

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Хидрауличке и пнеуматске машине

Број индекса: 714/2017

Велибор М. Симић

**Димензионисање пумпног
постројења - студија случаја
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Давор Кончаловић - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- предвиди најмање два сценарија за потребе фиктивног или реалног сеоског водоснабдевног система;
- димензионише цевовод;
- димензионише пумпно постројење и усвоји адекватне пумпе из каталога произвођача;
- одабере систем/сценарио који током усвојеног периода експлоатације има ниже трошкове експлоатације;
- изнесе одговарајуће закључке.

Препоручена литература:

[1] Arnalich, Santiago. How to calculate water networks by computer. 2007.

[2] Arnalich, Santiago. Epanet and Developnet A progresisive 44 exercise workbook. 2011.

[3] Radonjić, Milorad. Vodovod i kanalizacija u zgradama. Zagreb : Croatia knjige, 2003.

Крагујевац, Датум

Ментор:

др Давор Кончаловић

Резиме

У овом завршном раду је приказана употреба софтвера Епанет за потребе моделирања водоводне дистрибутивне мреже омањег насеља. У Поглављу 1 дат је увод у основну терминологију која се користи и опис шема система за водоснабдевање. Поглавље 2 се бави димензионисањем елемената мреже и прорачуном потражње воде, представљено кроз туториал коришћеног софтера. Поглавље 3 се односи на дефинисање критеријума за израчунавање, односно опсег вредности у којима ће решење за модел бити прихватљиво. Кроз поглавље 4 креирана је прстенаста мрежа са сабирним резервоаром, димензионисани су пречници цевовода и експериментално утврђена радна крива пумпе. Шема разгранате мреже и њене карактеристике представљене су у поглављу 5. Поглавље 6 се бави димензионисањем пумпног постројења из каталога произвођача и описом његових главних карактеристика. Одност трошкова експлоатације прстенасте и разгранате мреже обухваћен је кроз поглавље 7. Преглед добијених вредности из два типа мреже и упоредна анализа њихових података сагледана је кроз поглавље 8. У закључном делу набројани су бенифити коришћења Епанета и кроз упоредну анализу прстенасте и разгранате мреже усвојени закључци.

Кључне речи: Систем за дистрибуцију воде; Епанет; Математички модел

Abstract

This diploma thesis describes the use of Epanet software for modeling of the small-scale water distribution network. Chapter 1 provides an introduction to the basic terminology used and a description of the schemes of the water supply systems. Chapter 2 deals with the sizing of network elements and the calculation of water demand, presented through a step-by-step tutorial of the software used. Chapter 3 deals with defining the calculation criteria, that is, the range of values within which a solutions could be acceptable. Through Chapter 4 a reservoir was created, pipeline diameters were dimensioned, and the operating curve of the pump was experimentally determined. The branched network scheme and its characteristics are presented in Chapter 5. Chapter 6 deals with sizing of a pumping plant from the manufacturer's catalog and description of main characteristics of selected pump. The cost of exploitation of the ring and branch network is covered in Chapter 7. An overview of the obtained results from mentioned two types of networks and a comparative analysis of these results are discussed in Chapter 8. In the final part, the benefits of using Epanet are given, and conclusions are drawn after the comparative analysis of the obtained results for the ring and branch type of water distribution network.

Keywords: Water distribution system; Epanet; The mathematical model

У Крагујевцу / In Kragujevac

2019. године/ 2019

Велибор Симић / Velibor Simić

Списак илустрација

Слика 2.1. Радни простор Еланета	4
Слика 2.2. Конфигурација јединица	5
Слика 2.3. Коефицијенти трења	6
Слика 2.4. Кординате у Google Earth	7
Слика 2.5. Дужина терена	7
Слика 2.6. Ширина терена	8
Слика 2.7. Рачунање кордината	8
Слика 2.8. Учитавање мапе	9
Слика 2.9. Уписивање кордината	9
Слика 2.10. Аутоматско рачунање дужине	9
Слика 2.11. Чворови са и без потражње	10
Слика 2.12. Дистрибутивна мрежа	10
Слика 2.13. Својства чвора	11
Слика 2.14. Варијација потрошње воде током дана (6)	14
Слика 2.15. Просечна сатна потрошња	15
Слика 2.16. Образац потрошње	16
Слика 2.17. Дневни образац просечне потрошње воде	17
Слика 2.18. Седмични образац потрошње	17
Слика 2.19. Месечни образац потрошње	18
Слика 2.20. Опције за табеларно приказивање	20
Слика 2.21. Део табеле са параметрима надморске висине и потражње чворова	20
Слика 2.22. Дијалог резервоара	21
Слика 2.23. Запремина резервоара	23
Слика 2.24. Групна промена вредности за пречнике цеви	24
Слика 2.25. Покретање симулације система	25
Слика 3.1. Дијалогски оквири за приступ подацима и мапи	28
Слика 3.2. Дијалог за управљање временским параметрима	28
Слика 4.1. Прстенаста мрежа са резервоаром	29
Слика 4.2. Експериментално утврђивање пречника	30
Слика 4.3. Укупна дужина цеви у зависности од пречника	32
Слика 4.4. Промена положаја цеви	33

Слика 4.5. Повезивање пумпе.....	33
Слика 4.6. Крива пумпе.....	34
Слика 4.7. Уношење вредности криве	34
Слика 5.1. Разграната мрежа.....	35
Слика 6.1. Вишестепена центрифугална самоусисна пумпа (12).....	36
Слика 6.2. Крива карактеристике пумпе (11).....	37
Слика 7.1. Укупни расходи	38
Слика 8.1. Осцилације притиска, Домаћинство18	39
Слика 8.2. Осцилације притиска, Домаћинство4	39
Слика 8.3. Осцилације притиска, Домаћинство4	40
Слика 8.4. Брзина струјања воде у крајњем уличном воду.....	40
Слика 8.5. Унутрашњи пречници цевовода	41
Слика 8.6. Осцилације нивоа воде у водоторњу.....	41
Слика 8.7. Контуре цеви пропорционалне њиховим вредностима	42
Слика 8.8. Проток ка/од сабирног резервоара	43
Слика 8.9. Зависност притиска од нивоа воде резервоара	43

Списак табела

Табела 2.1. Унутрашњи и спољашњи пречници пластичних цеви (4).....	5
Табела 2.2. Релативне висине чворова	12
Табела 2.3. Нормативи дневне потрошње (5).....	13
Табела 2.4. Сатна потрошња воде	14
Табела 2.5. Статистика просечне часовне потрошње	16
Табела 2.6. Запремина водоторња.....	22
Табела 2.7. Пластични вертикални резервоари (8)	23
Табела 4.1. Истовременост употребе (6).....	31
Табела 4.2. Изливна места и прорачунски подаци (10)	31
Табела 6.1. Графички каталог произвођача (11)	36

Садржај

1. УВОД У ПРОЈЕКТОВАЊЕ МРЕЖЕ.....	1
2. ЕПАНЕТ	3
2.1. РАДНО ОКРУЖЕЊЕ И КОНФИГУРИСАЊЕ ЕПАНЕТА	4
2.2. НОМИНАЛНИ, УНУТРАШЊИ И СПОЉНИ ПРЕЧНИК.....	5
2.3. ВРСТЕ ЦЕВИ И ЊИХОВ КОЕФИЦИЈЕНТ ТРЕЊА.....	6
2.4. УЧИТАВАЊЕ МАПЕ У ЕПАНЕТ	6
2.5. ДЕФИНИСАЊЕ МРЕЖЕ.....	10
2.6. УНОС ПОДАТАКА ЗА ЧВОР	11
2.6.1. НАДМОРСКА ВИСИНА.....	11
2.6.2. ПОТРАЖЊА ВОДЕ.....	13
2.6.3. ПОРОРАЧУН ПОТРОШЊЕ У ЧВОРУ.....	19
2.7. УНОС ПОДАТА ЗА РЕЗЕРВОАР (TANK)	21
2.8. УНОС ПОДАТАКА ЗА ЦЕВИ	23
2.9. УНОС ПОДАТАКА ЗА ИЗВОР ВОДЕ (RESERVOIR)	24
2.9.1. ИЗВОР ВОДЕ КАО ЕКВИВАЛЕНТ ПУМПЕ.....	25
3. КРИТЕРИЈУМИ ЗА ПРОРАЧУН МРЕЖЕ.....	26
3.1. ПРИТИСАК.....	26
3.2. БРЗИНА ВОДЕ У ЦЕВИМА	26
3.3. ЈЕДИНИЦА ЗА МЕРЕЊЕ ХИДРАУЛИЧКИХ ГУБИТАКА (UNIT HEADLOSS).....	26
3.4. СМЕРНИЦЕ ЗА ПРОРАЧУН.....	27
3.5. МОДЕЛ ПРОДУЖЕНОГ ПЕРИОДА.....	27
4. ПРСТЕНАСТА МРЕЖА СА САБИРНИМ РЕЗЕРВОАРОМ.....	29
4.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО УТВРЂИВАЊЕ ПРЕЧНИКА ЦЕВИ	30
4.2. ПУМПА	33
5. РАЗГРАНАТА МРЕЖА	35
6. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПУМПНОГ ПОСТРОЈЕЊА.....	36
7. ТРОШКОВИ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ.....	38
8. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ПАРАМЕТАРА	39
9. ЗАКЉУЧАК	44
10. ЛИТЕРАТУРА.....	46

1. УВОД У ПРОЈЕКТОВАЊЕ МРЕЖЕ

Добро пројектована мрежа треба да обезбеди четири основна параметра:

- **Притисак**, који ће осигурати да корисници на располагању имају адекватан притисак воде у сваком разматраном тренутку;
- **Брзину**, којом се балансира између предимензионисане мреже скупе за изградњу (коју карактеришу мале брзине) и јефтине дистрибутивне мреже коју карактеришу врло високи трошкови рада (тј. велике брзине);
- **Време задржавања воде у мрежи**, што је време које вода проводи у мрежи дуже то је квалитет нижи;
- **Концентрација хлора**, која ће осигурати да вода буде питка и обезбедиће укус који је прихватљив корисницима (1).

Постоји бесконачан број решења за снабдевање водом под датим околностима, а многа од тих решења су одржива и разумна према критеријумима које смо управо поменули. Додатно, врло важан параметар јесте и економски, који се своди на проналазак најнижих трошкова изградње мреже и на трошкове рада.

Међутим, економски критеријуми нису једини, постоје и друга питања на која је потребно одговорити, а која произлазе из просторне диспозиције мреже. Разликују се две основне врсте шема за водоводне мреже:

- прстенаста или циркулациона,
- разграната.

Прстенаста шема представља најбољу шему расподеле воде и веома је сигурна у експлоатацији. Карактеристична је по међусобној повезаности цевовода, тако да до сваког места потрошње вода дотиче из два смера. У овом систему притисци су боље изједначени, али је скупља од разгранате. Употребљава се када нису дозвољени прекиди у снабдевању водом, јер су сви цевоводи спојени у међусобни систем. Непредвидивост понашања корисника додатно препоручује прстенасту мрежу. (2)

Код разгранатих мрежа цеви се одвајају на сличан начин као и гране дрвећа. Разграната мрежа се најчешће гради у мањим насељима, од главне доводне цеви рачвају се цевоводи све до уличних огранака тј. појединачних корисника. До места потрошње вода доспева само са једним цевоводом. Разгранати систем је јефтинији, али је и мање поуздан од прстенастог. Прекиди у снабдевању водом појединих подручја или дела градског насеља трају док узрок прекида не буде у потпуности отклоњен. Разграната мрежа не дозвољава велике модификације или проширења, што доводи до тежег прилагођавања приликом пораста броја становника. (2)

Процес пројектовања карактеришу две јасно дефинисане фазе:

- Рутирање цевовода. План водоводне мреже црта се на мапи. Постоје практична ограничења могућих траса; дакле обично се цеви и остали елементи постављају тако да прате улице, дуж путева итд., тако да су приступачнији и да се избегавају имовински спорови;
- Димензионисање елемената, тј. одређивање њихових пречника и других параметара. Ове величине се бирају тако да цевовод може да ради при најтежим условима који се могу предвидети, с хипотезом да ако рад буде могућ при најнеповољнијим условима, систем ће у осталим случајевима такође радити без проблема.

Процес дистрибуције воде одвија се уз помоћ пумпних постројења (црпних станица), разводне цевне мреже, резервоара односно торњева за воду. Тежње су усмерене ка што мањим губицима воде и задржавању квалитета исте у прописаним вредностима. Због разлике у надморским висинама водозахвата и подручја водоснабдевања, вода се доводи до потрошача под утицајем гравитације (слободним падом), под притиском (пумпне станице) или комбиновано. (3)

Водоводна мрежа се планира тако да има одговарајућу пропусност како би обезбедила потребне количине воде до сваког корисника, обезбеђујући и дефинисани притисак, поузданост у раду, економичност, уз ниске инвестиционе и експлатационе трошкове. Ове захтеве је могуће испунити правилном конфигурацијом мреже, избором оптималне пумпе или пумпи и пратеће опреме, избором димензија и материјала цеви и других детаља на које је могуће утицати при пројектовању дистрибуционе мреже. Саме цеви морају да поседују адекватну чврстоћу тј. отпорност на спољна и унутрашња оптерећења, херметичност, глаткост унутрашњих површина, отпорност на агресивна дејства средине и могућност лаке монтаже спојева на градилишту. Постоји више различитих материјала за израду цеви, тако да оне могу бити ливене, челичне, азбестно-цементне, бетонске, „PVC“ и друге.

Цевну мрежу поред главних цевовода чине:

- магистрални водови и
- секундарна мрежа

Пречници магистралних цевовода су мањи од пречника главних цевовода и пролазе кроз насеља и улице сачињавајући прстенасту или разгранату мрежу. Задатак секундарне мреже је да од магистралних линија спроведе воду до појединачних потрошача. Магистрални цевоводи се, обично, постављају поред главних саобраћајница. Према урбанистичким плановима водоводна мрежа се полаже праволинијски и паралелно регулационим линијама објеката. (3)

2. ЕПАНЕТ

Епанет је једноставан софтвер који дистрибуира америчка Агенција за заштиту животне средине (ЕПА). Епанет има веома једноставан и интуитиван интерфејс, што је допринело његовој популарности. Може се бесплатно преузети са веб странице америчке Агенције за заштиту животне средине (EPA – Environmental Protection Agency). (1)

Моделирање мреже омогућава симулацију понашања мреже у циљу спровођења тестирања и проналаска оптималних решења. Математички модел је практичан јер омогућава решавање проблема штедећи време, новац као и фрустрација или грешака којим може да резултује изградња дистрибутивне мреже без претходног математичког моделирања.

Димензионисање мреже захтева сложен прорачун. То се лако може заобићи коришћењем програма који све калкулације обавља за корисника и омогућава му да се концентрише на доношење одлука. Један од највећих доприноса програма Епанет је омогућавање корисницима који имају мало знања о механици флуида да доносе одлуке у вези релативно сложених мрежа.

Иако се Епанет може користити за следеће прорачуне, сигурније је, брже и мање подложно грешкама да се ручно уради:

- Димензионисање резервоара;
- Избор пумпи за једноставне пумпне системе;
- Процена потрошње енергије;
- Симулација понашања различитих елемената, попут вентила за смањење притиска или вентила који одржавају притисак. Иако ти вентили могу бити корисни, тешко их је имплементирати у различитим контекстима (1).

Епанет за креирање дистрибутивног система употребљава 6 врста објеката и од виталног је значаја да се корисник упозна са њима, како би мрежа по њима била моделирана.

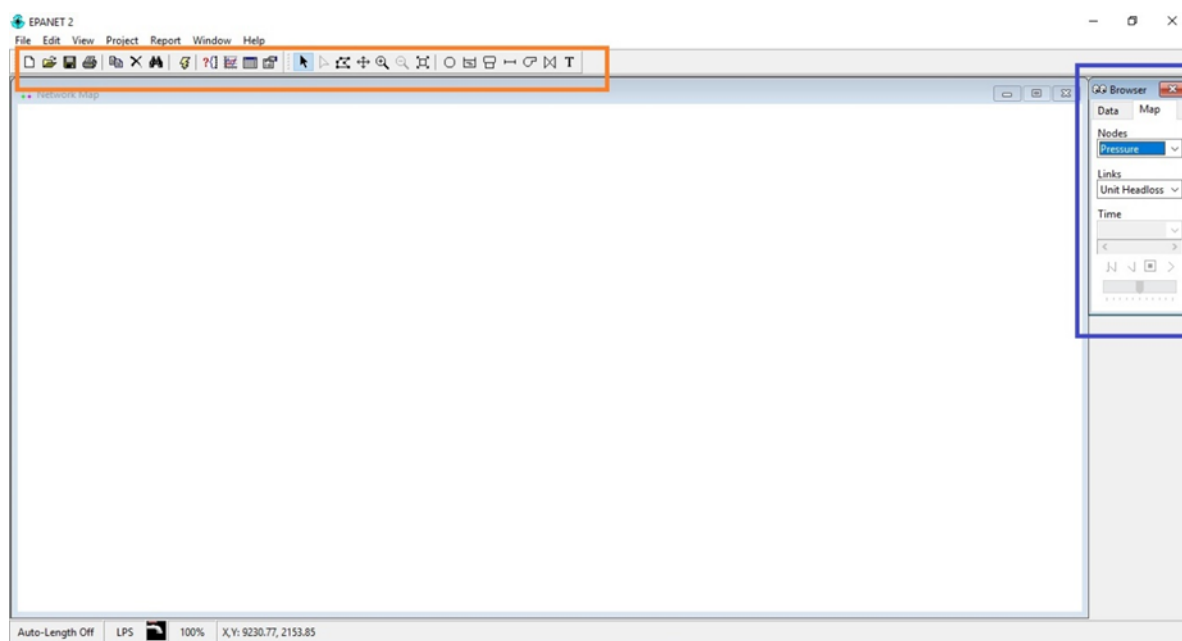
Приказани су и објашњени у следећим параграфима:

- Чвор (**Junction**) је тачка на одређеној висини, где вода може напустити мрежу. Он симулира потрошача и креиран је тако што му је додељена потражња. Када је додељен негативан захтев, он се аутоматски претвара у улаз. Бушотина се такође може приказати као чвор где висина представља ниво воде у буштини. У чвор корисник сам уноси вредност потражње, а притисак се накнадно сазнаје прорачуном.
- Називом резервоар (**Reservoir**) у Епанету представљен је извор воде или водозахват. Ова категорија се односи на места са којих се захвата вода и транспортује у одређеном правцу. Запремина остаје константа без обзира на довод или одвод воде због његове огромне запремине у поређењу са потребама корисника. Неки од примера су: реке, језера, бунари и други.
- Резервоар (**Tank**) је објекат за чување одређене количине воде у оквиру водоводног система. Има ограничен капацитет за складиштење воде, а ниво се повећава односно смањује у зависности од тога да ли се резервоар пуни или празни.

