

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Smer operativno gradbeništvo

Kandidat:

**Tadej Brežan**

# **Izdelava hidravličnega matematičnega modela vodovodnega sistema mesta Piran**

**Diplomska naloga št.: 340**

**Mentor:**  
prof. dr. Boris Kompare

**Somentor:**  
asist. dr. Matej Uršič

Ljubljana, 22. 6. 2009

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **TADEJ BREŽAN** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
**»HIDRAVLIČNI MATEMATIČNI MODEL VODOVODNEGA SISTEMA MESTA  
PIRAN«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske  
separatoteke FGG.

Koper, 07.06.09

.....

## BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:

Avtor: Tadej Brežan

Mentor: prof.dr. Boris Kompare

Somentor: Matej Uršič

Naslov: HIDRAVLIČNI MATEMATIČNI MODEL VODOVODNEGA  
SISTEMA MESTA PIRAN

Obseg in oprema:

Ključne besede: Hidravlični model, tlak, pretok, EPANET 2.0, Sewer, poraba, GIS podatki, Rižanski vodovod Koper, hidravlični izračun, kalibracija

Izvleček

V diplomski nalogi sem izdelal hidravlični model mesta Piran in ga primerjal z dejanskimi meritvami pretoka in tlaka na terenu. Hidravlični model je izdelan na podlagi GIS podatkov iz katastra Rižanskega vodovoda Koper. S programom EPANET 2.0 sem na podlagi hidravličnega modela območja mesta Piran časovno simuliral hidravlične razmere enodnevne meritve in požarne obremenitve v območju. Podatke iz terena sem pridobil na podlagi umerjanja modela sistema mesta Piran. Podatke tlaka in pretoka sem primerjal s podatki, ki jih je izračunal program EPANET 2.0 s hidravličnim izračunom.

## BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:

Author: Tadej Brežan

Supervisor: prof.dr. Boris Kompare

Cosupervisor: Matej Uršič

Title: HYDRAULIC MATHEMATICAL MODEL OF DRINKING  
WATER SUPPLY SYSTEM OF TOWN PIRAN

Notes:

Key words: hydraulic model, pressure, flow, EPANET 2.0, Sewer, demand, GIS  
data, Rižanski vodovod Koper, hydraulic computation, calibration

Abstract

In my project I have built a hydraulic model of town Piran and compared it with the actual measurement of flow and pressure in this region. Hydraulic model is made on the basis of GIS database from land register of Rižanski vodovod Koper. Using the program EPANET 2.0 I have simulated hydraulic conditions of one-day's measurement and of the fire protection demand, based on the hydraulic model for region town Piran. Data on actual measurement of flow and pressure in this region have been collected on the basis of calibration of town Piran system's model. I have compared these actual data with the data, which were calculated with hydraulic computation by program EPANET 2.0.

## ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof.dr. Borisu Kompare in somentorju Mateju Uršiču.

Zahvala javnemu podjetju Rižanski vodovod Koper in vsem vpletenim v javnem podjetji, ki so mi pomagali pri izdelavi diplomske naloge, tako z podatki o sistemu, kot tudi z terenskimi meritvami.

Zahvala tudi Leonu Grošlju in podjetju IGL d.o.o. za vso strokovno in tehnično pomoč.

Zahvala moji družini in zvestim prijateljem.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZGODOVINA RIŽANSKEGA VODOVODA KOPER</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>OPIS VODOVODNEGA SISTEMA MESTA PIRAN</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Objekt</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>Cevovodi</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Priključki</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>OPIS PROGRAMA EPANET 2.0 IN OSNOVE HIDRAVLIKE TOKA POD TLAKOM</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Opis programa</b>	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>Objekti za mrežni model in njihov kratek opis</b>	<b>16</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Opis modela</b>	<b>16</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Elementi modela</b>	<b>17</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Opis elementov</b>	<b>17</b>
<b>4.2.3.1</b>	<b>Vozlišče</b>	<b>17</b>
<b>4.2.3.2</b>	<b>Cev</b>	<b>18</b>
<b>4.2.3.3</b>	<b>Vodni vir</b>	<b>18</b>
<b>4.2.3.4</b>	<b>Vodohran</b>	<b>19</b>
<b>4.2.3.5</b>	<b>Črpalka</b>	<b>19</b>
<b>4.2.3.6</b>	<b>Ventili, zasuni, lopute – zaporne armature</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Osnove hidravlike programa EPANET</b>	<b>21</b>
<b>4.4</b>	<b>Osnove hidravlike v cevovodih</b>	<b>21</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Bernoullijeva enačba</b>	<b>21</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Hidravlične tlačne izgube</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>IZDELAVA HIDRAVLIČNEGA MATEMATIČNEGA MODELA</b>	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Zajem podatkov</b>	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Obdelava podatkov</b>	<b>27</b>

<b>5.2.1</b>	<b>Izdelava vodovodnega omrežja</b>	<b>28</b>
<b>5.3</b>	<b>Porabniki</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>VERIFIKACIJA IN OSNOVNO UMERJENJE MODELA</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Verifikacija modela</b>	<b>34</b>
<b>6.2</b>	<b>Osnove umerjenja modela</b>	<b>36</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Opis merilne opreme</b>	<b>36</b>
<b>6.2.1.1</b>	<b>Merilec pretoka Magmeter 2552</b>	<b>36</b>
<b>6.2.1.2</b>	<b>Merilec tlaka Type PWB-DS1/40/1</b>	<b>39</b>
<b>6.2.1.3</b>	<b>Merilec tlaka Model XX</b>	<b>40</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Postavitev merilnih naprav</b>	<b>41</b>
<b>6.2.2.1</b>	<b>Merilec pretoka</b>	<b>41</b>
<b>6.2.2.2</b>	<b>Merilec tlaka</b>	<b>42</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Primerjava podatkov</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>HIDRAVLIČNI IZRAČUNI ZA RAZLIČNE HIDRAVLIČNE RAZMERE</b>	<b>48</b>
<b>7.1</b>	<b>Minimalna poraba</b>	<b>48</b>
<b>7.2</b>	<b>Izbruh požara</b>	<b>49</b>
<b>7.3</b>	<b>Puščanje</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>57</b>
	<b>VIRI</b>	<b>60</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam upoštevanih cevovodov .....	12
Preglednica 2: Seznam cevovodov po notranjemu premeru .....	14
Preglednica 3: Primer podatkov vodovodnih priključkov z mesečno porabo .....	15
Preglednica 4: Tipi ventilov glede na njihovo funkcijo .....	20
Preglednica 5: Povprečna hrapavost $\varepsilon$ (Jordan, 1983).....	24
Preglednica 6: Tabela porabe po vozliščih na izbrani dan v mesecu maju: .....	32
Preglednica 7: Izračun H-dimenzije .....	37
Preglednica 8: Seznam merilnikov in njihova lokacija vgradnje .....	43
Preglednica 9: Višina H nad vozliščem .....	45



## KAZALO GRAFIKONOV

Graf 1: Vzorec dnevne porabe.....	31
Graf 2: Časovni diagram pretoka na istočni cevi raztežilnika Piran .....	42
Graf 3: Prikaz tlakov v izbranih vozliščih .....	48
Graf 4: Prikaz pretokov po izbranih ceveh .....	49
Graf 5: Pretok v izbranih ceveh .....	52
Graf 6: Iztok iz raztežilnika Piran.....	53
Graf 7: Rezultati meritev z merilnikom tlaka Model XX.....	54

## KAZALO SLIK

Slika 1: Načrt vodovodnega omrežja mesta Piran iz leta 1939 .....	8
Slika 2: Pogled na vodovodno celico .....	9
Slika 3: Plovni ventil v raztežilniku Piran.....	10
Slika 4: raztežilnik Piran .....	10
Slika 5: Vodovodno omrežje mesta Piran .....	11
Slika 6: Shema elementov v hidravličnem modelu programa EPANET .....	16
Slika 7: Odsek cevi med 1 in 2 - s pomočjo Bernoullijeve enačbe izrazimo zakon o ohranitvi energije (Jordan, 1983) .....	22
Slika 8: Zmanjšanje tlačne višine za premagovanje trenja hf na dolžini cevi v smeri toka (Jordan, 1983) .....	23
Slika 9: SDMS programsko orodje.....	27
Slika 10: Programsko okno programa AutoCAD z dodatkom Sewer .....	29
Slika 11: Pogovorno okno Status Report.....	35
Slika 12: Pogovorno okno Run Status .....	35
Slika 13: Prikaz izračuna H-dimenzije .....	38
Slika 14: Registrator podatkov MRE 301 .....	39
Slika 15: Merilec tlakaType PWB-DS1/40/1 in registrator podatkov PWBlogg N5/4.....	40
Slika 16: Merilec tlaka Model XX .....	41
Slika 17: Prikaz lokacije merilnih mest.....	44
Slika 18: Primerjava tlakov Piran Punta.....	45
Slika 19: Primerjava tlakov Piran Akvarij.....	46
Slika 20: Prikaz modela z programom EPANET, ko je ta umirjen.....	47
Slika 21: Požar Piran Punta .....	50
Slika 22: Požar hotel Piran .....	50
Slika 23: Prikaz hidravličnega stanja s programom Epanet v času simuliranja požara .....	51
Slika 24: Predlog sanacije mesta Piran.....	56

## 1 UVOD

Hidravlično modeliranje je orodje, ki nam omogoča ne le spoznavanje in obvladovanje obstoječih tlačnih in pretočnih razmer na vodooskrbnem sistemu, temveč nudi tudi možnost za njegovo optimalno izrabo, ali optimalno zasnovo oziroma širitev vodooskrbnega sistema. Je orodje, ki omogoča simulacije različnih variant širitev v zasnovah idejnih projektov ter izbor optimalne variante za realizacijo. Verificiran hidravlični model obstoječega vodooskrbnega sistema potrjuje ali ovrže smiselnost ukrepov, ki jih želimo privzeti tekom obratovanja, na primer v primerih zelenih reorganizacij pretokov, vključevanja novih vodnih virov, ugotavljanja defektov na omrežju ali napak na merilnih napravah in drugo, kar se kaže v odstopanju rezultatov modela, od realnega stanja – meritev na terenu. Usmeritev razvoja vodooskrbe ni nujna samo v sanaciji, temveč tudi v modernizaciji oziroma posodobitvi obstoječega sistema.

V diplomski nalogi je izdelan hidravlični model vodovodnega sistema mesta Piran, ki je del vodovodnega sistema, ki ga ima v oskrbi Rižanski vodovod Koper. Naloga obravnava le hidravlično modeliranje (program omogoča tudi analizo kvalitete vode), in sicer tlačne razmere ter pretok.

Cilji diplomske naloge so:

- ◆ spoznati in v praksi uporabiti hidravlični program EPANET 2.0 (U.S. Environmental Protection Agency, 2000),
- ◆ izdelati matematični model merilnega območja mesta Piran,
- ◆ izvesti meritve tlaka in pretoka na merilnem območju mesta Piran,
- ◆ primerjati rezultate matematičnega modela z rezultati meritev na terenu in
- ◆ preveriti umerjen matematični model območja mesta Piran.

V drugem poglavju je predstavljena zgodovina Rižanskega vodovoda Koper. Pomanjkanja pitne vode v slovenski Istri sega že stoletje nazaj in konstantno reševanje tega problema. V tretjem poglavju je opisano sedanje stanje vodovodnega sistema mesta

Piran. Predstavljeno je delovanje in struktura vodovodnega sistema in nato še opis stanja vodovoda območja mesta Piran. V četrtem poglavju so predstavljene in opisane osnovne značilnosti programa EPANET 2.0, postopek nastanka modela iz osnove GIS podatkov do vnosa v modela programa EPANET. V petem poglavju je opisan nastanek modela z vsemi podrobnostmi, ki se vnesejo v program EPANET. To je od zajema podatkov in urejanja podatkov. Prikazana je razporeditev porabe po vozliščih. V šestem poglavju je prikazana verifikacija in umirjanje modela. Opisani in prikazani so merilniki pretoka in tlaka. Predstavljen je tudi ves potek meritev po omrežju. Sledi tudi primerjava dejanskih podatkov iz merilcev in podatki iz modela. V sedmem poglavju so prikazane tri hidravlične simulacije z predlaganimi rešitvami.

## 2 ZGODOVINA RIŽANSKEGA VODOVODA KOPER

Začetki reševanja vodo oskrbe v Slovenski Istri segajo daleč nazaj. Najstarejši dokaz za to so lesene vodovodne cevi, ki so bile najdene pri obnovi komunalne infrastrukture na Prešernovem trgu v Kopru leta 1994. Starost teh cevi, ki so bile zaradi spajanja konusne oblike, je bila ocenjena na preko 700 let.

Proti koncu 19. stoletja so bili za potrebe Kopra, Izole in Pirana zgrajeni lokalni vodovodi z zajetji manjših vodnih virov v okolici, ki pa v sušnih obdobjih niso zadoščali niti za najnujnejše potrebe po pitni vodi.

Šele po prvi svetovni vojni so se začela razmišljanja o pravi organizirani vodo oskrbi Istre. Izdelali so več projektov, med njimi so najbolj znani Rossovi in Veronesejevi, ki pa zaradi dragih rešitev niso bili sprejeti.

Zasnove teh projektov so namreč obdelovale vodo oskrbo celotne Istre in Kvarnerskih otokov. Po temeljiti predelavi teh načrtov leta 1931 se je pričela gradnja vodovodnih sistemov Rižana, Mirna in Raša.



VODNJAK NA PREŠERNOVEM  
TRGU V KOPRU

Največja gostota prebivalstva je bila na območju sedanje Slovenske Istre, zato so dali prednost projektiranju in gradnji Rižanskega vodovoda. Izvedbeni projekti so bili končani novembra 1933, gradnja, ki naj bi predvidoma trajala dve leti, pa se je začela junija 1934. Zaradi odlične organizacije del in velikega števila delavcev (do 1800 dnevno), pa je bil sistem vodovoda zgrajen prej kot v enem letu.

Ta podvig je še danes vreden spoštovanja. Maja 1935 je tako pritekla voda po novem vodovodu do vseh treh obalnih mest. Takrat je bilo ustanovljeno tudi podjetje Rižanski vodovod, ki sedaj že 65 let skrbi za vodo oskrbo Slovenske Istre in je tako najstarejše podjetje na tem območju.



