

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

**Грађевински факултет**

**Одсек за ХВЕ**



## **ДИПЛОМСКИ ЗАДАТАК**

**Предлог позиције основних зона билансирања (ОЗБ) водоводне мреже у ужем градском језгру града Ужица**

**Ивановић Младен 181/07**

**Београд, 2013. године**

## **Садржај**

<b>1. Увод .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Опис система .....</b>	<b>3</b>
2.1. Водоводни систем „Врутци“ .....	5
2.1.1 Акумулација „Врутци“ .....	5
2.1.2 Довод сирове воде.....	6
2.1.3 Постројење за пречишћавање воде „ Церовића брдо“ .....	6
2.1.4 Дистрибуциона мрежа .....	7
<b>3. Приказ расположивих података и информација .....</b>	<b>8</b>
3.1. Приказ расположивих података у MapInfo Proffesional .....	8
3.2. Приказ расположивих података у EPANET-у.....	9
<b>4. Предлог основних зона билансирања у ужем градском језгру .....</b>	<b>12</b>
4.1. Увод .....	12
4.2. Критеријуми пројектовања ОЗБ .....	12
4.3. Величина ОЗБ .....	13
4.4. Предлог ОЗБ у ужем градском језгру Ужица.....	13
4.5. Провера предлога позиција ОЗБ.....	15
<b>5. Мерење потрошње на ОЗБ Мегдан и формирање шаблона потрошње.....</b>	<b>17</b>
5.1. Мерење потрошње на терену .....	18
5.2. Обрада података .....	20
5.3. Формирање шаблона потрошње .....	23
<b>6. Рекалибрација модела .....</b>	<b>27</b>
6.1. Калибрација математичког модела.....	29
<b>7. Закључак .....</b>	<b>32</b>
<b>8. Прилози .....</b>	<b>33</b>
<b>9. Литература.....</b>	<b>36</b>

## **1. Увод**

Водоводно дистрибутивни систем у граду Ужицу и околним местима је веома сложен. Због карактеристичне конфигурације терена простире се у висинском распону од неколико стотина метара, па је због тога целокупан дистрибутивни систем подељен на две зоне, високу и ниску. Оне су даље подељене на подзоне нижег реда и регионе. Ниска зона обухвата уже градско језгро, док висока зона покрива околину града и приградска насеља. Потрошачи ниске зоне се снабдевају гравитационо, док се у високу зону вода потискује пумпама.

С обзиром да ове две зоне не функционишу независно, у ниској зони се као последица јављају велики притисци који узрокују штете у систему. Због тога је циљ овог дипломско рада да на основу података о мрежи, математичког модела мреже и мерних података о стању система, формира позиције свих потенцијалних основних зона билансирања дела мреже која припада ниској зони. Затварањем појединих цеви на математичком моделу, и анализом промене притисака, установиће се да ли дати предлог ОЗБ задовољава услове.

У оквиру ниске зоне је формирана експериментална ОЗБ (Мегдан), која је опремљена водомерима са даљинским читавањем. На основу обраде података добијеним сатним читавањем потрошње са водомера у зони Мегдан, формираће се шаблони потрошње по типовима потрошача.

## **2. Опис система**

Водоводни систем у Ужицу је почео са радом 1938. године. Тада је он задовољавао потребе за пијаћом водом 7500 становника, али је заједно са порастом броја становника и развојем индустрије, та потреба све више расла.



*Слика 2.1: Град Ужице*

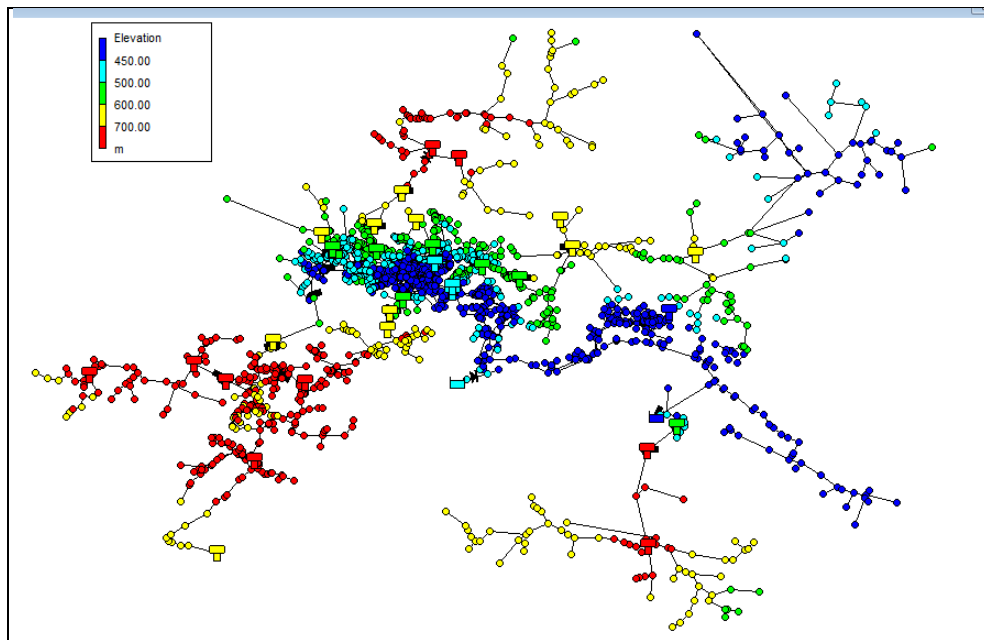
Данашњи ужички водоводно-дистрибутивни систем је веома сложен и скуп са аспекта изградње и одржавања. Састоји се од 4 изворишта, 30 активних резервоара, 20 црпних станица и око 300 km примарне и секундарне цевне мреже. Снабдева се пијаћом водом око 80 000 потрошача у Ужицу и околним насељима и селима. Поред становништва сервисира се и локална привреда и јавна потрошња. Укупна висинска разлика између највиших и најнижих снабдеваних потрошача је око 510 m. Водовод се и даље шири према насељима на вишим котама, па ова разлика има тенденцију раста током времена.

Као што је речено, постоје четири изворишта која врше снабдевање пијаћом водом, а то су:

- Акумулација „Врутци“
- „Поточање“
- „Живковића врело“
- „Турица“

Основно извориште сирове воде је акумулација „Врутци“, мања помоћна изворишта су „Поточање“ и „Живковића врело“, док је „Турица“ само резервно извориште, које је углавном неактивно. Ова три активна изворишта обезбеђују средњи дневни протицај од 350-400 l/s, са могућношћу проширења производње на 800 l/s, што је сасвим довољно да се подмире потребе у наредних тридесетак година.

Због брдско-планинске конфигурације терена, да би се обезбедили захтевани притисци у водоводној мрежи, дистрибутивни систем је подељен на седам висинских зона. Свака зона се, због велике разуђености потрошача унутар ње, састоји из већег броја подсистема, што доказује велику сложеност описаног система за водоснабдевање. На слици 2.2 је приказан модел мреже у EPANET-у где се види по бојама распоред висинских зона у снабдеваном подручју.



Слика 2.2: Математички модел водоводне мреже у програмском окружењу EPANET-у

## 2.1. Водоводни систем „Врутци“

Од свих наведених изворишта, водоводни систем „Врутци“ је најважнији. Он обезбеђује 91% укупних потреба корисника за водом. Капацитет целокупног постројења је око 800 l/s. Састоји се од акумулације, ценовода сирове воде, постројења за пречишћавање воде „Церовића брдо“, разводне мреже чисте воде, као и система дистрибуционих резервоара и црпних станица.

### 2.1.1 Акумулација „Врутци“

Изграђена је 1986. године на улазу у клисуру реке Ћетиње, 12km узводно од Ужица, код села Врутци. Ћетиња се формира отицањем воде са северних падина Златибора и југоисточних падина Таре. Квалитет воде је изванредан, а висински положај слива у односу на насеље јако повољан, тако да је све то утицало на избор овог изворишта првог ранга.

Брана „Врутци“ је лучна, бетонска брана висине 77m, са котом нормалног успора 621.3m, укупне запремине 54 милиона кубних метара, од чега је 21.54 милиона m<sup>3</sup> предвиђено као простор за снабдевање водом становништва и индустрије(слика 2.2).



Слика 2.3: Низводно лице бране „Врутци“

### 2.1.2 Довод сирове воде

Сирова вода се из акумулације гравитационо одводи до ППВ „Церовића брдо“. Доводни цевовод је дужине 12km, при чему су прва 3 km цевовода изграђена од азбест-цементних цеви Ø700, а осталих 9 km је изграђено од челичних цеви Ø650.

Да би се извршила што боља регулација количине воде која се захвата, у Турици је саграђено посебно регулационо место, које чине два клипно-прстенаста затварача Ø500, са електромотором и ручним погоном, и са локалним и даљинским управљањем из команде постројења „Церовића брдо“. Могућност регулације је 200 до 500l/s.

### 2.1.3 Постројење за пречишћавање воде „Церовића брдо“

Највећи ужички произвођач воде, ППВ „Церовића брдо“, се налази на 500mnm, и одатле се вода дистрибуира у два правца. У ниско подручје (које је ниже од коте ППВ-а), вода долази гравитационо и снабдева централни део града Ужица, Крчагово и Севојно. У тај део мреже се шаље отприлике 2/3 укупне воде. У други део мреже тј. у

високу зону (подручје које је више од коте ППВ-а), се посредством црпне станице „Церовића брдо“ шаље преостала 1/3 укупне воде. Тренутно се у постројењу припрема до 400 l/s воде, али максимални капацитет је 800 l/s.

Један од видова савременог начина управљања ужичким водоводним системом, је постојање система за даљинску контролу рада, преко сензора који континуално мере вредности протока, притиска и нивоа воде, и шаљу их телеметријским везама ка процесном рачунару. Ту се подаци обрађују, испитује њихова валидност, проверавају алармни нивои који се по потреби активирају.

#### **2.1.4 Дистрибуциона мрежа**

У водоводно-дистрибуционој мрежи заступљене су цеви пречника од 100 до 600mm, али су на целој дужини разводног система најчешћи пречници 100-200 mm. А материјали од којих су изграђени цевоводи су ливено гвожђе (43% заступљености), азбест-цементни(25%), ПЕВГ (21%), челик и ПВЦ.



### **3. Приказ расположивих података и информација**

За израду дипломског рада, коришћене су подлоге у формату софтверског пакета MapInfo Proffesional и софтверског пакета за симулацију мрежа под притиском-EPANET.