- Цеви (**Pipe**) преносе воду из једног дела система у други. Епанет претпоставља да су цеви увек пуне. Променом својстава цеви (**Properties**) може се дозволити, спречити или ограничити проток у једном смеру, стога није потребно додавати повратне вентиле у модел. Док вода путује кроз цеви, део њене енергије се троши на трење.
- Пумпе (**Pump**) су машине у којима се трансформише механичка енергија у струјну енергију флуида. У току рада са Епанетом мудро их је замењивати стварањем еквивалентних система гравитационог протока због појава могућих грешака. По завршетку оптимизације система уносе се експериментално утврђени подаци о протоку и висини пумпања.
- Вентил (**Valve**) је уређај који регулише проток течност. У Епанету се најчешће користе неповратни вентили (да би се спречио повратни ток) и вентил за затварање (који су већ укључени у модел кроз својства цеви).

2.1. РАДНО ОКРУЖЕЊЕ И КОНФИГУРИСАЊЕ ЕПАНЕТА

Када корисник први пут отвори Епанет упознаће се са екраном сличним приказаним на Слика 2.1., он представља радни простор.



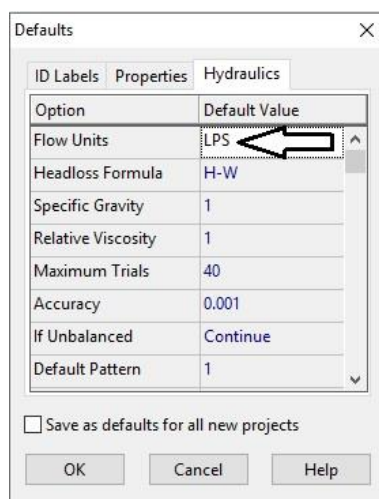
Слика 2.1. Радни простор Епанета

У горњем левом углу хоризонтални мени служи за брзо упознавање са програмом као и унос цевовода, док се већина опција и команди налази у „Browser“-у. „Browser“ је дијалошки оквир за све програмске податке и осим тога омогућава кориснику да конфигурише могућности израчунавања и начине приказивања резултата. Његова употреба се прожима кроз цео процес моделирања мреже као главни начин комуникације са Епанетом.

Пре почетка пројектовања система корисник мора да конфигурише Епанет, како би био сигуран у рад са правим јединицама. Да би то учинио, кликне на „Project“ у горњем хоризонталном менију и изабере „Defaults“ (Подешавање основа пројекта). У новоотвореном прозору изабере „Hydraulics“ и проверити да ли је „Flow Units“ (Јединица за проток) подешен на „LPS“ (l/s). Овим одабиром подразумевају се следеће јединице:

- Јединица протока: литар/секунда (l/s)
- Притисак: Висина воденог стуба у метрима, (10 метара еквивалентно једном бару, 10m=1bar)
- Пречник: милиметри (mm)
- Дужина: метри (m)
- Надморска висина: метри (m)
- Димензије: метри (m) (4)

За израчунавања хидрауличких губитака одабрана је Хазен-Вилиамсова формула (H-W) са коефицијентима трења између 100 и 150, чији се падајући мени налази одмах испод „LPS“.



Слика 2.2. Конфигурација јединица

2.2. НОМИНАЛНИ, УНУТРАШЊИ И СПОЉНИ ПРЕЧНИК

Код металних цеви пречник који је наведен одговара и унутрашњем пречнику. Цев са префиксом од 25 [mm] има 25 [mm] унутрашњи пречник и управо је тај пречник уведен у каталог произвођача.

Супротно томе, пластичне цеви (PVC and HDPE) су назване по свом спољном пречнику. Унутрашњи пречник је спољни умањен за дебљину зида. У моменту моделирања корисник мора да користи унутрашњи пречник. Потребно је водити рачуна пошто се спецификације могу разликовати у зависности од произвођач. У пракси је прихваћено да се користе приближни цели бројеви што увелико поједностављује задатак и могућност настанка грешака. Ова табела се можете користити за приближну кореспонденцију између називних пречника (ND) или комерцијалног назива цеви и унутрашњег пречника (ID): (4)

ND	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	250	315	400	450	500
ID HDPE	20	26	35	44	55	66	79	97	110	123	141	159	176	220	277	353	397	462
ID PVC	21	29	36	45	57	68	81	102	115	129	148	159	185	231	291	369	--	462

Табела 2.1. Унутрашњи и спољашњи пречници пластичних цеви (4)

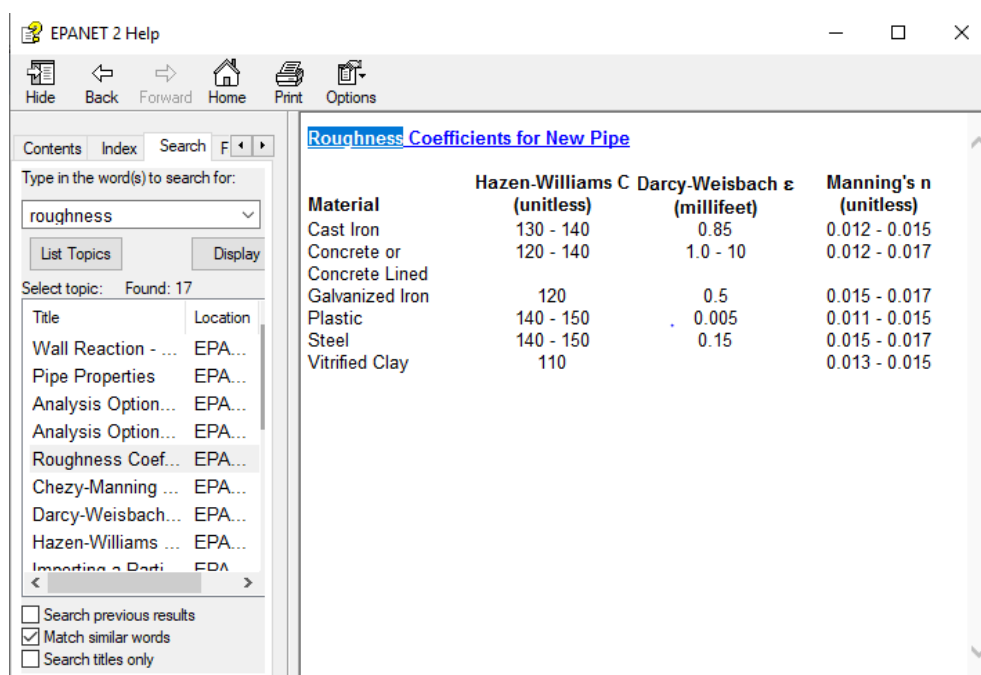
2.3. ВРСТЕ ЦЕВИ И ЊИХОВ КОЕФИЦИЈЕНТ ТРЕЊА

Приликом моделирања узимају се у обзир углавном две групе цеви:

- Металне цеви. Имају већи коефицијент трења, апсорбују хлор, њихов пречник се смањује накупљањем наслага на унутрашњој страни цеви, а уједно су и скупље. Укључују поцинковано гвожђе и ливено гвожђе.
- Пластичне цеви. Оне су глатке, не апсорбију хлор, а временом накупљају мање наслага и јефтиније су. Садрже PVC и полиетен (HDPE).

Коефицијент трења зависи од формуле која се користи за хидраулички прорачун система. Две најчешће коришћене опције су следеће:

- Darcy-Weisbach једначина, највише се користи у Европи, коефицијент је „ f “, вредности су изражене у децималама.
- Hazen-Williams једначина, користи се у Америци, коефицијент се означава са „ C “, користи вредности попут 100, 120 итд. Што је већи коефицијент, то је мање трење цеви. Препорука је да се он употребљава.



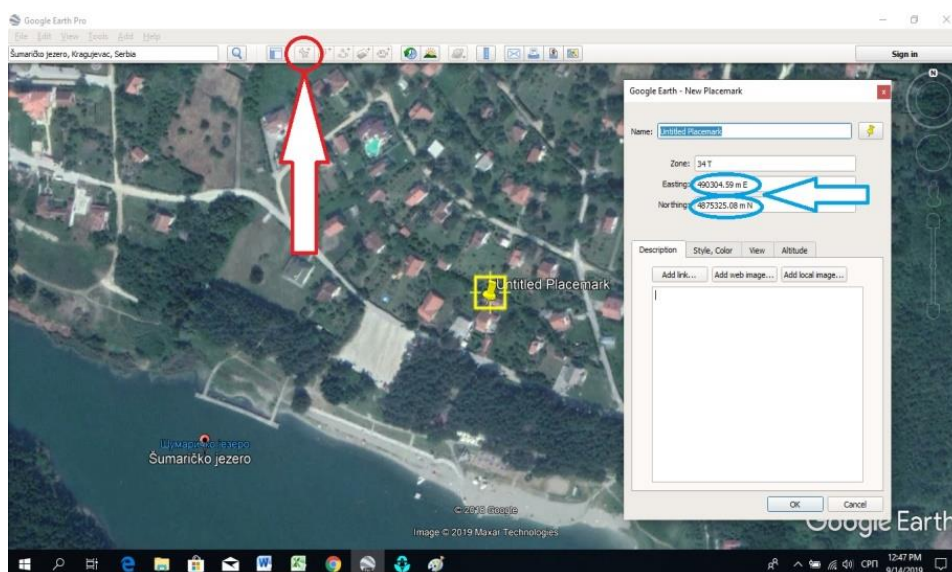
Слика 2.3. Коефицијенти трења

Вредности за све цеви су приказане у засебним колонама са претходно наведеним врстама једначина и представљене су у табели, корисник их може пронаћи преко Епанет помоћи (>Help /Help topics). Када се укуца „Roughness Coefficient“ отвара се нови прозор са траженим параметрима. Ово је врло битно приликом одабира материјала цеви за дистрибутивну мрежу, ради уношења одговарајућих коефицијената.

2.4. УЧИТАВАЊЕ МАПЕ У ЕПАНЕТ

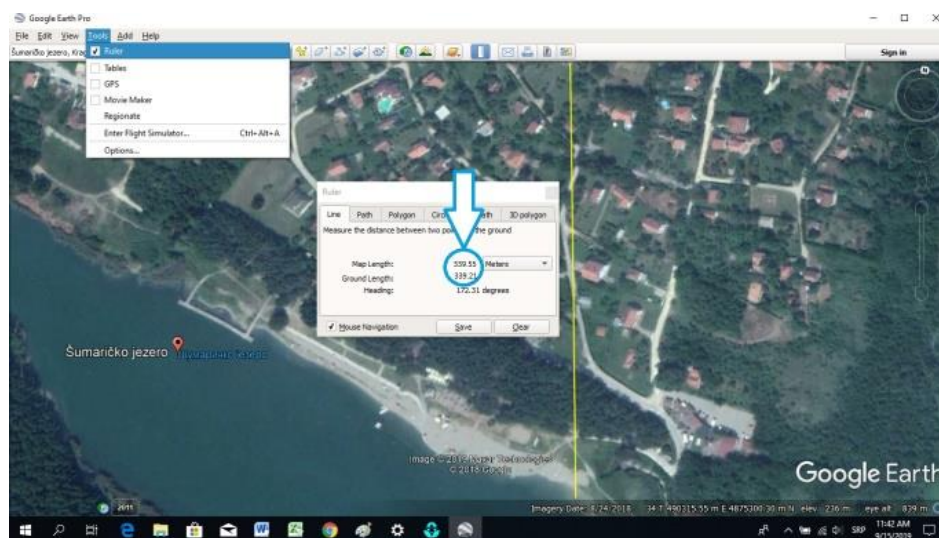
За учитавање одговарајуће мапе у којој ће бити моделирана цевоводна мрежа потребно је на основу географских координата израчунати тачне димензије ширине и дужине коришћене мапе. Тако ће се веродостојно приказати цевовод у реалној дужини.

Првенствено је потребно подесити одговарајуће јединице у „Google Maps“-у, Tools>Options>3D View>Show Lat/Long>Universal Transverse Mercator и Tools>Options > Navigation>Do not automatical tilt while zooming, ради лакшег рачунања потребних вредности координата.



Слика 2.4. Кординате у Google Earth

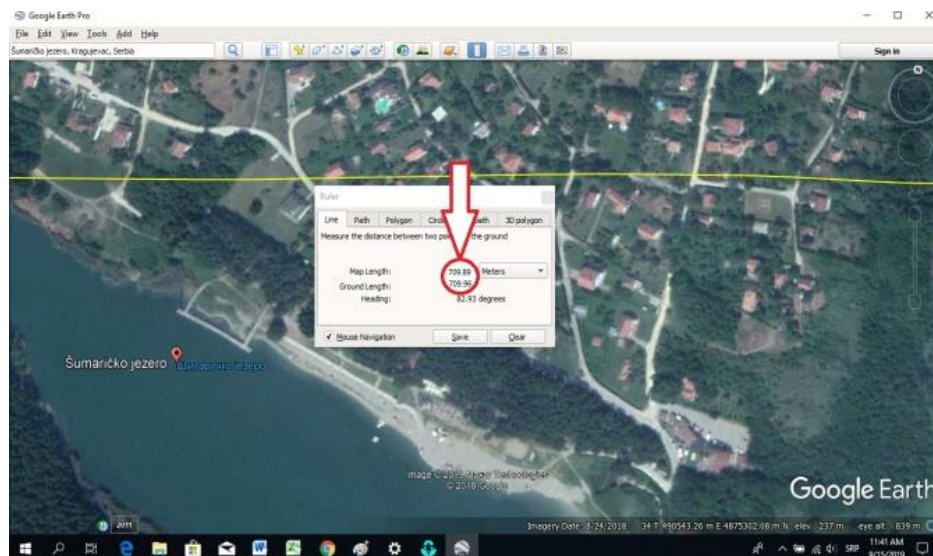
Први корак у овој операцији почиње у „Google Earth“-у, где се помоћу „Untitled Placemark“, који је видљив у жутој боји на мапи а његова пречица показана црвеном стрелицом, Слика 2.4. одређују централне кордине мапе. Ове координате видљиве су у новоотвореном прозору и оне показују географску ширину и дужину локације, њихове вредности су показане плавом стрелицом. Удаљеност источно од централног меридијана показује вредност „Easting“, удаљеност северно од екватора показује вредност „Northing“.



Слика 2.5. Дужина терена

У падајућем менију „Tools“ одабиром пречице „Ruler“ се може измерити ширина и дужина одабраног терена, помоћу попречне и уздужне жуте линије, на коме се димензионише цевовод. Димензије страница мапе су у метрима и показане су плавом и црвеном

стрелицом на Сликама 2.5. и 2.6. На основу ових димензија биће омогућено приказати дужину и путању ценовода у реалним мерама.



Слика 2.6. Ширина терена

Да би се у тачним размера представио терен у Епанету, потребно је израчунати координате за десни горњи и леви доњи угао мапе, како би димензије ценовода биле пропорционалне димензијама терена. Прорачун вредности координата је јасно показан у програму „Microsoft Excel“.

