за непрекидност добијамо и једначину за проток за цеви кружног профила (5.10):

$$Q = vA = -\log \left(\frac{2.51\nu}{D\sqrt{2gI_E D}} + \frac{\varepsilon}{3.71D} \right) \frac{D^2 \pi}{2} \sqrt{2gI_E D} \quad (5.10)$$

Ако цеви нису кружног профила потребно је у изразу (5.9) унети четвороструку вредност кружног пречника, R , јер је код округлих цеви (5.11):

$$R = \frac{A}{O} = \frac{D^2 \pi / 4}{D \pi} = \frac{D}{4} \Rightarrow D = 4R \quad (5.11)$$

где је O – оквашени омотач, m.

Тада имамо израз (5.12):

$$v = -4 \log \left(\frac{0.314\nu}{R\sqrt{2gI_E R}} + \frac{\varepsilon}{14.84R} \right) \sqrt{2gI_E R} \quad (5.12)$$

Проток се одређује из једначине континуитета (5.13):

$$Q = vA \quad (5.13)$$

Постоје таблице које олакшавају овај хидраулички прорачун, и оне су изражене у функцији:

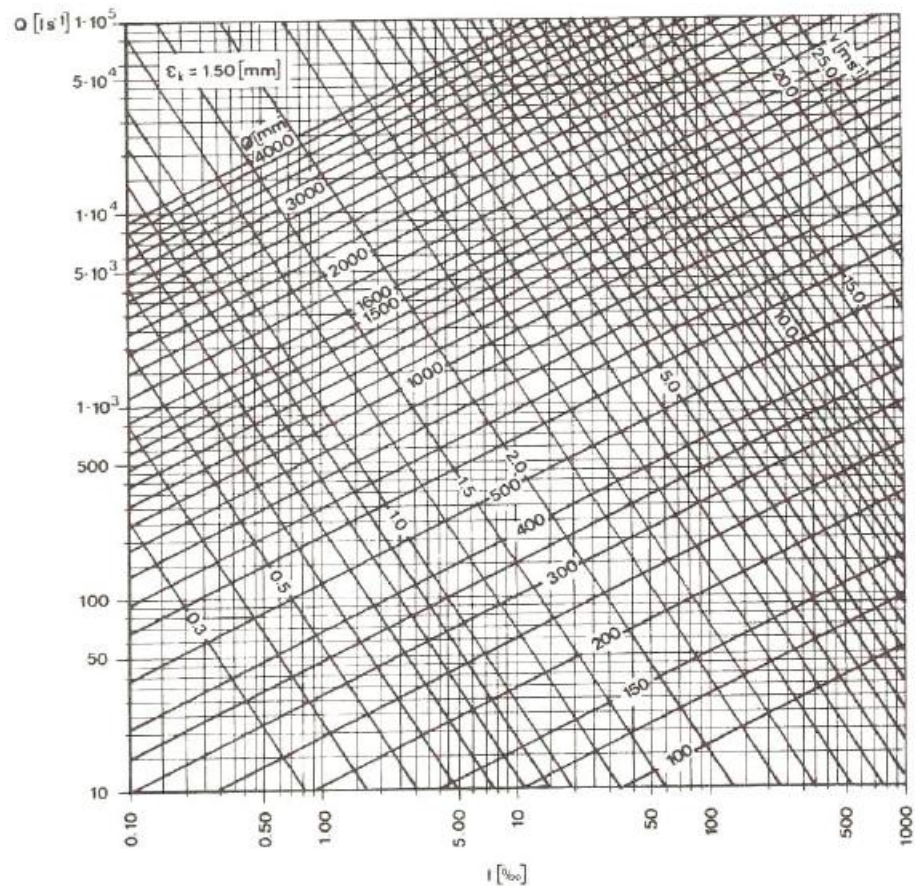
- профила цеви, ϕ , mm ;
- протока, K , l/s ;
- брзине, v , m/s ;
- хидрауличног градијента, $IE = I_0 = I[-]$;
- апсолутне погонске храпавости, ε_k [mm] , с вредношћу кинематичког коефицијента вискозности, $\nu = 1,308 \cdot 10^{-6} m^2/s$, што одговара температури воде $T = 10^\circ C$.

Пример једног таквог табеларног приказа хидрауличких параметра дат је у табели (5.1).

Табела 5.1 Табеларни приказ хидрауличких параметара потпуно испуњених канализационих цеви округлог и јајоликог профила према формули Colebrook – Whitea [7]

$\epsilon_k = 1.50 \text{ [mm]}$		$Q \text{ [l s}^{-1}\text{]}, v \text{ [m s}^{-1}\text{]}$						
$I \text{ [‰]}$								
1.95		2.00		2.05		2.10		
Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	[mm]
								
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	65.0	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

Хидрауличке параметре је могуће приказати и у номограмском облику, слика (5.2):



Слика 5.2 Номограм хидрауличких параметара потпуно испуњених канализационих цеви округлог облика профила према формули Colebrook – White-a [7]

Таблица и номограм направљени су у функцији тзв. апсолутне погонске храпавости. У пракси се показало да је фабричка погонска храпавост канализационих цеви веома већа од фабричких. Пошто пројектовање канализационе мреже зависи од претпостављене вредности храпавости, за величину погонске храпавости усвајају се средње вредности.