#### **3.1. Приказ расположивих података у MapInfo Proffesional**

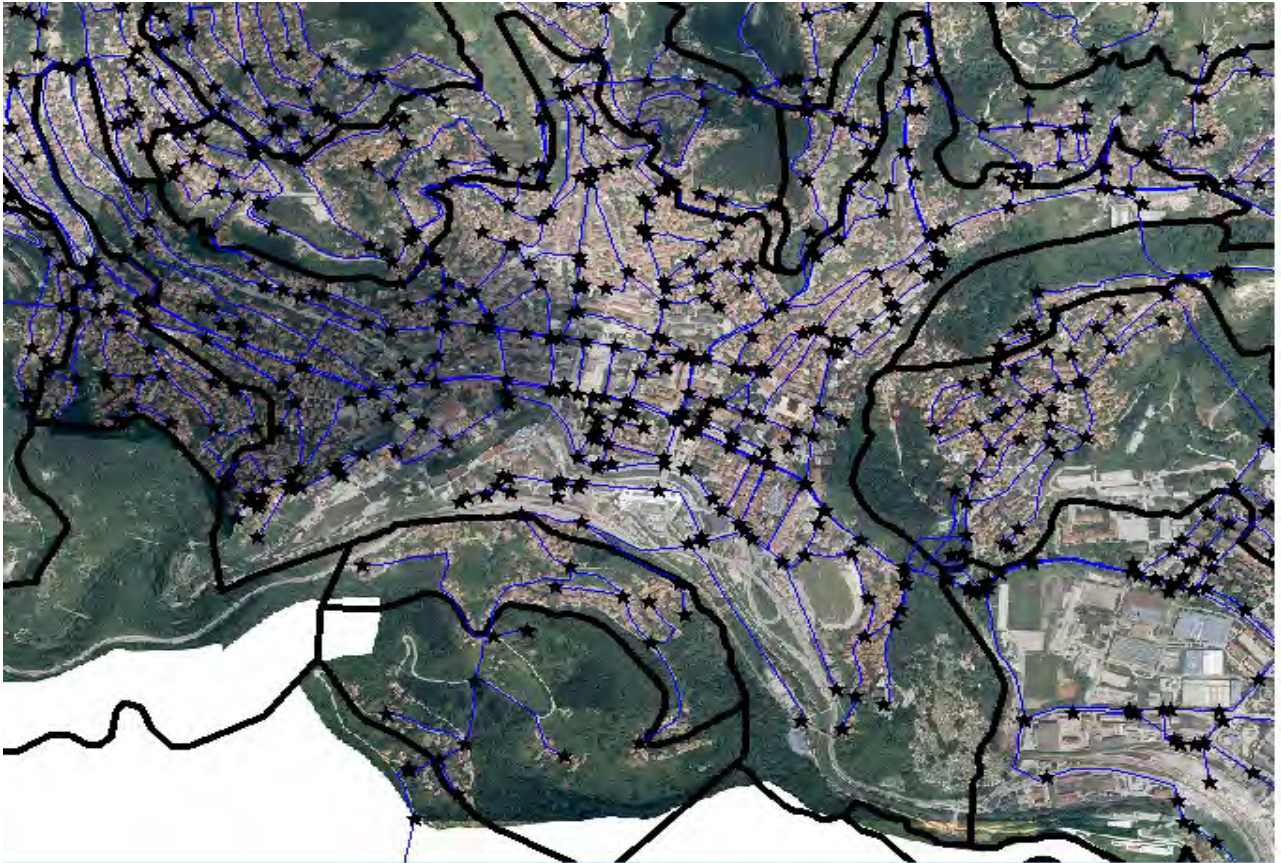
MapInfo Proffesional је десктоп ГИС софтвер, произведен од стране Pitney Bowes Software. То је географски информациони систем (ГИС), који се користи за мапирање и анализу локација. Он омогућава корисницима да прикажу, анализирају, тумаче и разумеју податке, у циљу јасног приказа веза, шаблона и трендова истих.

Приликом израде дипломског рада. Коришћени су подаци добијени из ЈКП „Водовод“ Ужице. Ти подаци су:

- Орто-фото снимак Ужица са околином,
- положај ниске и високе зоне и њихове границе,
- водоводна мрежа (цеви и чворови), са свим карактеристикама (дужине и пречници цевовода, положај и висинске коте чворова итд),
- мерна места,
- затварачи.

Сви ти подаци су дати у формату програмског пакета MapInfo Proffesional.

На *слици 3.1* приказана је ниска зона града Ужица са цевима и чворовима.



Слика 3.1: Изглед ниске зоне града Ужица са приказаним цевима и чворовима у програму MapInfo Professional

### 3.2. Приказ расположивих података у EPANET-у

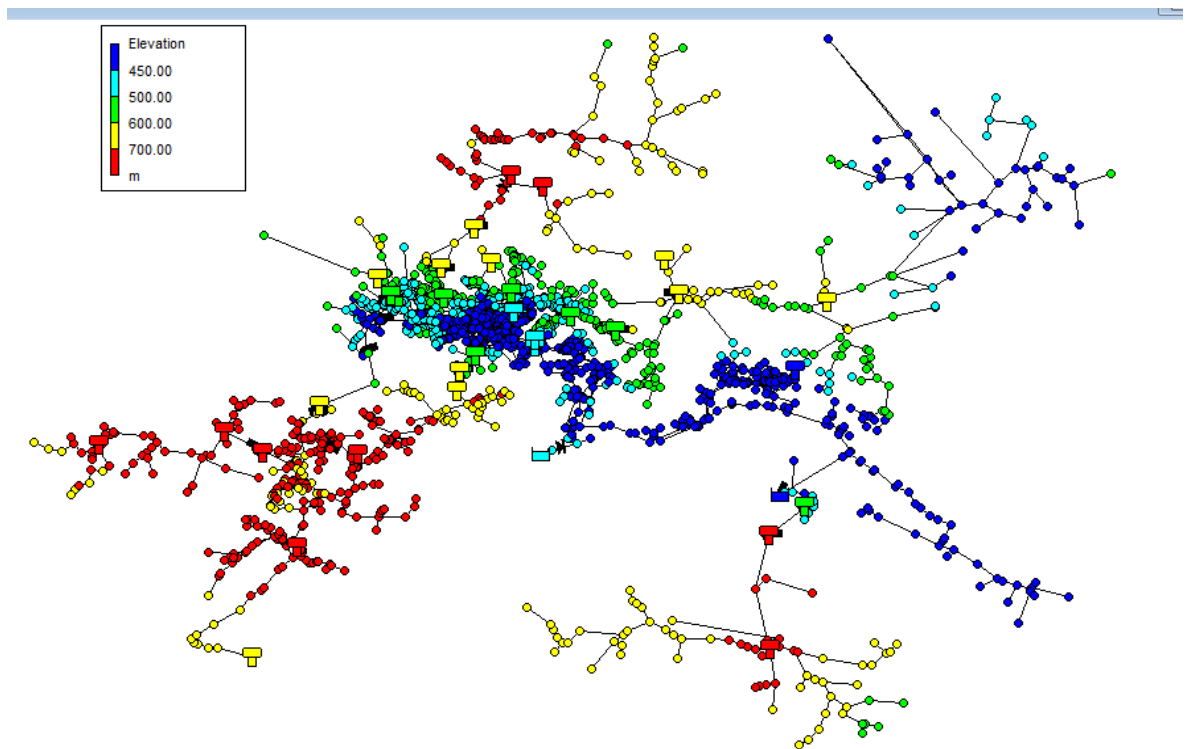
Део података је пребачен у формат софтверског пакета EPANET ради израде математичког модела дистрибутивне мреже. Унапређени математички модел је прузет из [4]<sup>1</sup>. EPANET је бесплатан програм, лако доступан, који се користи за симулирање континуалног рада система, математичким моделом квази-устаљеног течења. Овај програм се користи за мреже под притиском, а рачуна хидрауличке величине, параметре квалитета, али и потрошњу енергије и вршну снагу. Резултати прорачуна се приказују графички.

Математички модел водоводног система Ужица обухвата комплетну дистрибутивну мрежу (чворови и цеви), изворишта, црпне станице, резервоаре,

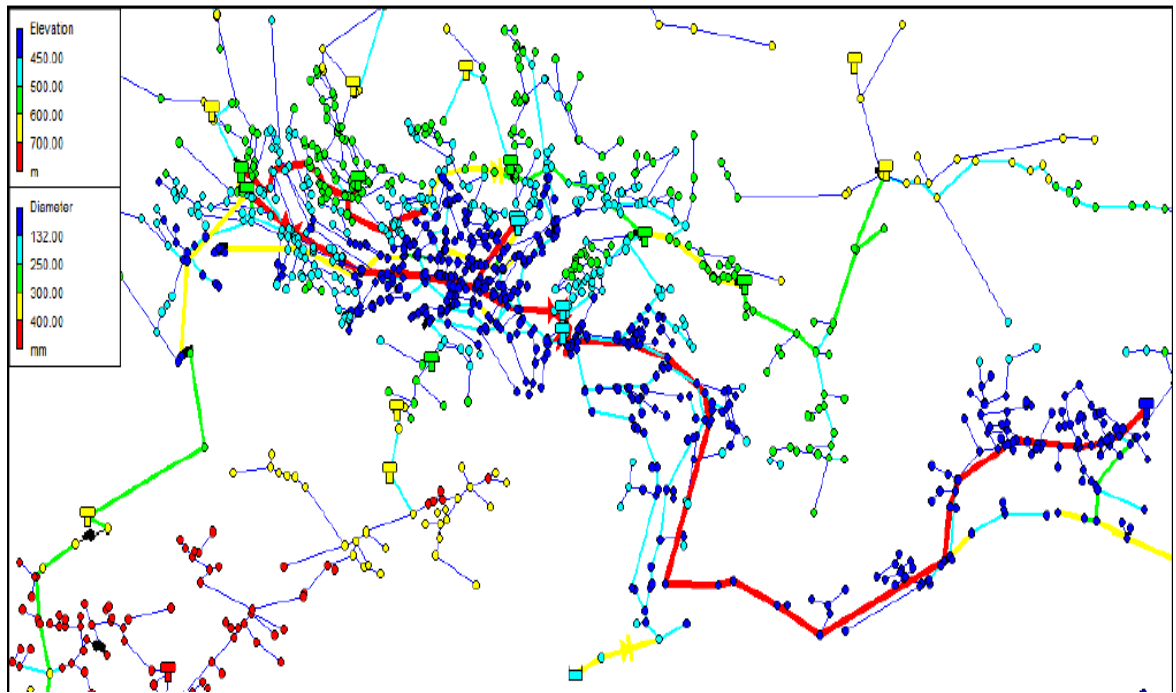
<sup>1</sup> Александра Топаловић (2012): „Предлог решења проблема високих притисака дела водоводне мреже града Ужица под називом Бело гробље“, дипломски рад, Грађевински факултет у Београду

затвараче, како за уже градско језгро, тако и за околна насеља. На основу обрачуна воде из 2011. Године, дефинисане су чворне потрошње и додељене сваком чвору. Приликом калибрације, у преузетом моделу коришћени су теоријски шаблони потрошње, кориговани тако да се добије слагање притисака добијених у моделу и мерењем на терену. Такође, модел садржи и податке о емитерима, који служе за симулирање губитака у мрежи.

На *слици 3.2* и *слици 3.3*, приказани су изглед модела и главни правци у EPANET-у.