	A	B	C	D
1	Centralna kordinata			
2	E	490315.8		
3	N	4875321		
4	L	709.96		
5	H	339.21		
6	gornji desni			
7	E	490670.7		

	A	B	C	D	E
1	Centralna kordinata				
2	E	490315.8			
3	N	4875321			
4	L	709.96			
5	H	339.21			
6	gornji desni				
7	E	490670.7			
8	N	4875490			
9					
10	donji levi				
11	E	489960.8			
12	N	4875151			

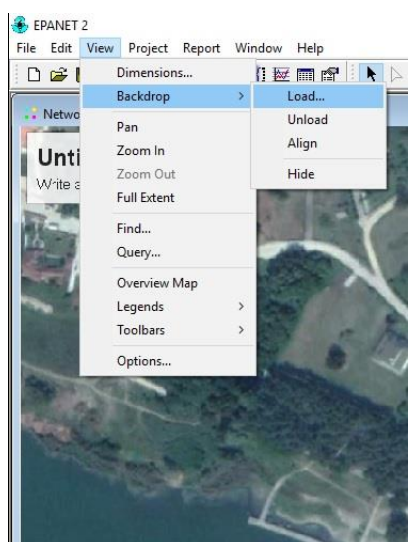
Слика 2.7. Рачунање координата

На датој Слици 2.7. може се видети вредности централних координата преко којих се рачунају претходно поменути углови, сам принцип рачунања потребних координата је

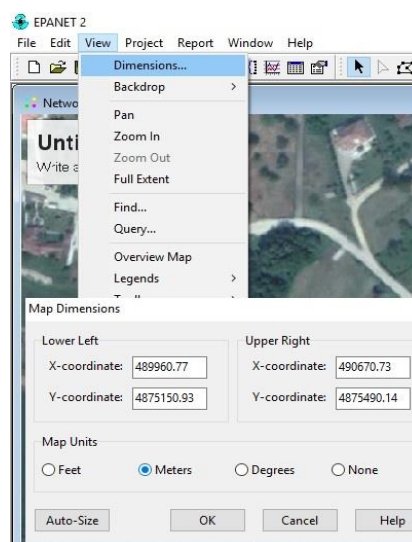
приказан у црвеној и плавој елипси, а њихове вредности су показане квадратићима у које су усмерене стрелице.

Уколико се мрежа моделира на теренима са израженом вегетацијом могу се јавити проблеми са видљивошћу самих чворова и цеви, што може да представља визуелну сметњу тј. умањује видљивост објеката. Решење овог проблема се постиже обрадом слике у програму „paint.net“, опције овог програма омогућавају да се слика посветли и смањи њен контраст. Потребно је сачувати слику у .bmp формату, како би је Епанет је препознао.

Само учитавање мапе у Епанет одвија се преко падајућег менија View>Backdrop>Load, и одабиром жељене слике на којој корисник наставља даљи рад. За учитану мапу уносе се претходно израчунате координате. Овим поступком осигуравају се тачне мере у односу на стварну географску површину терена.



Слика 2.8. Учитавање мапе



Слика 2.9. Уписивање координата

Преко падајућег менија View>Dimension приказаног на Сlici 2.8., кориснику се отвара нови прозор са предвиђеним местом за унос координата географских ширина и дужина. У ћелије X и Y координата уписују се вредности израчунате у „Excel“-у, подешена мерна јединица мапе је у метарима.



Слика 2.10. Аутоматско рачунање дужине

Црвена линија на слици 2.10. представља цев која је произвољно нацртана као пример. Отворени дијалогски оквир на истој слици показује параметре цеви, док вредност

означена црвеном стрелицом „Length“ представља дужину цеви у метрима, коју јој је доделио Епанет. Упоредивањем ове дужине са линијом нацртаном опцијом „Ruler“ у „Google Earth“ добијају се приближно исте вредности. Објашњеним поступком потврђена је тачност размера терена.

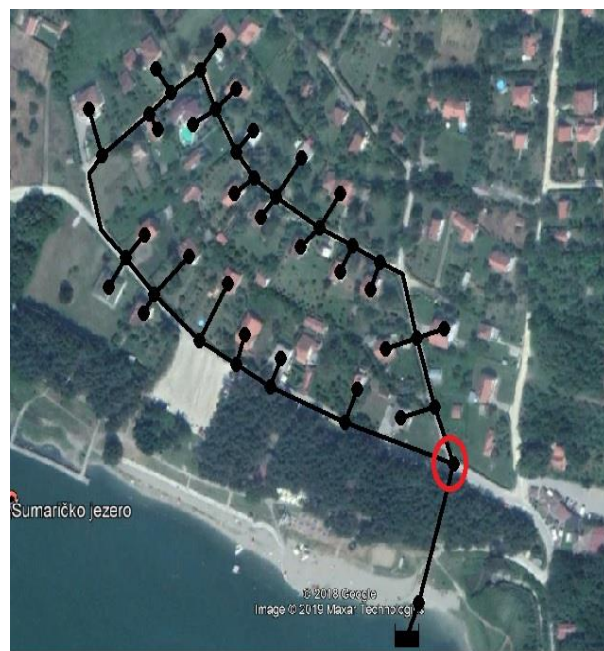
Корисник треба да води рачуна о опцији „Auto-Length On“, која се налази у „Status Bar“, ова опција треба да буде укључена, слика 2.10. Она представља аутоматско рачунање дужине цеви и приказана је плавом стрелицом. У супротном Епанет ће аутоматски доделити подразумевану дужину цеви.

2.5. ДЕФИНИСАЊЕ МРЕЖЕ

Креирање мреже се започиње уношењем чворова (црних тачака), слика 2.11. Чворови који се налазе на повшини кућа представљају потрошачке чворове и симулирају потрошњу воде у јединици времена. Сваки чвор са потражњом захтева одређени проток и притисак воде како би се задовољиле потребе становништва. Поред чворова са потражњом, уносе се и чворови без потражње, тачније чворови који нису потрошачи воде, али омогућују повезивање мреже. Њихова траса прати саобраћајнице и повезани су са оближњим чворовима и чворовима који означавају потрошаче. Сви чворови су међусобно повезани цевима (црним линија) и заједно чине разводну мрежу. Разводну мрежу делимо на доводни цевовод, примарну и секундарну мрежу.



Слика 2.11. Чворови са и без потражње



Слика 2.12. Дистрибутивна мрежа

Ознака за извор воде је предстаљена црним квадратићем (доњи десни угао мапе), слика 2.11., и нацртана је на површини језера одакле ће се систем снабдевати водом. Црна линија која повезује извор воде са чвором уоквиреним црвеним кружићем је главна доводна цев водоводног система, слика 2.12. Кроз њу пролази сва количина воде потребна потрошачима.

Примарну мрежу чине сви чворови без потражње и цевоводи који су положени уз улицу, имитирајући облик прстена, који је видљив на слици 2.12. Почетак и крај примарне

мреже је у једном чвору. Секундарну мрежу сачињавају сви чворови који захтевају проток и цевоводи који их повезују са чворовима без потражње.

2.6. УНОС ПОДАТАКА ЗА ЧВОР

Након димензионисања дистрибутивне мреже, приступа се уносу података. Двоструким кликом на чвор отвара се дијалог који показује својства чвора. У овом пољу могу се прочитати, унети и модификовати подаци. Неке од њих програм аутоматски рачуна, и они зависе од параметра које смо унели и не могу се мењати. На слици 2.13. је приказан комплетан оквир дијалога за чвор са свим његовим својствима.

Property	Value
Junction ID	29
X-Coordinate	245.30
Y-Coordinate	287.66
Description	
Tag	
*Elevation	0
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categorie	1
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Унутар контура црвеног квадрата налазе се два својства чвора предвиђена за уписивање имена и описа, остала три се не могу модификовати, али им програм додељује вредност када се објект нацрта.

Означени плавом бојом су подаци који се аутоматски рачунају, врло су битни за прорачун мреже и потребно их је пратити током оптимизације система. Они су:

- Тренутна потража воде (**Actual Demand**);
- Висина воденог стуба (**Total Head**);
- Притисак (**Pressure**);
- Квалитет воде (**Quality**).

Зависе од вредности које задаје корисник (налазе се између два означена квадрата) и видљиви су тек после прорачуна мреже.

Вредности које задаје корисник:

- Надморска висина (**Elevation**)
- Основна потражња (**Base Demand**)
- Образац потражње (**Demand Pattern**)
- Категорије потражње (**Demand Categorie**)
- Коефицијент емисије (**Emitter Coeff.**)
- Почетни квалитет (**Initial Quality**)
- Квалитет извора (**Source Quality**)

Слика 2.13. Својства чвора

У наставку се детаљније описују прва три параметра.

2.6.1. НАДМОРСКА ВИСИНА

Назив надморска висина је опште познат појам, то је географска висина коте терена, по вертикали, у односу на ниво мора. Због једноставнијег прорачуна често се уместо надморске висине користи релативна висина. Разлику између апсолутних висина две тачке на Земљиној површини се назива релативна висина. Надморска висина тачке у односу на коју упоређујемо остале надморске висине назива се референтна тачка. Обично то може да буде извор воде, и у том случају он мора остати сталан и видљив, јер на основу

њега се одређују релативне висине свих следећих елемена. Када се од надморске висине чвора одузме надморска висна извора воде(референтна тачка), као разлика добија се релативна висина објекта. Математичко приказивање релативне висине преко референтне тачке:

$$\text{Чвор 1 (232m) - Извор (217m) = Релативна висина објекта (15m)} \quad (1)$$

Број чвора	Надморска висина	Релативна висина	Број чвора	Надморска висина	Релативна висина
Rezervoar	217	0	23	244	27
1	232	15	24	248	31
2	236	19	25	250	33
3	235	18	26	245	28
4	241	24	27	243	26
5	241	24	28	242	25
6	239	22	29	242	25
7	245	28	30	238	21
8	243	26	31	239	22
9	245	28	32	236	19
10	243	26	33	237	20
11	246	29	34	234	17
12	248	31	35	236	19
13	243	26	36	239	22
14	245	28	37	234	17
15	248	31	38	235	18
16	243	26	39	239	22
17	244	27	40	235	18
18	243	26	41	237	20
19	245	28	42	234	17
20	247	30	43	237	20
21	246	29	44	233	16
22	248	31	45	236	19

Табела 2.2. Релативне висине чворова

Када су одређене све релативне висине, уносе се вредности за сваки чвор засебно.

2.6.2. ПОТРАЖЊА ВОДЕ

Креирање дистрибутивног система зависи од потрошача на мрежи. Потражња је потрошња појединца, предузећа, фабрике, итд. Сама процена потрошње је произвољна и никад се не може тачно израчунати али помоћу претпоставки и већ познатих статистичких података, може се приближно одредити. Модел је конструисан да ради адекватно у било које доба дана, дана у недељи, и месецу године када ће становништво трошити највише, тј. пројектован је за максималну очекивану потрошњу. Мреже су на тај начин предимензионисане за просечну потрошњу воде, што резултује мало вишом инвенстицијом. Принцип која стоји иза тога је да ако систем функционише у најгорем сценарију, он ће радити и у свим осталим.

Мултипликатори и коефицијенти се примењују како би се у обзир узеле разлике у потрошњи воде у сатима, данима у недељи и месецима. На основу њих добијају се технике за постављање захтева потрошње за сваки чвор.

Правилно дизајнирана мрежа зависи од потреба заједнице која ће је користити. Потребно је водити рачуна да се количина воде по особи прилагоди захтевима популације.

2.6.2.1. ОСНОВНА ДНЕВНА ПОТРАЖЊА

Важећа Водопривредна основа Србије, донета 2002. године, би требало да буде основни документ и водиља и за нормативе потрошње воде из јавних водовода. Водопривредном основом утврђена је норма потрошње воде на 600 [l/st/dan] у градским – урбаним подручјима, од чега је потрошња у домаћинствима 230 [l/st/dan], потребе индустрије, које би се покривале из јавних водовода, процењене су на 170 [l/st/dan], јавне потребе на 90 l/st/dan, а процењени губици су 110 [l/st/dan] (18%). За сеоско становништво утврђена норма потрошње је 400 [l/st/dan], од чега је домаћинствима намењено 215 [l/st/dan], око 115 [l/st/dan] је намењено потребама домаћих животиња и јавној потрошњи, док су преосталих око 70 [l/st/dan] губици. Овако процењене вредности су свакако прецењене, што се констатује и у самој водопривредној основи, где се у закључном разматрању каже: „Процењене норме потрошње нису и не могу бити препоруке за пројектовање конкретних водоводних система. Оне служе да се на нивоу Водопривредне основе резервишу водни ресурси и утврде смернице за будуће комплексно коришћење вода.“ (5)

На основу досадашњих искустава (српских и европских), трендова потрошње у земљама које су у завршној фази транзиције, нормама потрошње које се примењују у земљама Европске заједнице, као и на специфичностима простора Србије (климатске прилике, структура насеља, навике становништва, стање изграђене водоводне мреже у насељима, итд) се заснива предлог норматива потрошње.

Broj stanovnika	Jedinična potrošnja (l/st/dan)	Keficijenti neravnomernosti		
		dnevni (Kd)	satni (Ks)	
			min	max
do 2.000	110	2,0	0,2	2,5
od 2.000 do 5.000	120	1,9	0,2	2,0
od 5.000 do 10.000	130	1,8	0,25	1,8
od 10.000 do 20.000	140	1,7	0,3	1,6
preko 20.000	150	1,6	0,35	1,5

Табела 2.3. Нормативи дневне потрошње (5)

Потрошњом воде у домаћинствима се сматра лична потрошња појединца за физиолошке и хигијенско-санитарне потребе. Променљива је зависно од броја становника у насељу, табела 2.3.

Крагујевац, сразмерно броју становника спада у категорију са преко 20.000 становника, из тог разлога у студија случаја користи се норматив од 150 литара по становнику у временском периоду од једног дана. Дистрибутивна мрежа која је претходно моделирана снабдева укупно 25 кућа, тј. постоји исти толики број чворова са потражњом. Према статистичким подацима за Крагујевац, просечан број чланова по домаћинству је 2.90, бројно има највише породица са четири члана, а за њима следе трочлане и двочлане породице. Пропорционално томе усваја се да снабдевана мрежа садржи: 10 домаћинстава са 4 члана, 8 трочланих породица и 7 домова са два становника. Укупни број снабдеваних корисника износи 78. Помоћу досадашњих вредности може се израчунати укупна просечна потрошња становништва укључених у мрежу:

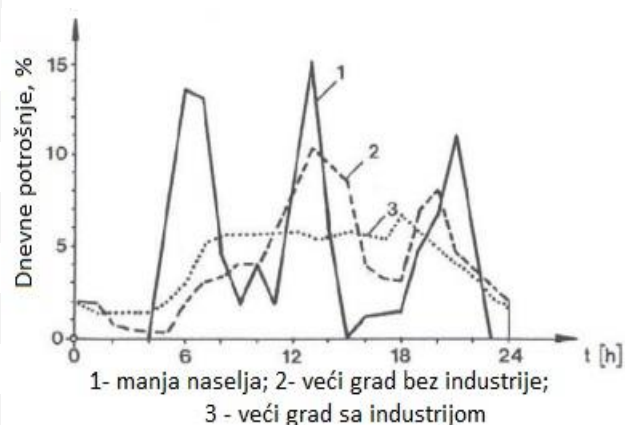
$$78 [\text{st}] * 150 [\text{l/st/dan}] (\text{јединична потрошња}) = 11,700 [\text{l/dan}] \quad (2)$$

Ово није вредност која би требало да се постави као основна потражња, већ је само почетна тачка за њено израчунавање.

Израчунато је коју количину воде корисници потроше током целог дана, али и начин на који се вода потроши у том дану је подједнако важан као и укупна количина. У табели 2.4. приказана је сатна варијација потрошње за мања насеља. Иако свако конзумира воду на различит начин, могу се приметити тенденције. На пример, потрошња ноћу од 0:00 до 5:00 је веома мала. Ова крива је равномернија за велике градове и нема великих осцилација за разлику од криве за мања насеља. Појединац, у зависности од својих навика, већим процентом утиче на сатну потрошњу у случају насеља са релативно малим бројем становника. Утицај појединца на потрошњу у великим системима је незнатан.