GRADNJA VODOVODA MED  
KOPROM IN IZOLO

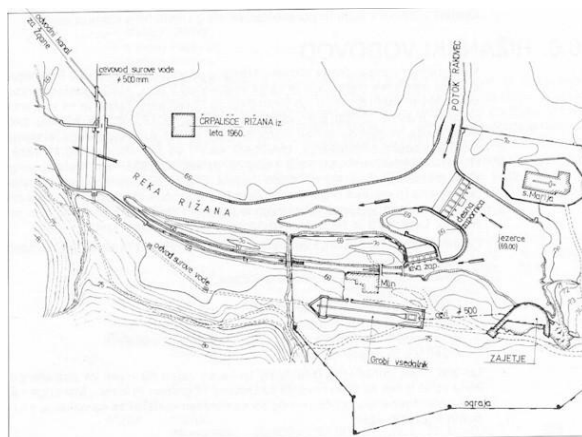
Prvi vodovod je deloval po gravitacijskem principu. Da je bilo to mogoče, je bilo na 35 km dolgi trasi od izvira Rižane do Portoroža zgrajeno tudi 6 predorov skupne dolžine preko 4 km.

Vodovod je bil sestavljen iz naslednjih glavnih delov: zajetje izvira Rižane z jezom za dvig nivoja, cevovod surove vode do vodarne, vodarna Rižana (kjer je bila že takrat vgrajena ozonizacija), tranzitni vodovod Rižana – Koper – Izola – Portorož – Piran z rezervoarji ter veje za Ankaran in Valdoltro, Dekane in Sečovlje.

Zmogljivost vodovoda je bila 90 l/s. Vodo oskrba treh mest in priobalnega pasu se je zagotavljala z javnimi izlivkami. Poraba vode je bila takrat zelo majhna, hitro pa je začela naraščati po drugi svetovni vojni, ko je slovenski del Istre pripadel Sloveniji. Gospodarskemu razvoju, zlasti turizma ter industrije, je sledila rast prebivalstva. Zato so se težave pri oskrbi s pitno vodo povečale.

Vodovod, ki je bil zgrajen leta 1935, tako že leta 1960 ni več zadoščal za vse potrebe po pitni vodi. Zato je bilo leta 1961 zgrajeno črpališče pri izvira Rižane, s katerim je bil prvotni težnostni sistem vodovoda spremenjen v tlačni, s tem pa povečana zmogljivost od 90 na 180 l/s.

Povečana zmogljivost vodovoda je zadoščala le za kratek čas, saj so se potrebe še naprej hitro večale.



SITUACIJA IZVIRA RIŽANE

Z raziskavami, ki so jih vodili strokovnjaki Rižanskega vodovoda in Geološkega zavoda iz Ljubljane, so v Sečovljah odkrili dva vodna vira, s skupno izdatnostjo 100 l/s (ob dolgih sušah samo 40 l/s). Zajetje virov Bužini in Gabrijeli, vodarna v Sečovljah in tranzitni cevovod do Portoroža, so bili zgrajeni leta 1965. Vendar pa je tudi ta dodatna količina vode zadostovala samo za kratko obdobje. Zato je bilo potrebno iskati nove rešitve.

Leta 1969 je bila sprejeta odločitev o zagotovitvi dodatnih količin vode iz hrvaške Istre. Z Istrskim vodovodom Buzet in Vodovodom Pula je bila sklenjena pogodba o skupnem investiranju v nov vodovodni sistem z zajetjem izvira Gradole ob Mirni. Na podlagi te pogodbe in kasnejših aneksov so bile pridobljene pravice dobave vode iz Gradol. Po navedeni pogodbi leta 2005 prenehajo vse pravice dobave vode iz Gradol.

Od leta 1980 dalje so se več kot 15 let izvajale hidrogeološke raziskave v dolinah Rižane, Ospa in Dragonje. Določeno je bilo vplivno območje in varstveni pasovi izvira Rižane. Odlok o varstvenih pasovih in zaščiti izvira je Skupnost obalnih občin sprejela leta 1988. V ostalih občinah, kjer se nahaja približno 2 tretjini varstvenih pasov (Kozina, Ilirska Bistrica, Buzet), pa Odlok ni bil sprejet.

Drugi pomemben cilj raziskav so bile zaloge podtalnice, z namenom, da bi se vodo oskrba zagotovila iz lastnih vodnih virov. Dodatne količine vode, ki so bile na podlagi pridobljenih rezultatov raziskav zajete leta 1987 iz podtalnice z vodnjaškimi črpališči Tonaži in Podračje (skupno 240 l/s za vodo oskrbo), so bile sicer zelo dragocene za izboljšanje razmer v vodo oskrbi. Vendar pa so te količine mnogo manjše od prvotnih napovedi hidrogeologov glede zalog podtalnice v kraških vodonosnikih zaledja izvira Rižane, ki so bile ocenjene na 600 l/s.

Srednjeročni in dolgoročni program razvoja vodo oskrbe obalnega območja je bil sprejet leta 1984.

Temeljni dejavniki, ki so določali razmere in pogoje za vodo oskrbo v Slovenski Istri v obdobju pred sprejetjem Programa in še nekaj let kasneje, so bili naslednji:

- ◆ popolna dotrajanost in nezadostna zmogljivost osnovnega vodovodnega sistema, ki je bil zgrajen leta 1935,
- ◆ pogoste velike okvare na glavnih napravah (lomi) s prekinitvami in motnjami vodo oskrbe,
- ◆ veliko pomanjkanje rezervoarjev in neustrezna požarna varnost,
- ◆ visoke izgube vode, s trendom stalnega naraščanja,
- ◆ preobremenitev stare čistilne naprave v Rižani, slabšanje kvalitete pitne vode,
- ◆ pretirano nizka cena vode, s posledicami: onemogočeno nujno vzdrževanje omrežja in naprav, večanje obsega stroškov popravil, naraščanje porabe vode, in vedno težji
- ◆ ekonomski položaj podjetja Rižanski vodovod.

Take razmere so po večmesečni suši v avgustu in septembru 1987 privedle do zloma vodo oskrbe. Neizogibne so bile redukcije za vse porabnike, z daljšimi prekinitvami dobave vode. Zaradi izmeničnega polnjenja in praznjenja posameznih delov vodovodnega omrežja, je zlasti v starih mestnih jedrih Kopra, Izole in Pirana, grozila nevarnost vdora kanalizacijskih odplak in s tem okužba vodovodnega omrežja.

Predlagan je bil program investicij z vodo oskrbo in najpomembnejši izvedeni cilji programa so:

- ◆ Zgrajen je nov magistralni vodovodni sistem za dolgoročno vodo oskrbo in požarno varnost,
- ◆ vse bistvene naprave sistema, ki obsega skupno 900 km omrežja in preko 200 objektov, so daljinsko nadzirane in vodene, kar omogoča stalno kontrolo, hitro ukrepanje in zanesljivo vodo oskrbo,
- ◆ namesto sanacij okvar se sredstva načrtno vlagajo v najnujnejša vzdrževalna dela,
- ◆ z novo čistilno napravo v Rižani, ki deluje s tehnologijo ultrafiltracije, je dosežena visoka kvaliteta in zdravstvena neoporečnost pitne vode,
- ◆ s povezavo vodo oskrbnih sistemov Obale in Krasa z magistralnim cevovodom Rižana-Rodik (17 km), je Obala pridobila do 130 l/s vode iz Klaričev, kar



pomeni tudi večjo varnost v primeru onesnaženja izvira Rižane. Istočasno se je v sistemu Kraškega vodovoda zelo izboljšala kvaliteta vode (večji pretoki in izmenjava vode), za vrsto naselij na Krasu pa je bilo s tem možno zagotoviti oskrbo s pitno vodo,

- ◆ med najpomembnejšimi rezultati izvedenega programa je tudi bistveno zmanjšanje izgub vode. Leta 1987 so relativne izgube v sistemu RVK dosegle 43 %, kar je ustrezalo količini 5,8 mio m<sup>3</sup> vode letno. V sedanjih razmerah so relativne izgube vode 29 % ali količinsko 2,6 mio m<sup>3</sup>/leto. Zmanjšanje izgub za 3,2 mio m<sup>3</sup> letno predstavlja praktično vodni vir zmogljivosti 100 l/s.

Kronološki pregled reševanja vodo oskrbe v Slovenski Istri:

- ◆ do 19.stoletja: oskrba iz zasebnih in javnih vodnjakov,
- ◆ druga polovica 19.stoletja: lokalni vodovodi v starih mestnih jedrih Kopra, Izole in Pirana, z zajetjem manjših lokalnih virov,
- ◆ 1935: zgrajen prvi vodovodni sistem z zajetjem izvira Rižane,
- ◆ 1963: prvo povečanje odjema iz Rižane na 150 l/s,
- ◆ 1965: vključitev vodnih virov Bužini in Gabrijeli v Sečovljah (100 l/s),
- ◆ 1970: začetek intenzivne gradnje omrežij na višinskem vodovodu,
- ◆ 1971: vključitev dobav vode iz sistema Gradole
- ◆ 1980: začetek sistematičnih hidrogeoloških raziskav za ugotovitev podzemnih zalog in vplivnega območja izvira Rižane,
- ◆ 1986: določeno vplivno območje in varstveni pasovi izvira Rižane,
- ◆ 1987: zajetje podtalnice za izvirom Rižane (vodnjaška črpališča), povečava odjema na 240 l/s; povečanje zmogljivosti čistilne naprave Rižana na 200 l/s,
- ◆ 1989 do 1997: izvajanje programa vodo oskrbe v petih fazah.



Slika 1: Načrt vodovodnega omrežja mesta Piran iz leta 1939

### **3 OPIS VODOVODNEGA SISTEMA MESTA PIRAN**

Mesto Piran leži na samem rtu piranskega polotoka. Vodovodno omrežje se napaja iz rezervarja Bernardin ter iz raztežilnika Piran. Rezervar Bernardin napaja nižje ležeče predele, medtem ko raztežilnik Piran napaja višje ležeče predele. Pri izdelavi modela bom upošteval, da se celotno območje mesta Piran, napaja iz raztežilnika Piran. Do te odločitve je prišlo, zaradi trenutnega stanja na vodovodnem sistemu Piran. V neposredni bližini napajalnega vodovoda za območje nižje ležečega predela mesta Piran, se izvajajo gradbena dela in je zaradi preventivnih ukrepov, napajanje iz rezervarja Bernardin, cevovod zaprt.

#### **3.1 Objekt**

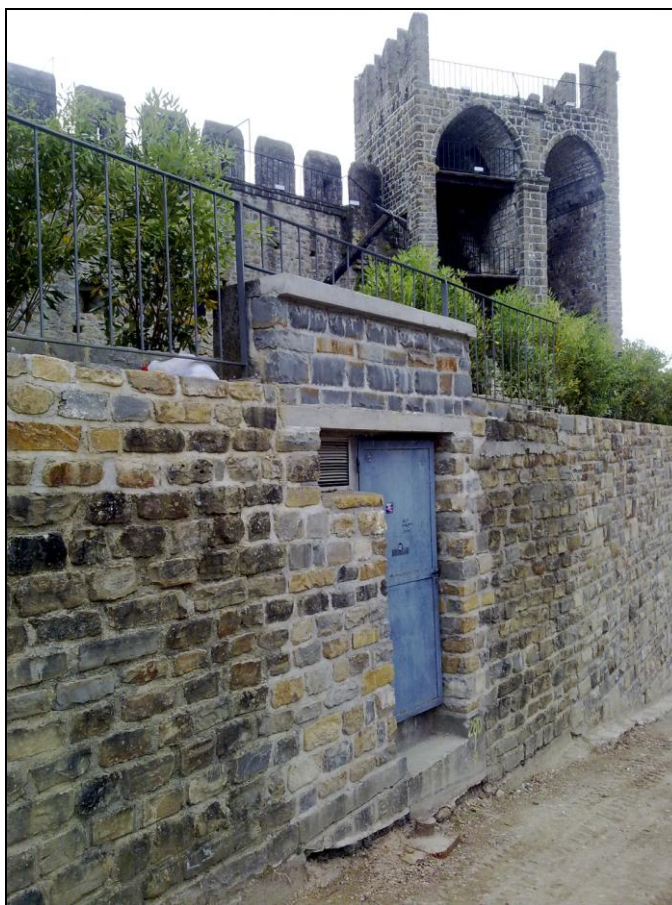
Zaradi razmer v času izdelave diplomske naloge, je edini objekt v obravnavanem omrežju, raztežilnik Piran. Njegova vodna celica drži volumen  $20\text{m}^3$  in z koto dna 58,88 m.n.m. Vodna celica je pravokotne oblike. Raztežilnik Piran se napaja iz rezervarja Moštra, z volumnom vodne celice  $120\text{m}^3$  in koto dna 91,81 m.n.m.