Слика 3.2: Изглед водоводне мреже у EPANET-у



Слика 3.3: Приказ главних дистрибутивних праваца у EPANET-у

## **4. Предлог основних зона билансирања у ужем градском језгру**

### **4.1. Увод**

Основна зона билансирања (ОЗБ) је дефинисана као засебна област водоводног дистрибутивног система, уобичајено креирана затварањем затварача, или потпуним прекидом цевовода, у којој се мери количина воде која улази и излази. Проток се даље може анализирати у циљу одређивања губитака.

У зависности од карактеристика саме мреже, ОЗБ ће бити:

- Област мреже која се снабдева преко једне главне цеви, или са више страна (пожељно),
- одвојена област, тј без протока у суседне зоне,
- област која је прелазна (каскадна) према суседној ОЗБ (варијанта за избегавање, уколико је могуће).

### **4.2. Критеријуми пројектовања ОЗБ**

Фактори које треба узети о обзир приликом пројектовања ОЗБ су:

- Захтевани ниво губитака,
- величина (географска област и број прикључака потрошача),
- типови кућа, тј, блокови зграда или појединачне породичне куће,
- варијација у висинским котама земљишта,
- квалитет воде,
- потребни притисци,
- капацитет за заштиту од пожара,
- циљни ниво губитака,
- број затварача које треба затворити,
- број мерача који се користе за мониторинг идеално смањеног протока,
- велики потрошачи треба да имају своје мераче који се третирају као излазни мерачи из ОЗБ,
- стање инфраструктуре.

Најважнији фактор за успешно формирање ОЗБ је степен утицаја на квалитет снабдевања потрошача. Такође, границе ОЗБ не треба увек сматрати као коначне. Код промене радних услова, може бити неопходно да се граница модификује. Из тог разлога, обично је боље направити границу затварањем затварача, него прекидањем цеви. Такође, мора се водити рачуна да затварачи буду чврсто затворени, и да се избегне њихово случајно отварање.

#### **4.3. Величина ОЗБ**

На избор величине ОЗБ утичу трошкови њеног формирања: што је мања ОЗБ, трошкови су већи. То је зато што је потребно више затварача и мерача протока, а и одржавање такође више кошта. Међутим, мање ОЗБ имају своје предности у погледу ранијег и лакшег одређивања гупитака, тј пукотина. Додатна предност је та што се лакше предузимају активности лоцирања места где се остварују губици.

Величина ОЗБ се може одредити по km цевовода, нарочито у системима који садрже блокове зграда у којима је веома мала густина прикључака.

Најчешћи начин за одређивање величине ОЗБ је према броју кућа, тј прикључака. Овај услов је коришћен и приликом одређивања ОЗБ у ниској зони водоводног система града Ужица. Процењено је да је за поменуто подручје, оптималан број прикључака, односно водомера, износи између 150 и 250.

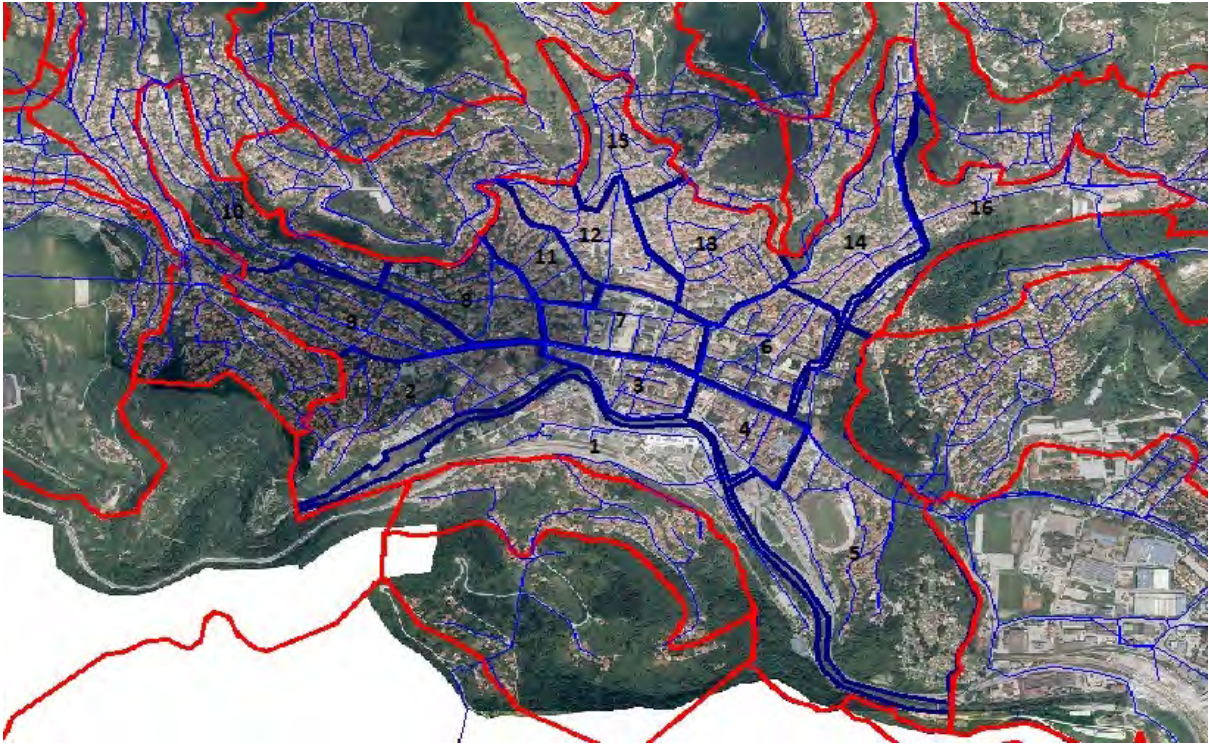
#### **4.4. Предлог ОЗБ у ужем градском језгру Ужица**

Као што је раније речено, ниска зона обухвата уже градско језгро града Ужица, и њу одликује изразито прстенаста структура водоводне мреже. Због тога, као и због смањења губитака који се јављају у систему, овај део мреже треба поделити на одређени број сегмената, тј основних зона билансирања. Приликом одређивања ОЗБ у првој итерацији коришћена су два критеријума. Први критеријум односи се на број прикључака, односно водомера. Број водомера у оквиру једне ОЗБ треба да износи између 150 и 250. Други критеријум односи се да број улаза, који не треба да буде већи од два. Свака ОЗБ која има више од два улаза, компликована је за управљање. На

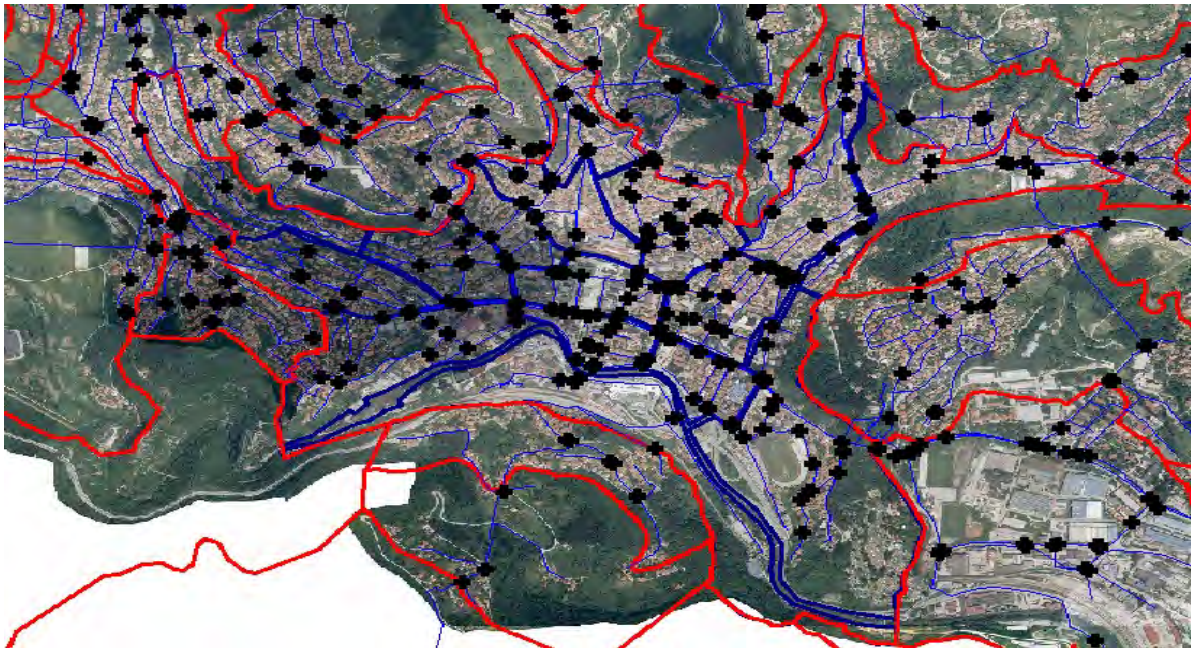


## Предлог позиција ОЗБ водоводне мреже у ужем градском језгру града Ужица

основу ова два критеријума, дат је предлог ОЗБ за уже градско језгро Ужица, приказаних на *слици 4.1* и *слици 4.2*.



Слика 4.1: Приказ позиција ОЗБ у ужем градском језгру Ужица у програму MapInfo Professional