Сат	Удео дневне потрошње, %	Сат	Удео дневне потрошње, %
1	0,4	13	9,9
2	0,08	14	13
3	0,12	15	11
4	0,25	16	5
5	0,5	17	3,2
6	1,5	18	3,8
7	3,75	19	5,2
8	7	20	6,6
9	5,5	21	5,2
10	2,8	22	3,2
11	2,3	23	1,4
12	7,5	24	0,8

Табела 2.4. Сатна потрошња воде



Слика 2.14. Варијација потрошње воде током дана (6)

На основу досадашњих података израчунава се специфична потрошња за сваки сат, просечна сатна потрошња и мултипликатор. Обзиром да потрошња није константна, корисник се окреће концепту мултипликатора. Мултипликатор омогућује да се на једноставан начин представе дневне, недељне и месечне варијације. То је коефицијент који умножава просечну потрошњу становништва како би се добила стварна потрошња у разматраном временском оквиру. Сам процес рачунања и представљања помоћу вредности показан је у табели 2.5. Просечна сатна потрошња приказује се математички:

$$117000 \text{ [l]} / 24 \text{ [h]} = 487.5 \text{ [l/h]} \quad (3)$$

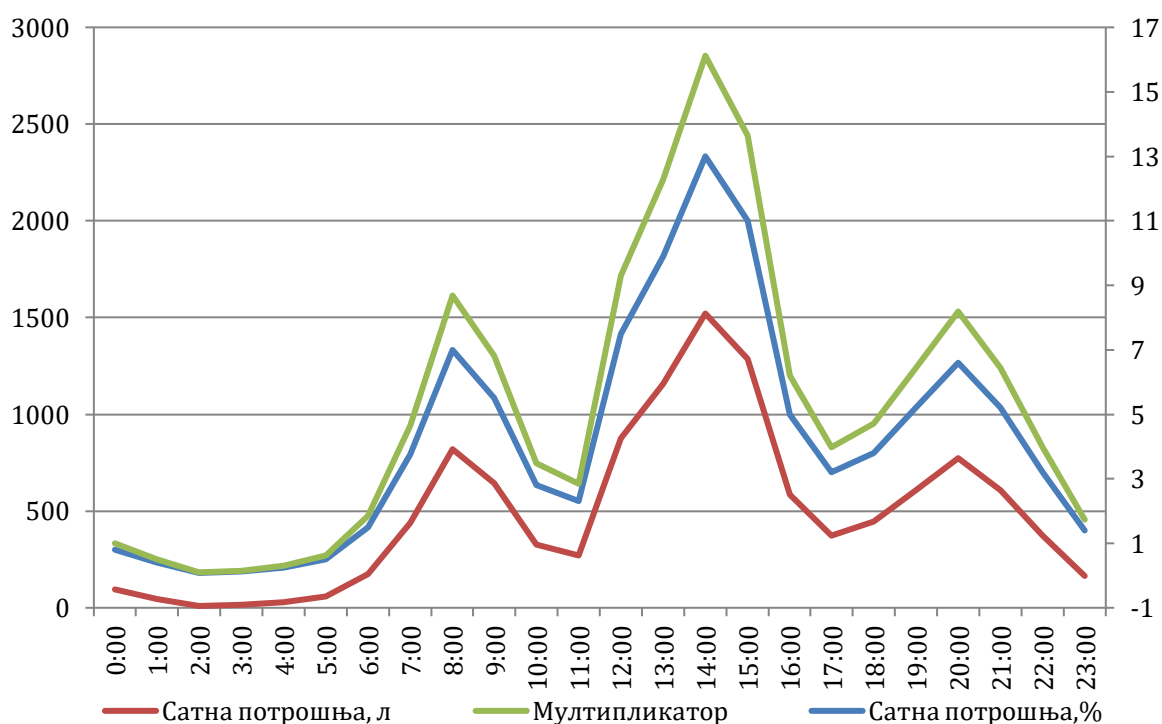
Прорачун мултипликатора за сваки сат врши се када се специфична сатна потрошња воде у литрима подели са просечном сатном потрошњом. Пример за поноћ и први час после поноћи:

$$00:00 \quad 93.6 / 487.5 = 0.192 \quad (4)$$

$$01:00 \quad 46.8 / 487.5 = 0.096 \quad (5)$$

За крај врши се провера прорачуна мултипликатора за сваки сат, тако што се утврди да ли је збир мултипликатора 24:

$$0.8 + 0.4 + 0.08 + 0.12 \dots + 1.4 = 24 \quad (6)$$

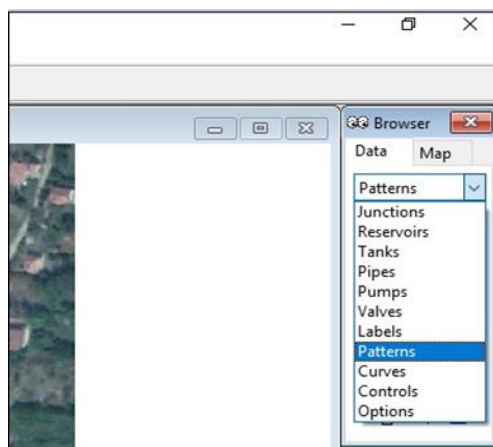


Слика 2.15. Просечна сатна потрошња

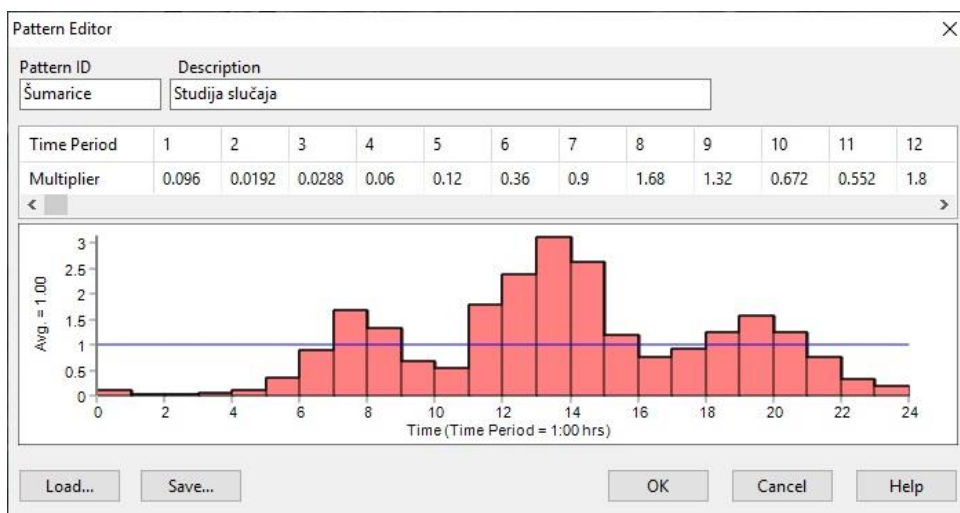
Сат	Сатна потрошња,%	Сатна потрошња, л	Мултипликатор
0:00	0.8	93.6	0.192
1:00	0.4	46.8	0.096
2:00	0.08	9.36	0.0192
3:00	0.12	14.04	0.0288
4:00	0.25	29.25	0.06
5:00	0.5	58.5	0.12
6:00	1.5	175.5	0.36
7:00	3.75	438.75	0.9
8:00	7	819	1.68
9:00	5.5	643.5	1.32
10:00	2.8	327.6	0.672
11:00	2.3	269.1	0.552
12:00	7.5	877.5	1.8
13:00	9.9	1158.3	2.376
14:00	13	1521	3.12
15:00	11	1287	2.64
16:00	5	585	1.2
17:00	3.2	374.4	0.768
18:00	3.8	444.6	0.912
19:00	5.2	608.4	1.248
20:00	6.6	772.2	1.584
21:00	5.2	608.4	1.248
22:00	3.2	374.4	0.768
23:00	1.4	163.8	0.336
TOTAL	100	11700	24

Табела 2.5. Статистика просечне часовне потрошње

Када су сви мултипликатори (множитељи) спремни, корисник их уноси у Епанет тако што отвара претраживач „Browser“ и на листи података бира „Pattern“ (обрасце) у падајућем менију „Data“, слика 2.16 . Да би се отворио оквир за дијалог, потребно је кликнути на опцију „Add“ (додај). Криви модулације или обрасцу се произвољно може се дати назив, нпр. „Шумарице“. Додавањем мултипликатора за сваки сат, Епанет ће формирати графикон који одговара обрасцу дневне потрошње, осцилације потрошње воде зависе од термина у дану и видљиве су на слици 2.17.



Слика 2.16. Образац потрошње



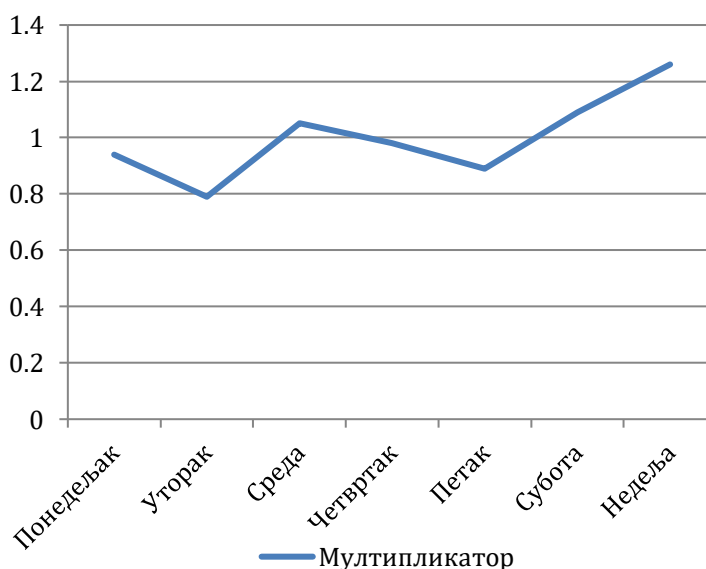
Слика 2.17. Дневни образац просечне потрошње воде

2.6.2.2. СЕДМИЧНИ ОБРАЗАЦ ПОТРОШЊЕ

Потрошња воде је променљива за сваки дан у недељи. Седмични образац потрошње се формира слично као и дневни, само се сада пажња посвећује коефицијентима за просечну потрошњу воде сваког дана у недељи. Ознака за просечни недељни коефицијент је C_w и његова вредност се израчунава када се највећи дневни коефицијент подели са коефицијентом дана мерења.

$$C_w = \frac{\text{највећи мултипликатор}}{\text{мултипликатор дана мерења}} \quad (4)$$

$$\text{На пример: } C_w = 1,26 / 1,05 = 1,2 \quad (8)$$



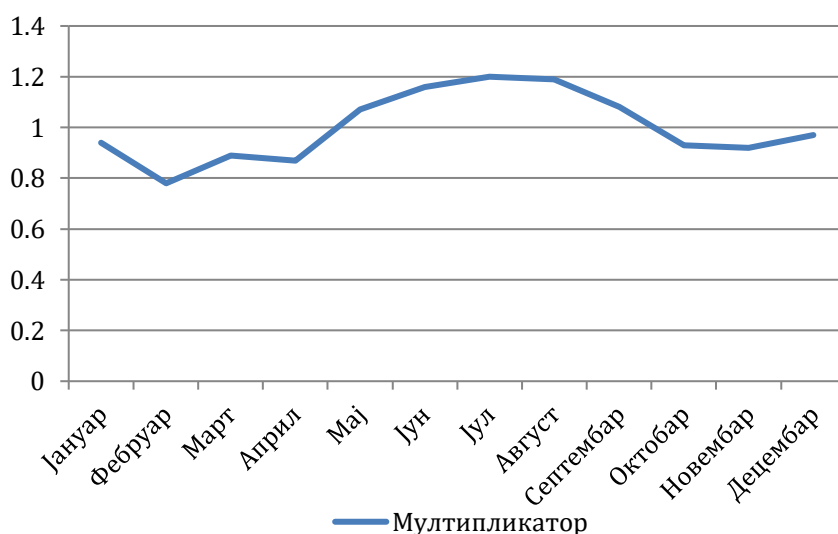
Слика 2.18. Седмични образац потрошње

2.6.2.3. МЕСЕЧНИ ОБРАЗАЦ ПОТРОШЊЕ

Варијације у годишњим билансима потрошње воде потичу углавном од климатских прилика, режима рада индустријских погона, варијације броја становника (у туристичким местима) и сл. Сезонске варијације потрошње воде оцењују се према месечним билансима потрошње воде. Месечне потрошње воде у летњем периоду веће су од месечних потрошњи воде у зимском периоду. Ако је месечно мерење било у марту са мултипликатором 0,85, а максимум 1,17 одговара јулу, коефицијент месечне потрошње (C_m):

$$C_m = 1,2 / 0,89 = 1,348 \quad (4) \quad (9)$$

$$C_m - \text{месечни коефицијент} \quad (10)$$



Слика 2.19. Месечни образац потрошње

2.6.2.4. ГЛОБАЛНИ КОЕФИЦИЈЕНТ

Глобални коефицијент обједињује све досад наведене коефицијенте у коначну вредност могуће максималне потрошње воде. За израчунавање дневне потрошње воде за планирани систем множе се заједно сви коефицијенти у зависности од анализе која треба да се уради:

- Анализа стабилног стања множи све коефицијенте, и заснива се на прорачуну система када у Епанету није учитан „Pattern“ за дневну потрошњу:

$$\text{Глобални коефицијент} = \text{Дневни} * \text{Недељни} * \text{Месечни} \quad (11)$$

$$\text{Глобални коефицијент} = 3,12 * 1,2 * 1,348 = 5,047 \quad (12)$$

Ако је просечна потражња становништва 487,5 [l/h], максимална вредност потрошње воде са којим би се систем морао суочити је:

$$487,5 \text{ [l/h]} * 5,047 = 2460,3 \text{ [l/h]} = 0,683 \text{ [l/s]} \quad (13)$$

- Анализа продуженог периода множи све коефицијенте осим дневних. То је зато што ће се мултипликатор дневног узорка примењивати на сваки сат, а мултипликатор за сваки сат не мора бити максималан.

$$\text{Глобални коефицијент} = \text{Недељно} * \text{Месечно} \quad (14)$$

$$\text{Глобални коефицијент} = 1,2 * 1,348 = 1,6176 \quad (15)$$

Ако је просечна потрошња 487,5 [l/h], одговарајући захтеви по сатима износе:

$$0:00 \quad 487,5 \text{ [l/h]} * 0,192 * 1,6176 = 151,4 \text{ [l/h]} \quad (16)$$

$$1:00 \quad 487,5 \text{ [l/h]} * 0,096 * 1,6176 = 75,7 \text{ [l/h]} \quad (17)$$

.....

$$14:00 \quad 487,5 \text{ [l/h]} * 3,12 * 1,6176 = 2460,3 \text{ [l/h]}, \text{ Врхунац потрошње.} \quad (18)$$

.....

$$23:00 \quad 487,5 \text{ [l/h]} * 1,4 * 1,6176 = 1104 \text{ [l/h]} \quad (19)$$

Може се приметити да је у оба случаја максимум исти, 2460,3 [l/h]. Једном када се модел анализира статистички, корисник се ослобађа дневног коефицијента пре анализе у продуженом периоду, јер се дневни коефицијент не сме примењивати два пута.

2.6.3. ПОРОРАЧУН ПОТРОШЊЕ У ЧВОРУ

Прорачун се заснива на одређивању протока воде у јединици времена за сваки чвор са потражњом.

Максимална сатна потрошња без дневног коефицијента,

$$487,5 \text{ [l/h]} * 1,6176 = 788,58 \text{ [l/h]} = 0,219 \text{ [l/s]}. \quad (20)$$

Ова вредност се дели на 78 станара,

$$0,219 \text{ [l/s]} / 78 = 0,00281 \text{ [l/s/st]} \quad (21)$$

Обзиром да су предвиђена три домаћинства са различитим бројем станара:

$$2 \text{ станара} * 0,00281 \text{ [l/s]} = 0,00562 \text{ [l/s]} \quad (22)$$

$$3 \text{ станара} * 0,00281 \text{ [l/s]} = 0,00843 \text{ [l/s]} \quad (23)$$

$$4 \text{ станара} * 0,00281 \text{ [l/s]} = 0,01124 \text{ [l/s]} \quad (24)$$

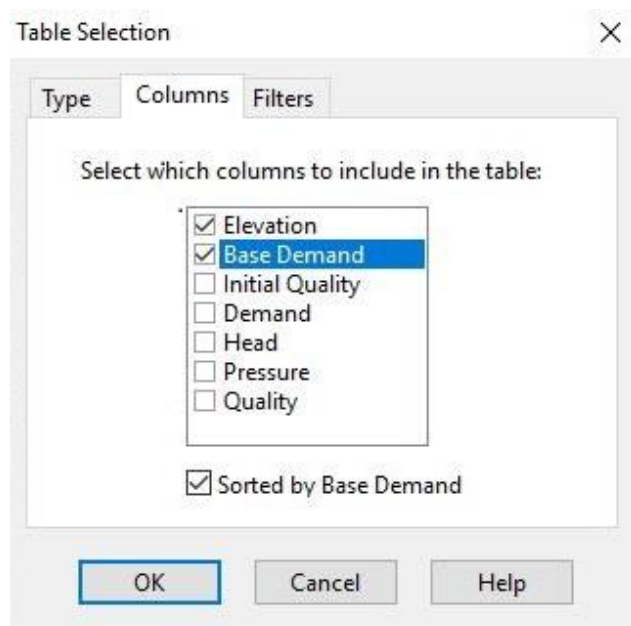
По завршетку прорачуна потрошње воде, сваком чвору са потражњом се додељује нека од три израчунате вредности. Процес уношења података се одвија следећим током:

- Корисник отвара оквир за дијалог чвора двоструким кликом на исти и у првом реду (Judiction ID) уноси нови назив по слободном избору, у студији случају

додељен је назив „Домаћинство1“, док је сваки следећи чвор редоследно нумерисан за један већи број („Домаћинство2“, „Домаћинство3“,...);

- У простор предвиђен за вредност параметра „Основна потражња“ (Base Demand) који се односи на потрошњу воде и конфигурисан је за јединице [l/s], задаје се вредност из образаца (19),(20),(21), у зависности да ли тај чвор симулира домаћинство са два, три или четири члана.
- Испод претходно попуњеног параметра налази се „Образац потражње“ (Demand pattern) на дневном нивоу, за сваки сат засебно, који је приказан дијаграмски на слици и носи назив „Шумарице“. Потребно је уписати тачан назив обрасца да би Епанет читао његове карактеристине и употребљавао их за прорачун.
- Целокупан наведени процес се понавља за сваки следећи потрошачки чвор понаособ док сви подаци не буду унети.

Епанет нуди опцију табеларног приказивања унетих вредности, која се може употребљавати за једноставнији преглед и проверу сваког чвора. На горњем хоризонталном менију корисник бира опцију „Table“, по отварању новог дијалог са три картице, Слика 2.20. бира средњи са ознаком „Columns“ и у њему штиклира прве две ставке: за надморску висину и потражњу чвора. Одабиром опције „Sorted by Base Demand“, која је лоцирана при дну ове картице, корисник бира да Епанет приказује потрошњу воде сваког чвора по растућем редоследу од најмањег ка највећем. Потврдом у пољу „ОК“, приказује се табела са претходно одабраним вредностима, Слика 2.21.