**Slika 2: Pogled na vodovodno celico**



**Slika 3: Plovni ventil v raztežilniku Piran**

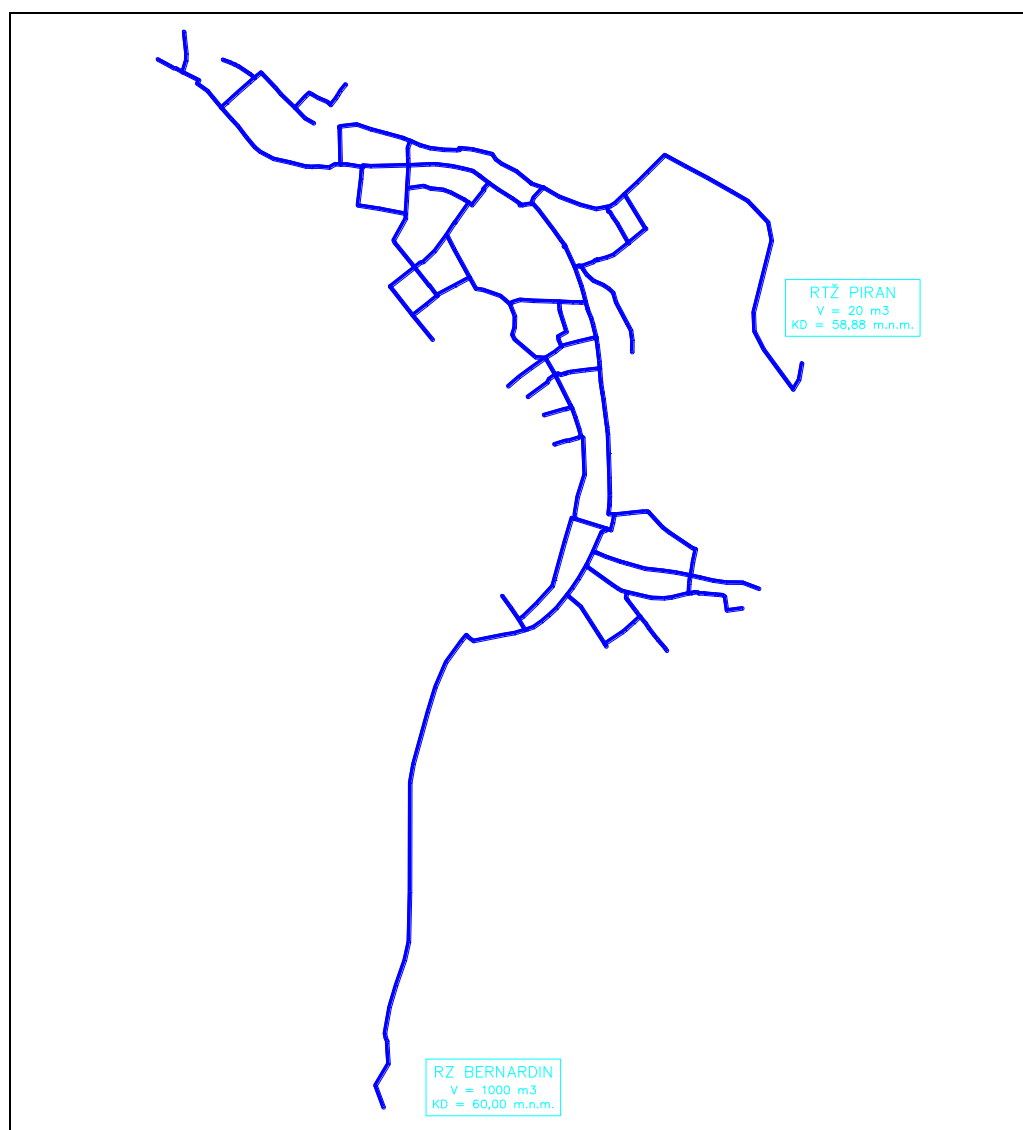


**Slika 4: raztežilnik Piran**

### 3.2 Cevovodi

V diplomski nalogi bodo zajeti cevovodi, ki sestavljajo omrežje mesta Piran. Kot pravila pri skeletizaciji sem upošteval naslednje kriterije:

- ◆ Izločene bodo cevi, ki se ne napajajo iz raztežilnika Piran
- ◆ Izločeni bodo priključki
- ◆ Izločene bodo cevi, katerih premer je manjši od 50 mm in ne tvorijo zanke v omrežju.



**Slika 5: Vodovodno omrežje mesta Piran**

**Preglednica 1: Seznam upoštevanih cevovodov**

OZNAKA	CEV	FI CEVI [mm]	DOLŽINA [m]
M1.K1	DUCTIL 200	200	454,4
M1.K2	DUCTIL 200	200	177,0
M1.K3	DUCTIL 200	200	69,6
M1.K4	PVC 280	250	55,0
M1.K5	DUCTIL 200	200	60,0
M1.K6	PVC 225	200	46,6

M1.K7	DUCTIL 100	100	46,3
M1.K8	LŽ 100	100	383,5
M1.K9	DUCTIL 150	150	28,2
M1.K10	DUCTIL 100	100	61,5
M1.K11	DUCTIL 80	80	28,5
M1.K12	DUCTIL 150	150	55,8
M1.K13	DUCTIL 100	100	34,8
M1.K14	DUCTIL 100	100	21,8
M1.K15	DUCTIL 100	100	12,3
M1.K16	LŽ 60	60	73,8
M1.K17	AC 80	80	109,8
M1.K18	PVC 225	200	60,6
M1.K19	PVC 110	100	33,6
M1.K20	LŽ 60	60	44,1
M1.K21	LŽ 65	65	54,5
M1.K22	AC 100	100	54,8
M1.K23	LŽ 60	60	22,5
M1.K24	DUCTIL 100	100	37,1
M1.K25	PVC 160	150	40,6
M1.K26	LŽ 60	60	40,5
M1.K27	LŽ 80	80	66,4
M1.K28	LŽ 60	60	64,2
M1.K29	PEHD 110	100	7,0
M1.K30	DUCTIL 80	80	16,0
M1.K31	DUCTIL 100	100	35,8
M1.K32	DUCTIL 100	100	4,1
M1.K33	LŽ 50	50	34,4
M1.K34	LŽ 60	60	54,3
M1.K35	AC 300	300	330,4
M1.K36	JEKLO 200	200	266,6

M1.K37	DUCTIL 200	200	655,9
M1.K38	DUCTIL 200	200	136,0
M1.K39	DUCTIL 100	100	37,0
M1.K40	DUCTIL 100	100	109,8
M1.K41	AC 80	80	95,9
M1.K42	DUCTIL 100	100	42,3
M1.K43	DUCTIL 80	80	32,2
M1.K44	DUCTIL 100	100	26,3
M1.K45	DUCTIL 100	100	25,4
M1.K46	DUCTIL 100	100	50,9
M1.K47	DUCTIL 100	100	8,9
M1.K48	TPE 110	100	37,3
M1.K49	PVC 280	250	6,5
M1.K50	LŽ 100	100	27,4
M1.K51	LŽ 100	100	50,3
M1.K52	DUCTIL 80	80	9,5
M1.K53	PEHD 90	80	32,0
M1.K54	DUCTIL 100	100	32,4
M1.K55	LŽ 80	80	102,7
M1.K56	DUCTIL 200	200	3,7
M1.K57	AC 200	200	87,3
M1.K58	AC 150	150	63,8
M1.K59	DUCTIL 100	100	110,4
M1.K60	DUCTIL 100	100	118,1
M1.K61	DUCTIL 100	100	60,6
M1.K62	DUCTIL 150	150	56,9
M1.K63	PEHD 90	80	2,2
M1.K64	DUCTIL 100	100	40,5
M1.K65	DUCTIL 100	100	7,8
M1.K66	AC 60	60	18,7



M1.K67	AC 60	60	39,4
--------	-------	----	------

**Preglednica 2: Seznam cevovodov po notranjemu premeru**

FI CEVI	DOLŽINA
50	34,4
60	357,5
65	54,5
80	495,3
100	1517,8
150	245,3
200	2017,8
250	61,5
300	330,4

Vseh vnesenih cevi znaša 67 z 524 vozlišči.

Manningov koeficient hrapavosti sten cevi bom določil za vse cevi enak in znaša 0,01.

### 3.3 Priključki

Mesto Piran, kot tudi vsa obalna mesta (Koper, Izola, Portorož), nima enakomerne potrošnje čez celo leto, ampak se sezonsko spreminja (zimsko obdobje, poletno obdobje). V času kopalne sezone, se potrošnja vode zelo poveča, napram zimskega obdobja. Upravitelj vodovoda Rižanski vodovod Koper, ima zabeleženih 1816 odjemnih mest, za območje mesta Piran.

Primer uporabljenih podatkov uporabnikov v mestu Piran je prikazan v Preglednici 3

**Preglednica 3: Primer podatkov vodovodnih priključkov z mesečno porabo**

KEY	Ulica	Hisna številka	Dodatek hs	Poraba maj 08	Poraba junij 08	Poraba julij 08
7254401099	TARTINIJEV TRG	2		18	23	27
7365907099	DANTEJEVA ULICA	17	A	27	19	53

Razlaga tabele:

- ◆ KEY, številka odjemnega mesta
- ◆ Ulica, ime ulice
- ◆ Hisna številka, hišna številka
- ◆ Dodatek hs, dodatek hišne številke
- ◆ Poraba maj 08, mesečna poraba za mesec maj v letu 2008 v m<sup>3</sup>
- ◆ Poraba junij 08, mesečna poraba za mesec junij v letu 2008 v m<sup>3</sup>
- ◆ Poraba julij 08, mesečna poraba za mesec julij v letu 2008 v m<sup>3</sup> (samo polovica meseca)

## **4 OPIS PROGRAMA EPANET 2.0 IN OSNOVE HIDRAVLIKE TOKA POD TLAKOM**

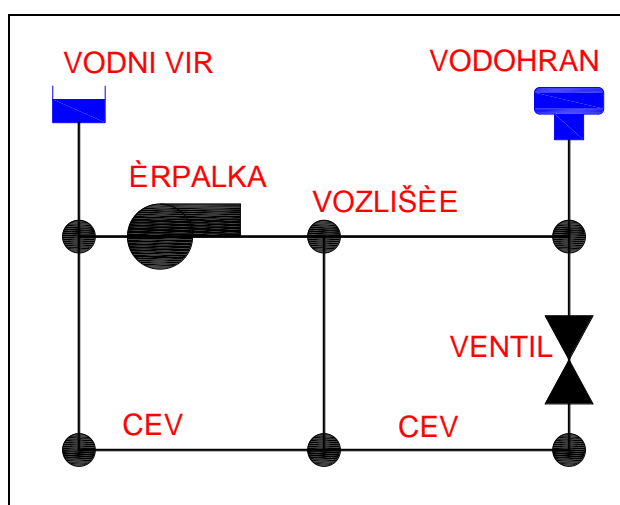
### 4.1 Opis programa

Program EPANET 2.0 je računalniški program, ki simulira hidravliko in kvaliteto vode v omrežju. Omrežje se sestoji iz cevi, vozlišč, črpalk, armatur, vodohranov in vodnih virov (rezervoar). EPANET sledi pretoku vode v vsaki cevi, tlaku v vsakem vozlišču, višini vode v vsakemu vodohranu, in spremlja koncentracijo konservativne kemijske snovi po celem modelu. Program EPANET je uporaben kot raziskovalno orodje za pomoč našemu razumevanju gibanja in usode pitne vode. EPANET lahko pomaga določiti alternativne strategije vodenja za izboljšavo kvalitete vode skozi sistem.

Diplomska naloga je osredotočena samo na modeliranje hidravlike. Program obravnava tudi simulacijo staranja vode.

## 4.2 Objekti za mrežni model in njihov kratek opis

### 4.2.1 Opis modela



**Slika 6: Shema elementov v hidravličnem modelu programa EPANET**

Program EPANET modelira sistem za distribucijo vode kot zbirko povezav med vozlišči. Povezave predstavljajo cevi, črpalke, kontrolni ventili. Vozlišča predstavljajo lomne točke na vodovodnem omrežju, rezervoarje in zbiralnike. Na Sliki 6 je shematsko predstavljeno kako navedeni objekti med seboj funkcionalno sestavljajo vodovodni sistem.

#### 4.2.2 Elementi modela

Osnovni objekti (elementi):

- ◆ vozlišče (junction),
- ◆ vodni vir (rezervoar),
- ◆ vodohran (tank),
- ◆ cev (pipe),
- ◆ črpalka (pump),
- ◆ ventil (valve)
- ◆

Vsak od elementov zahteva določene podatke, ki morajo biti urejeni v primerno obliko.

#### 4.2.3 Opis elementov

##### 4.2.3.1 Vozlišče

Vozlišča so točke v mreži, kjer se združijo cevi ali končajo cevovodi (slepi cevovod). V vozliščih ponazarjamo porabo porabnikov v območju vozlišča. V vozliščih pa lahko tudi vodo porabljammo ali pa jo dodajamo v mrežo.

Osnovni vstopni podatki:

- ◆ geodetska višina (ponavadi nadmorska višina) (*elevation*),
- ◆ poraba vode (*base demand*),
- ◆ spreminjanja porabe tekom dneva (*demand patern*)

Osnovni izstopni podatki:

- ◆ tlaki (*pressure*),
- ◆ dejanska poraba (*actual demand*)

##### 4.2.3.2 Cev

Cevi so vodovodni objekti, s pomočjo katerih transportiramo vodo iz ene točke v drugo. Smer pretoka je od višje hidravlične višine k nižji višini.

Osnovni vstopni podatki:

- ◆ začetno in končno vozlišče (*start & end point*),
- ◆ premer (*diameter*),
- ◆ dolžina (*length*),
- ◆ koeficient hrapavosti (*roughness coefficient*),
- ◆ stanje (odprto, zaprto,...) (*status*)

Osnovni izstopni podatki:

- ◆ pretok (*flow rate*),
- ◆ hitrost (*velocity*),
- ◆ hidravlični upor oziroma padec tlačne črte (*headloss*),
- ◆ koeficient trenja (*friction factor*)

#### 4.2.3.3 Vodni vir

Vodni vir v tem programu predstavlja objekt z neomejeno količino vode in s prosto gladino (v naravi npr.: vodnjak, jezero,...). V naravi ni takega objekta (izdatnost vodnjakov je omejena), se pa v veliki večini praktičnih izračunov vodovodnih sistemov pojavljajo take okoliščine, da brez težav uporabimo to poenostavitev.

Osnovni vstopni podatki:

- ◆ višina gladine vode v rezervoarju (*hydraulic head*),
- ◆ spreminjanja gladine tekom dneva (*head patern*)

#### 4.2.3.4 Vodohran

Vodohran je objekt vodovodnega sistema, v katerem se hrani voda. Vodohran ima določeno kapaciteto sposobnosti hranjenja vode. Volumen vodohrana, ki ga mora vodohran imeti se sestoji iz: volumna požarne vode, volumna rezerve in volumna nihanja vode v vodohranu. Vodohran ima v sistemu delovanja svojo minimalno in maksimalno višino, v območju katerih naj bi deloval v optimalnih pogojih.

Osnovni vstopni podatki:

- ◆ kota dna vodohrana (*bottom elevation*),
- ◆ premer (*diameter*),
- ◆ minimalna in maksimalna gladina vode (*minimum and maximum water levels*),
- ◆ začetna gladina vode v vodohranu (*initial level*).

Osnovni izstopni podatki:

- ◆ nivo gladine vodohrana (*water surface elevation*)

#### 4.2.3.5 Črpalka

Črpalke služijo za črpanje vode, ko voda ne more priteči gravitacijsko do mesta porabe, kot tudi za povečanje hitrosti vode. Črpalke so ena od najpomembnejših naprav v vodovodnem sistemu, seveda če jih le ta ima. Obstajajo sistemi, ki delujejo na principu gravitacije. Danes se najpogosteje uporabljajo centrifugalne črpalke.







Osnovni parametri črpalke:

- ◆ koristna moč črpalke
- ◆ ali Q-H krivulja črpalke

#### 4.2.3.6 Ventili, zasuni, lopute – zaporne armature

Ventil je element v vodovodnem sistemu, ki je lahko zaprt, ali pa do različne stopnje odprt. Glede na odprtost ventila se spreminja oviranost pretoka. Ventile ločimo glede na njihovo funkcijo v sistemu. Glej preglednico 4.