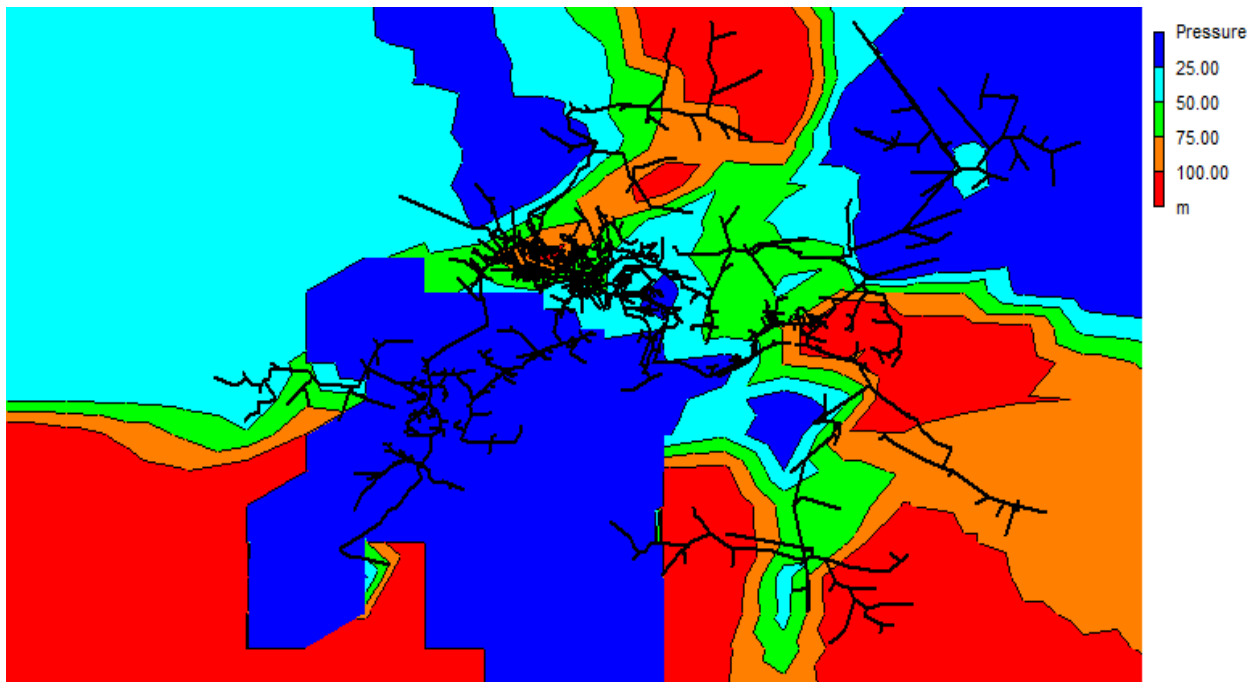


Слика 4.2: Приказ позиција ОЗБ у ужем градском језгру Ужица са затварачима

#### **4.5. Провера предлога позиција ОЗБ**

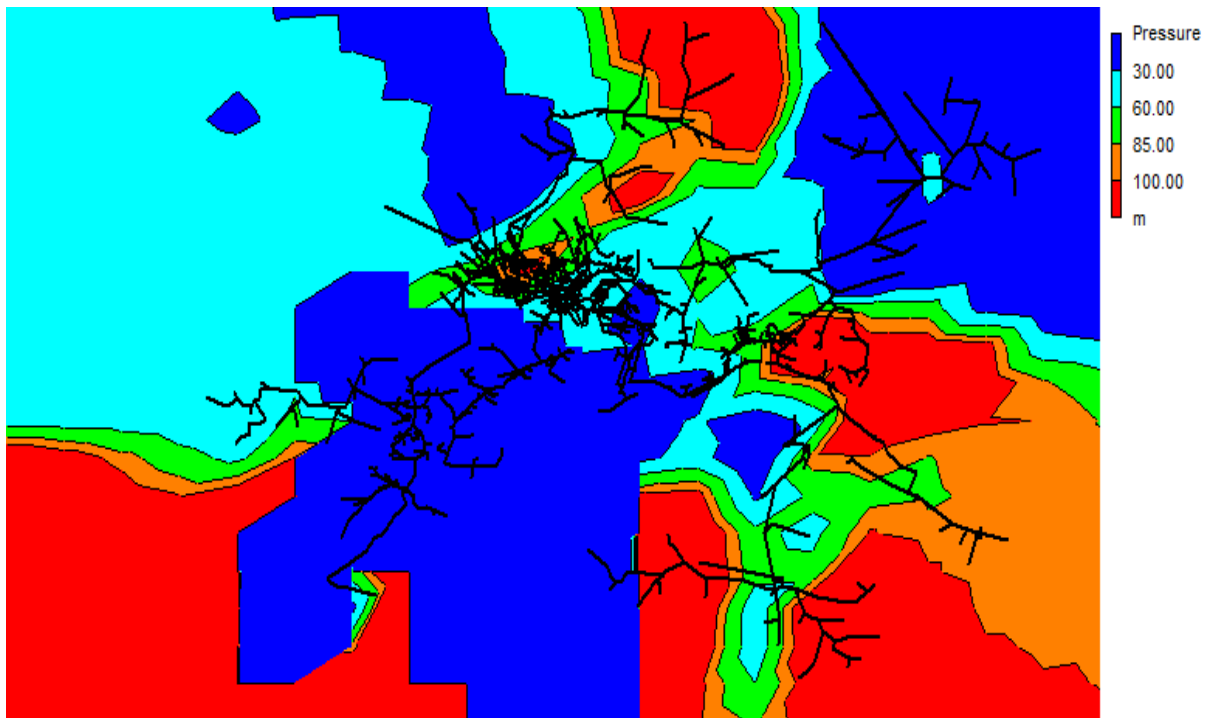
Након одређивања ОЗБ, у другој итерацији проверен је предлог позиција ОЗБ. То је проверено у математичком моделу у програмском пакету EPANET, затварањем појединих цеви и анализом промене притисака. Као што је напоменуто, свака ОЗБ треба да има највише два улаза, али исто тако мора се водити рачуна да притисци, након затварања појединих цеви, не падну испод дозвољених вредности.

На *слици 4.3* види се стање притисака, добијених прорачуном у математичком моделу у EPANET-у, пре успостављања основних зона билансирања. *Слика 4.4* представља стање притисака после успостављања ОЗБ, тј после затварања појединих цеви, такође добијених прорачуном у моделу.



*Слика 4.3: Стање притисака пре успостављања ОЗБ*





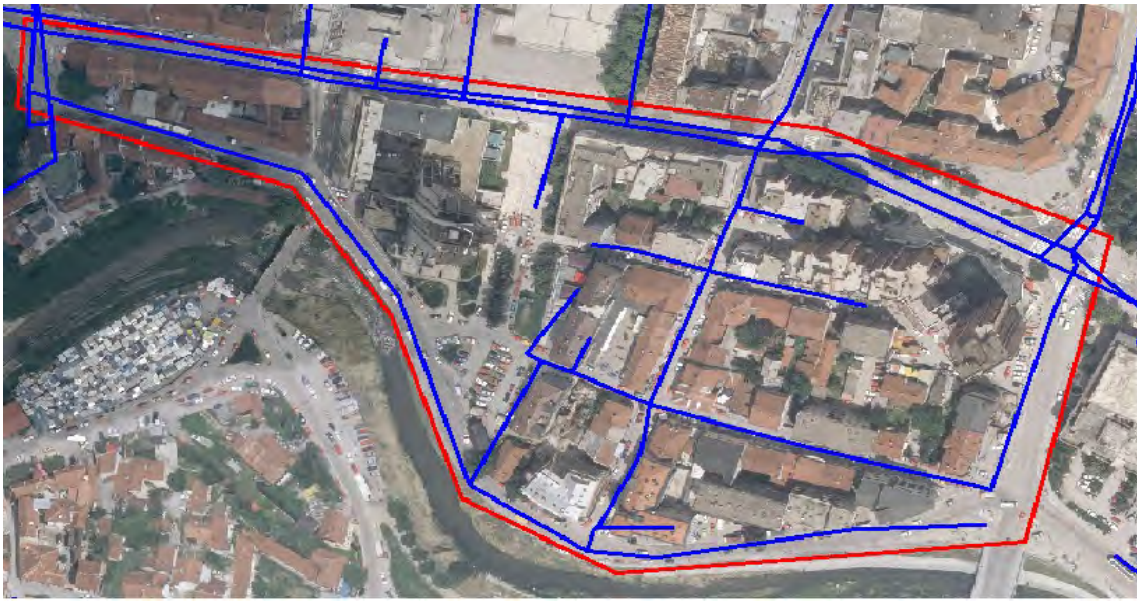
Слика 4.4: Стање притисака после успостављања ОЗБ

Као што се може приметити, након формирања ОЗБ, дошло је до смањења притисака. То смањење износи приближно око 5 m, а варира у опсегу од око 2m до 7 m, у зависности од ОЗБ.

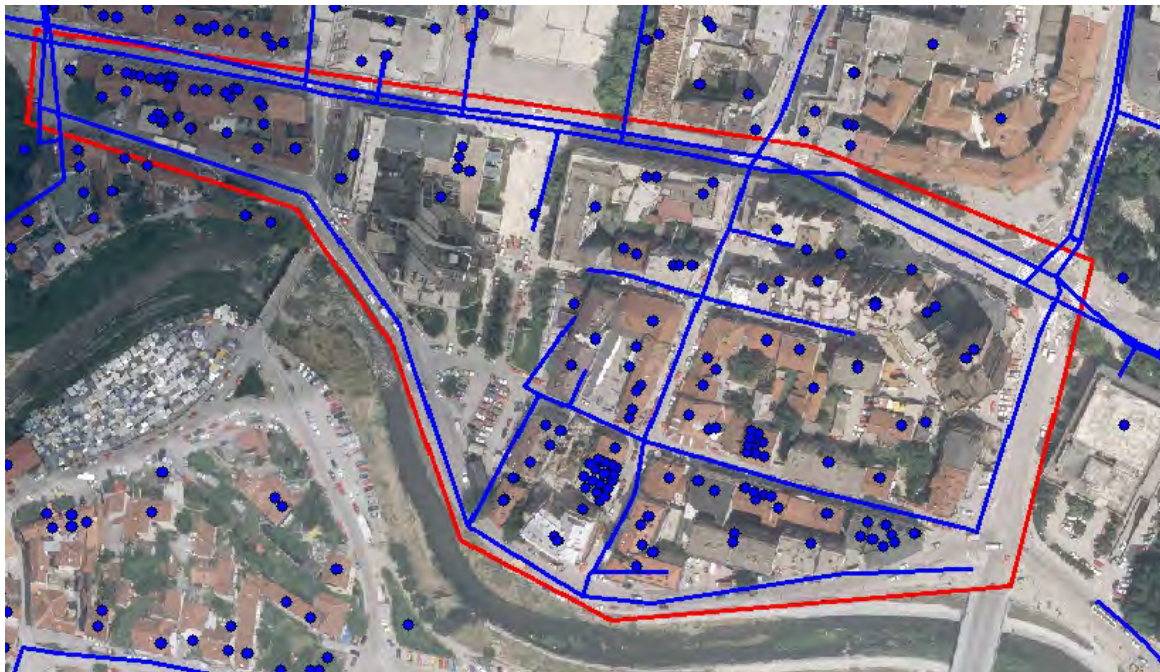
**Напомена:** Услов од највише два улаза није задовољен код свих ОЗБ. Због великог смањења притиска, у ОЗБ 3, 7 и 15 број улаза је већи од два.

## 5. Мерење потрошње на ОЗБ Мегдан и формирање шаблона потрошње

У оквиру ниске зоне, формирана је експериментална ОЗБ, Мегдан, која је опремљена водомерима са даљинским читавањем. На слици 5.1 и слици 5.2 приказане су границе експерименталне ОЗБ Мегдан.