Канали најчешће нису испуњени до врха, зато је потребно познавати и поступак прорачуна хидрауличких параметара, првенствено брзине и протока у делимично испуњеним каналима. Тада се поменути хидраулички параметри рачунају према функцијама (5.14):

$$\frac{v_d}{v_p} = f_1 \left(\frac{h_d}{h_p} \right) \quad (5.14)$$

где су:

v_d — брзина воде код делимичног испуњења, m/s ,

v_p — брзина воде код потпуног испуњења, m/s ,

f_1 – функционална зависност за делимично испуњење,

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

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

Као приближна апроксимација двеју последњих релација добијају се изрази за брзину (5.15) и проток (5.16):

$$\frac{v_d}{v_p} = \frac{A_d}{A_p} \left(\frac{R_p}{R_d} \right)^{5/8} \quad (5.15)$$

$$\frac{D_d}{D_p} = \frac{A_d}{A_p} \left(\frac{R_d}{R_p} \right)^{5/8} \quad (5.16)$$

где су:

R_d – хидраулички радијус код делимичног испуњења, m,

R_p – хидраулички радијус код потпуног испуњења, m,

A_d – проточна површина код делимичног пуњења, m²,

A_p – проточна површина код потпуног испуњења, m².

У пракси се користе таблице, пошто изрази нису директно изведени. Таблице 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 5.2)

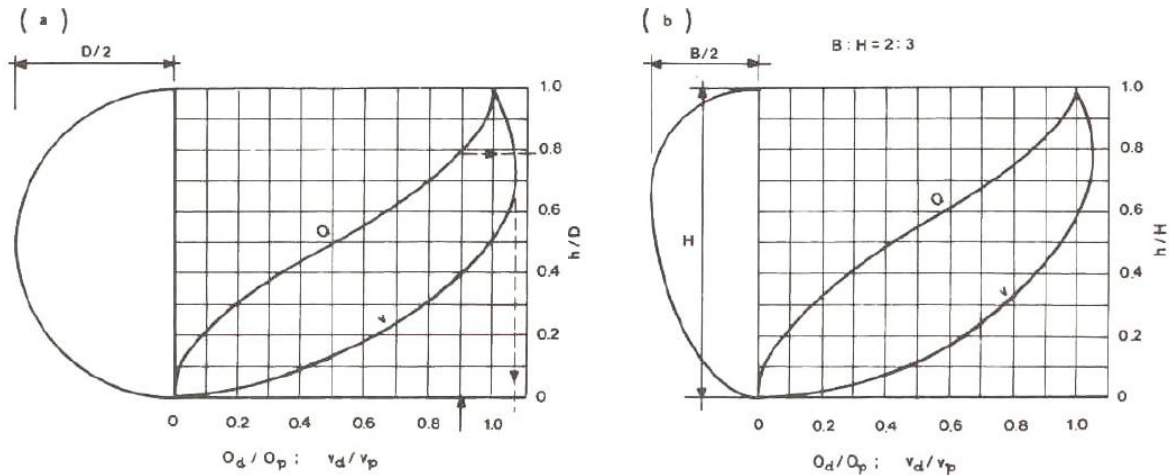
Табела 5.2 Табеларни приказ хидрауличких параметара канализационих цеви кружног облика профила при делимичном испуњењу [7]

$\frac{Q_d}{Q_p}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{v_d}{v_p}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{O}{D}$
0.001	0.023	0.17	0.00462	0.2998	0.0152	0.3045
0.002	0.032	0.21	0.00756	0.3520	0.0210	0.3597
0.003	0.038	0.24	0.00976	0.3824	0.0249	0.3924
0.004	0.044	0.26	0.01214	0.4102	0.0287	0.4227
0.005	0.049	0.28	0.01425	0.4317	0.0319	0.4464
0.006	0.053	0.29	0.01601	0.4481	0.0345	0.4646
0.007	0.057	0.30	0.01783	0.4637	0.0370	0.4822
0.008	0.061	0.32	0.01972	0.4787	0.0395	0.4991
0.009	0.065	0.33	0.02166	0.4931	0.0420	0.5156
0.010	0.068	0.34	0.02315	0.5035	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	0.5510
0.013	0.077	0.36	0.02782	0.5332	0.0495	0.5624
0.014	0.080	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	0.03275	0.5607	0.0550	0.5953
0.017	0.088	0.39	0.03387	0.5666	0.0562	0.6024
0.018	0.091	0.40	0.03559	0.5752	0.0581	0.6129