**Preglednica 4: Tipi ventilov glede na njihovo funkcijo**

	SLIKA	FUNKCIJA ELEMENTA
Ločevalni ventil		Prekinitev oz. omejitev dotoka vode
Usmerjevalni ventil		Usmerjanje vode v eno smer, onemogoči pa povratni tok
Višinski ventil		Večinoma vgrajen v vodohranih, razbremenilnikih, da zapre dotok vode, ko je gladina vode v vodohranu, razbremenilniku maksimalna
Pre-inodzračevalni ventil (zračnik)		Izpust zraka iz cevovoda
Reducirni ventil		Zniževanje tlaka na sistemu
Ventil za kontrolo pretoka		Regulira pretok na nastavljeno vrednost ali manj

### 4.3 Osnove hidravlike programa EPANET

Metodo, ki jo program EPANET uporablja za reševanje hidravlično nedoločenih vodovodnih sistemov, bi lahko poimenovali hibridna vozliščno-zančna metoda. Todini in Pilati (1987) sta jo poimenovala »gradientna metoda«. Podobno metodo sta opisala že Hamam and Brameller (1971), ki sta jo poimenovala »hibridna metoda«. Obstaja tudi metoda avtorja Osiadacz (1987), ki jo je poimenoval Newtonova zančno-vozliščna metoda. Razlike v metodah so minimalne, program EPANET pa uporablja »gradientno metodo« (Rossman L.A., 2000).

#### 4.4 Osnove hidravlike v cevovodih

##### 4.4.1 Bernoullijeva enačba

Osnovna Bernoullijeva enačba izraža fizikalni zakon o ohranitvi energije v enakomerno gibajočem se stebru idealne, tj. nestisljive tekočine brez trenja. Po tem zakonu je v vsakem prerezu vzdolž cevi vsota tlačne in kinetične energije konstantna. Ti energijski deleži se navadno izražajo s hidravličnimi višinami  $z$  v metrih tekočinskega stebra ali z ekvivalentnimi tlaki  $p$  v  $\text{N/m}^2$  ( $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$ ), upoštevajoč gostoto tekočine  $\rho$  v  $\text{kg/m}^3$ :

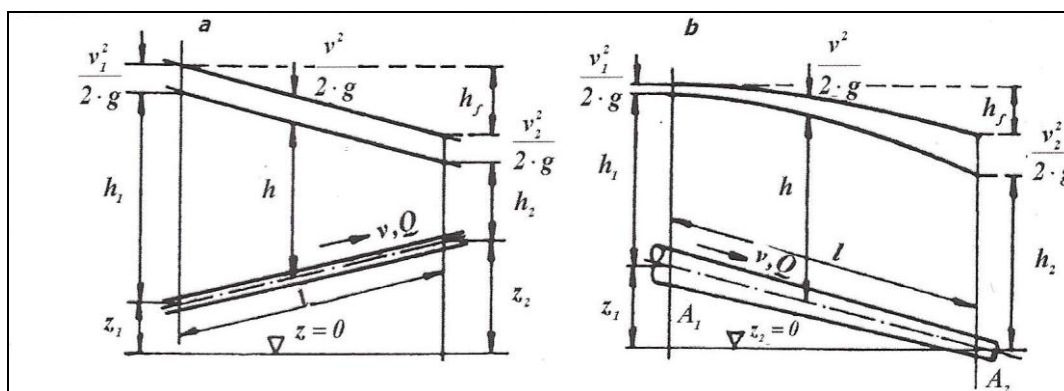
položajna višina	$z$	v $m$	ali	$g * \rho * z$	v $\text{N/m}^2$
tlačna višina	$h$	v $m$	ali	$p$	v $\text{N/m}^2$
hitrostna višina	$\frac{v^2}{2g}$	v $m$	ali	$\rho \frac{v^2}{2}$	v $\text{N/m}^2$

Tlačno višino imenujemo tudi piezometrično višino. Bernoullijeva enačba za odsek cevi med prerezoma 1 in 2 lahko pišemo v eni od naslednjih oblik (Slika 8):

$$g * \rho * z_1 + p_1 + \rho * \frac{v_1^2}{2} = g * \rho * z_2 + p_2 + \rho * \frac{v_2^2}{2} = konst \quad (\text{vsi členi } \text{N/m}^2)$$

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} = konst. \quad (\text{vsi členi } m) \quad (4.1)$$





Slika 7: Odsek cevi med 1 in 2 - s pomočjo Bernoullijeve enačbe izrazimo zakon o ohranitvi energije (Jordan, 1983)

Položajne višine vseh prerezov se morajo nanašati na isto osnovno raven ( $z = 0$ ), ki jo izberemo poljubno. Če so znane veličine  $z$ ,  $p$  (ali  $h$ ) in  $v$  za en prerez, lahko določijo njihove vrednosti za poljuben prerez na dani višini  $z$  in s prerezom  $A$ , ker je v vseh prerezih pretok  $Q=A*v$  isti.

V praktičnih primerih (realna tekočina) je potrebno v enačbi 4.2 upoštevati tudi tlačne izgube zaradi trenja. Za pretočno smer 1-2 se te izgube pišejo na desni strani enačbe:

$$g * \rho * z_1 + p_1 + \rho * \frac{v_1^2}{2} = g * \rho * z_2 + p_2 + \rho * \frac{v_2^2}{2} + g * \rho * h_f \quad \text{ali}$$

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} + h_f \quad (4.2)$$

#### 4.4.2 Hidravlične tlačne izgube

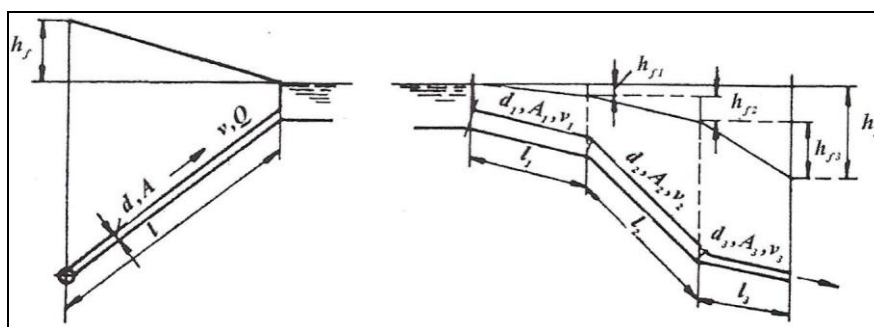
Pri proučevanju dinamičnih tlačnih razmer v vodooskrbnih sistemih je potrebno upoštevati, da imamo opravka z realno, tj. viskozno tekočino. Ta se od »idealne« razlikuje predvsem v tem, da se med tokovnicami pojavljajo odpori proti drsenju druga ob drugo, kakor tudi ob stene cevi. Na določeni dolžini cevi  $l$  se zato tlačna višina  $h$  tekočine zmanjša v smeri toka za veličino  $h_f$ , ki se porabi za premagovanje trenja (Slika 8).

Tlačna izguba  $h_f$  na dolžini cevi  $l$ , imenovana tudi linijska izguba, znaša v tlačne višine:

$$h_f = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \lambda \cdot \frac{l}{d_i} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{Q^2}{A^2} \quad (4.3)$$

kjer pomenijo:

$\lambda$	koeficient trenja	-
$d_i$	notranji premer cevi	m
$v$	pretočna hitrost $v = \frac{Q}{A}$	m/s
$A$	prerez cevi $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	m <sup>2</sup>
$Q$	pretok	m <sup>3</sup> /s
$g$	pospešek gravitacije	$g=9.81 \text{ m/s}^2$



Slika 8: Zmanjšanje tlačne višine za premagovanje trenja  $h_f$  na dolžini cevi v smeri toka (Jordan, 1983)

Enako kot tlačne višine merimo tudi tlačne izgube v metrih m vodnega stolpca – ekvivalentne dolžine – in iz enačbe 4.3 izhaja, da je koeficient trenja  $\lambda$  brez dimenzijska veličina.

Koeficient trenja  $\lambda$  upošteva vpliv kinematične viskoznosti (žilavosti) tekočine, pretočne hitrosti in hrapavosti notranje površine cevi.

Za cevovod z istimi karakteristikami na vsej dolžini cevi  $l$  se izguba tlačne višine (po enačbi 4.3) izraža krajše:

$$h_f = k_f \cdot Q^2 \quad \text{m} \quad (4.4)$$

Kjer je  $k_f$  koeficient izgube:

$$k_f = \frac{l}{2 \cdot g} \cdot \frac{\lambda \cdot l}{d \cdot A^2} \quad \text{m}^{-5} \text{s}^2 \quad (4.5)$$

Vrednosti za  $\varepsilon$  so podane v Preglednici 5.

**Preglednica 5: Povprečna hrapavost  $\varepsilon$  (Jordan, 1983)**

MATERIAL	DARCY-WEISBACH $\varepsilon$ [mm]
Litoželezo	0,85
Beton	1,0-10
PVC	0,005
Jeklo	0,15

Dodatno k linijskim izgubam se pojavljajo na nekaterih mestih cevovoda lokalne izgube, npr. v cevni razcep, krivinah ali kolenih, pri zožitvah in razširitvah cevovoda, v zasunih, itd. Na takih mestih se tlačna linija zniža skokoma za ustrezno izgubo in se nato nadaljuje z nagibom, ki ustreza trenju v sledečem odseku cevi. Izguba lokalnega upora znaša  $h_L$  pri čemer so koeficienti  $\xi$  določeni eksperimentalno, hitrost  $v$  pa se nanaša na prerez pred odporom, oziroma kakor je določeno v navodilih preizkuševalca.

$$h_L = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{\xi}{2 \cdot g \cdot A^2} \cdot Q^2 \quad (4.6)$$

Celotna izguba tlačne višine obsega vse linijske izgube (po enačbi 4.4) in lokalne (po enačbi 4.6).

## 5 IZDELAVA HIDRAVLIČNEGA MATEMATIČNEGA MODELA

Hidravlični model vodovodnega sistema je matematični zapis stanja v naravi. Preden se lotimo izdelave modela, je potrebno zbrati vse potrebne informacije, ki opišejo obravnavani sistem. Podatke je mogoče zbirati iz različnih virov. Večina podatkov za obravnavani sistem bo vzetih iz digitalnega katastra podjetja Rižanski vodovod Koper. Upravljalec vodovodnega omrežja je Rižanski vodovod Koper. Pokriva celotno območje slovenske obale (Ankaran, Koper, Izola, Piran, Portorož, Sečovlje) in njegovo zaledje, tako je omenjeni kataster last podjetja in ga že precej časa razvijajo in dopolnjujejo. Za potrebe te diplomske naloge so dovolili uporabo podatkov, ki se nahajajo v njem. Podatke iz katastra je mogoče pregledovati in obdelovati s programom SDMS.

### 5.1 Zajem podatkov

Programska oprema SDMS je zaščitena znamka Mikrodate in Softdate. Je grafični vmesnik, za prikazovanje PIS podatkov. PIS je kratica za prostorski informacijski sistem.

Prostorski informacijski sistemi se uporabljajo na področjih geodezije, javne infrastrukture, urbanizma, geologije, prometa, kmetijstva, gozdarstva, vodnega gospodarstva, ekologije, statistike, ... Omogočajo uporabo različnih metod obdelave podatkov z grafično ali analitično predstavitvijo. Zelo so primerni kot orodje za delo različnih služb ali dejavnosti na nivoju podjetij, lokalnih skupnosti, mesta, regije ali države, kot so na primer vojska, policija, stanovanjski skladi, politične, kulturne in športne aktivnosti, zdravstvo in šolstvo, izdajanje potrdil, raziskovalne in znanstvene dejavnosti, ... Prostorski informacijski sistem sestoji iz podatkovnih plasti (layer / coverage). Nekatere od njih uporabljamo samo za grafično predstavitev, lahko pa vsebujejo kakršnekoli informacije. Osnovne funkcije PIS so: interaktivno vnašanje,

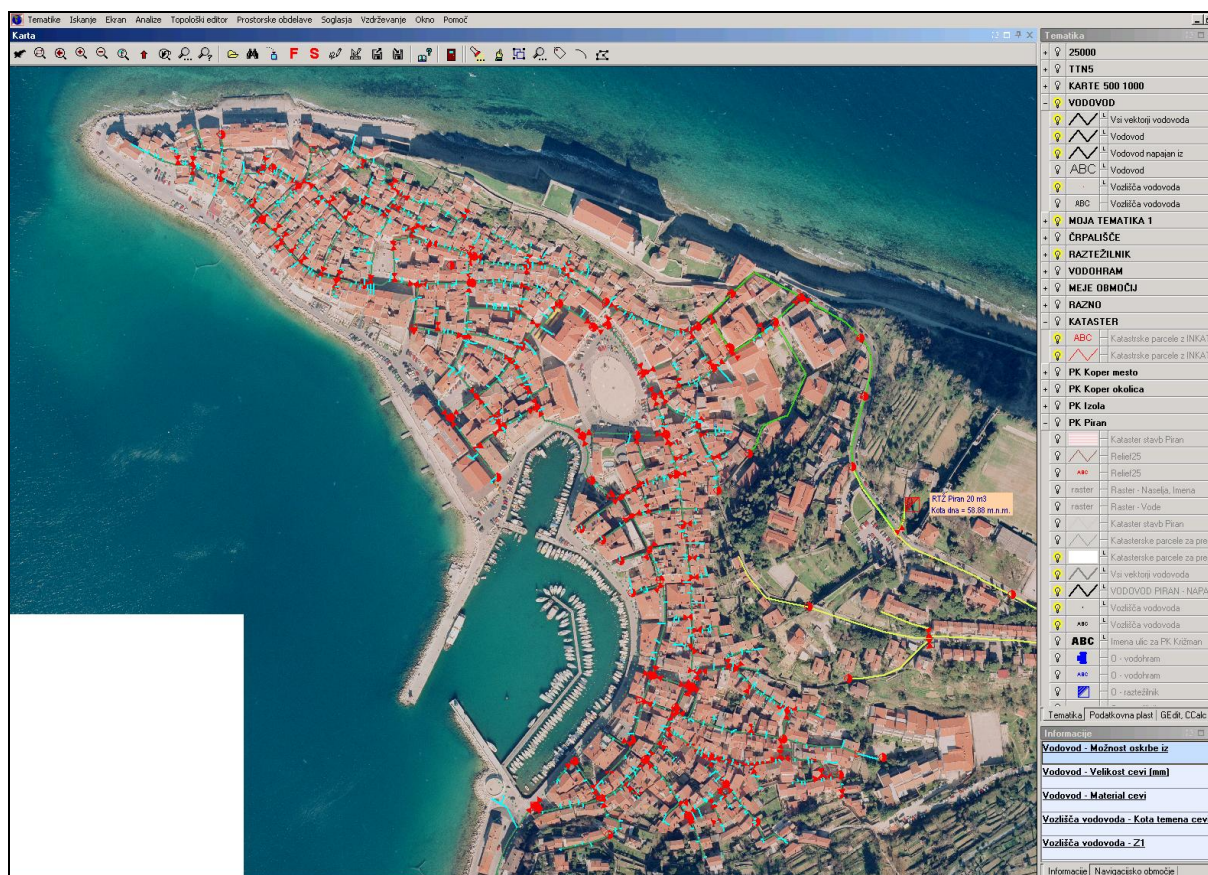
popravljanje in brisanje podatkov, prenos podatkov v ali iz zunanje baze podatkov, direkten dostop do standardnih podatkovnih baz, risanje načrtov, ki vsebujejo različne informacije, prostorsko orientirane podatkovne analiz (SQL) podatkovna analiza, povezava z drugimi aplikacijami, ...