Слика 5.1: Мегдан-водоводна мрежа



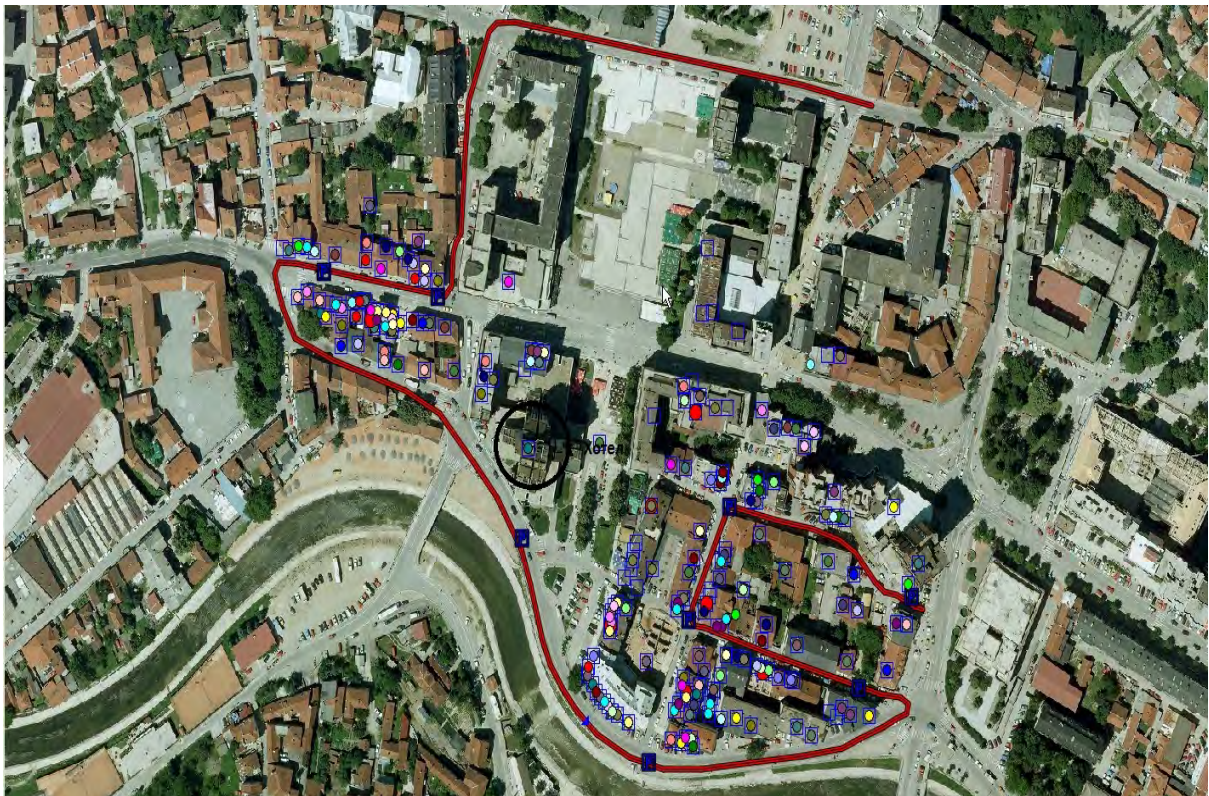
Слика 5.2: Мегдан-мрежа и мерна места



### **5.1. Мерење потрошње на терену**

Да би се одредили шаблони потрошње, спроведено је двадесетчетворочасовно читавање водомера, на сваких сат времена.

Првенствена идеја за читавање водомера била је пролазак, са мерном опремом, унапред одређеном трасом кроз мегда. Траса читавања приказана је на *слици 5.3*. Мерење током дана је извршено датом трасом. Тим путем успешно су прикупљени подаци са скоро свих водомера који се налазе у ОЗБ Мегдан. Током ноћних сати, због безбедности и напора приликом мерења (мерење на сваких сат времена), читавање није вршено трасом, већ из хотела „Златибор“. Положај хотела је приказан на *слици 5.3* (уоквирен црном бојом). Да би се извршило успешно читавање што већег броја водомера, читавање је морало да буде вршено са што веће висине. Баш због своје висине је изабран хотел „Златибор“ као база за ноћно мерење. Читавање је вршено са деветог спрата хотела. Од укупно 240 водомера, колико их се налази у ОЗБ Мегдан, током ноћи успешно су прикупљени подаци са око 170 истих.

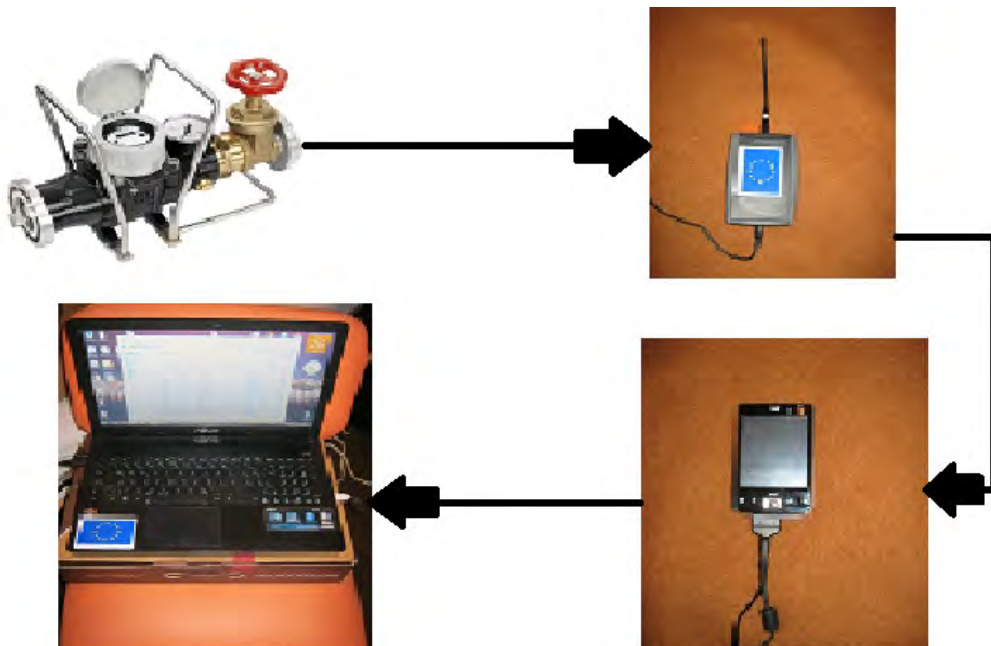


*Слика 5.3: Траса читавања водомера*

Мерење је обављано уз помоћ специјалне опреме: bluetooth пријемника, који је примао сигнал, и iPaq уређаја који служи за складиштење података. У тренутку прозивања, водомер је слао податак о тренутној укупној запремини. Преко bluetooth пријемника ти подаци су прослеђивани у iPaq уређају, који служи за њихово чување. Након тога би се подаци пребацивали на комјутер и вршена би њихова провера. Шематски приказ процедуре читавања дат је на *слици 5.4*, а на *слици 5.5* дат је изглед уређаја и шематски приказ везе између њих.



Слика 5.4: Шематски приказ процедуре читавања



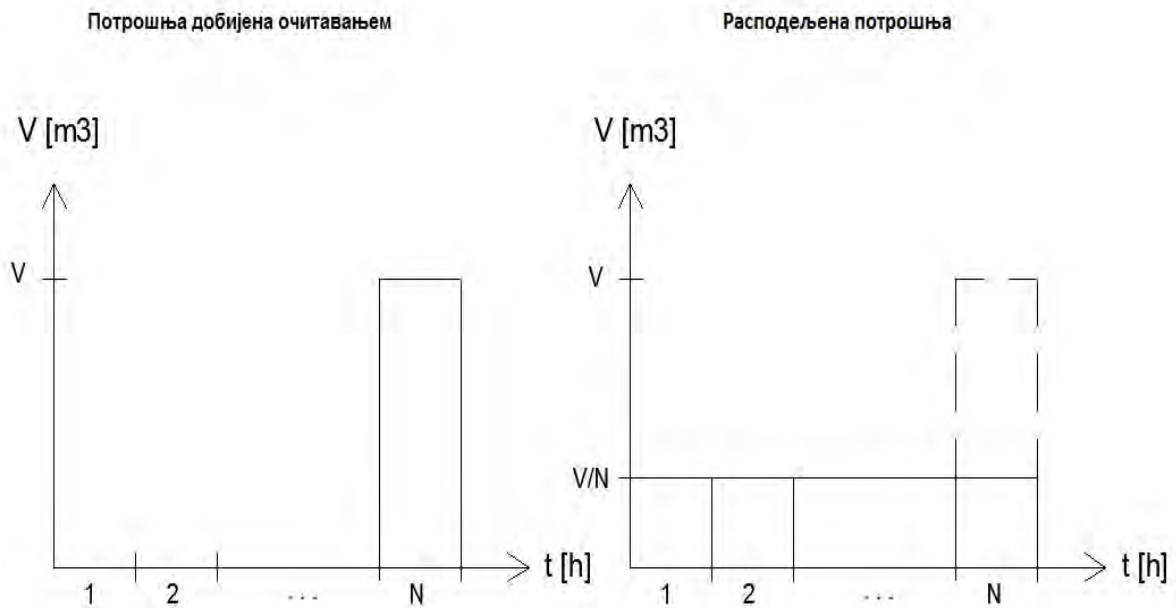
Слика 5.5: Шематски приказ уређаја и веза између њих

**5.2. Обрада података**

Након прикупљања података на терену, прелази се на њихову проверу и обраду. Током провере, примећен је проблем око функционисања опреме. Приликом рачунања потрошње у једном сату ( $\Delta V_i$ ), софтвер прави грешку. Уместо измерене запремине у претходном сату, он користи запремину на почетку мерења. Тако да прва фаза мерења представља израчунавање потрошње за сваки сат, по формули:

$$\Delta V(t_i) = \Delta V(t_i) - \Delta V(t_{i-1})$$

Треба напоменути да сви водомери нису исто програмирани. Наиме, мањи водомери (13, 20, 25, 30 mm) су програмирани тако да им је 1 импулс=1 l, док су они већи (40, 50 mm) програмирани на 1 импулс=1 m<sup>3</sup>. Због поменутих карактеристика уређаја, друга фаза обраде података, представља њихово кориговање где год је то потребно. То значи да потрошњу остварену у временском периоду од неколико сати, а регистровану само у последњем сату тог периода, треба равномерно расподелити дуж целог тог периода. На слици 5.6 дат је графички приказ друге фазе обраде података.



Слика 5.6: Графички приказ редуковања података

Трећа фаза обраде података представља раздвајање корисника по категоријама. За подручје Мегдана, карактеристична су три категорије потрошача: стамбене куће, стамбене зграде и пословни простор (фирме). На основу тога сви корисници су сврстани у једну од ових категорија.

Да би се искључила грубе грешке које се дешавају при свакој обради великог броја података, искључени су подаци који се у у припадајућем сату већи, или мањи од просечне годишње вредности увећане и умањене за три стандардне девијације низа средњих часовних потрошњи за сваки сат, респективно:

$$\text{if } [P > \bar{P} + 3 * Sd] \text{ or } [P < \bar{P} - 3 * Sd]$$

*P* се искључује!

При чему су: *P*-сатна потрошња, *Sd*-стандардна девијација,  $\bar{P}$ -средња вредност за сваки сат. Ове величине су рачунате за сваки сат, па су на тај начин проверени сви подаци.