$\frac{Q_d}{Q_p}$	$\frac{h}{D}$	$\frac{v_d}{v_p}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{b}{D}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{O}{D}$
0.410	0.445	0.95	0.33781	0.9939	0.2313	1.4606
0.420	0.451	0.96	0.34378	0.9952	0.2334	1.4726
0.430	0.458	0.96	0.35075	0.9965	0.2359	1.4867
0.440	0.464	0.97	0.35673	0.9974	0.2380	1.4987
0.450	0.470	0.97	0.36272	0.9982	0.2401	1.5108
0.460	0.476	0.98	0.36871	0.9988	0.2420	1.5228
0.470	0.482	0.99	0.37470	0.9994	0.2441	1.5348
0.480	0.488	0.99	0.38070	0.9997	0.2461	1.5468
0.490	0.494	1.00	0.38670	0.9999	0.2481	1.5588
0.500	0.500	1.00	0.39270	1.0000	0.2500	1.5708
0.510	0.506	1.00	0.39870	0.9999	0.2519	1.5828
0.520	0.512	0.01	0.40470	0.9997	0.2538	1.5948
0.530	0.519	0.01	0.41169	0.9993	0.2559	1.6088
0.540	0.525	0.02	0.41769	0.9987	0.2577	1.6208
0.550	0.531	0.02	0.42368	0.9981	0.2595	1.6328
0.560	0.537	0.02	0.42967	0.9973	0.2612	1.6449
0.570	0.543	0.03	0.43565	0.9963	0.2629	1.6569
0.580	0.550	0.03	0.44262	0.9950	0.2649	1.6710