S pomočjo SDMS-ja, sem pridobil naslednje podatke:

- ◆ cevovodi (material, fi cevi, tlorsni potek)
- ◆ vodovodne priključke (odjemna mesta)
- ◆ kataster stavbnih zemljišč
- ◆ kataster ulic
- ◆ kataster hišnih številjk
- ◆ geodetske točke (kota terena)

Rižanski vodovod Koper ima celotno bazo vodovoda v programu SDMS, zato sem moral podatke filtrirati na območje mesta Piran. Vsi podatki so razporejeni po plasteh, katere lahko poljubno prižigam oziroma ugašam. Če sem hotel dobiti podatke iz neke plasti, je ta plast morala biti aktivna. Nato sem izbral filter, kateremu sem omejil območje na mesto Piran. Ko je program sfiltriral podatke, sem lahko izbral kateri podatki se bodo zapisali v novo datoteko. Preden sem jih shranil sem novim podatkom tudi dodeli novo delovno plast, katero kasneje uporablja program AutoCAD.

Za nadaljno obdelavo podatkov, sem vse podatke iz SDMS-ja izvozil v tako imenovanih dxf datotekah, katere bere AutoCAD program. Dxf pomeni angleško Drawing Interchange Format ali Drawing eXchange Format - izmenjevalni datotečni format za risbe. Razvil ga je podjetje Autodesk, kot rešitev za izmenjavo podatkov med programom AutoCAD in drugimi programi.



Slika 9: SDMS programsko orodje

## 5.2 Obdelava podatkov

Tržišče danes ponuja že kar nekaj programskih orodij za obdelavo podatkov. Z njimi uredimo podatke in pripravimo matematični model, kateri nato služi za delo v EPANET programu.

Zaradi predhodnega poznavanja programa Sewer, sem se odločil za uporabo tega programskega orodja in s tem tako nadgradim znanje. Program Sewer je razvilo podjetje SI-King d.o.o. iz Ljubljane in je dodatek v AutoCAD-u.

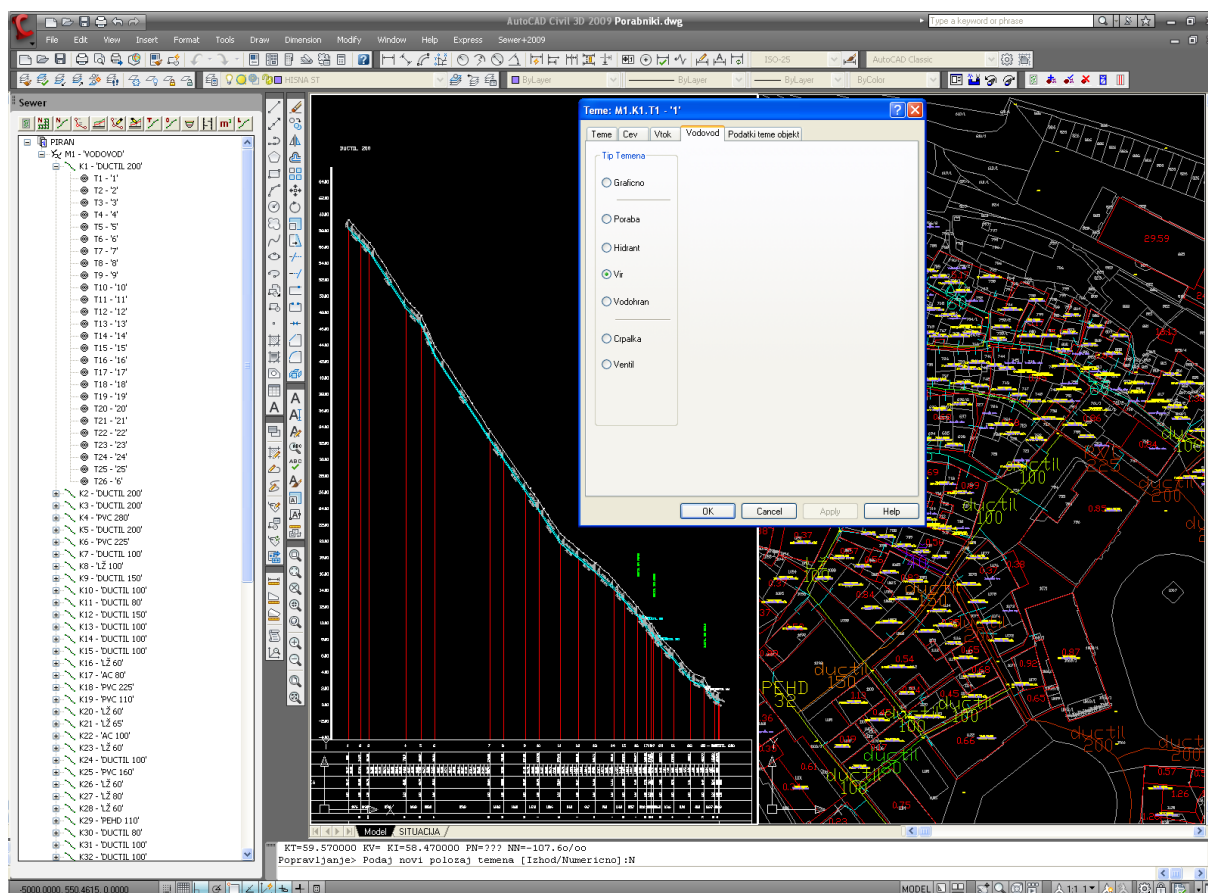
Programski paket Sewer je namenjen projektiranju kanalskih, vodovodnih, plinovodnih, elektrokabelskih sistemov in dimenzioniranju ter hidravličnemu preverjanju kanalskih in

vodovodnih sistemov. Z njim sem naredil digitalni model terena in vzpostavil vodovodni sistem.

#### 5.2.1 Izdelava vodovodnega omrežja

V program AutoCAD sem vnesel dxf datoteke in jih razvrstil v sloje oziroma leyerje, zaradi preglednejšega obdelovanja. Z orodji programa Sewer, sem izdelal 3D matematični model terena mesta Piran, na katerega sem vnesel vse cevovode. Vsaka cev mora biti povezana z vozlišči v celoten sistem matematičnega modela vodovodnega omrežja. Tako sem za vsako cev izdelal podolžni profil z orodji programa Sewer in vsaki točki oziroma vozlišču določil koto nivelete cevi. Kota nivelete je pomembna za nadaljni izračun hidravlike vodovodnega sistema.

Za vsak cevovod posebj se določi dimenzijo, material in hrapavost. Ko je vodovodna mreža končana, se s programsko opremo Sewer izdela vhodna datoteka za program Epanet.



Slika 10: Programsko okno programa AutoCAD z dodatkom Sewer

### 5.3 Porabniki

Upravljalca vodovodnega omrežja vodi baza porabnikov vode po njihovem sistemu. Vsak uporabnik (plačnik) ima svoj priključek in vsak priključek ima svojo številko. Tako pod vsako številko upravljalca vodi podatke o plačniku odjemnega mesta. Za potrebe diplomske naloge sem za vsako odjemno mesto pridobil naslednje podatke:

- ◆ številka odjemnega mesta
- ◆ ulico z hišno številko
- ◆ mesečno porabo vode v kubičnih metrih za mesec maj, junij in julij v letu 2008



Mesto Piran ima registriranih 1816 odjemnih mest. Ker je lahko na istem naslovu več odjemnih mest oziroma v mojem omrežju nisem upošteval mesta priključkov, sem združeval odjemna mesta po kriteriju:

- ◆ enaka ulica in hišna številka
- ◆ med dvema vozlišči vsakemu pripadajo odjemna mesta na polovični razdalji med vozliščema
- ◆ krajno vozlišče prevzame vsa odjemna mesta

Ob upoštevanju omenjenih kriterijev sem dobil 109 vozlišč.

Ker so bili pridobljeni podatki  $\text{m}^3/\text{mesec}$ , sem vse količine preuredil na dnevno porabo po sledeči formuli:

$$\frac{\text{PORABNIK} * 1000 * F}{30 * 3600} = \text{dnevna poraba} \quad (5.1)$$

Razlaga enačbe:

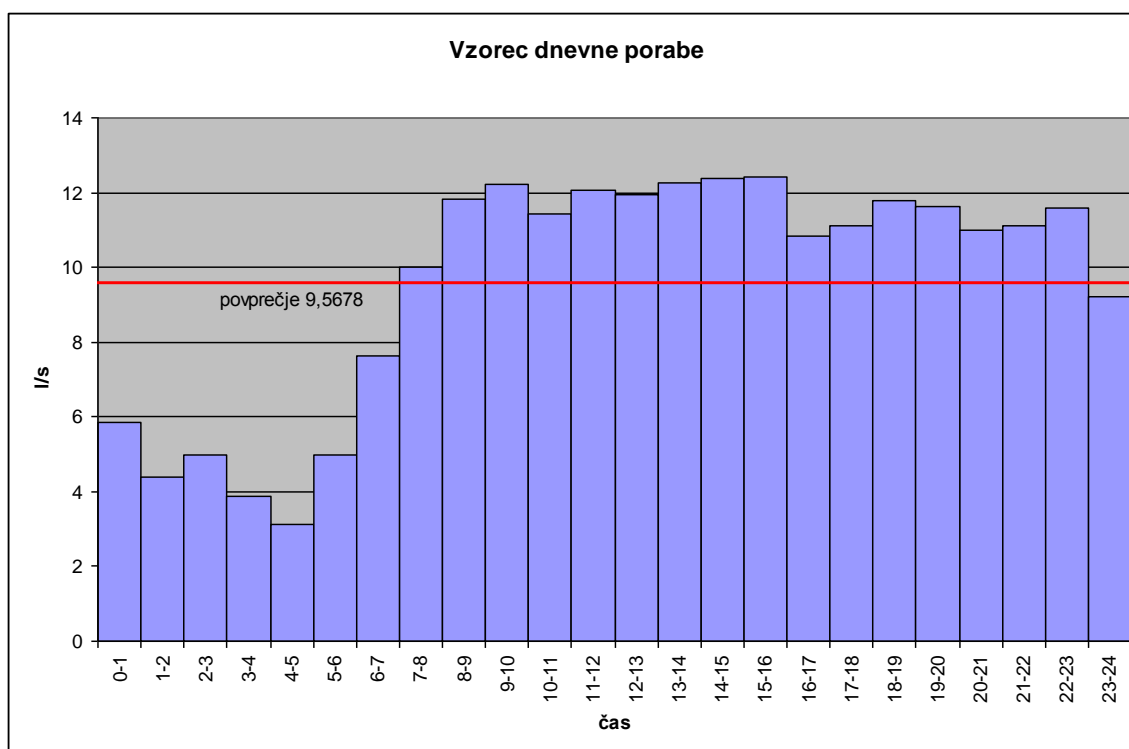
- ◆ PORABNIK,  $\text{m}^3/\text{mesec}$
- ◆ 1000, pretvorba iz  $\text{m}^3$  v litre
- ◆ F, faktor mesečnega nihanja
- ◆ 30, pretvorba iz meseca v dan
- ◆ 3600, pretvorba iz ure v sekundo

Faktor mesečnega nihanja sem uporabil zaradi neenakomerne potrošnje uporabnikov v enem mesecu. Ker imam potrošnjo enega uporabnika na mesec in ker so se izvajale dnevne meritve iztočnih pretokov iz raztežilnika Piran, sem dobil dnevno potrošnjo celotnega mesta Piran. Z upoštevanjem vzorčnega dneva, sem moral vse porabnike pomnožiti z faktorjem mesečnega nihanja. Ta je v mojem primiru znašal 1,6.

V faktor mesečnega nihanja so tako upoštevani tudi izgube, čemur se pri vodovodnih sistemih ni mogoče povsem izogniti. Izkušnje kažejo, da ima vsak vodovodni sistem, pa naj bo še tako dober, določene izgube v količini vode. Vzroki za izgube so različni:

- ◆ Poroznost cevi
- ◆ Izpuščanje na spojih med posameznimi cevmi
- ◆ Odjemi vode »na črno«
- ◆ Defekti na cevovodih

Ker poraba niha tudi znotraj enega dneva, sem vzorec dnevne porabe normiral in ta vzorec je bil vhodni podatek dnevne porabe po vozliščih, za program Epanet.