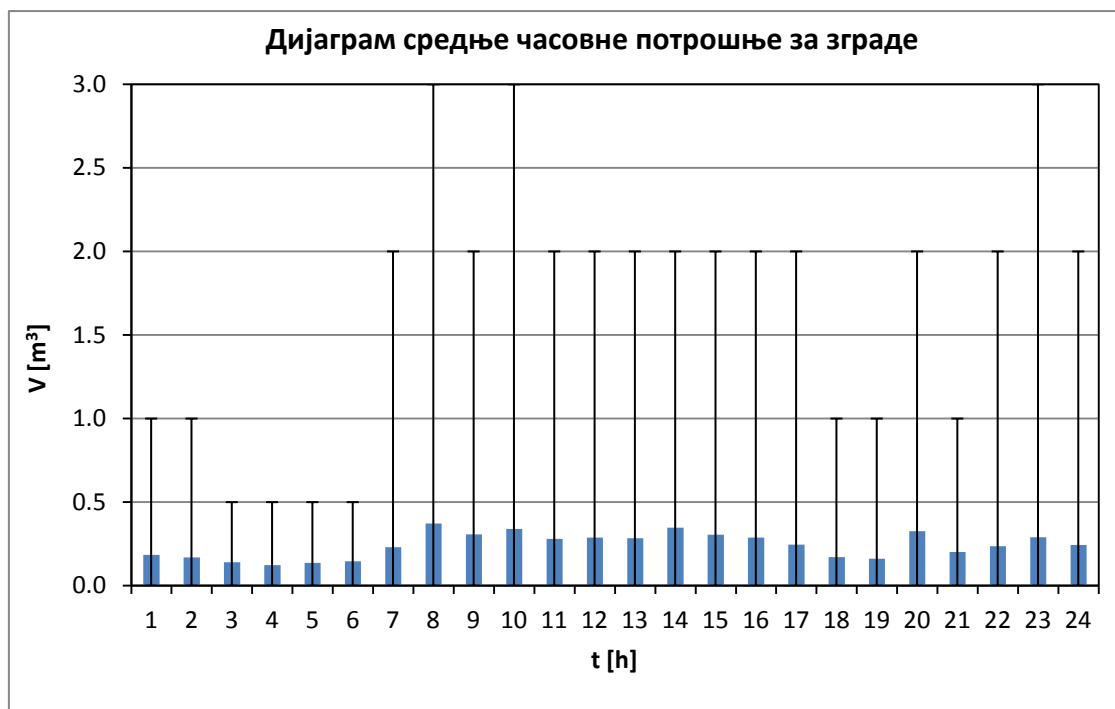
На сликама 5.7, 5.8 и 5.9 приказане су средње вредности часовне потрошње по категоријама, са часовним максимумима и минимумима.



Слика 5.7: Дијаграм средње часовне потрошње за куће



Слика 5.8: Дијаграм средње часовне потрошње за пословни простор



Слика 5.9: Дијаграм средње часовне потрошње за зграде

### 5.3. Формирање шаблона потрошње

Шаблони (енг. pattern) потрошње представљају часовну промену потрошње у току једног дана. Они битно утичу на појаву осцилације притисака у току дана. Како постоје три категорије потрошача, за сваку од њих су одређени шаблони потрошње на основу следеће формуле:

$$pattern(i) = \frac{24 * P_{sr}(i)}{\sum_1^{24} P(i)}$$

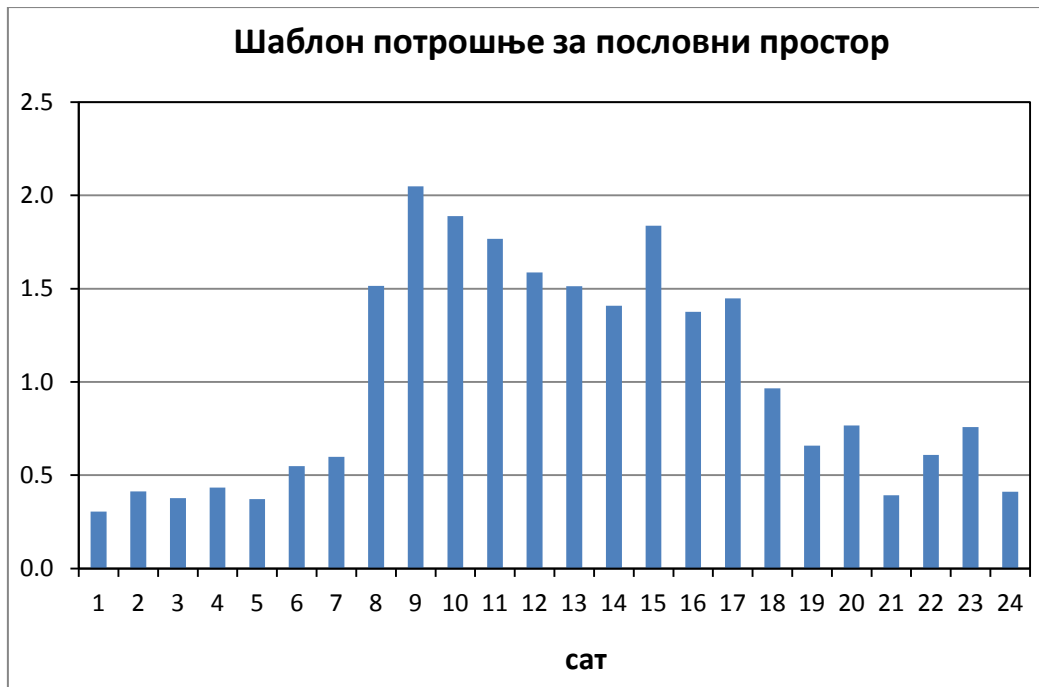
при чему је  $P_{sr}$  средња вредност потрошње за сваки сат, а  $\sum P_{sr}$  укупна потрошња у том току 24 часа, а  $i$  временски пресек.

На сликама 5.10, 5.11 и 5.12 су приказани шаблони потрошње за сваку наведену категорију потрошача.



Слика 5.10: Шаблон потрошње за куће





Слика 5.11: Шаблон потрошње за пословни простор

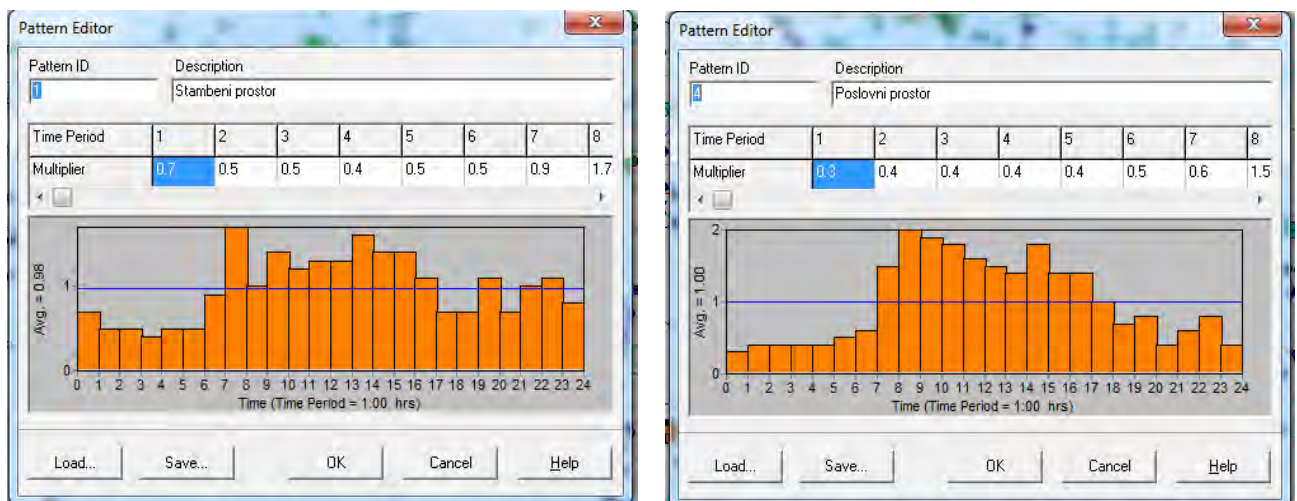


Слика 5.12: Шаблон потрошње за зграде

Уз претпоставку да је понашање потрошача стохастичке природе, шаблони потрошње одређују се статистичком обрадом мерених података. Према томе, на шаблон потрошње битно утиче и величина узорка. Што већи узорак потрошача имамо, то ће и изглед дијаграма потрошње бити правилнији, и након неког оптималног броја

податак, шаблони потрошње се неће мењати. У прилогу 1, 2 и 3 дат је табеларни приказ шаблона потрошње у зависности од величине узорка. У датим прилозима се види како се мења изглед шаблона потрошње с повећањем узорка.

Како и зграде и куће спадају у стамбене објекте, обједињене су у једну категорију-стамбени простор. На основу тога одређени су шаблони потрошње за стамбени и пословни простор, који су унети у математички модел у програмском пакету EPANET. На *слици 5.13* дати су прикази тих шаблона.



Слика 5.13: Коначни шаблони потрошње

Мора се напоменути да код већих водомера (40, 50 mm), постоје и други начини за расподељивање потрошње. Како је већина тих водомера прикачена за потрошаче који спадају у категорију стамбених зграда, на том примеру ће бити приказан други начин за расподелу потрошње. Пошто је констатовано да и зграде и куће спадају у једну исту групу потрошача (становништво), може се на основу шаблона добијеним за куће, кориговати потрошња где год је то потребно. На *слици 5.14* приказани су шаблони потрошње за зграде, одређени након кориговања потрошње на малопре поменут начин.



Слика 5.14: Шаблони потрошње за зграде

У рекалибрацији модела је коришћен први начин за распоређивање потрошње, јер се сматра да је он тачнији са аспекта статистике.

Такође мора се напоменути да постоје потрошачи који одступају од дефинисаних шаблона потрошње, поготову они који спадају у категорију пословног простора, на пример пекаре које имају значајну потрошњу у току ноћи.