0.019	0.093	0.41	0.03674	0.5809	0.0593	0.6198	0.590	0.556	0.03	0.44858	0.9937	0.2665	1.6830
0.020	0.095	0.41	0.03791	0.5864	0.0605	0.6266	0.600	0.562	1.04	0.45454	0.9923	0.2681	1.6951
0.022	0.100	0.42	0.04088	0.6000	0.0635	0.6435	0.610	0.568	1.04	0.46049	0.9907	0.2697	1.7072
0.024	0.104	0.43	0.04330	0.6105	0.0659	0.6576	0.620	0.575	1.04	0.46742	0.9887	0.2715	1.7214
0.026	0.108	0.45	0.04576	0.6208	0.0683	0.6697	0.630	0.581	1.05	0.47334	0.9868	0.2731	1.7335
0.028	0.112	0.45	0.04826	0.6307	0.0707	0.6825	0.640	0.587	1.05	0.47926	0.9847	0.2745	1.7457
0.030	0.116	0.46	0.05080	0.6404	0.0731	0.6951	0.650	0.594	1.05	0.48614	0.9822	0.2762	1.7599
0.032	0.120	0.47	0.05339	0.6499	0.0755	0.7075	0.660	0.600	1.05	0.49203	0.9798	0.2776	1.7722
0.034	0.123	0.48	0.05535	0.6569	0.0772	0.7167	0.670	0.607	1.06	0.49888	0.9768	0.2793	1.7865
0.036	0.127	0.49	0.05799	0.6659	0.0796	0.7288	0.680	0.613	1.06	0.50473	0.9741	0.2806	1.7988
0.038	0.130	0.50	0.06000	0.6726	0.0813	0.7377	0.690	0.620	1.06	0.51154	0.9708	0.2821	1.8132
0.040	0.134	0.50	0.06271	0.6813	0.0837	0.7495	0.700	0.626	1.06	0.51735	0.9677	0.2834	1.8255
0.045	0.141	0.52	0.06753	0.6960	0.0877	0.7699	0.710	0.633	1.06	0.52411	0.9640	0.2848	1.8400
0.050	0.149	0.54	0.07316	0.7122	0.0923	0.7926	0.720	0.640	1.07	0.53085	0.9600	0.2862	1.8546
0.055	0.156	0.55	0.07819	0.7257	0.0963	0.8121	0.730	0.646	1.07	0.53660	0.9564	0.2874	1.8671
0.060	0.163	0.57	0.08332	0.7387	0.1002	0.8312	0.740	0.653	1.07	0.54328	0.9520	0.2887	1.8818
0.065	0.170	0.58	0.08854	0.7513	0.1042	0.8500	0.750	0.660	1.07	0.54992	0.9474	0.2900	1.8965
0.070	0.176	0.59	0.09307	0.7616	0.1075	0.8658	0.760	0.667	1.07	0.55654	0.9426	0.2912	1.9113
0.075	0.182	0.60	0.09767	0.7717	0.1108	0.8815	0.770	0.675	1.07	0.56406	0.9367	0.2925	1.9284
0.080	0.188	0.61	0.10233	0.7814	0.1141	0.8969	0.780	0.682	1.07	0.57060	0.9314	0.2936	1.9434
0.085	0.194	0.62	0.10705	0.7909	0.1174	0.9122	0.790	0.689	1.07	0.57710	0.9258	0.2947	1.9584
0.090	0.200	0.63	0.11182	0.8000	0.1206	0.9273	0.800	0.697	1.07	0.58448	0.9191	0.2958	1.9758
0.095	0.205	0.64	0.11584	0.8074	0.1233	0.9397	0.805	0.701	1.08	0.58815	0.9156	0.2964	1.9845
0.100	0.211	0.65	0.12071	0.8160	0.1263	0.9545	0.810	0.705	1.08	0.59180	0.9121	0.2969	1.9933
0.105	0.216	0.66	0.12481	0.8230	0.1291	0.9667	0.815	0.709	1.08	0.59544	0.9084	0.2974	2.0020
0.110	0.221	0.67	0.12894	0.8298	0.1317	0.9788	0.820	0.713	1.08	0.59907	0.9047	0.2979	2.0109
0.115	0.226	0.68	0.13311	0.8365	0.1343	0.9908	0.825	0.717	1.08	0.60268	0.9009	0.2984	2.0197
0.120	0.231	0.69	0.13731	0.8429	0.1369	1.0027	0.830	0.721	1.08	0.60628	0.8970	0.2989	2.0286
0.125	0.236	0.69	0.14154	0.8492	0.1395	1.0146	0.835	0.725	1.08	0.60986	0.8930	0.2993	2.0376
0.130	0.241	0.70	0.14580	0.8554	0.1421	1.0263	0.840	0.729	1.07	0.61342	0.8890	0.2997	2.0465
0.135	0.245	0.71	0.14923	0.8602	0.1441	1.0356	0.845	0.734	1.07	0.61785	0.8837	0.3002	2.0578
0.140	0.250	0.72	0.15355	0.8660	0.1466	1.0472	0.850	0.738	1.07	0.62138	0.8794	0.3006	2.0669
0.145	0.255	0.72	0.15789	0.8717	0.1491	1.0587	0.855	0.742	1.07	0.62489	0.8751	0.3010	2.0760
0.150	0.259	0.73	0.16139	0.8762	0.1511	1.0679	0.860	0.747	1.07	0.62925	0.8695	0.3014	2.0875
0.155	0.263	0.74	0.16490	0.8805	0.1531	1.0770	0.865	0.751	1.07	0.63272	0.8649	0.3018	2.0967
0.160	0.268	0.74	0.16932	0.8858	0.1556	1.0883	0.870	0.756	1.07	0.63703	0.8590	0.3022	2.1083
0.165	0.272	0.75	0.17287	0.8900	0.1575	1.0973	0.875	0.761	1.07	0.64131	0.8529	0.3025	2.1200
0.170	0.276	0.76	0.17644	0.8940	0.1595	1.1063	0.880	0.766	1.07	0.64556	0.8467	0.3028	2.1318
0.175	0.281	0.76	0.18092	0.8990	0.1619	1.1174	0.885	0.770	1.07	0.64983	0.8417	0.3031	2.1412
0.180	0.285	0.77	0.18452	0.9028	0.1638	1.1263	0.890	0.775	1.07	0.65313	0.8352	0.3033	2.1532
0.190	0.293	0.78	0.19177	0.9103	0.1676	1.1440	0.895	0.781	1.07	0.65811	0.8271	0.3036	2.1676
0.200	0.301	0.79	0.19909	0.9174	0.1714	1.1615	0.900	0.786	1.07	0.66223	0.8203	0.3038	2.1797
0.210	0.309	0.80	0.20645	0.9242	0.1751	1.1798	0.905	0.791	1.07	0.66631	0.8132	0.3040	2.1920
0.220	0.316	0.81	0.21294	0.9298	0.1784	1.1939	0.910	0.797	1.07	0.67117	0.8045	0.3041	2.2068
0.230	0.324	0.82	0.22040	0.9360	0.1820	1.2111	0.915	0.803	1.06	0.67597	0.7955	0.3042	2.2218
0.240	0.331	0.83	0.22697	0.9411	0.1851	1.2260	0.920	0.808	1.06	0.67993	0.7877	0.3043	2.2345
0.250	0.339	0.84	0.23453	0.9467	0.1887	1.2430	0.925	0.814	1.06	0.68462	0.7782	0.3043	2.2498
0.260	0.346	0.85	0.24117	0.9514	0.1918	1.2577	0.930	0.821	1.06	0.69003	0.7667	0.3043	2.2679
0.270	0.353	0.86	0.24785	0.9558	0.1948	1.2724	0.935	0.827	1.06	0.69460	0.7565	0.3042	2.2837
0.280	0.360	0.86	0.25455	0.9600	0.1978	1.2870	0.940	0.834	1.05	0.69985	0.7442	0.3040	2.3023
0.290	0.367	0.87	0.26128	0.9640	0.2007	1.3016	0.945	0.841	1.05	0.70502	0.7314	0.3037	2.3213
0.300	0.374	0.88	0.26805	0.9677	0.2037	1.3160	0.950	0.849	1.05	0.71081	0.7161	0.3033	2.3434
0.310	0.381	0.89	0.27483	0.9713	0.2066	1.3305	0.955	0.856	1.05	0.71577	0.7022	0.3029	2.3631
0.320	0.387	0.89	0.28067	0.9741	0.2090	1.3428	0.960	0.865	1.04	0.72201	0.6834	0.3022	2.3891
0.330	0.397	0.90	0.28750	0.9773	0.2118	1.3572	0.965	0.874	1.04	0.72807	0.6637	0.3014	2.4158
0.340	0.401	0.91	0.29435	0.9802	0.2146	1.3715	0.970	0.883	1.04	0.73395	0.6428	0.3004	2.4434
0.350	0.407	0.92	0.30024	0.9825	0.2170	1.3837	0.975	0.894	1.03	0.74088	0.6157	0.2989	2.4784
0.360	0.414	0.92	0.30713	0.9851	0.2197	1.3979	0.980	0.905	1.03	0.74749	0.5864	0.2972	2.5149
0.370	0.420	0.93	0.31304	0.9871	0.2220	1.4101	0.985	0.919	1.02	0.75542	0.5457	0.2946	2.5644
0.380	0.426	0.93	0.31897	0.9890	0.2243	1.4223	0.990	0.935	1.02	0.76374	0.4931	0.2908	2.6260
0.390	0.433	0.94	0.32590	0.9910	0.2269	1.4364	0.995	0.956	1.01	0.77326	0.4102	0.2844	2.7189
0.400	0.439	0.95	0.33185	0.9925	0.2291	1.4485	1.000	1.000	1.00	0.78540	0.0000	0.2500	3.1416

На слици 5.3 је графички приказан однос поменутих параметара за округли и јајолики облик профила.