Graf 1: Vzorec dnevne porabe

**Preglednica 6: Tabela porabe po vozliščih na izbrani dan v mesecu maju:**

VOZLIŠČE	PORABA	VZOREC	VOZLIŠČE	PORABA	VZOREC
M1.K1.T17	0,8000	1	M1.K28.T11	3,4074	1
M1.K1.T18	0,0000	1	M1.K29.T6	0,7259	1
M1.K1.T20	0,3556	1	M1.K30.T4	0,5778	1
M1.K1.T21	0,5630	1	M1.K31.T3	0,7259	1
M1.K1.T22	0,3556	1	M1.K33.T4	0,0593	1
M1.K1.T23	0,9630	1	M1.K34.T5	1,0519	1
M1.K2.T2	0,0148	1	M1.K35.T9	9,3926	1
M1.K2.T3	0,5481	1	M1.K36.T8	6,8741	1
M1.K2.T12	0,7704	1	M1.K37.T24	5,0667	1
M1.K2.T13	1,1259	1	M1.K37.T30	4,3852	1
M1.K2.T15	0,5926	1	M1.K37.T33	2,5037	1
M1.K3.T7	1,5852	1	M1.K37.T38	1,9407	1
M1.K3.T12	2,7704	1	M1.K37.T39	4,5185	1
M1.K4.T4	0,1778	1	M1.K38.T6	2,1778	1
M1.K4.T5	1,7778	1	M1.K38.T7	0,3704	1
M1.K5.T7	0,7407	1	M1.K38.T11	2,9926	1
M1.K6.T1	1,0074	1	M1.K39.T4	0,3111	1
M1.K6.T2	0,2667	1	M1.K40.T2	1,2889	1
M1.K7.T1	1,9556	1	M1.K41.T8	5,1704	1
M1.K7.T3	0,8296	1	M1.K41.T12	0,3407	1
M1.K7.T6	0,5333	1	M1.K42.T4	0,4741	1
M1.K8.T1	3,6000	1	M1.K43.T5	0,0593	1
M1.K8.T5	3,4815	1	M1.K44.T5	2,0000	1
M1.K8.T10	16,6370	1	M1.K45.T6	0,1630	1
M1.K8.T23	12,0593	1	M1.K46.T4	0,5778	1
M1.K8.T25	1,2000	1	M1.K46.T7	1,6000	1
M1.K8.T27	5,8074	1	M1.K47.T4	0,1333	1
M1.K8.T29	3,2444	1	M1.K48.T4	0,8741	1

M1.K8.T31	2,6519	1	M1.K49.T2	0,2074	1
M1.K8.T33	2,9185	1	M1.K50.T4	1,0519	1
M1.K10.T2	12,0741	1	M1.K51.T4	2,4593	1
M1.K12.T5	3,2000	1	M1.K51.T7	1,4222	1
M1.K12.T7	0,2519	1	M1.K54.T5	1,8074	1
M1.K13.T1	1,7185	1	M1.K54.T7	4,1037	1
M1.K13.T3	0,3852	1	M1.K55.T10	7,6000	1
M1.K15.T2	1,9704	1	M1.K57.T2	1,5407	1
M1.K16.T1	3,6741	1	M1.K57.T6	3,8815	1
M1.K17.T6	2,7259	1	M1.K57.T8	0,6222	1
M1.K17.T10	1,7481	1	M1.K58.T2	2,4741	1
M1.K18.T4	2,8444	1	M1.K58.T7	1,1852	1
M1.K18.T7	1,0667	1	M1.K59.T7	3,9852	1
M1.K19.T2	0,4444	1	M1.K60.T7	0,9926	1
M1.K20.T3	1,5704	1	M1.K60.T8	0,2815	1
M1.K22.T3	1,0519	1	M1.K60.T11	0,6667	1
M1.K22.T6	0,2074	1	M1.K60.T12	0,7259	1
M1.K23.T3	1,0815	1	M1.K61.T9	0,8741	1
M1.K24.T1	3,2889	1	M1.K61.T12	1,0370	1
M1.K24.T4	0,4444	1	M1.K62.T4	1,0667	1
M1.K25.T1	2,9185	1	M1.K62.T6	0,4148	1
M1.K25.T7	2,8741	1	M1.K63.T2	1,3333	1
M1.K26.T4	1,1407	1	M1.K64.T5	2,9185	1
M1.K27.T5	1,0222	1	M1.K65.T4	0,5037	1
M1.K27.T7	1,0074	1	M1.K66.T2	0,4444	1
M1.K28.T4	0,6074	1	M1.K67.T8	0,5481	1
M1.K28.T7	2,2519	1			

## 6 VERIFIKACIJA IN OSNOVNO UMERJANJE MODELA

### 6.1 Verifikacija modela

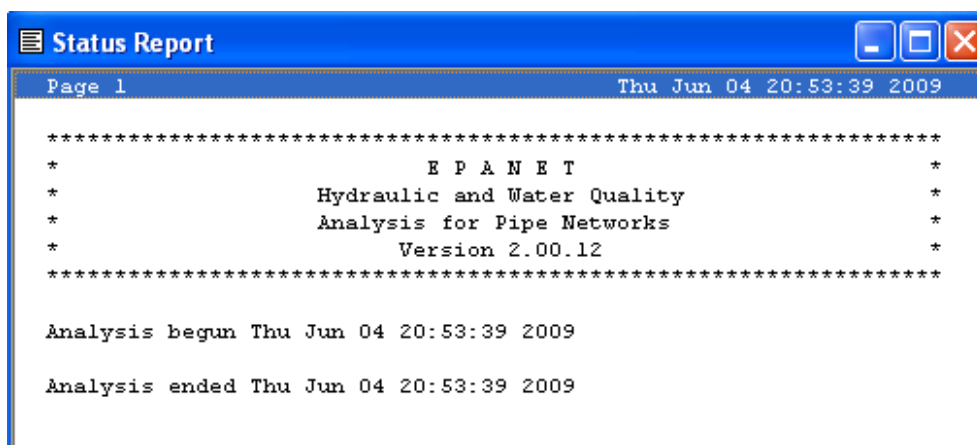
Naslednji korak pri izdelovanju modela, ko imamo enkrat urejene vse podatke, je t.i. verifikacija modela. To pravzaprav pomeni, da poizkusimo pognati hidravlični izračun v programu Epanet. To lahko v fazi verifikacije počnemo kar s programom AutoCAD in Sewer vmesnik, vendar je nadaljnje računanje in izvajanje simulacij enostavnejše in preglednejše, če model prenesemo v Epanet. Zato sem, ko so bili podatki za vse skupine elementov urejeni v ustrezni obliki, model izvozil v Epanet vhodno datoteko.

Model, ki je nastal, je vseboval naslednje elemente:

- ◆ 155 vozlišč
- ◆ 2 rezervoarja
- ◆ 174 cevi

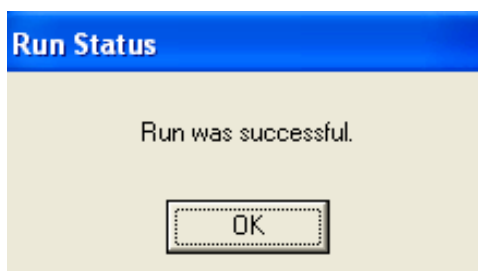
Verifikacijo modela pričnemo s tem, da poizkusimo pognati hidravlični račun omrežja. V primeru, da smo vse podatke pravilno vnesli, kar pomeni, da so vsi deli omrežja med sabo povezani, da ima vsak element določene vse potrebne attribute za izračun, se mora izračun uspešno izvesti. To izvemo v okno »Status report«, ki se nam odpre po končanem izračunu. V njem se izpišejo napake, opozorila in stanje, ki je nastalo ob izračunu. Vse napake, ki jih program javi, je potrebno, če želimo nadaljevati z računanjem, odpraviti. Najpogostejše napake na začetku so lahko naslednje:

- ◆ Vozlišče ni bilo povezano v omrežje
- ◆ Cev nima definirane začetnega in končnega vozlišča
- ◆ Vzorec porabe, ki je definiran za neko vozlišče ni znan



Slika 11: Pogovorno okno Status Report

Po odpravi vseh napak se lahko hidravlični izračun izvede do konca. V poročilu izračuna lahko pregledamo potek izračuna. Posebej je potrebno biti pozoren na opozorila, ki jih javlja program Epanet («Warning»). Ko so odpravljena vsa opozorila, program javi o uspešno končani simulaciji in je mogoče nadaljevati z naslednjim korakom, to je umerjanjem modela.



Slika 12: Pogovorno okno Run Status

## 6.2 Osnove umerjanja modela

Osnovno umerjanje modela obsega uskladitev modela z vrednostmi izmerjenimi v realnosti. V procesu umerjanja se odkrijejo nekatere napake, ki jih v procesu verifikacije modela ni bilo mogoče odkriti. Do tega pride takrat, ko pričnemo iskati vzroke za razlike med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi.

### 6.2.1 Opis merilne opreme

#### 6.2.1.1 Merilec pretoka Magmeter 2552

Uporabljen je bil merilec pretoka Magmeter 2552 in registrator podatkov MRE 301. Registrator podatkov ima lastno napajanje, nanj pa lahko priključimo do tri senzorje. Opcijsko, z vgrajenim GSM kartico, lahko lošilja podatke na izbrano številko. V našem primeru, pa sem pridobil podatke z povezavo registratorja podatkov z prenosnim računalnikom.

Tehnični podatki Magmeter 2552:

- ◆ napajanje: 5-24 V DC
- ◆ premer cevi za montažo: 50-1200 mm
- ◆ prenos podatkov: serijski TTL ali frekvenčni izhod
- ◆ merilna napaka: +/- 2% izmerjene vrednosti
- ◆ hitrost medija v cevi: 0,05-10 m/s
- ◆ maksimalen delovni tlak v cevi: 20 bar
- ◆ temperatura okolice: -15... +70 °C
- ◆ temperatura medija: -15... +85 °C (medij ne sme zmrzniti)

Priporočljiva vgradnja je pod kotom 45°, nikoli pa na temenu oziroma spodnjem delu cevi.

Za pravilno in natančno meritev je potrebno nastaviti pravilno vbodno globino senzorja. To zagotovimo s pravilno izračunano H-dimenzijo (preglednica 7), to je dimenzija od zunanje roba stene cevi do spodnjega roba medeninaste palice za uravnavanje:

H-dimenzija je enaka:

- ◆ 1 vezija 225,5 mm (merilec ima na razpolago tri verzije dolžine navojne palice)

Odštejemo:

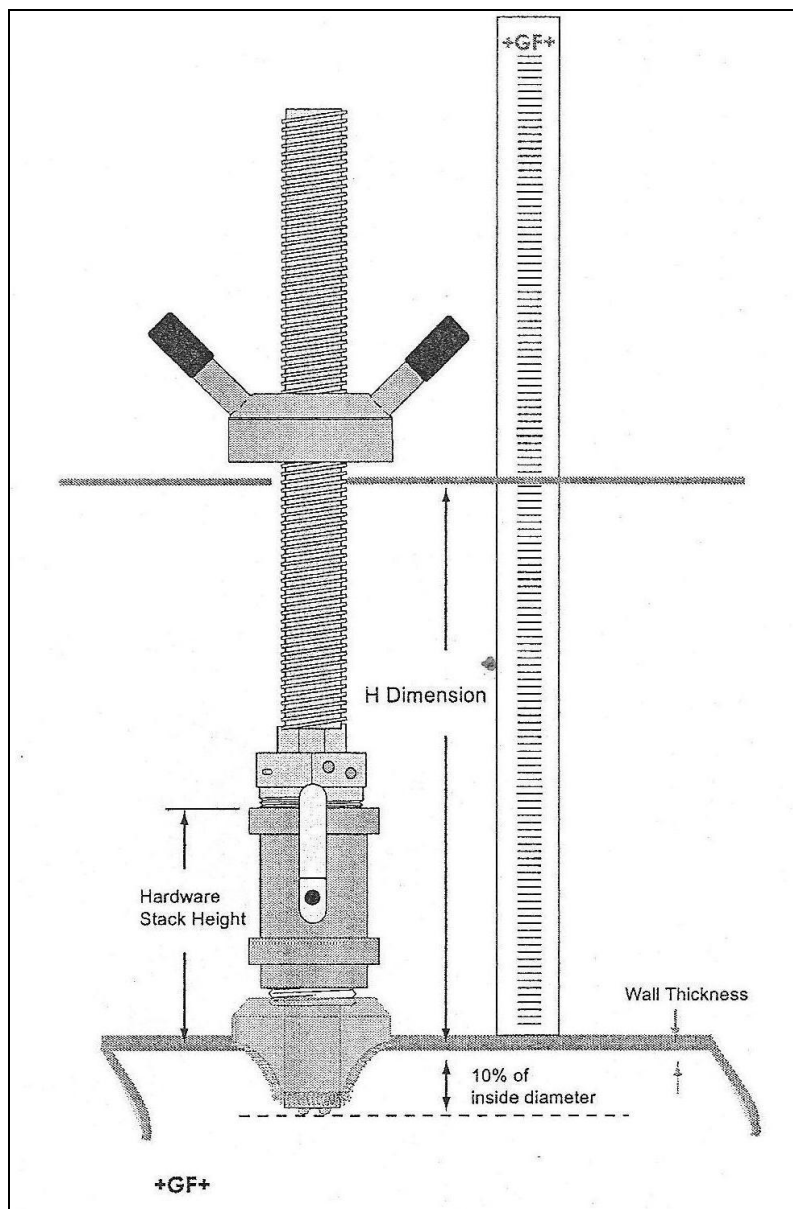
- ◆ debelino stene cevi
- ◆ 10% premera cevi

Rezultat = H-dimenzija

**Preglednica 7: Izračun H-dimenzije**

višina senzorja	225,5	mm
debelina cevi	-9	mm
10% premera cevi	-20	mm
<b>H-dimenzija</b>	<b>196,5</b>	<b>mm</b>





Slika 13: Prikaz izračuna H-dimenzije



**Slika 14: Registrator podatkov MRE 301**

#### 6.2.1.2 Merilec tlaka Type PWB-DS1/40/1

Uporabljen je bil merilec tlaka Type PWB-DS1/40/1 in registrator podatkov PWBlogg N5/4. Registrator podatkov ima lastno napajanje, nanj pa lahko priključimo en senzor. Preko priključka online se vrši komunikacija registratorja s priključenim PC/laptopom.

Tehnični podatki Type PWB-DS1/40/1:

- ◆ območje merjenja: od 0 do 40 bar
- ◆ odstopanje: klasa 1



**Slika 15: Merilec tlaka Type PWB-DS1/40/1 in registrator podatkov PWBlogg N5/4**

### 6.2.1.3 Merilec tlaka Model XX

Uporabljen je bil merilec tlaka Model XX z direktnim izpisom na papir. Vgrajen ima mehansko uro, katera beleži tlačno višino v metrih na merilni list.