## **6. Рекалибрација модела**

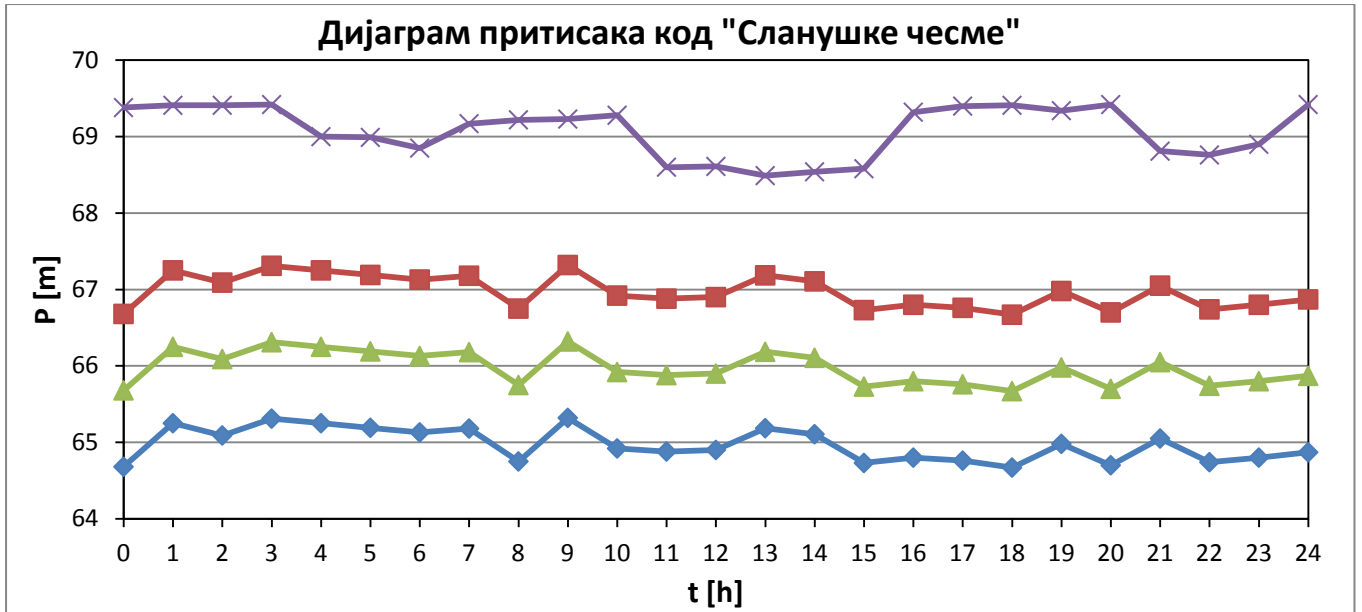
Мерењем потрошње на терену и израчунавањем шаблона потрошње статистичком обрадом мерених вредности, добијен је улазни податак математичког модела за који се претпоставља да има мању грешку и неизвесност од шаблона податка из литературе. Након уношења шаблона у математички модел, упоређени су притисци добијени у моделу са притисцима измереним на терену, тј спроведена је поновна калибрација модела.

Мерење притисака је извршено на три локације: упис *црпне станице* „Златиборски пут“, „Сланушка чесма“ и „Севал Импол“ у Севојну. На слици 6.1 дат су позиције сва три мерна места у систему.



Слика 6.1: Позиције три мерна места у систему приказане у програму MapInfo Professional

Како ОЗБ Мегдан, на којој је узвршено мерење на основу којих су формирано шаблони потрошње, припада ниској зони, тј. ужем градском језгру Ужица, меродавно место за упоређивање притисака је „Сланушка чесма“ (Junction 10359). Остала два мерна места налазе се ван градског језгра. На слици 5.13 дат је графички приказ притисака измерених на терену и притисака добијених прорачуном у математичком моделу програмског пакета EPANET.



Слика 6.2: Дијаграми притисака након уношења шаблона потрошње

при чему је:

- ♦— доња граница
- горња граница
- ▲— притисци добијени мерењем на терену
- ×— притисци из модела

Као што се може приметити притисци добијени у моделу, су за око 3 m, односно 0,3 bar већи од притисака добијених мерењем на терену, а око 2 m, односно 0,2 bar већи од горње дозвољене границе. Зато се мора урадити рекалибрација математичког модела.

### **6.1. Калибрација математичког модела**

Како је математички модел преузет из рада [4]<sup>2</sup>, у ком су шаблони потрошње прузети из литературе мора се урадити његова рекалибрација.

У поменутом раду, у модел су убачени емитери. Емитери служе да симулирају губитке воде у чворовима мрежи, у зависности од притисака који се јављају у том чвору. Губици воде у емитерима рачунају се по следећој формули:

$$q = C \cdot p^\gamma$$

При чему су:

- q-проток губитака воде,
- C-коэффициент,
- p-притисак у том чвору,
- $\gamma$ -коэффициент који може бити од 0.5-1,2.

С обзиром да свака зоне потрошње има оцену губитака, и различиту дужину ценовода коју обухвата (што су ценоводи дужи, већи су губици на њима), коэффициент С је одређен на следећи начин:

$$C = O \cdot L \cdot A$$

Где је :

- C-коэффициент емитера,
- O-оцена губитака воде у зони потрошње,
- L-дужина ценовода у одређеној зони потрошње,
- A-параметар који се мења да би се добиле приближно исте вредности притиска.

Губици воде нису исти у свакој зони потрошње (делу мреже која се снабдева са једног резервоара) јер:

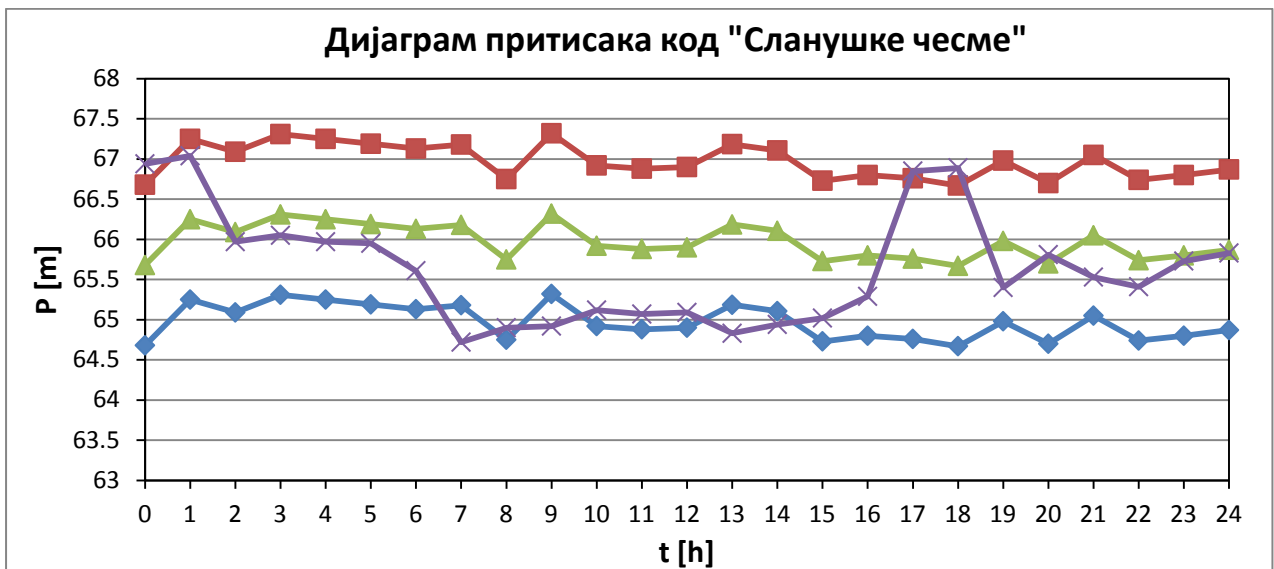
- зависе од притисака у мрежи који се разликују за сваку зону,

---

<sup>2</sup> Александра Топаловић (2012):, Предлог решења проблема високих притисака дела водоводне мреже града Ужица под називом Бело гробље“, дипломски рад, Грађевински факултет у Београду

- зависе и од старости цевовода (старије дистрибуционе мреже су чешће склоне процуривању).

Из тог разлога је стручни кадар из „ЈКП „Ужице“ дао оцену губитака воде у свакој зони потрошње, а зона има укупно 53. Најмање губитака имају зоне оцењене са 1, а највише са 5. У свакој зони се одреди чвор са највећим притиском. Процењена теоријска вредност коефицијента  $\gamma$  је 0,5. Како губици зависе од притиска, а услед притиска долази до повећања рупа, тако је вредност коефицијента  $\gamma$  већа од 0,5. Симулацијом модела са унетим подацима у EPANET-у, добијени су дијаграми притисака код „Сланушке чесме“ као на слици 6.3.



Слика 6.3: Дијаграм притисака код „Сланушке чесме“ након калибрације

при чему је:

- ♦— доња граница
- горња граница
- ▲— притисци добијени мерењем на терену
- ×— притисци из модела

Као што се види са датог дијаграма, за вредност коефицијента  $\gamma=1,1$ , симулацијом су добијени притисци који се налазе у дозвољеном опсегу, и приближно су једнаки притисцима добијеним на терену. Може се закључити да је претходно одређена вредност коефицијента  $\gamma$  задовољавајућа.



## **7. Закључак**

У овом раду су одређене позиције основних зона билансирања (ОЗБ), за ниску зону града Ужица, на основу критеријума да свака зона треба да има између 150 и 250 водомера, и највише два улаза, али исто тако да мора да се задовољи квалитет снабдевања потрошача. Након тога су предлози проверени предлога ОЗБ у математичком моделу програмског пакета EPANET, затварањем појединих цеви. На основу тога констатовано је снижење притисака од 2 до 7 метара. На основу добијеног снижења притисака, позиције ОЗБ су се показале као добре.

Како је дистрибутивна мрежа високе зоне сама по себи граната, у њој није вршено одређивање ОЗБ. Наиме, свака грана представља посебну ОЗБ, с тим да се мора водити рачуна о економском аспекту формирања исте (број и цена затварача).

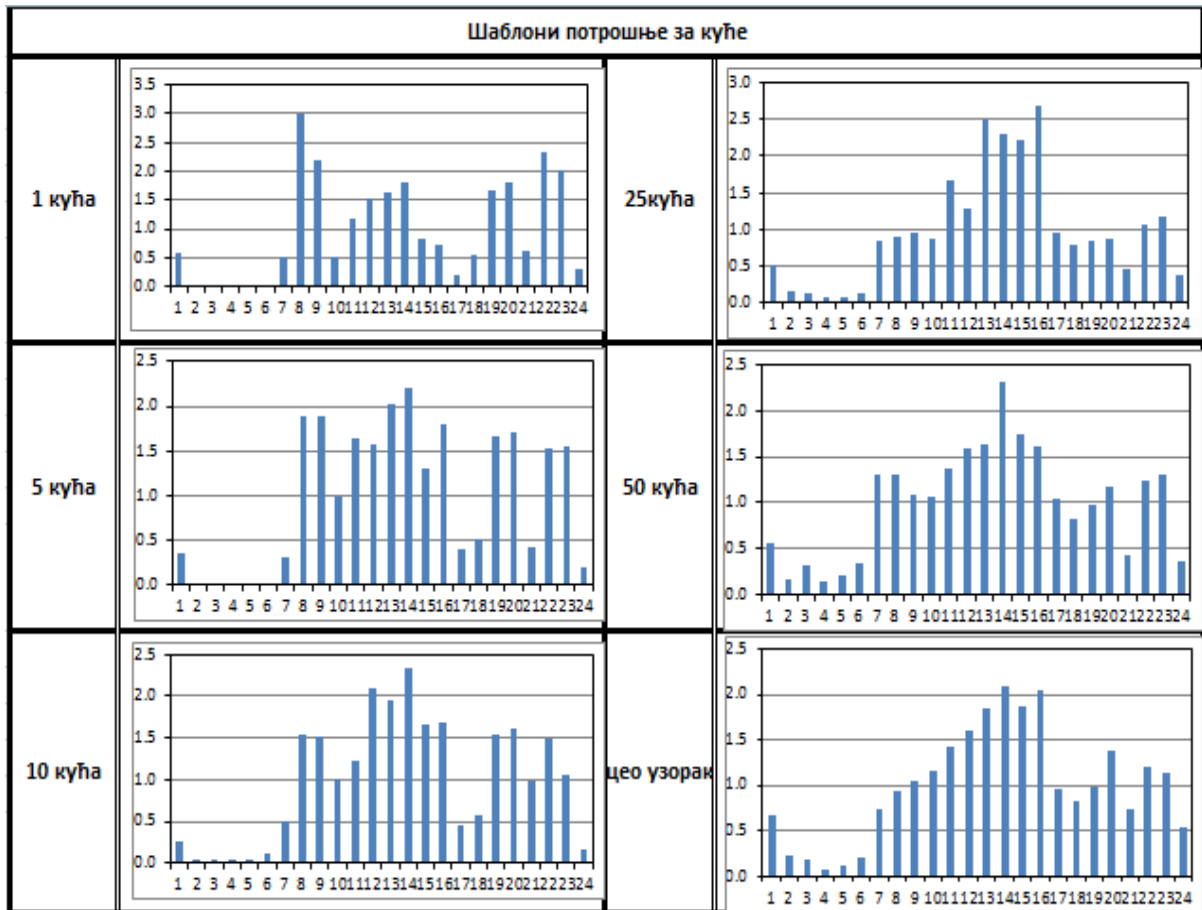
У оквиру ниске тоне формирана је експериментална ОЗБ Мегдан, која је опремљена водомерима на даљинско читавање. На њој је извршено двадесетчетворочасовно читавање водомера, и на основу тога формиран шаблон потрошње. Ти шаблони су унети у постојећи математички модел, а затим је извршена провера притисака мерених на терену са притисцима добијеним из модела. Како је модел калибрисан на основу теоријских, а овде је рађено са стварним шаблонима потрошње, урађена је његова рекалибрација.