Слика 2.20. Опције за табеларно приказивање

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS
Junc Domacinstvo6	31	0.00562
Junc Domacinstvo4	26	0.00562
Junc Domacinstvo5	26	0.00562
Junc Domacinstvo16	25	0.00843
Junc Domacinstvo3	22	0.00843
Junc Domacinstvo18	20	0.00843
Junc Domacinstvo25	19	0.00843
Junc Domacinstvo22	22	0.00843
Junc Domacinstvo11	30	0.00843
Junc Domacinstvo8	31	0.00843
Junc Domacinstvo7	26	0.00843
Junc Domacinstvo23	20	0.01124
Junc Domacinstvo9	26	0.01124
Junc Domacinstvo24	20	0.01124

Слика 2.21. Део табеле са параметрима надморске висине и потражње чворова

Ради лакшег прегледа података наведена је нумерацију за сва три типа домаћинства:

- Двочлана породица - 4, 5, 6, 10, 12, 14, 15;
- Трочлана - 3, 7, 8, 11, 16, 18, 22, 25
- Четворочлана - 1, 2, 9, 13, 17, 19, 20, 21, 23, 24

2.7. УНОС ПОДАТА ЗА РЕЗЕРВОАР (TANK)

Резервоар (Tank) је елемент за регулацију неравномерности потрошње, обезбеђивање резервне запремине воде у случајевима непредвиђених прекида у снабдевању водом, обезбеђивање резервних количина за гашење пожара и одржавање потребног притиска у дистрибутивној мрежи. (7)

Слика 2.22. Дијалог резервоара

- Tank ID – Назив резервоара (водоторња);
- Elevation – Висина базе (дна) резервоара, користи се као референтна вредност за следеће податке;
- Initial Level – Почетни ниво воде у резервоару у односу на дно;
- Minimal Level – Релативна висина отвора за дистрибуцију, минимална висина воде у односу на дно;
- Maximum Level – Релативна висина прелива, максимална висина воде у односу на дно;
- Diameter – Пречник резервоара (m), Епанет претпоставља да сви резервоари имају кружни пресек.

Поступак утврђивања величине резервоара заснива се на прорачуну. Просечна дневна потрошња воде износи 11700 [l], и она је утврђена у претходном делу рада. Назив који је додељен резервоару гласи „Водоторањ“ ради лакшег разумевања појма и спречавања мешања са извором воде, који Епанет назива резервоар.

Израчунавање запремине резервоара почиње прорачуном највеће дневне потрошње:

$$\text{Просечна дневна потрошња (11700[l])} * C_w (1,2) * C_m (1,348) = \text{Највећа дневна потрошња (18925,9 [l])} \quad (23)$$

Ово је количина воде довољна да на дневном нивоу, и при највећој потрошњи корисника, задовољи све њихове потребе.

Одређивање просечне сатне потрошње:

$$\text{Највећа дневна потрошња (18925,9 [l])} / 24 [h] \approx 789 [l/h] \quad (24)$$

Просечна сатна потрошња уједно представља и сатни проток пумпе. То је количина воде која ће бити сваког сата достављана дистрибутивном систем без обзира да ли он у том тренутку то захтева или не. Вишак воде који не буде употребљен у истом сату ће се акумулирати у водоторњу, а у сатима потрошње већим од протока пумпе недостатак воде ће бити надокнађен из резервоара.

Сат	Потрошња воде, l	Проток пумпе, l/h	Запремина воде у водоторњу, l
0:00	151.4	789	637.6
1:00	75.7	789	1350.9
2:00	15.1	789	2124.7
3:00	22.7	789	2891.0
4:00	47.3	789	3632.7
5:00	94.6	789	4327.1
6:00	283.9	789	4832.2
7:00	709.7	789	4911.5
8:00	1324.8	789	4375.7
9:00	1040.9	789	4123.7
10:00	529.9	789	4382.8
11:00	435.3	789	4736.5
12:00	1419.4	789	4106.1
13:00	1873.7	789	3021.4
14:00	2460.4	789	1350.0
15:00	2081.9	789	57.2
16:00	946.3	789	-100.1
17:00	605.6	789	83.3
18:00	719.2	789	153.1
19:00	984.1	789	-42.1
20:00	1249.1	789	-502.2
21:00	984.1	789	-697.3
22:00	605.6	789	-514.0
23:00	265.0	789	10.1
TOTAL	18925.9	18936	

Табела 2.6. Запремина водоторња

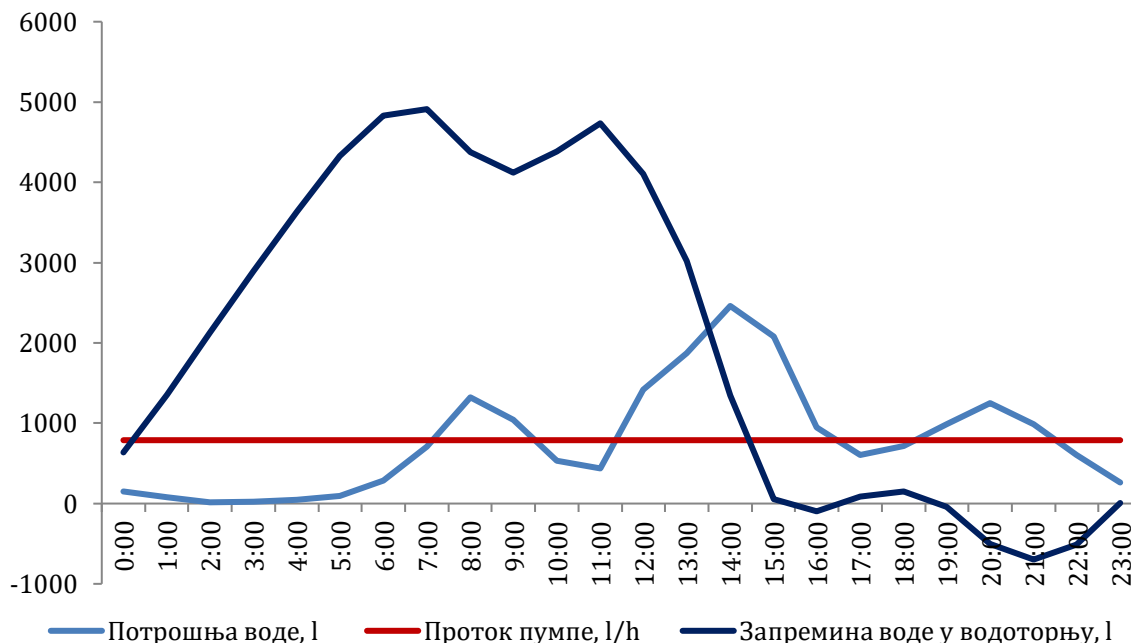
Сабирањем максималне акумулиране вредности и апсолутне вредности максималног дефицита одређује се запремина резервоара.

$$\text{Максимална акумулирана вредност (4,911.5 [l])} + \text{Апсолутни максимални дефицит (697,3 [l])} = \text{Потребна величина резервоара (5,608,8 [l])} \quad (26)$$

Најближа потребна већа величина резервоара из табеле 2.7., износи 6000[l]. Ово је оптимална величина која тренутно задовољава потребе потрошача, али уколико се систем прошири или дође до непланиране потрошење воде створиће се проблем у водоснабдевању. У пракси се усваја нешто већа запремина резервоара од рачунске, односно рачунска вредност се увећава за 30 до 50% од максималне дневне потрошње. Усваја се резервоар капацитета од 10000[l].

Запремина (l)	6000		8000		7000		9000		10000	
Пречник (D)	1600	1800	2000	2000 2400	1800 2000	2000 2400	2000 2400	2000 2400	2000	2400
Висина (H)	3000	2400	1950	2570 1790	2800 2260	2900 2020	2900 2020	3200		2240

Табела 2.7. Пластични вертикални резервоари (8)



Слика 2.23. Запремина резервоара

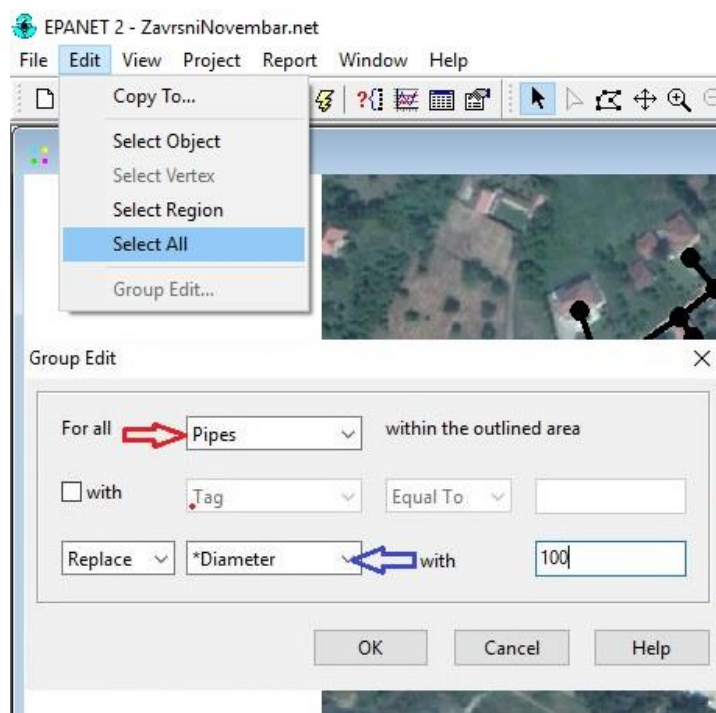
2.8. УНОС ПОДАТАКА ЗА ЦЕВИ

Унос података за цеви не захтева прорачун и већина њихових вредности је доступна после покретања симулације. Три прва параметра Епанет даје аутоматски, иако се може променити назив (ID) цеви, ово није неопходно. У случају да се корисник определи за ручни унос пречника цеви, најбоље је да се ове измене ураде по завршетку креирања мреже, када је извршена провера правилног рада мреже, јер сваким брисањем цеви ће се изгубити и њен назив. Највише пажње у овом поглављу посвећено је пречницима цеви и њиховом утицају на притисак воде у систему. Последњих 7 параметра се могу прочитати након што је модел анализиран. До тада, они ће се појављивати као „#N/A“.

Почетна основа за корекцију и оптимизацију пречника почиње уношењем произвољне надпросечне димензије целокупном цевоводном систему. Сразмерно релативном малом капацитета мреже која је димензионисана у овом раду додељује се унутрашњи пречник од 100[mm]. Овим поступком постигнуто је да мрежа функционише без грешака и уштеђено је доста времена које би се беспотребно потрошило на насумичан одабир пречника.

Пут уноса пречника цеви за групно уређивање је следећи, у падајућем „Edit“ менију корисник бира „Select All“ (опција за селектовање сви видљивих објеката на мапи), након тога у овом истом менију кликне на „Group Edit“ (опција за промену карактеристика групе објеката, који се налазе у назначеној области).

Након отварања новог оквира за дијалог, слика 2.24., у горњем падајућем менију означеном црвеном стрелицом селекује се објекат „Pipes“ (цеви) а на доњем падајућем менију у који је усмерена плава стрелица означава се параметар који се мења, тренутно је „*Diameter“ (пречник). Уноси се већ споменута вредност од 100 [mm] у бели квадратић у истој равни и потврђује се опцијом ОК извршење операције. Порука „47 Pipes were updated“ говори да је промена извршена у укупно 47 цеви. Овај исти корак понавља се и за коефицијент храпавости, у доњем падајућем менију узима се параметар „*Roughness“ и унесе се број 140. Овим процесом извршена је основна поставка за параметре цеви, док оптимизација пречника следи у будућим поглављима.



Слика 2.24. Групна промена вредности за пречнике цеви

Тренутно најчешће коришћен материјал за водоводне цеви је пластика. HDPE или полиетенске цеви су израђене од поменутог материјала и биће коришћене у студији случаја за насеље Шумарице. Полиетенске цеви су намењене за јавно, приватно и индустријско водоснабдевање, за изградњу укопаних и надземних цевовода и цевовода под водом, као и инсталација унутра зграда и ван њих. Отпорне су на ниску температуру, а коефицијент храпавости се креће од 140-150. Због веће сигурности прорачуна користи се вредност 140, коефицијент са већим трењем.

2.9. УНОС ПОДАТАКА ЗА ИЗВОР ВОДЕ (RESERVOIR)

Резервоар како га назива Епанет, или тачније извор са кога се систем снабдева водом, у тренутној дистрибутивној мрежи за део насеља Шумарице има најнижу надморску висину у односу на остале елементе мреже. Из тог разлога он је употребљен као референтна тачка, и додељена му је релативна висина од 0 метара. Ова вредност се може очитати двоструким кликом на резервоар, и у новоотвореном прозору под ставком „*Total Head“ налази се релативна висина нивоа воде извора.

2.9.1. ИЗВОР ВОДЕ КАО ЕКВИВАЛЕНТ ПУМПЕ

На почетку рада поменуто је да је један од најкомпликованијих елемената за симулацију у Епанету пумпа. Како би се избегле могуће грешке у њеном раду за почетак користиће се извор воде, на одређеној релативној висини, као њен еквивалент. Тиме се потребне карактеристике пумпе одређују на сигурнији начин.

Орјентациона релативна висина извора у овом примеру представља напор пумпе или висину пумпања изражену у метрима. На овај начин извор воде ће представљати гравитациони систем који ће помоћу слободног пада снабдевати потрошаче водом.

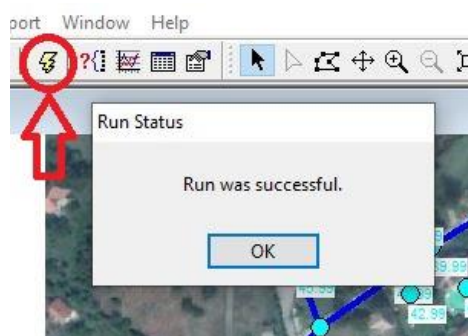
Повећањем релативне висине извора ће се повећати и потенцијална енергија воде у њему. Потенцијална енергија воде треба да обезбеди довољан притисак за потребе корисника.

Вредност релативне висине извора се рачуна сабирањем следећих параметара: највеће релативне висине потрошачког чвора (Домаћинство14, 33m); најмањом планираном вредношћу притиска потрошачком чвору (2 [bar] или 20[m] воденог стуба) и произвољном вредношћу од 10[m] која представља могуће хидрауличке губитке.

Орјентациона релативна висина акумулације:

$$33[m] + 20[m] + 10[m] = 63[m] \quad (27)$$

У карактеристике извора се уноси ново израчуната релативна висину која износи 63[m] и по први пут се стиче услов за прорачунавање мреже. Покретање симулације врши се преко пречице у траци са алатима показана црвеним кругом и стрелицом, слика 2.25. Кликом на иконицу у облику „муње“ програм обавља прорачун мреже и обавештава корисника поруком „Run was successful“ тј. да је прорачун успешно обављен и да је систем функционалан. Цеви имају довољно велики пречник да систем нормално ради, али због економског аспекта мора се извршити њихова оптимизација.



Слика 2.25. Покретање симулације система

Процесом оптимизације пречника цеви целог дистрибутивног система одредиће се тачна вредност хидрауличких губитака. И на овај начин ће се утврдити да ли је произвољну вредност од 10[m] потребно смањити или увећати, а самим тим и релативну висину извора. Крајњи резултат биће потребан напор пумпе представљен у метрима.

3. КРИТЕРИЈУМИ ЗА ПРОРАЧУН МРЕЖЕ

Пре него што се започне рад са анализом модела, потребно је дефинисати критеријуме за израчунавање, односно опсег вредности у којима ће решење за модел бити прихватљиво. Код моделирања у развојном контексту најбитни су следећа четири параметра:

- притисак,
- брзина у цевима,
- хидраулички губици,
- старост воде. (1)

3.1. ПРИТИСАК

Како би правилно функционисали водоводни и кућни апарати, потребно је водоснабдевање са одређеним притиском. Према стандардима GOST, оптимална вредност овог параметра у урбаним системима треба да буде 4 [bar]. Типични систем водоснабдевања корисницима прикљученим на централизоване станице ретко обезбеђује стални притисак. У зависности од различитих фактора он варира између 2.5 и 7 [bar]. Притисак од 2 [bar] довољан је за обављање следећих потреба: туширање и друге хигијенске потребе; нормалан рад веш машине и машине за прање судова. Обзиром да аутономни системи водоснабдевања не могу да се пореде са великим дистрибутивним мрежама и задовоље њихове стандардне, као норматив у студију случаја узима се да ни у једном потрошачком чвору не падне вредност притиска испод 2 [bar], и тиме задовоље све основне потребе потрошача. (9)

3.2. БРЗИНА ВОДЕ У ЦЕВИМА

Брзина воде у цевима је важна за прорачуну због:

- Утиче на пад притиска (који расте са квадратом брзине)
- Брзине испод 0,5[m/s] сматрају се малим, јер дозвољавају таложење и накупљање чврстих материја на унутрашње зидове цеви смањујући стварни пречник истих.
- Брзине изнад 3[m/s] сматрају се великим, сугеришу да су цеви поддимензионисане и да стварају ризик од оштећења насталих воденим ударом, пад притиска је висок, такође подиже се ниво буке и изазивају шумови (10)

Оптималне вредности крећу се између 0,5[m/s] и 2[m/s].

3.3. ЈЕДИНИЦА ЗА МЕРЕЊЕ ХИДРАУЛИЧКИХ ГУБИТАКА (UNIT HEADLOSS)

Ово је јединица за мерење енергије која се губи трењем унутар цеви и пре свега зависи од протока и брзине струјања воде у цевима. Представља губитак притиска изражен у метрима по дужном километру цеви [m/km]. Што се више метара притиска изгуби нижа је укупна ефикасност ценовода. Прихваћене вредности се крећу испод 5[m/km] за мреже и 0.04[m/m] за објекте. Повремено је пожељно да ценоводе у ниским тачкама мреже одликују високи губици енергије, како би се намерно оборио притисак код крајњег корисника. То омогућава уштеду новца, постављањем мањих цеви, и спречава појаву сувише високог притиска. Приликом овог процеса корисник мора бити пажљив како би

се избегле цеви исувише малог пречника које би „гушиле“ приступ другим деловима мреже.