Слика 5.3 Параметри канализационих цеви за прорачун делимично испуњених профила
(а) округли облик; (б) јајолики облик [5]

Локални губици у канализацијским колекторима не улазе у прорачун јер су укључени у погонску храпавост. За сифоне, испусте и друге пратеће објекте, ово не важи, већ се сви локални губици морају узимати појединачно.

Хидраулички прорачун течења под притиском

Хидраулички прорачун течења под притиском односи се на режим течења у делу канализационе мреже где влада притисни режим. Овај случај се јавља за потисне цевоводе пумпних станица код комбинованих система одвођења.

6. Одређивање хидрауличких параметара струјања у канализационим цевима

За решавање хидрауличких параметара у канализационој цеви коришћене су многе формуле које су већ поменуте у претходном делу. Најчешће коришћена јесте Манинг-ова једначина (6.1):

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (6.1)$$

$$Q = \frac{0,312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (6.2)$$

где су:

R – хидраулички радијус,

S – нагиб,

n – Манинг-ов коефицијент,

D – пречник цеви,

Q – проток.

Једначина (6.1) користи се за израчунавање брзине и код потпуно испуњених цеви и код делимично испуњених цеви. Исто важи и за израчунавање протока (6.2).

Једначине (6.3) и (6.4) су исте као и једначина (6.1), али су оне означене индексима p и f , како би се нагласило да се ради о делимично испуњеним цевима, p , (*енг. partly*), или о потпуно испуњеним цевима, f , (*енг. full*).

$$v_f = \frac{1}{n} R_f^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (6.3)$$

$$v_p = \frac{1}{n} R_p^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (6.4)$$

У канализационим каналима ток струјања отпадних вода није константан, због тога испуњеност цеви је различита. У случају када је тешко пронаћи хидраулички радијус, користе се односи одређених параметара, о којима је било речи у претходном поглављу. За делимично попуњене цеви се примењују Манинг-ове једначине:

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \quad (6.5)$$

$$\frac{A_p}{A_f} = \left(\frac{\theta}{360} - \frac{\sin \theta}{2\pi} \right) \quad (6.6)$$

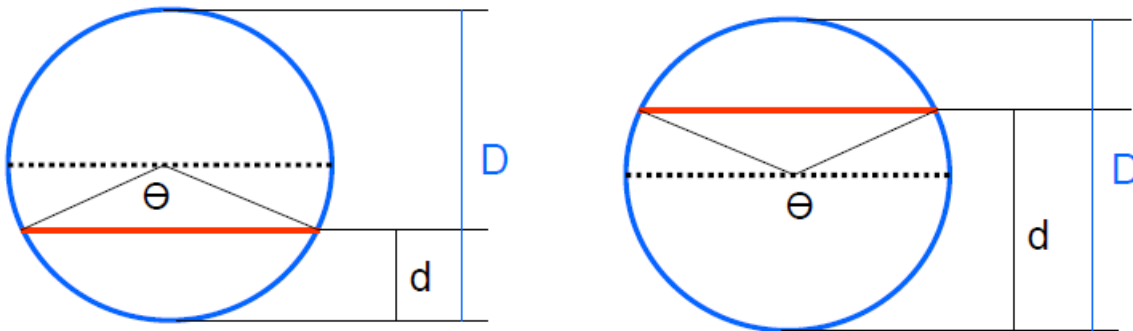
$$\frac{R_p}{R_f} = \left(1 - \frac{360 \sin \theta}{2\pi \theta} \right) \quad (6.7)$$

$$\frac{v_p}{v_f} = \left(\frac{R_p}{R_f} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (6.8)$$

$$\frac{Q_p}{Q_f} = \left(\frac{A_p V_p}{A_f V_f} \right) \quad (6.9)$$

Једначина (6.5) представља однос висине отпадних вода код делимичног испуњења и унутрашњег пречника цеви. У зависности од вредности односа одређујемо попуњеност цеви, да ли је вредност већа од 50% (слика 6.1 (а)), односно мања од 50% (слика 6.1 (б)). Као и претходно напоменуто и овде се користе индекси p или f , како би се нагласило да се ради о делимично испуњеној цеви, p или потпуно испуњеној цеви, f . На тај начин добијамо једначину (6.6) која представља однос проточних површина, у једначини (6.7) је приказан однос хидрауличких радијуса, у (6.8) однос брзина и на крају у (6.9) однос протока. У изразима фигурише θ , угао који дефинише попуњеност цеви, изражен у степенима.

Максимални капацитет се јавља када је $d/D=0.95$, а максимална брзина у цеви се јавља при односу $d/D=0.81$.