Рекалибрација се показала као успешна, јер је добијено слагање притисака добијеним у моделу са притисцима измереним на терену код „Сланушке чесме“.

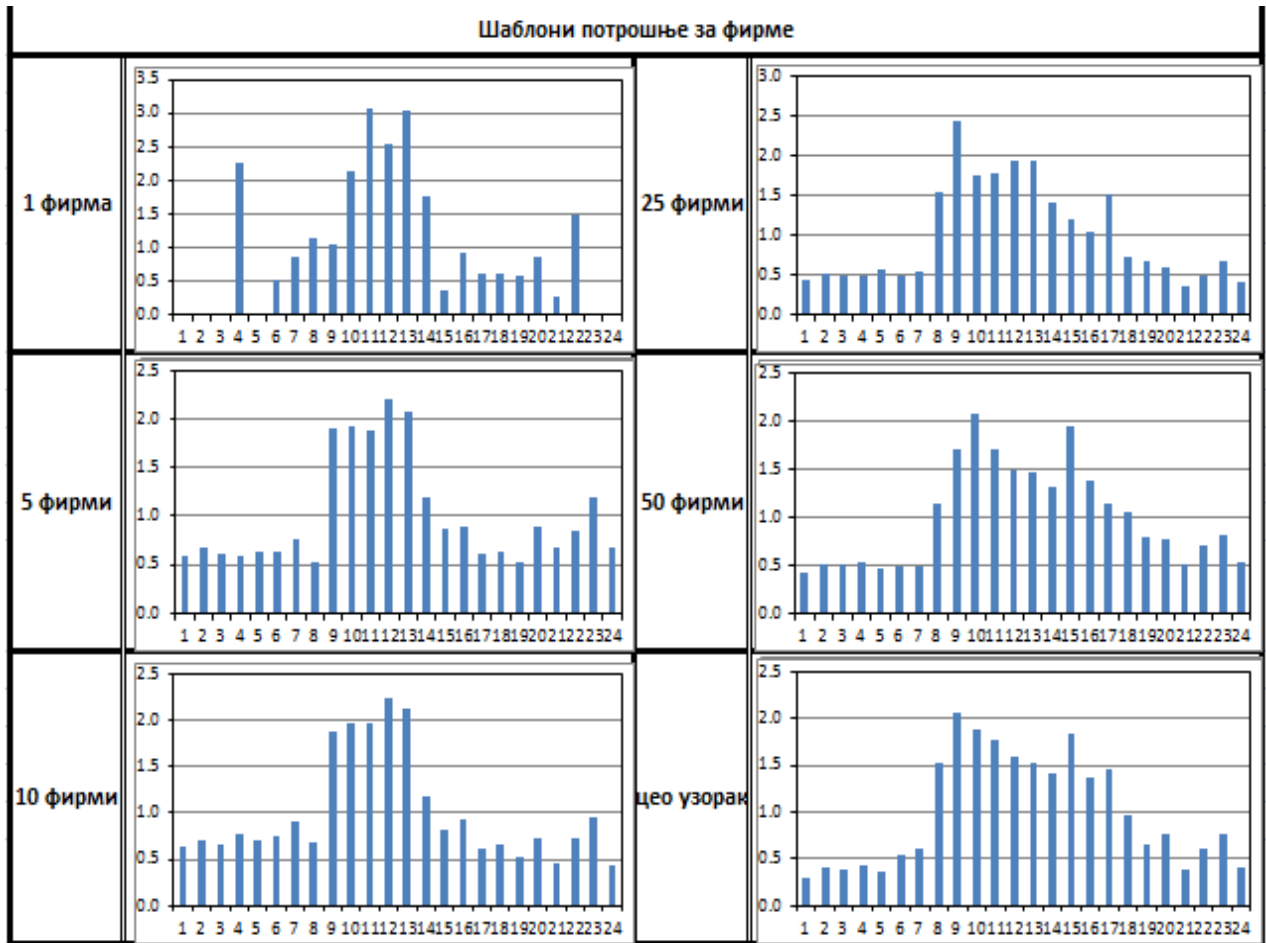
Приказана методологија треба да постане редовна пракса, јер се на тај начин добијају подаци неопходни за моделирање водоводне мреже. Престаће потреба за коришћењем шаблона из литературе, који се често некритички користе.

## 8. Прилози

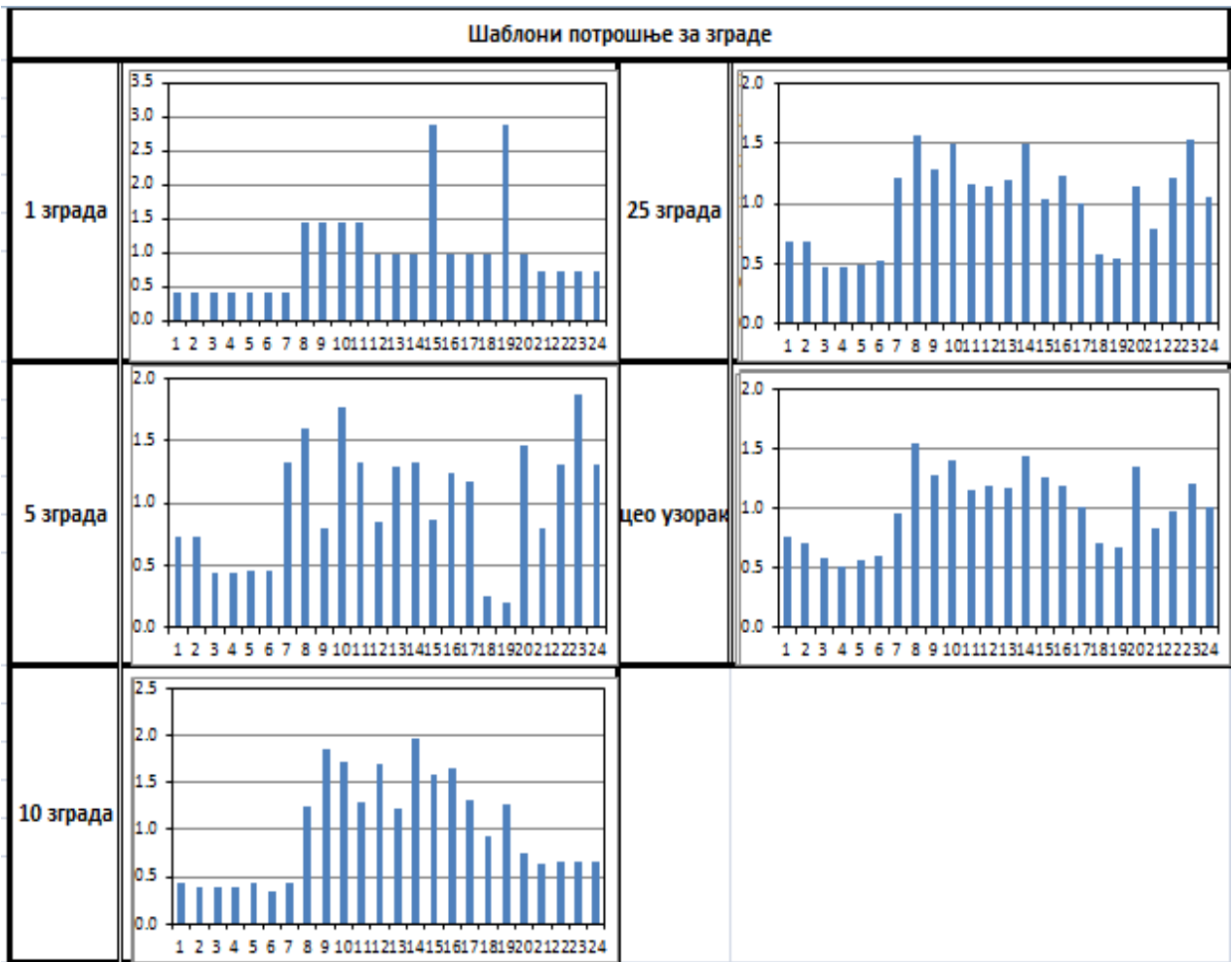
**-Прилог 1:** Табеларни приказ зависности шаблона потрошње од величине узорка за категорију куће



-Прилог 2: Табеларни приказ зависности шаблона потрошње од величине узорка за категорију фирме



-Прилог 3: Табеларни приказ зависности шаблона потрошње од величине узорка за категорију зграде



## **9. Литература**

- [1] Мр Зоран Пантић, дипл.инг., *Генерално решење дистрибуционог система Ужица*, 2001.
- [2] <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html> –сајт Епанета
- [3] Марко Иветић, Душан Продановић, Љиљана Јанковић: *Основне зоне билансирања – упуство*, превод извештаја радне групе за губитке IWA, 2008.
- [4] Александра Топаловић, Дипломски рад, *Предлог решења проблема високих притисака дела водоводне мреже града Ужица под називом Бело гробље*, Грађевински факултет Београд, 2012.
- [5] Бојана Павловић, Дипломски рад, *Могућност за смањење губитака у водоводном дистрибутивном систему Ужица*, Грађевински факултет Београд, 2012.
- [6] Милоје Милојевић: *Снабдевање водом и каналисање насеља*, Грађевински факултет, Београд, 1995.
- [7] Lewis A. Rossman: *EPANET 2 USERS MANUAL*, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH 45268, 2000.