3.4. СМЕРНИЦЕ ЗА ПРОРАЧУН

Ово су основни критеријуми за израчунавање мреже, и следеће смернице ће служити као контролна листа, узимајући у обзир да је сваки систем другачији и да постоје ситуације у којима излазак изван препоручених вредности може бити оправдан:

- Нема притиска испод 2 [bar].
- Не постоје брзине веће од 2 [m/s].
- Преконтролисати хидрауличке губитке изнад 5 [m/km].

Наведени су најкориснији и најосновнији параметри за прорачун мреже, иако се поред тога могу извршити и многе друге провере.

Један од савета за корисника је да пре почетка уношења измена у дистрибутивном моделу сачува тренутну верзију у рачунару (>File>Save As...). У случају да дође до непредвиђених околности, да се ненамерно оштети модел на којем се ради, постојаће резервна копија која може поново да се покрене. Након тога почиње модификација елемената по наведеним смерницама. Постоје многе варијације и више решења за систем водоснабдевања, а корисник треба да уложи напор да пронађе систем који је најјефтинији, најлакши за изградњу и са најмањом потрошњом енергије.

3.5. МОДЕЛ ПРОДУЖЕНОГ ПЕРИОДА

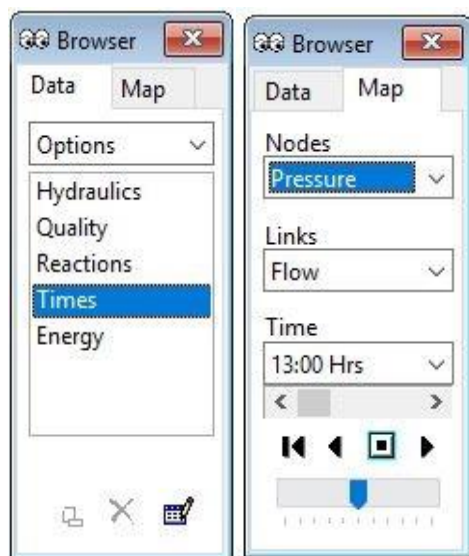
Предност ове опције је да корисник може да анализира параметре за сваки сат у дану, помоћу дневног обрасца потрошње, који је претходно учитан. Могућност да се упореде вредности притиска и брзина струјања течности у сатима са најмањом и највећом потрошњом од великог је значаја и доприноси квалитетнијем резултатима.

Код промене конфигурације Епанета за прелазак са статичке анализе на продужени период потребно је обратити пажњу на следеће ставке:

- Пожељно је да трајање симулације буде 72 сата јер се многе грешке откривају тек након низа циклуса, посебно у случају резервоара (Tank), тј. тренутка у ком ће можда остати празан.
- Као стартно време симулације пожељно је подесити час врхунца потрошње, јер се на основу његовог прорачуна врши оптимизација мреже, како би се уштедело време за његово тражење у будућности.

Може се приметити на Слици 3.1, у горњем левом углу, оквир дијалога за приступ опцијама и подацима објеката по категоријама (Browser>Data) који се користи за ову операцију. Када се у падајућем менију одабере „Option“ показује се листа са ставком за време (Times). Двоструким кликом отвара се прозор са параметрима за модел продуженог периода:

- Вредност 72, заокружена црвеном бојом, Слика 3.2, представља укупно трајање симулације у сатима
- Време највеће потрошње почиње од 13:00 [h] и унето је у рубрику „Report Start Time“ уоквирену плавом бојом, Слика 3.2



Слика 3.1. Дијалогски оквири за приступ подацима и мапи



Слика 3.2. Дијалог за управљање временским параметрима

За покретање прорачуна симулације за временски период од 72 сата, потребно је да корисник на оквиру за дијалог Мапа (Map) кликне на тастер Напред (Forward), у облику троугла који се налази на десној страни, слика 3.1. Контроле за модел продуженог периода су попут видео плејера, време прорачуна се може заустављати, враћати у назад, итд.

4. ПРСТЕНАСТА МРЕЖА СА САБИРНИМ РЕЗЕРВОАРОМ

Креирани прстенасти дистрибутивни систем приказан на слици 2.12. захтева прикључење још једног елемента који ће омогућити поравнавање неравномерности прилива и потрошње воде у различитим временским интервалима и одржавање равномерног притиска у разводној мрежи.

Основна разлика у односу на основни пример јесте у додатном резервоару (Tank) у коме ће се складиштити вишак воде коју пумпа испоручује у времену њеног рада, и употребом исте у периодима релативно велике потрошње, када снабдевање система само пумпом није довољно. Акумулирана вода ће задовољити потребе потрошача, када пумпа сама то не може да задовољи, и одржавати притисак у мрежи унутар предвиђених вредности.

Резервоар или водоторањ је инсталирани на највишој географској тачки приказаног терена и његова висина у односу на референтну тачку износи:

$$\begin{aligned} \text{Надморска висна резервоара (262m)} - \text{Надморска висина извора воде (217m)} = & \quad (28) \\ \text{Релативна висина објекта (45m)} \end{aligned}$$

Водоводна мрежа са Сlike 2.12 проширена је за још један чвор без потражње, како би се омогућило прикључење резервоара најкраћом могућом трасом.



Слика 4.1. Прстенаста мрежа са резервоаром

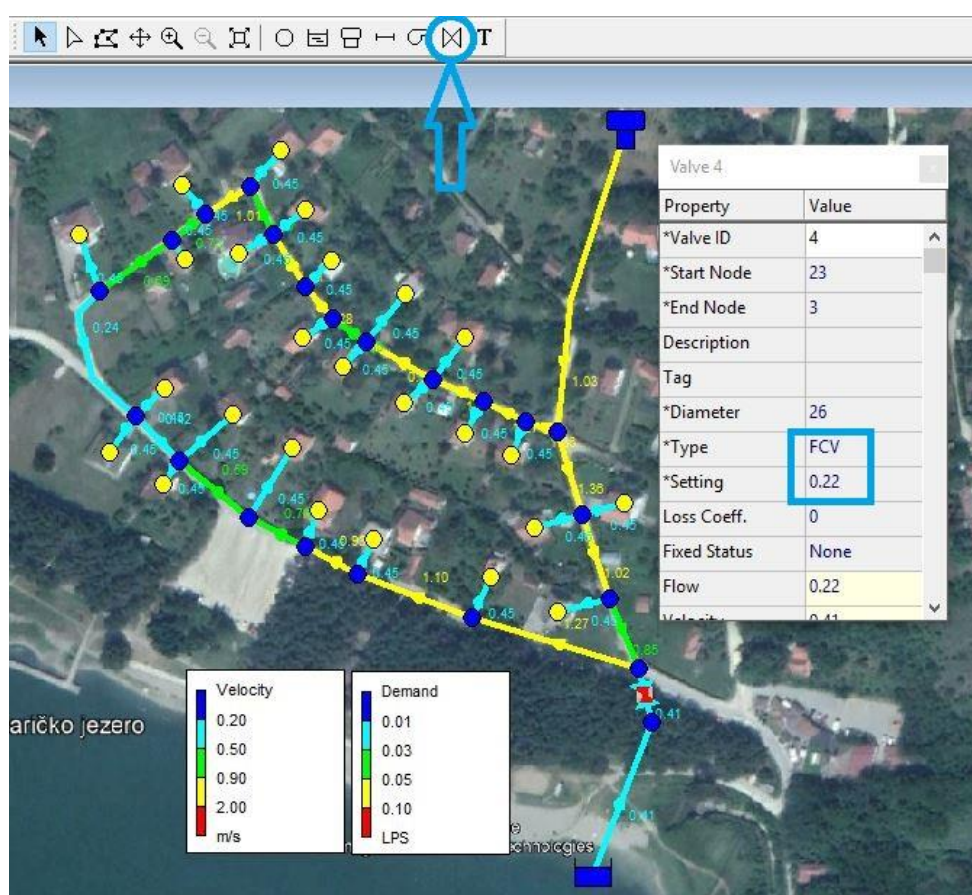
4.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО УТВРЂИВАЊЕ ПРЕЧНИКА ЦЕВИ

Приликом оптимизације пречника систем је упоредо снабдеван из два дела мреже, како би се симулирао рад пумпе и сабирног резервоара који синхронно снабдевају систем. Пумпу тренутно замењује гравитациони систем са извором воде, на релативној висини од 63[m], симулирајући њену висину пумпања.

Поред напора пумпе, потребно је да извор воде снабдева кориснике континуираним протоком од 789 [l/h] како би симулација веродостојна осликавала рад целокупне дистрибутивне мреже. Уградњом вентла (Valve) типа „FCV“ који дозвољава проток од 0,22 [l/s], остварује се доток у систем еквивалентан просечној сатној потрошњи.

Због лакшег сагледавања параметара приликом промена димензија укључена је опција за приказивање брзина флуида у цевима: View > Options > Notatition > Display Pipe Values.

За надморску висину сабирног резервоара је употребљена орјентациона висина извора која износи 63[m].



Слика 4.2. Експериментално утврђивање пречника

Пре него што се започне процес оптимизације пречника, потребно је упознати се са парчињеница. Количина воде која се троши у кући зависи од броја чланова домаћинства и броја изливних места. Утврђује се експериментално и зависи од годишњег доба, степена развијености, навика, обичаја, итд. Изливна количина воде је количина воде која истиче на употребном месту у јединици времена. (6)

Прорачуном се треба обезбедити да на сваком могућем изливном месту буде довољно воде. Унутрашњи пречник зависи од више фактора:

- Количина воде на изливном месту
- Притисак у водоводној мрежи
- Брзина воде у цевима

Употреба воде није константна, карактеришу је прекиди, у неправилним временским размацама, а ноћу и потпуни прекиди потрошње. Потрошња воде на славини у односу на паузе врло је кратка. Како се поједина изливна места не укључују истовремено збрајањем свих изливних места у прорачунима би се добиле нереално велике количине воде и велики пречници цеви. Због тога се у обзир узима проценат вероватноће истовремене употребе изливних места. Овај проценат се може прорачунати, али се обично усваја на темељу искустава и извршених мерења. Повећањем број изливних места смањује се вероватноћа њихове употребе. (6)

Изливна јединица (I)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Проток q (l/s)	1,854	1,937	2,016	2,092	2,165	2,236	2,305	2,372	2,437	2,5

Табела 4.1. Истовременост употребе (6)

Изливне јединице (јединице оптерећења) користе се да би се поједноставо и убрзао сам прорачун. Јединицом оптерећења се сматра количина воде на потрошном месту коју даје цев пречника 10[mm], при пуном млазу.

Врста излива	Чесма	Туш	Када	Купатило (Котлић)	Умиваоник	Судопера
Изливне јединице (I)	0,25	0,5	1,5	0,25	0,5	1

Табела 4.2. Изливна места и прорачунски подаци (10)

Креирана дистрибутивна мрежа омогућава снабдевање 25 кућа. Досадашњи прорачуни заснивали су се на просечном часовном и дневном потражњом, које су потребне за утврђивање осталих елемената система. Док се пречници оптимизују преко могуће тренутне потражње и после се имплементирати у мрежу.

Израчунаћемо укупне изливне јединице у систему и на основу тога из табеле 4.1. искористити потребне податке. Свако домаћинство садржи следеће јединице оперећења:

$$\text{Судопера (1) + Умиваоник (0,5) + Котлић (0,25) + Када (1,5) = 3,25 (I)} \quad (29)$$

$$25 \text{ кућа} * 3,25 (I) = 81,25 (I) \quad (30)$$

На основу прорачуна може се установити проток који износи 2,236 [l/s]. Када се могући тренутни проток доводног вода разложи на 25 домаћинстава:

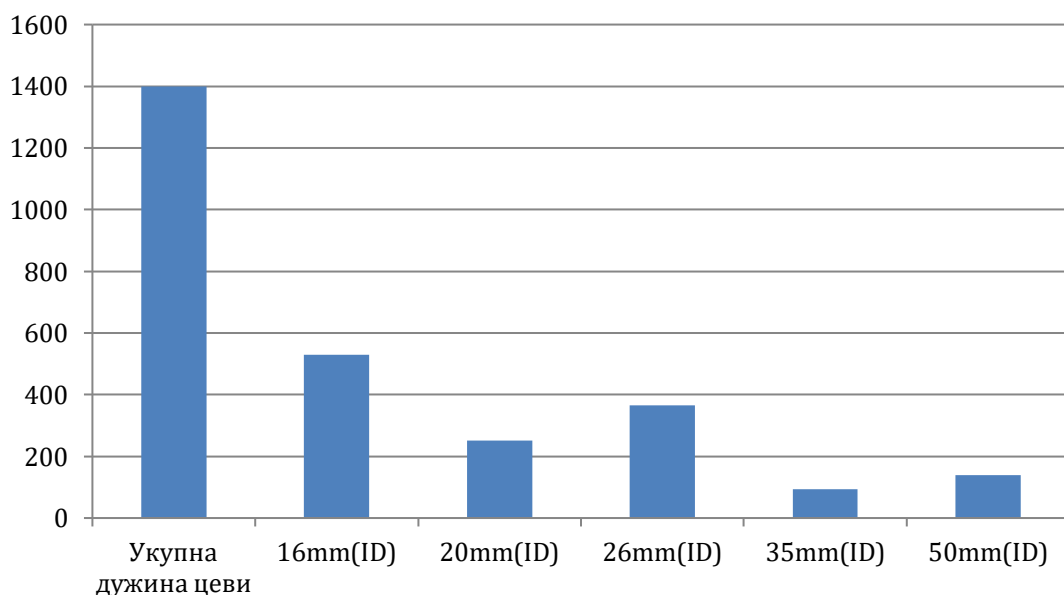
$$2,236 \text{ [l/s]} / 25 = 0,09 \text{ [l/s]} \quad (31)$$

Добијени параметри се уносе у потрошачке чворове и започиње се корекција тренутних пречника, све време обрађујући пажњу да се брзине крећу у интервалу од 0,5 до 2,0 [m/s].

Правило кога се треба држати при овом процесу јесте да се димензионисање мреже започиње са зонама најближим извору воде. Ако се почне са оним удаљеним, приметиће се да промене које се касније изврше у пречнику цеви у близини извора ће изменити резултате оних које смо претходно пажљиво оптимизовали. То ће резултирати непрестаном спиралом потребних промена. Испробавањем различитих пречника главног довода од водоторња, из табеле 2.1., експериментално је утврђено да систему највише одговара 50[mm] (ID), мањи пречник резултује превисоким падовима притиска док већи не утиче у великој мери на слику притиска у целом систему, обзиром на његову већу цену. У већини случајева доводна цев је највећег пречника, јер у другом случају би се створили уско грло на доводу воде, што је оправдано само у посебним случајевима. Сваки пут кад се промене димензије пречника, покреће се прорачун изнова на „Run“, како би у сваком тренутку били познати подаци прорачуна. Процес траје док се не оптимизују пречници свих цеви у систему. Не постоји јединствено ни коначно решење, већ скуп различитих могућности.

Водећи рачуна да брзине струјања остану у дозвољеним вредностима и обрађујући пажњу на притиске у чворовима димензионисани су следећи пречници: улични водови су сачињени од цеви чији се пречници крећу у распону унутрашњег пречника (ID) од 16 до 50 [mm].

Секундарна мрежа је сачињава од цеви које повезују уличне цевоводе са чворовима који имају потражњу (корисници). За све цеви које сачињавају ову мрежу усвојена је вредности (ID) од 16[mm]. Ову вредност је установиљена експериментално, на основу следећих размишљања: Просечна брзина истицања из славине износи 0,2 [m/s], ако се хипотетички претпостави да је у једној кући могућа истовремена употреба на 2 изливна места, збира је 0,4 [l/s]. Уносом ове вредности у потрошачки чвор, Епанет израчунава брзину струјања воде од 1,99[m/s], у цеви пречника (ID) 16[mm]. Задовољене су предвиђене границе.



Слика 4.3. Укупна дужина цеви у зависности од пречника

4.2. ПУМПА

Када је мрежа стабилизована, а цеви димензионисане приступа се додавању одговарајуће пумпе. Потребно је правилно нацртати пумпу тј. њен смер уноса, ово може бити једна од најчешћих грешака због које ће уследити питање зашто мрежа не ради. Када се у Епанету цртају објекти који нису цеви, увек се цртају у правцу у којем вода циркулише. Контуре пумпе у Епанету подсећају на имагинарни „топ“. Суштина је водити рачуна да смер струјања воде одговара смеру „пуцања топа“.

Уместо досадашњег гравитационог система приступа се димензионисању пумпног постројења.

Процес експерименталног испитивања напора пумпе започиње се следећом једначином:

$$\text{Фиктивно уздизање извора воде} - \text{Референтна висина извора} = \text{Оријентациона висина пумпања воде} \quad (32)$$

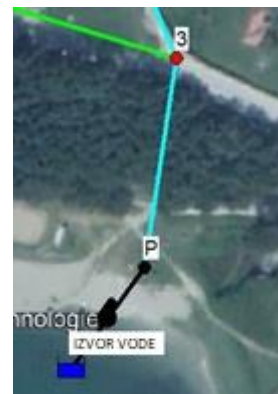
$$63 \text{ [m]} - 0 \text{ [m]} = 63 \text{ [m]} \quad (33)$$

Оријентациона висина пумпања је 63[m], вредност са којом се почиње анализа и која ће накнадно бити коригована. Ова хипотетичка надморска висина симулира напор (Head) пумпе изражен у метримља (висина коју би пумпа требала бити у стању да постигне).