Tehnični podatki Modela XX:

- ◆ višina tlačne črte: 0-70 m
- ◆ merilno območje: 24 ur



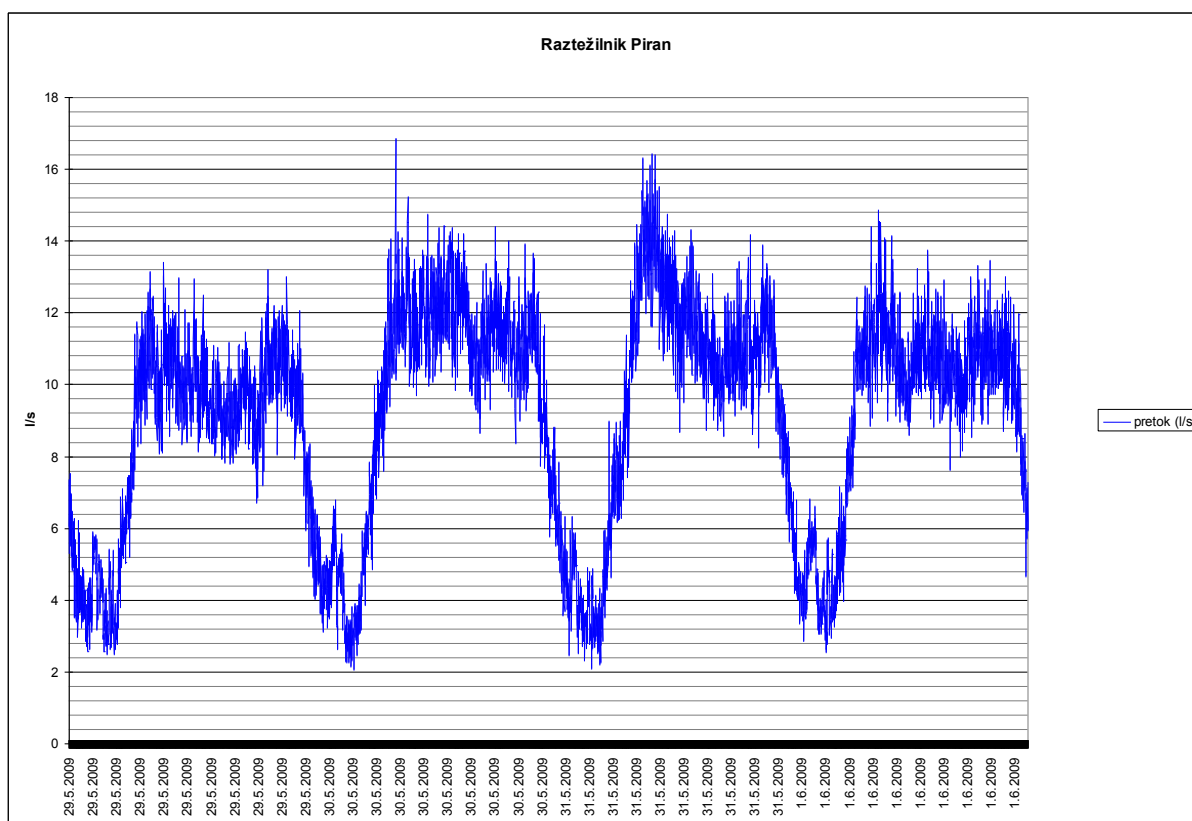
Slika 16: Merilec tlaka Model XX

## 6.2.2 Postavitev merilnih naprav

Za potrebe umirjenja modela, je upravljalca vodovodnega sistema priskrbel in vgradil željene senzorcje. Vgrajen je bil merilec pretoka z registratorjem podatkov, dva merilca tlaka z registratorjem podatkov in mehanski merilec tlaka z izpisom na papir.

### 6.2.2.1 Merilec pretoka

V raztežilniku Piran, se je na iztočno cev vgradil merilec pretoka Magmeter 2552. Merilec je meril pretoke 24 ur v intervalih 1 minute. Tako sem dobil realno porabo mesta Piran.







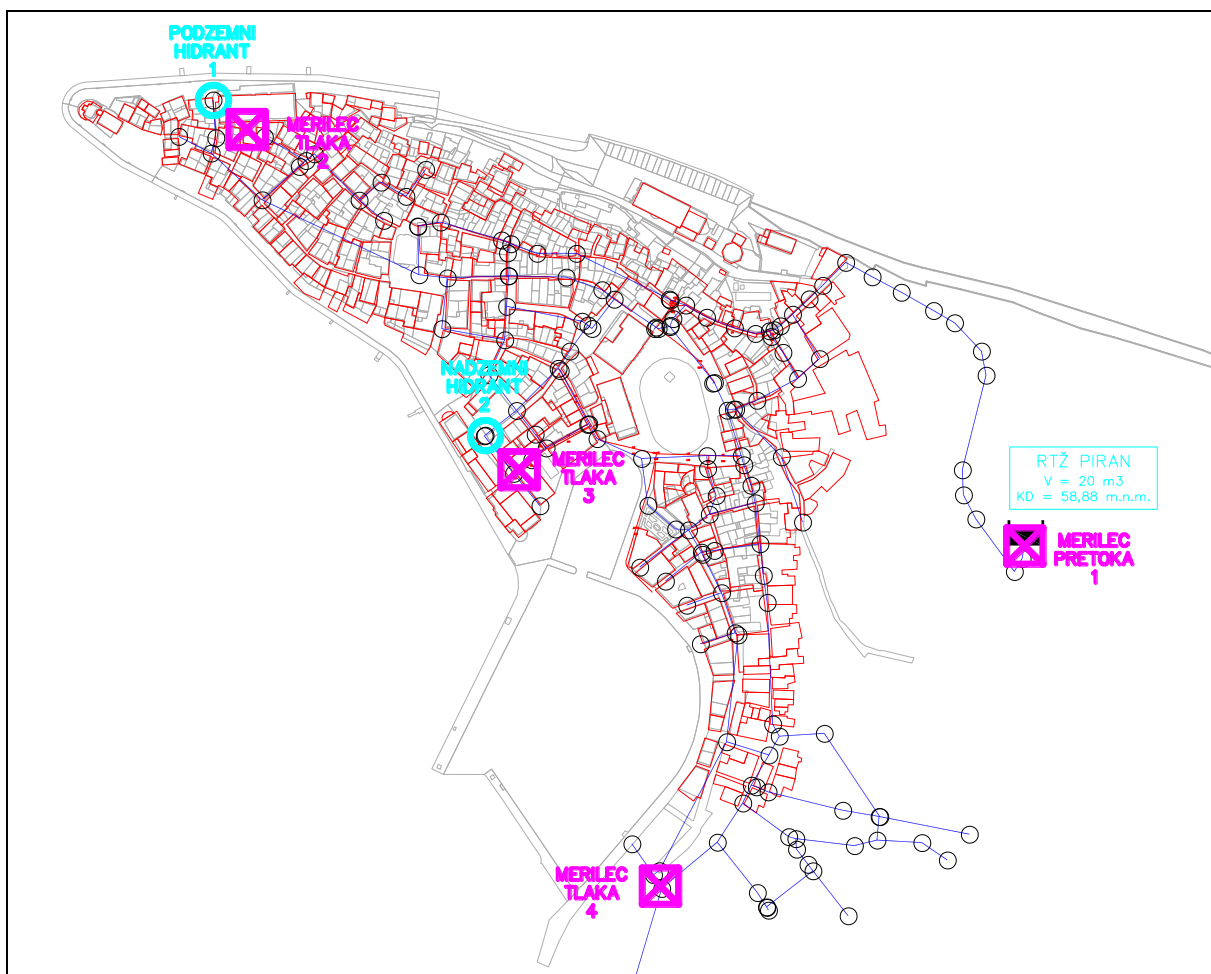
**Graf 2:** Časovni diagram pretoka na istočni cevi raztežilnika Piran

#### 6.2.2.2 Merilec tlaka

Vgrajena sta bila dva merilnika tlaka z logerjem v bližini simuliranja požara, ter mehanski merilec tlaka na začetku mesta Piran. Prvi je bil vgrajen na koncu vodovodnega omrežja Piran punta, drugi pa v objektu obstoječega Akvarija. Oba sta bila vgrajena na puščen vodovodni priključek. Merila sta tlak in temperaturo vode v intervalih od 30 minut. Mehanski merilec tlaka z izpisom na papir, pa je bil vgrajen v času simuliranja požara, na mestu priklopa podzemnega hidranta.

**Preglednica 8: Seznam merilnikov in njihova lokacija vgradnje**

ŠT	MERILEC	LOKACIJA	MERITVE	ENOTE	VGRADNJA
1	Magnumeter 2552	Raztežilnik Piran	pretok	l/s	
			nivo	m	
2	Type PWB- DS1/40/1	Piran punta	tlak	bar	
			temperatura	°C	
3	Type PWB- DS1/40/1	Piran Akvarij	tlak	bar	
			temperatura	°C	
4	Model XX	carinski pomol	tlak	m	



Slika 17: Prikaz lokacije merilnih mest

### 6.2.3 Primerjava podatkov

Pridobljeni podatki iz merilcev tlaka, se lahko s pomočjo posebne datoteke vnesejo v program Epanet. Oblika datoteke in vsebina je predpisana v priročniku za uporabo programa Epanet. Glede na predpisane sem torej pripravil podatke za umerjanje, nato pa še programu Epanet dodal povezavo do te datoteke. Po ponovnem zagonu izračuna, nam Epanet prikaže izmerjene vrednosti poleg izračunane, izdelava pa nam tudi poročilo o umerjanju. Glede na razlike, ki se pojavijo v procesu umerjanja, je potrebno vnesti v

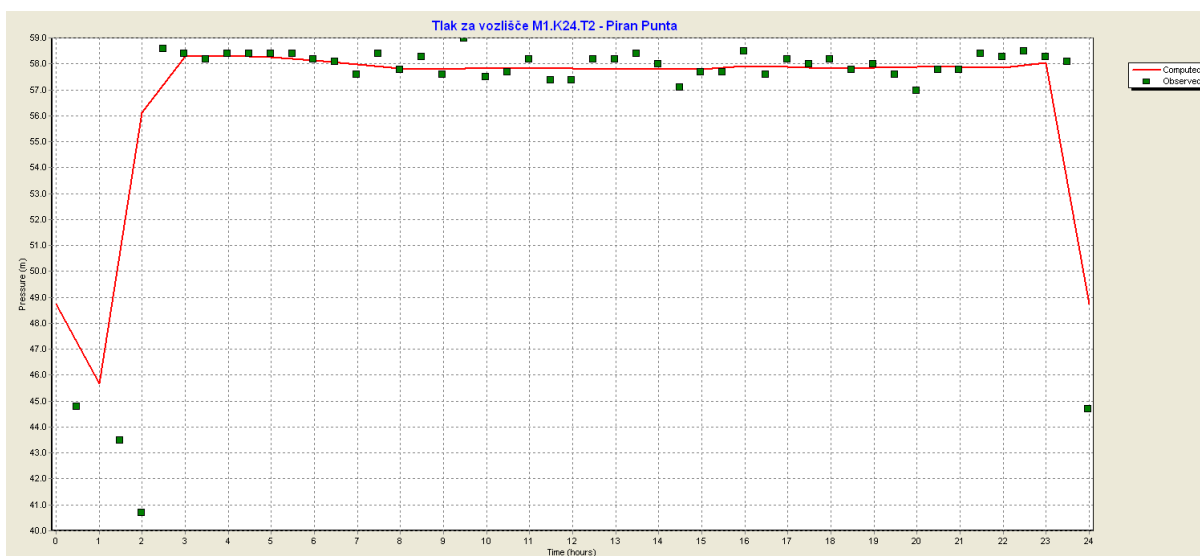
model določene popravke, če želimo, da so podatki čimbolj podobni stanju v omrežju ali pa tako kot je bilo v mojem primeru, ni bilo potrebnih večjih popravkov. Upošteval sem samo višinsko razliko  $H$ , ker merilci tlaka niso bili vezani direktno na vozlišče ampak so bili na višini  $H$  nad vozliščem.

Upoštevana višina  $H$  nad vozliščem:

**Preglednica 9: Višina  $H$  nad vozliščem**

MESTO MERILCA	VIŠINA $H$ [m]
Piran punta	2
Piran Akvarij	1,2

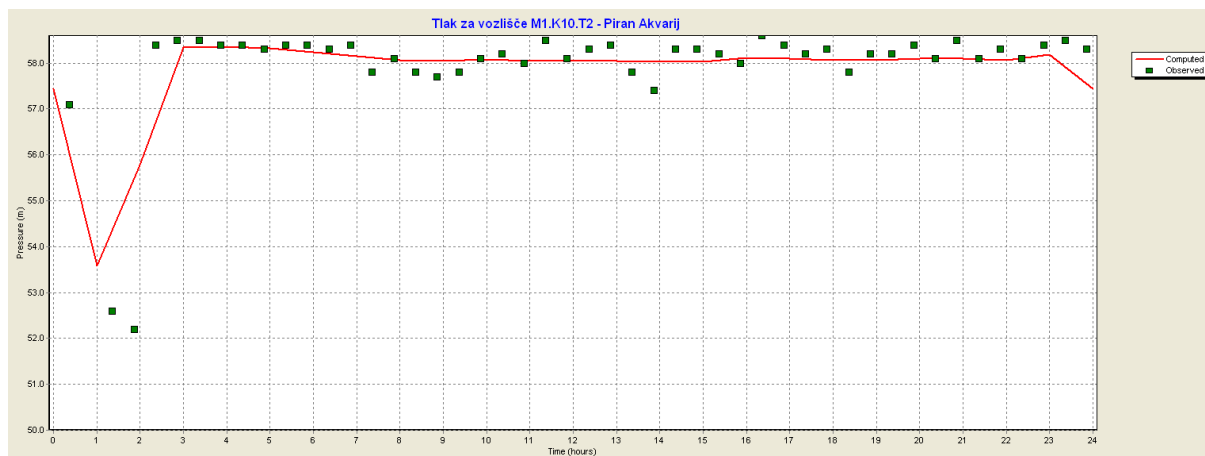
Prikaz dejanskega stanja in stanja v modelu za merjenje tlaka na Piran punta