Слика 6.1 Попуњеност цеви

(а) попуњеност мања од 50%; (б) попуњеност већа од 50%

Горе наведени прорачун је прилично дуг, посебно ако је потребно проћи овај поступак за сваку цев појединачно у систему. Како би се олакшало одређивања параметра један од начина јесте читавање вредност са дијаграма криве парцијалног протока или номограма.

7. Пример прорачуна струјања у канализационим цевима испуњеним више и мање од 50%

У оквиру овог поглавља урађен је прорачун струјања отпадних вода кроз канализационе цеви које су испуњене више од 50% и мање од 50%. Комплетан прорачун ке урађен у софтверском пакету *MathCad*.

Прорачун цеви које су испуњене више од 50%

Потребно је одредити пречник цеви кроз који протиче $0.186 \text{ m}^3/\text{s}$ отпадне воде, када је цев делимично испуњена. Дати су: однос $d/D = 0.67$, нагиб $S = 0.4\%$, $n = 0.013$.

Полазни подаци:

$$Q_p := 0.186 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$X_c := 0.67$$

$$X_s := 0.4\%$$

$$n := 0.013$$

Писаћемо да је $d/D = X_c$ и да је $S = X_s$

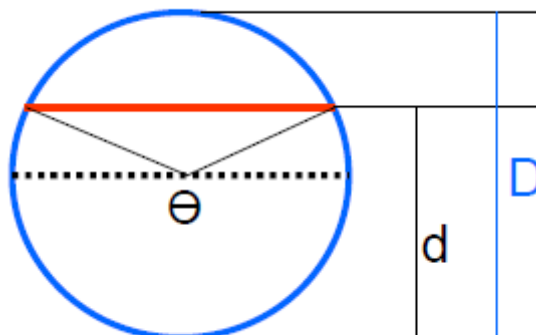
1. Угао Θ :

У канализационим каналима ток струјања отпадних вода није константан, због тога испуњеност цеви је различита. За делимично попуњене цеви се примењују Манинг-ове једначине:

$$X_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right)$$

$$\theta := (\arccos(1 - 2 \cdot X_c)) \cdot 2$$

$$\theta = 219.754^\circ$$



2. Однос Q_p/Q_f

$$X_1 := \left[1 - \frac{360 \cdot \sin(\theta)}{2 \cdot \pi \cdot (\theta) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right)} \right]$$

$$X_1 = 1.167$$

$$X2 := \left[\frac{\theta \cdot \left(\frac{180}{\pi} \right)}{360} - \frac{\sin(\theta)}{2 \cdot \pi} \right]$$

Писаћемо да је
 $R_p/R_f = X1$ и да је
 $A_p/A_f = X2$

$$X2 = 0.712$$

$$X3 := (X1)^{\frac{2}{3}}$$

$$X3 = 1.108$$

Писаћемо да је
 $V_p/V_f = X3$ и да је
 $Q_p/Q_f = X4$

$$X4 := (X2 \cdot X3)$$

$$X4 = 0.789$$

3. Проток потпуно испуњену цев Q_f :

$$Q_f := \frac{Q_p}{0.789}$$

$$Q_f = 0.236 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4. Пречник цеви D :

$$Q_f = \frac{0.312}{n} \cdot D^{\frac{8}{3}} \cdot X_s^{\frac{1}{2}}$$

$$D := \left(\frac{Q_f \cdot n}{0.312 \cdot X_s^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$D = 0.497\text{m}$$

Усвајамо да је $D = 0.50\text{m}$

$$\underline{\underline{D}} := 0.50\text{m}$$

5. Брзина кроз потпуно испуњену цев:

$$R_f := \frac{D}{4}$$

$$V_f := \frac{1}{n} \cdot R_f^{\frac{2}{3}} \cdot X_s^{\frac{1}{2}}$$

Основна једначина за прорачун
једноликог течења је Чезијева
формула за брзину (5.3)

$$V_f = 1.216 \text{ m}^3$$

$$A_f := \frac{Q_f}{V_f} = 0.194 \frac{\text{m}^{3.333 \times 10^{-4}}}{\text{s}} ???$$

$$A_f := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_p := A_f \cdot 0.712 = 0.14 \text{ m}^2$$

Површина попречног пресека и проток кроз
делимично испуњену цев.

$$V_p := V_f \cdot 1.108 = 1.348 \text{ m}^3$$

Прорачун цеви која је испуњена мање од 50%

Потребно је одредити пречник цеви кроз који протиче $0.186 \text{ m}^3/\text{s}$ отпадне воде, када је цев делимично испуњена. Дати су: однос $d/D = 0.35$, нагиб $S = 0.4\%$, $n = 0.013$.