За инсталирање пумпе потребно је поставити још један нов чвор без потраже у близини извора вода и доделити му назив, нпр. „Р“, Слика 4.4. Овај чвор ће омогућити да се промени траса доводног цевовода извора воде. Када се двоструким кликом на доводни цевовод отвори прозор за унос података цеви, врши се промена положаја на следећи начин: уместо почетне тачке цеви (Start Node) која гласи „izvor vode“ се уноси назив новог чвора „Р“. На овај начин дужина доводне цеви остаје иста, Слика 4.3.

Pipe 1			
Property	Value		Value
*Pipe ID	1		1
*Start Node	IZVOR VODE	→	P
*End Node	3		3
Description			
Tag			
*Length	97.67		97.67

Слика 4.4. Промена положаја цеви



Слика 4.5. Повезивање пумпе

Пумпа се повезује у смеру од извора воде ка чвору „Р“. Релативна висина извора мења се опет на вредност референтне тачке, 0[m].

За дефинисање пумпе у Епанету потребни су проток (Flow) и напор пумпе (Head). Просечни сатни проток се претвара у јединице [l/s]:

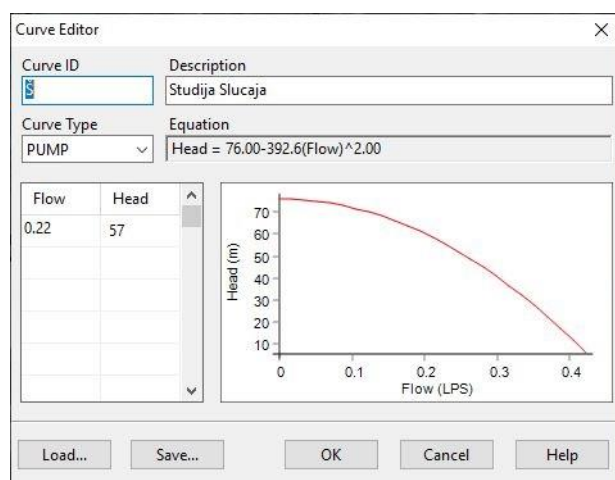
$$789 \text{ [l/h]} : 3600 = \text{Проток пумпе, } 0,22 \text{ [l/s]} \quad (34)$$

Напор пумпе се утврђује експериментално тако што се орјентациона висина пумпања смањује или повећава у зависности од вредности притиска у потрошачким чворовима. Минимални притисак у дистрибутивном систему мора имати вредност изнад 20 [m воденог стуба] или 2 [Bar].

Висина пумпња и протока износи:

- Напор пумпе (Head): 57 [m]
- Проток (Flow): 0,22 [m/s]

Преостаје још да се дефинише крива пумпе и то се ради на следећи начин: прати се редослед опција: >Browser / Data / Curve / Add. Уносе се подаци за проток воде (Flow) и напор пумпе (Head), Слика 4.6. Назив криве се може произвољно одредити, нпр. латинично слово „Š“ по извору воде (Шумаричко језеро), а као опис „Студија случаја“. Остале податке Епанет уноси аутоматски.



Слика 4.6. Крива пумпе

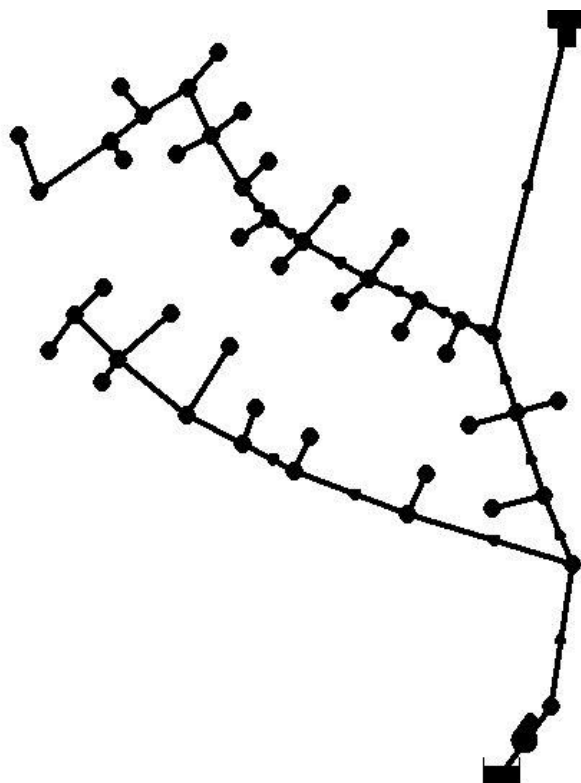
Pump Pumpa	
Property	Value
*Pump ID	Pumpa
*Start Node	Rezervoar
*End Node	p
Description	
Tag	
Pump Curve	Š
Power	
Speed	
Pattern	
Initial Status	Open
Effic. Curve	
Energy Price	
Price Pattern	

Слика 4.7. Уношење вредности криве

Двоструким кликом на пумпу корисник отвори њен оквир за дијалог, Слика 4.7., и унесе назив криве пумпе „Š“ у простор предвиђен за то у равни са „Pump Curve“.

5. РАЗГРАНАТА МРЕЖА

Разграната мрежа, која је употребљена у овом сценарију има врло сличне трасе као и прстенаста али није циркуларно спојена, улични водови имају своје крајње тачке. Уклањањем крајње цеви која их повезује формира се дистрибутивни систем са различитим вредностима притиска, брзина струјања воде у цевима, промена смера струјања воде у крајњим деловима мреже, итд. Упоредном анализом овде две врсте мреже покушаћемо да нађемо разлике у параметрима и усвојимо закључке.



Слика 5.1. Разграната мрежа

6. ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПУМПНОГ ПОСТРОЈЕЊА

Одабрани пумпни агрегата мора да задовољи следеће услове:

- Проток: $Q = 0,22 \text{ [l/s]}$
- Висина пумпања (Напор пумпе): $H = 57 \text{ [m]}$

Радна тачка пумпе је тачка пресека карактеристика пумпе и цевовода, односно њихових Q - H линија. Бира се прво пумпно постројење које има исте или веће вредности од оних које су наведене. Графички и табеларни приказ одабира пумпног агрегата представљен је у наставку:

MODEL		POWER (P ₂)			Q														
Single-phase	Three-phase	kW	HP	▲		m ³ /h	0	0.3	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.8	8.4	9.6	10.8	12.0
						l/min	0	5	10	20	40	60	80	100	130	140	160	180	200
PLURIJETm 5/90 -N	PLURIJET 5/90 -N	1.1	1.5	IE2	H metres		76	76	73.5	70	60.5	47	33						
PLURIJETm 6/90 -N	PLURIJET 6/90 -N	1.5	2	IE3			93	93	90.5	86	74.5	59.5	43						
PLURIJETm 3/130-N	PLURIJET 3/130-N	1.1	1.5	IE2			49	49	48.5	47.5	45	42.5	38.5	33.5	24				
PLURIJETm 4/130-N	PLURIJET 4/130-N	1.5	2				65	65	64	63	60	56	50	43	31				
-	PLURIJET 5/130-N	1.8	2.5	IE3			81	81	80.5	79	75	70	62.5	54	39				
-	PLURIJET 6/130-N	2.2	3				97	97	96.5	94.5	90	83	74.5	64	46				
PLURIJETm 3/200-N	PLURIJET 3/200-N	1.1	1.5	IE2			44	43.5	43.5	43	42	40.5	38	35	29	27.5	23	18	13
PLURIJETm 4/200-N	PLURIJET 4/200-N	1.5	2				58	57.5	57.5	57	55	52.5	49.5	45	38	35.5	30	24	17
-	PLURIJET 5/200-N	1.8	2.5	IE3			73	72	71.5	71	69	65.5	62	56.5	48	44.5	38	30	22
-	PLURIJET 6/200-N	2.2	3				87	86	85.5	85	82	78	73	67	57	53	45	36	26

Q = Flow rate H = Total manometric head HS = Suction height

Tolerance of characteristic curves in compliance with EN ISO 9906 Grade 3B.

Табела 6.1. Графички каталог произвођача (11)

Одабрана је самоусисна вишестепена пумпа серија „PLURIJET 90-130-200“. Бешуман рад, поузданост и ниска потрошња енергије наводе се као главне карактеристике пумпе. Препоручују се за употребу у домаћинствима, као што је дистрибуција воде у комбинацији са одржавањем притиска, као и за разне друге системе водоснабдевања. Намене су чак и у случајевима где је ваздух присутан у води. Погодна за употребу са чистом водом и са течностима које нису хемијски агресивне према материјалима од којих је пумпа израђена. (12)



Слика 6.1. Вишестепена центрифугална самоусисна пумпа (12)

Произвођач: Pedrollo

Врста пумпе: PLURIJET 90-130-200

Тип: Вишестепена центрифугална самоусисна пумпа

Модел: PLURIJET 4/200-N

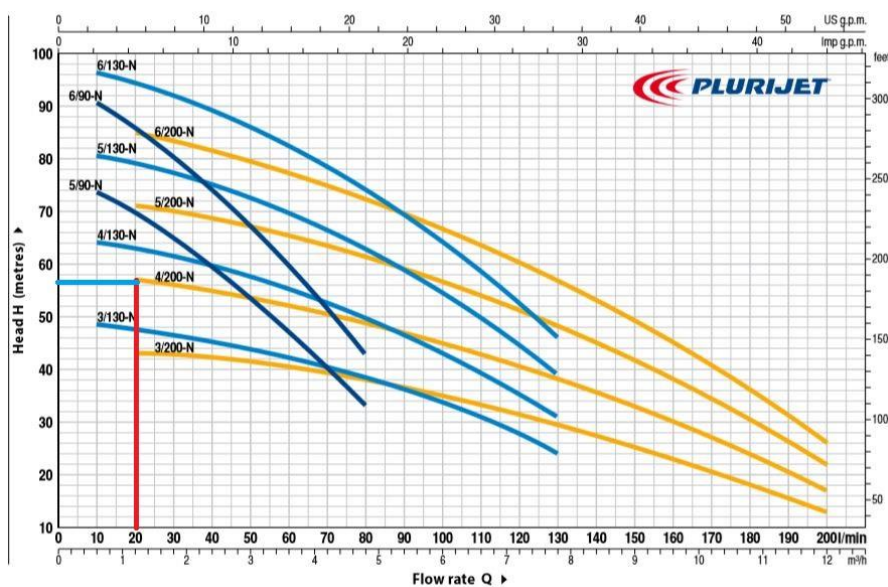
Проток: $Q = 1.2 \text{ [m}^3/\text{h]} = 0,33 \text{ [m/s]}$

Висина пумпања: $H = 57 \text{ [m]}$

Мотор: Електро мотор (трофазна струја, напон 230-400 [V])

Снага мотора: $P = 1,5 \text{ [kW]}$

Проток димензионисане пумпе је већи за 50% од протока довољног за снабдевање дела насеља са 25 кућа, што осигурава могућност евентуалног проширења мреже.



Слика 6.2. Крива карактеристике пумпе (11)

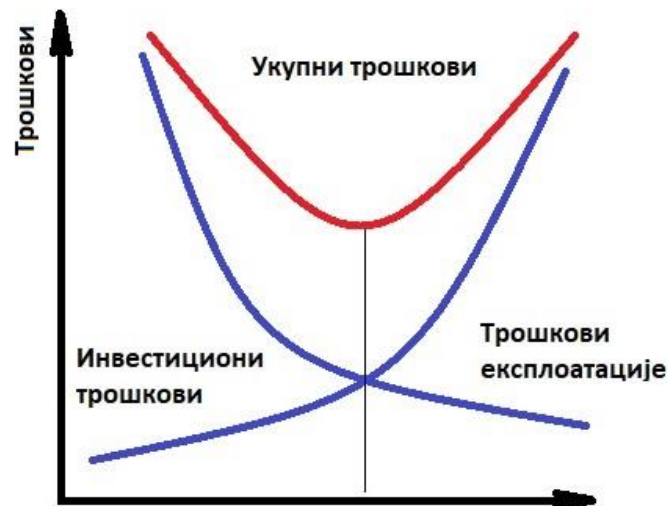
Вредности протока и напора, одабраног пумпног постројења, се уносе у Епанет и још једном проверава исправност водоводног система покретањем нове симулације.

7. ТРОШКОВИ ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ

При димензиосању дистрибутивног система суочавамо се са две врсте трошкова:

- Инвестициони трошкови, новчана средства потребна за куповину и инсталацију пумпног агрегата и мрежних инсталација;
- Трошкови експлоатације, текући трошкови енергије и одржавања водоводног система (4)

Између ове две врсте трошкова постоји веза, наиме, уколико се инвестициони трошкови повећавају, нпр. Уколико се повећа пречник цеви, трошкови енергије се смањују, нпр. услед смањене потрошње пумпе. Најекономичније решење је оно које минимизира збир обе врсте трошкова на најнижу тачку криве укупних расхода, Слика 7.1.



Слика 7.1. Укупни расходи

Годишњи трошкови црпљења и потискивања воде зависе:

- од дужине цевовода;
- од геодетске висине дизања (напора);
- од отпора у цевима;
- од коефицијента корисног дејства агрегата пумпа – мотор;
- од цене једног kWh;
- годишњих трошкова амортизације (6).

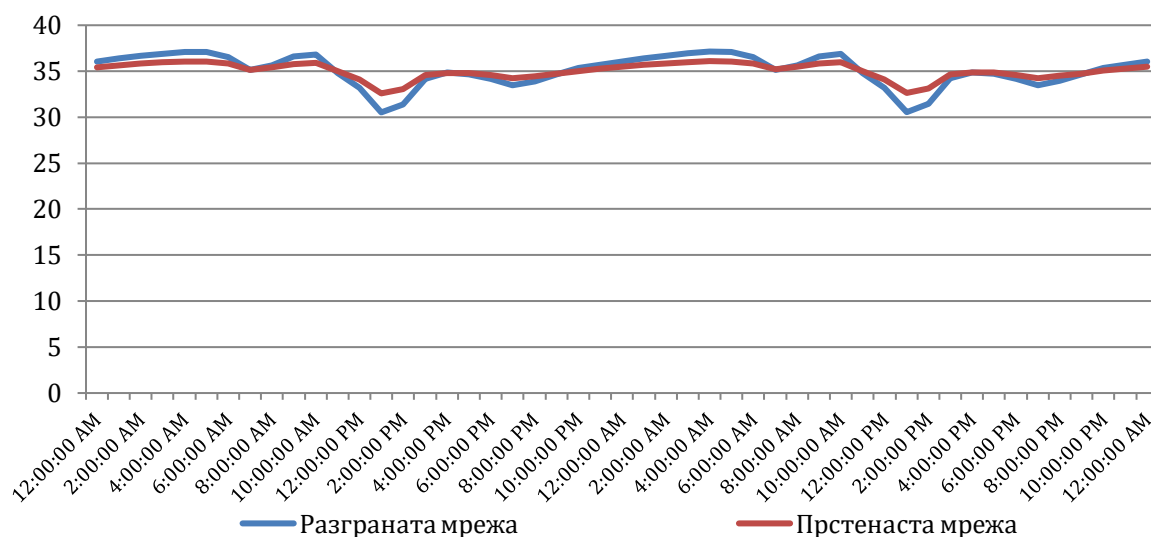
Утврђено је да, у конкретном случају, због диспозиције корисника, не постоји значајна разлика између прстенасте и разгранате дистрибутивне мреже, па ни између количина воде које се на дневном нивоу пумпом пребацује из водозахвата до водоторња. Са друге стране, видљиво је да су осцилације притска значајно ниже у случају прстенасте мреже, па, у конкретном случају, само са аспекта трошкова одржавања сугерише прстенаста дистрибутивна мрежа.

8. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ПАРАМЕТАРА

Основне вредности дистрибутивног система:

- Напор пумпе (висисна пумпања): 57 [m]
- Референтна надморска висина базе водоторња: 54 [m]
- Референтна надморска висина горње коте нивоа воде: 56 [m]
- Унутрашњи пречници водоводне мреже: 16-50 [mm] (ID)
- Притисак у чворовима: > 2 [bar] (20m)

Искористићемо могућност Епанета да резултате прикажемо у облику графика (>Graph / Parametar – Preassure / OK). Врло су једноставни и читљиви, а дају визуелни преглед промена вредности кроз време. Сагледавамо осцилације притиска у Домаћинству18 за разгранату и прстенасту мрежу, које је најудаљеније од сабирног резервоара.