Улазни подаци:

$$Q_p := 0.186 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$X_c := 0.35$$

$$X_s := 0.4\%$$

$$n := 0.013$$

Писаћемо да је
 $d/D = X_c$ и да је $S = X_s$

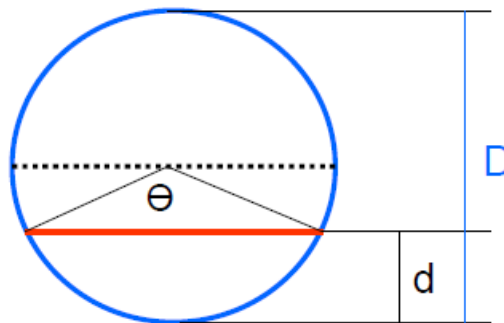
1. Угао Θ :

У канализационим каналима ток струјања отпадних вода није константан, због тога испуњеност цеви је различита. За делимично попуњене цеви се примењују Манинг-ове једначине:

$$X_c = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right)$$

$$\theta := (\arccos(1 - 2 \cdot X_c)) \cdot 2$$

$$\theta = 145.085^\circ$$



2. Однос Q_p/Q_f

$$X_1 := \left[1 - \frac{360 \cdot \sin(\theta)}{2 \cdot \pi \cdot (\theta) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right)} \right]$$

$$X_1 = 0.774$$

$$X_2 := \left[\frac{\theta \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right)}{360} - \frac{\sin(\theta)}{2 \cdot \pi} \right]$$

$$X_2 = 0.312$$

Писаћемо да је
 $R_p/R_f = X_1$ и да је
 $A_p/A_f = X_2$

$$X3 := (X1)^{\frac{2}{3}}$$

$$X3 = 0.843$$

$$X4 := (X2 \cdot X3)$$

$$X4 = 0.263$$

Писаћемо да је
 $V_p/V_f = X3$ и да је
 $Q_p/Q_f = X4$

3. Проток потпуно испуњену цев Qf:

$$Q_f := \frac{Q_p}{0.263}$$

$$Q_f = 0.707 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4. Пречник цеви D:

$$Q_f = \frac{0.312}{n} \cdot D^{\frac{8}{3}} \cdot X_s^{\frac{1}{2}}$$

$$D := \left(\frac{Q_f \cdot n}{0.312 \cdot X_s^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$D = 0.751 \text{m}$$

Усвајамо да је $D = 0.80 \text{m}$

$$D := 0.80 \text{m}$$

5. Брзина кроз потпуно испуњену цев:

$$R_f := \frac{D}{4}$$

$$V_f := \frac{1}{n} \cdot R_f^{\frac{2}{3}} \cdot X_s^{\frac{1}{2}}$$

Основна једначина за прорачун једноликог течења је Чезијева формула за брзину (5.3)

$$A_f := \frac{Q_f}{V_f} = 0.425 \frac{\text{m}^{3.333 \times 10^{-4}}}{\text{s}}$$

$$A_f := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$V_f = 1.664 \text{m}^3$$

$$A_p := A_f \cdot 0.712 = 0.358 \text{m}^2$$

Површина попречног пресека и проток кроз делимично испуњену цев.

$$V_p := V_f \cdot 1.108 = 1.844 \text{m}^3$$

Други начин за израчунавање неопходних параметара је уз помоћ номограма. На слици 7.1 приказана је зависност хидрауличких параметара од релативне дубине за округле цеви при делимичном испуњењу. На Y- оси означимо вредност задату $d/D=0,67$, а затим се црта хоризонтална линија. Из тачке пресека са кривом Q спустимо вертикалну линију до X-осе и читамо вредност, у нашем случају та вредност је $Q_p/Q_f=0,78$. Исти је поступак и за пресек са V кривом. У тачки на X-оси читавамо да је вредност односа за конкретан случај $V_p/V_f=1,12$.

Када читамо све ове вредности, даље се рачуна (6.10) и (6.11):

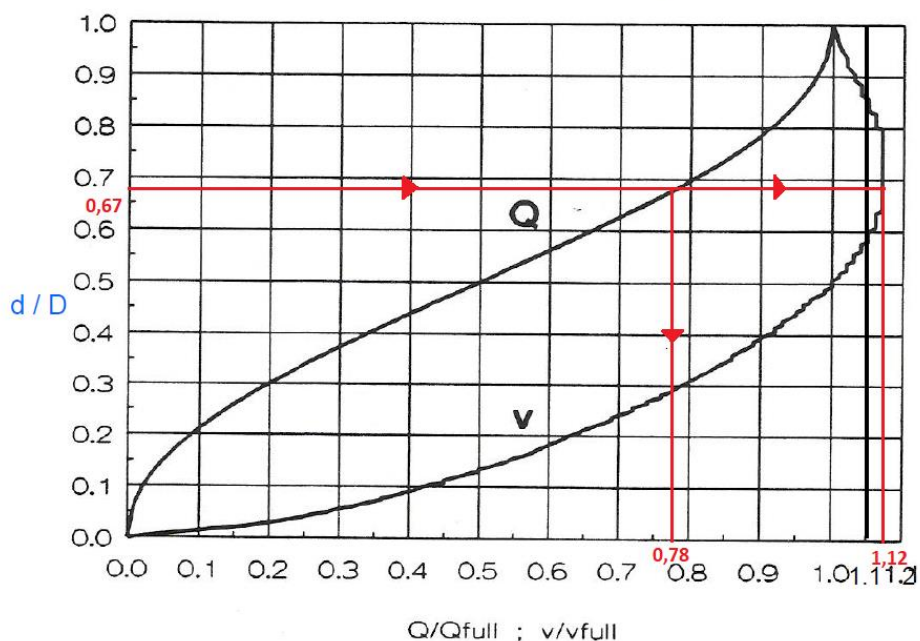
$$Q_f = \frac{Q_p}{0.78} \quad (6.10)$$

$$v_f = \frac{v_p}{1.12} \quad (6.11)$$

Уместо рачуна могуће је прочитати и вредности из табеле (5.2), где на основу задатог односа d/D или h/D како је задато у табели, читавамо остале хидрауличке параметре.

$$Q_f := \frac{Q_p}{0.78} = 0.238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_p := V_f \cdot 1.12 = 1.344 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



Слика 7.1 Зависност хидрауличких параметара од релативне дубине за округле цеви при делимичном испуњењу

И последњи начин одређивања хидрауличких параметара јесте помоћу номограма, али се он данас веома рето користи због могућности појаве грешке при читавању вредности са номограма.