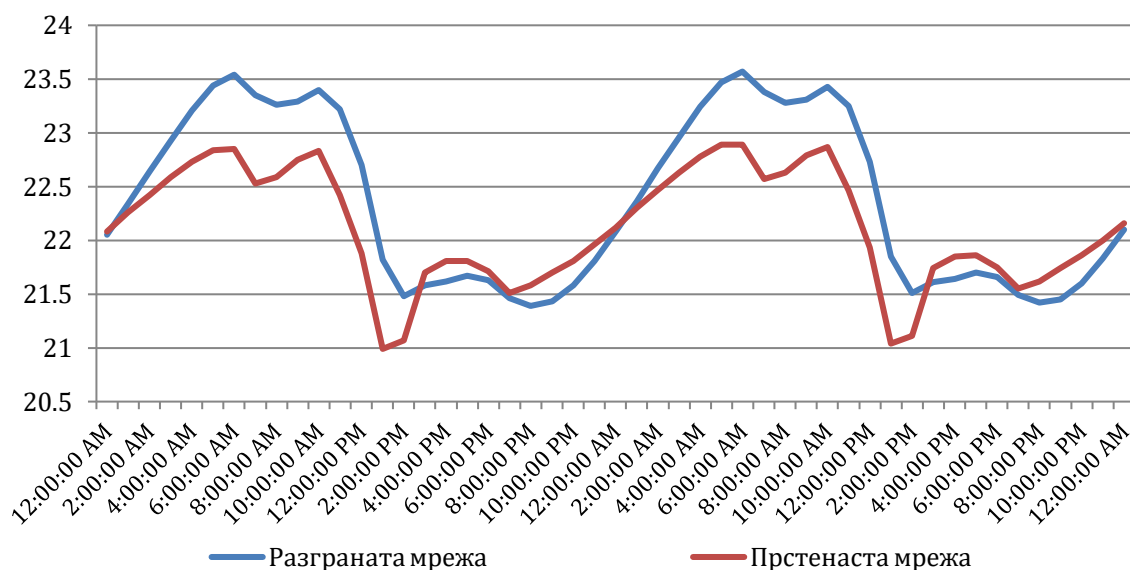


Слика 8.1. Осцилације притиска, Домаћинство18



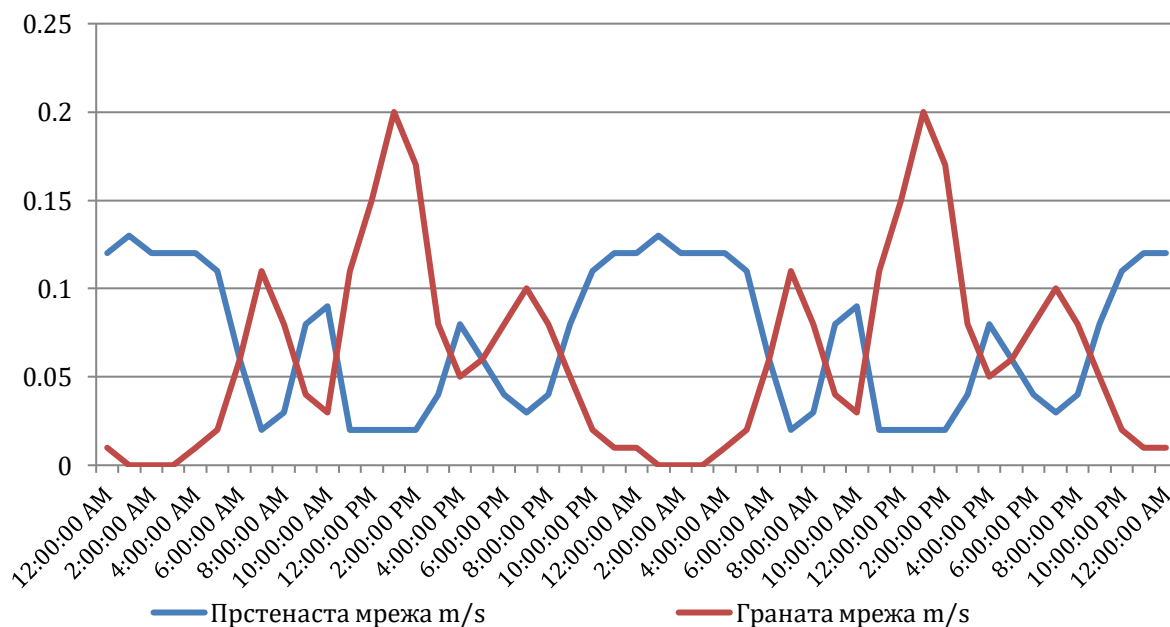
Слика 8.2. Осцилације притиска, Домаћинство4

Упоредом анализом претходна два дијаграма може се закључити да је притисак у прстенастој мрежи стабилнији, да су његове варијације доста блаже и да су распони осцилуја мањи него у разгранатој мрежи. Највећи пад притиска је у предиоду пре и за време врхунца потрошње.



Слика 8.3. Осцилације притиска, Домаћинство4

Преглед брзина струјања воде у крајњој уличној цеви разгранате мреже и истој тој цеви када је део прстенасте мреже.

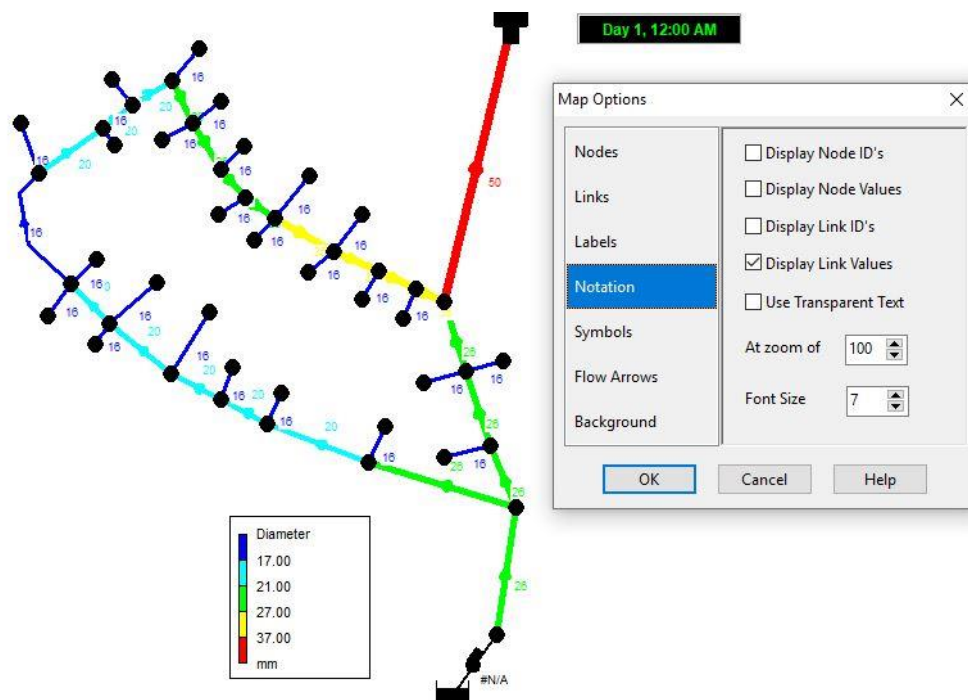


Слика 8.4. Брзина струјања воде у крајњем уличном воду

Приметно је да брзина струјања воде, у два сценарија, различитих вредности. Код пазгранатог система при највећој потрошњи сав проток је усмерен кроз грану лево од пумпе до крајњег потрошача, а снабдева се протоком из пумпе који је такође потпомогнут и протоком из резервоара, док у прстенастом систему улогу снабдевања

ових домаћинстава преузима само водоторањ, цевоводом који спаја крајње тачке мреже (онај који је уклоњен у гранатој мрежи). Такође можемо приметити да ова улична цев у различитим временским терминима, зависно од модела мреже снабдева потрошаче, нпр. У гранатој мрежи у 13:00h је врхунац њеног протока, док у прстенастој у исто време проток је веома мали и не игра никакву улогу у снабдевању истих потрошача.

Преглед унутрашњих пречника водоснабдевног система: > Browser / Maps / Links / Diametar и > View / Option / Notation / Display links Values.



Слика 8.5. Унутрашњи пречници цевовода

Лева грана мреже, у односу на доводни цевовод из водоторња, садржи цеви већих пречника у односу на десну грану због већих надморских висина потрошачких чворова који се ту налазе, како би се омогућио оптималан притисак у домаћинствима.

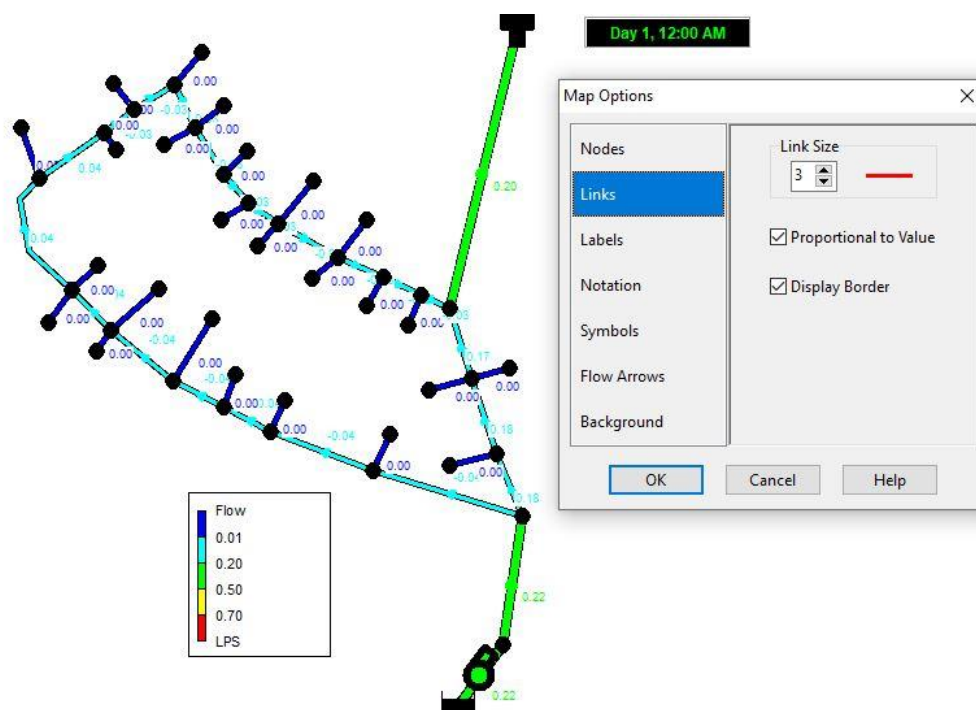


Слика 8.6. Осцилације нивоа воде у водоторњу

Пратећи инструкције (>Graph / Parameter – Head / OK) добијамо дијаграмски приказ релативне надморске висине нивоа воде у водоторњу који осцилује у временским интервалима. Видљиво је да се водоторањ пуни, у ноћним терминима кад је мала потражња, до приближне вредности нешто изнад од 2[m] у односу на базу, Слика 8.6. Можемо приметити да је цео процес цикличан, да се резервоар свакодневно пуни и празни.

Резервоар са већом запремином одржава стабилнији притисак у систему, са много мање осцилација.

Још једна визуелно корисна опција је „Пропорционално са вредностима“ (>View / Options / Links / Proportional to Value), запажамо да су линије цеви са већим протоком јасно задебљане и да главнина протока воде завршава у резервоару.



Слика 8.7. Контуре цеви пропорционалне њиховим вредностима

Да бисмо визуализовали рад водоторња, кликнемо десним тастером миша на мапу терена и отворимо дијалог Опције (Options). Одаберемо „Flow Arrows“ маркирамо опцију „Open“. Од овог тренутка, смер воде у цевима је приказан стрелицама. Када оставимо симулацију да ради током времена, можемо уочити да се смер стрелица мења, у сатима када је мања конзумација воде смер стрелице показује прилив воде у водоторањ, а у тренуцима велике потражње, показује одлив из резервоара.

Приказ протока цеви која спаја водоторањ са магистралним водовима, главне доводне цеви сабирног резервоара, Слика 8.8, леви клик на одабрану цев, (>Graph / Parameter – Flow / OK). Можемо уочити у сатима веће потрошње да се сабирни резервоар интензивно празни, у том периоду пумпа није у могућности да самостално снабде потрошаче, док у периодима мале потрошње вишак протока из пумпе, који не употребе домаћинства, допуњује његов ниво. Највећи одлив је у периодима врхунца потрошње када крива залази дубоко у минус.



Слика 8.8. Проток ка/од сабирног резервоара



Слика 8.9. Зависност притиска од нивоа воде резервоара

Вредност притиска у прикључним чворовима кућа директно је зависна од нивоа горње коте сабирног резервоара. Виши ниво воде у водоторњу обезбеђује потрошачима већи притисак, због веће потенцијалне енергије коју вода тада поседује.

9. ЗАКЉУЧАК

Снабдевање водом за пиће и остале потребе, у довољним количинама, и у свако доба дана и ноћи је неопходан предуслов за живот насеља. Како је вода најважнија животна намирница, снабдевање њом има прворазредан значај у водопривредном просторном планирању.

Софтвер Епанет одликује једноставни интерфејс и визуелни показивачи омогућавају кориснику да лако усвоји потребне вештине за његово руковање. Чак и за особе са ниским нивоом знања о механици флуида и другим наукама, програм омогућује релативно лаку употребу.

Употребљивост овог софтвера је веома висока, самим тим што омогућује прегршт симулација, модела, примера преко којих могу да се уоче евентуални проблеми у систему водоснабдевања и на време предупредити могуће грешке. Софтвер такође омогућава тестирање мноштва алтернатива и идеја и, на крају, одабир најповољније. Такође, софтвер опомиње корисника приликом грешке, како би одмах могао да истражи извор проблема. Код уобичајеног приступа, таква грешка може да се открије приликом радова на мрежи или пуштања исте у рад, а тада је већ касно.

Приликом креирања дистрибутивне мреже и димензионисања пумпног постројења највише пажње је поклоњено:

- Одређивању потребне количине воде која задовољава захтеве потрошача, као и сам образац коришћења воде, који је веома битан при одређивању пречника цевоводне мреже. Модел прорачуна ових вредности доприноси да систем буде оптималан за предвиђено насеље, број његових становника и евентуално могуће проширење у будућности.
- Обезбеђивању потребне вредности притиска, изнад 2 [bar], како би омогућило потрошачима употребу воде за све предвиђене потребе, како хигијенске и конзумне природе тако и за употребу електричних уређаја који захтевају воду.
- Прорачуну димензија пречника цеви. Код поддимензионисаног цевовода, може се јавити проблем са притиском, који онемогућава проток довољне количине воде на изливном месту, резултује превисоким хидрауличким губицима због високе брзине струјања флуида, шумовима и звуцима који се јављају при тим врзинама, итд. Док предимензионисана дистрибутивна мрежа резултује системом који је прескуп и који не користи своје капацитете.
- Дефинисању пумпног агрегата који има потребне карактеристике и у стању је да обезбеди домаћинства довољном количином воде и предвиђеним притиском. Експериментални начин који је коришћен за утврђивање висине пумпања је уштедео много времена у односу на математички прорачун. Епанет се показао као одличан савезник који дозвољава непрекидну серију прорачуна док се не одабере крајњи.
- Израчунавању потребне запремине резервоара у којем ће се акумулирати вода у периодима смањене потрошње и који ће у сатима највеће потрошње помоћи пумпи да обезбеди довољну количину воде и оптималан притисак.
- Дијаграмском приказу параметара, попут брзине, протока, притиска, висине нивоа воде у резервоару, где је могуће визуелно сагледавање њихових промена и на основу закључака побољшати систем

Предвиђањем два сценарија за водоводно снабдевање дела насеља Шумарице, створен је услов да се упреде њихове карактеристике. Из анализе се могу закључили разлике по следећим ставкама:

- Мање осцилације притиска у потрошачким чворовима примећене су код прстенасте мреже;
- У крајњим цевоводима прстенасте мреже мења се смер струјања течности у зависности од временског интервала док је у разгранатој смер увек исти;
- Циркуларни тип модела омогућава снабдевање из два правца мреже у случају квара на једом краку.

10. ЛИТЕРАТУРА

1. **Arnalich, Santiago.** *How to calculate water networks by computer.* 2007.
2. Sistem dovoda i raspodjele mreže. [Online] 11 15, 2019. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_13190/objava_19715/fajlovi/VODA%2006%20_%20dovod%20i%20raspodjela.pdf.
3. Komunalna hidrotehnika. [Online] 11 20, 2019. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_4578/objava_19708/fajlovi/5%20Komunalna%20hidrotehnika.pdf.
4. **Arnalich, Santiago.** *Epanet and Developnet A progresive 44 exercise workbook.* 2011.
5. **Dalmacija, Božo.** Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodina. Novi Sad : s.n., 2009.
6. **Milojevic, Miloje.** *Snabdevanje vodom i kanaliziranje naselja.* Beograd : s.n., 1987.
7. Scribd. [Online] 12 5, 2019. <https://www.scribd.com/doc/141365991/2-2-Rezervoari-Za-Vodu>.
8. Cabarplast. [Online] 11 25, 2019. <https://cabarplast.com/vertikalni-plasticni-rezervoari/>.
9. rawbuilding. [Online] 11 25, 2019. <https://rawbuilding.ru/bs/laying-of-water-pipe/hot-water-pressure-at-the-entrance-to-the-building-optimal-parameters-for-heating-systems.html>.
10. **Radonjić, Milorad.** *Vodovod i kanalizacija u zgradama.* Zagreb : Croatia knjige, 2003.
11. [Online] 12 04, 2019. <http://www.pumpe.rs/gallery/elektrodjurovic-pedrollo-jet90-katalog.pdf>.
12. Elektro Đurović. [Online] 12 03, 2019. <http://www.pumpe.rs/proizvodi/43/serija-plurijet-90-130-200-povrsinska-samousisna-visestepena-pumpa>.