8. Закључак

Први познати систем одводних цеви, није се појавио у неком од урбаних центара већ на острву Орки које се налази у близини северне Шкотске.

Отпадним водама се сматрају воде које су искоришћене за одређену сврху и том приликом се и њихов састав мења под утицајем различитих загађивача. Према пореклу разликујемо неколико врста отпадних вода, а то су: кућне или санитарне отпадне воде, индустријске отпадне воде, атмосферске воде и процеђене воде.

Системом за одвођење отпадних вода се назива систем који се састоји од низа мера повезаних у целину, чији је основни циљ прикупљање, одвођење и пречишћавање отпадних вода, накнадно испуштање након пречишћавања и збрињавање муља насталог у току процеса пречишћавања, на технички што исправнији и економичнији начин. Групе објекта који чине систем су канализациона мрежа, грађевинске канализационе мреже, постројења за пречишћавање отпадних вода и испусти.

Системи за одвођење према начину прихватања и довођења отпадних вода, могу бити мешовити или групни систем (сакупља све групе урбаних вода и одводе се истим заједничким каналима), разделни систем (потпуно и непотпуно разделни), полураздељени и комбиновани (системи који имају неколико засебних система). Под шемом канализационе мреже подразумевамо ситуацијски облик мреже (са припадајућим објектима) унутар канализационог урбаног подручја. Примењиване шеме су: шема попречне (нормалне, вертикалне), шема обухватне, шема уздужне (паралелне) канализационе мреже, шема радијалне канализационе мреже, шема прстенасте канализационе мреже, шема разгранате канализационе мреже и шема зониране канализационе мреже.

Према облику канала може се извршити подела на *отворене* и *затворене* канале. У зависности од облика попречног пресека, затворени канали се могу поделити у три основне групе: канали кружног облика, канали уздужног (јајоликог, полукружног и правоугаоног) облика и канали компримовањог (потковичастог и капастог) облика. Канализационе цеви израђују се из бетона, армираног бетона, азбест цемента, пластике, метала и ливеног гвожђа.

Да би се омогућили нормални услови рада канализационе мреже потребно је да се ограниче неки услови. Ограничења се јављају у види минималних профила, минималних и максималних брзина, минималних и максималних нагиба и ограничење дубине канала.

С обзиром на режим течења у канализационој мрежи, односно њеном делу, могуће су две врсте прорачуна, хидраулички прорачун течења са слободним водним лицем и хидраулички прорачун течења под притиском. Прорачун одређивања хидрауличких параметара је прилично дуг, посебно када је потребно прећи исти поступак за сваку цев неког канализационог система. Да би се тај поступак олакшао користе се дијаграми или табелице номограми, са којих се читавају вредности.

Литература

- [1] Vodovod i kanalizacija, приступљено у јулу, 2017. године,
<http://vodovodkanalizacija.blogspot.rs/2015/12/sta-kaze-istorija-o-prvim-sistemima.html>
- [2] eKapija, приступљено у јулу, 2017. године, <http://www.ekapija.com/after-workhours/257679/sta-kaze-istorija-o-prvim-sistemaima-kanalizacija-na-planeti>
- [3] Telegraf, приступљено у јулу, 2017. године,
<http://www.telegraf.rs/zanimljivosti/1449550-kratka-istorija-kanalizacije-fekalije-suletele-kroz-prozor-u-srednjem-veku-foto>
- [4] J. Маргета: „Канализација насеља: одводња и збрињавање отпадних и оборинских вода“, Грађевинско-архитектонски факултет, Сплит, 2009
- [5] В. Шуштершич: „Канализација-скрипта“, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [6] Б. Кујунџић: „Урбани системи за одвођење отпадних вода, изградња и одржавање канализационих објеката“, Удружење за технологију воде и санитарно инжењерство, Београд, 2001
- [7] Centar za ekologiju i energiju, приступљено у јулу, 2017. године,
<http://ekologija.ba/index.php?w=c&id=26>
- [8] Пројектирање сустава одводње (канализацијских сустава), приступљено августа, 2017. године,
<http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/vjezbe/Projektiranje%20sustava%20odvodnje%20-%20za%20web.pdf>
- [9] Повреновић Д., Кнежевић М.: „Основе технологија пречишћавања отпадних вода“, Технолошко-металуршки факултет, Београд, 2013.
- [10] Sewerage manual (with Eurocodes incorporated), Key Planning Issue and Gravity Collection System, Third Edition, Drainage Services department, 2013.