**Slika 18: Primerjava tlakov Piran Punta**



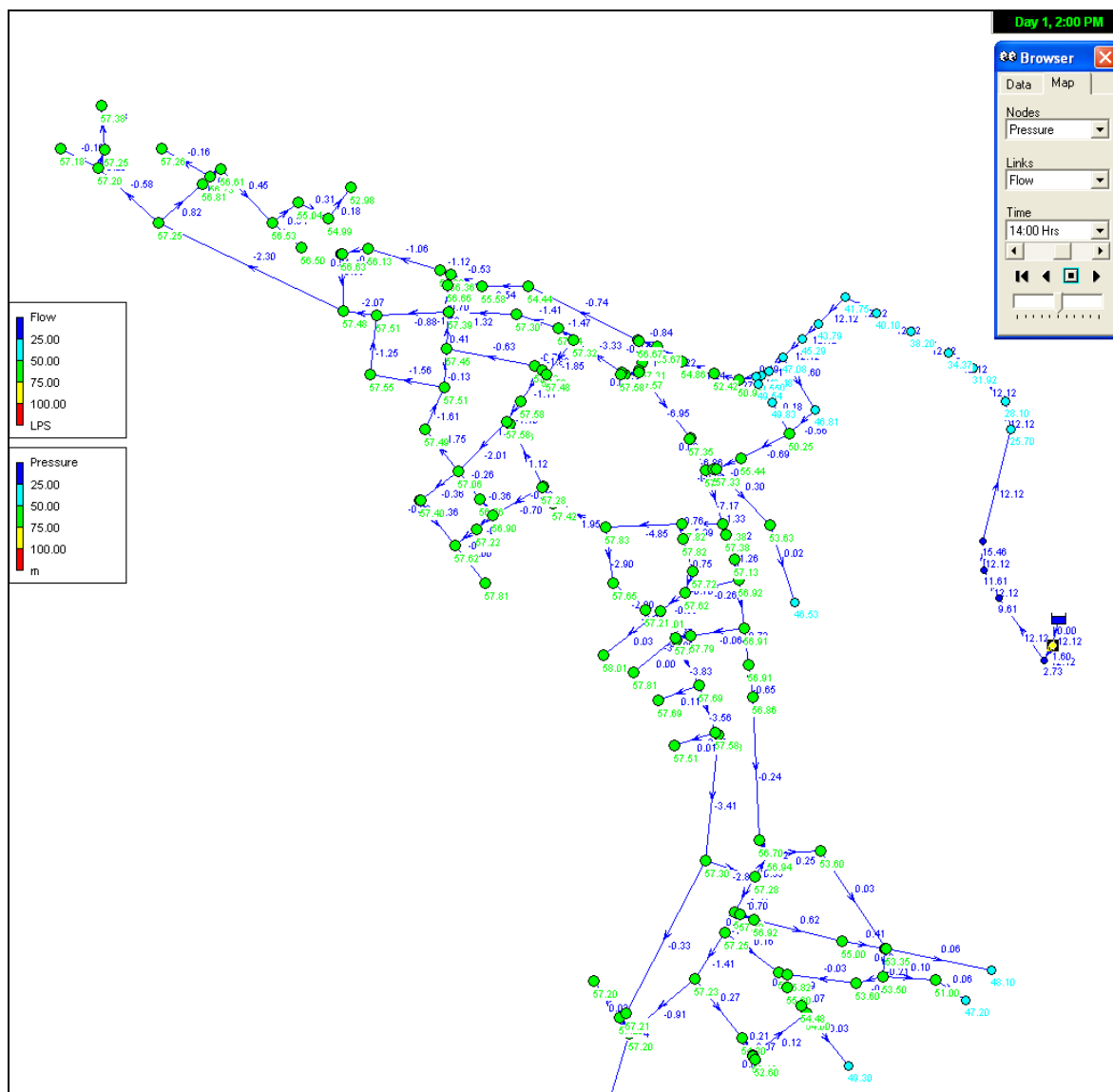
Prikaz dejanskega stanja in stanja v modelu za merjenje tlaka na Piran Akvarij



**Slika 19: Primerjava tlakov Piran Akvarij**

Na Sliki 18 in Sliki 19 je prikazan diagram tlakov za izbrana vozlišča Piran Punta in Piran Akvarij. Primerjena sta podatka dobljenega dejansko na terenu s pomočjo merilnika tlaka ter tlaki, kot jih je izračunal program Epanet.

Na Sliki 20 je prikazan hidravlični matematični model umirjenega modela. Od tu dalje lahko model uporabljamo za nadaljne simulacije.



Slika 20: Prikaz modela z programom EPANET, ko je ta umirjen

## 7 HIDRAVLICNI IZRAČUNI ZA RAZLIČNE HIDRAVLICNE RAZMERE

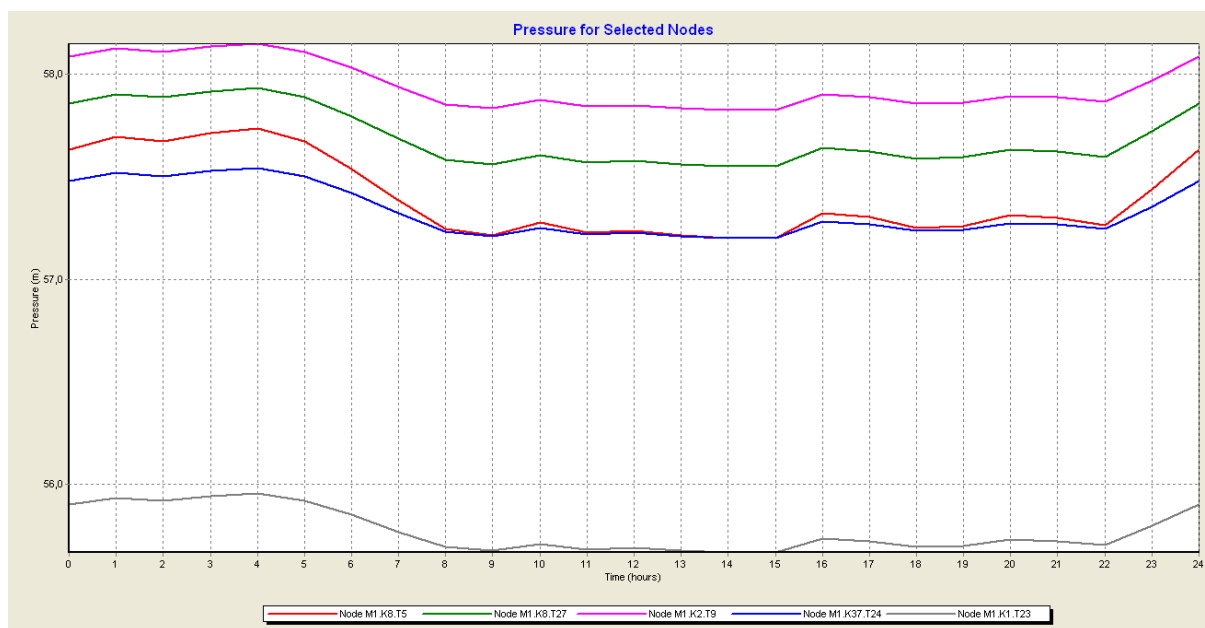
Ko je model umerjen, ga lahko pričenmo uporabljati za simulacije različnih razmer v omrežju. V okviru te diplomske naloge bom napravil simulacije za 3 različnih situacij:

- ◆ stanje v omrežju, ko je poraba najmanjša
- ◆ stanje v omrežju, ko izbruhneta dva požara
- ◆ stanje v omrežju, v primiru puščanja

### 7.1 Minimalna poraba

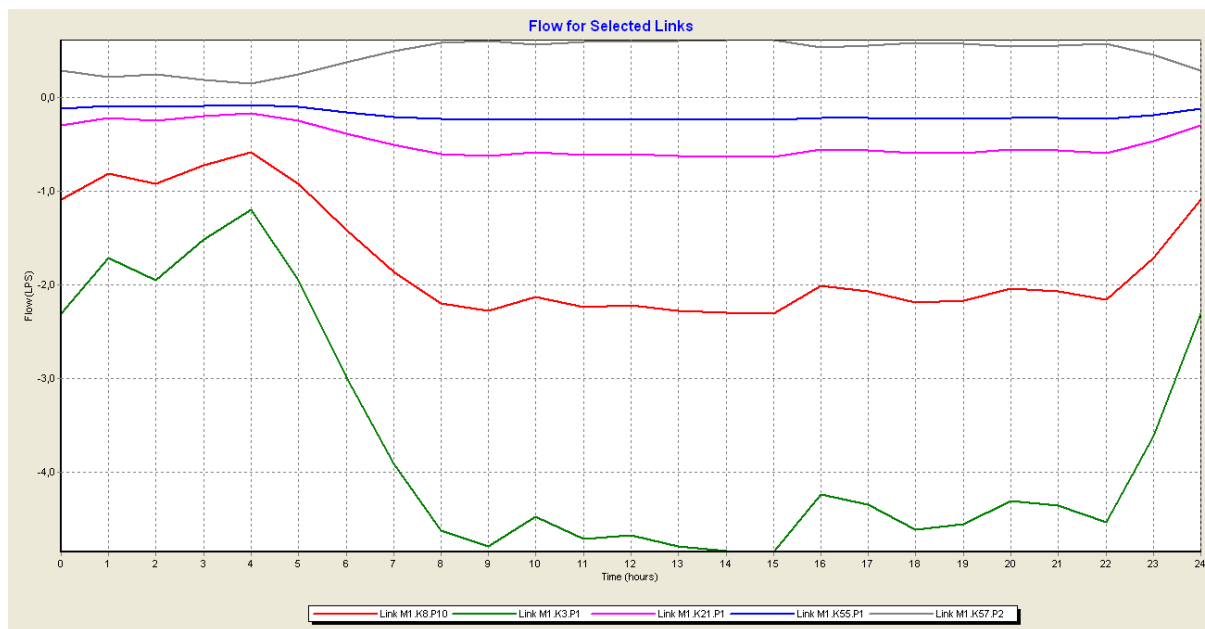
Poraba v mestu Piran je najmanjša v času med 24 uro zvečer in 4 uro zjutraj. V enotedenskih meritvah je bila zabeležena povprečna poraba 3,5 l/s. Ta poraba je razumljiva, ker večina prebivalcev oziroma obiskovalcev (turistov) takrat spi.

Tlak po izbranih vozliščih po sistemu



Graf 3: Prikaz tlakov v izbranih vozliščih

## Pretok po izbranih ceveh po sistemu



**Graf 4:** Prikaz pretokov po izbranih ceveh

Negativen pretok pomeni, da teče voda v obratni smeri, kot je bila predvidena z vnosom cevi v programu Sewer.

## 7.2 Izbruh požara

Mesto Piran ima veliko ozkih ulic, neprevozne za gasilska vozila. Zato ima mreža hidrantov veliko vlogo. V simulaciji sem predvidel, da najprej zagori na rtu piranskega polotoka (punta), nato pa še pred hotelom Piran. Tak scenarij sem s pomočjo upravljalca vodovodnega omrežja tudi stestiral v praksi. Najprej se je odprl podzemni hidrant na Puntici Piran in čez 30 minut še nadzemni hidrant pred hotelom Piran.

### Simulacija požara Piran Punta (podzemni hidrant)

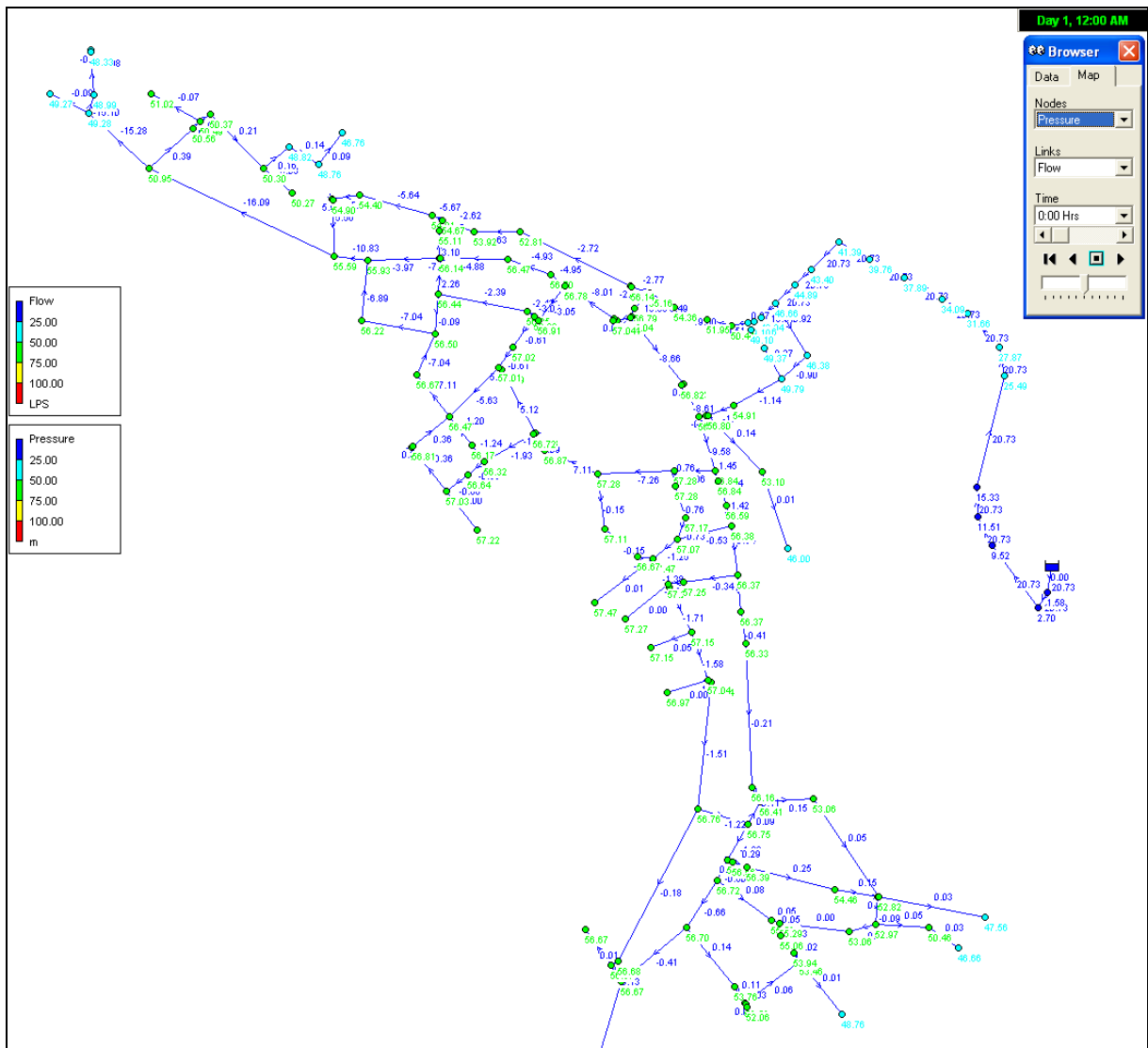


**Slika 21: Požar Piran Punta**

### Simulacija požara hotel Piran (nadzemni hidrant)

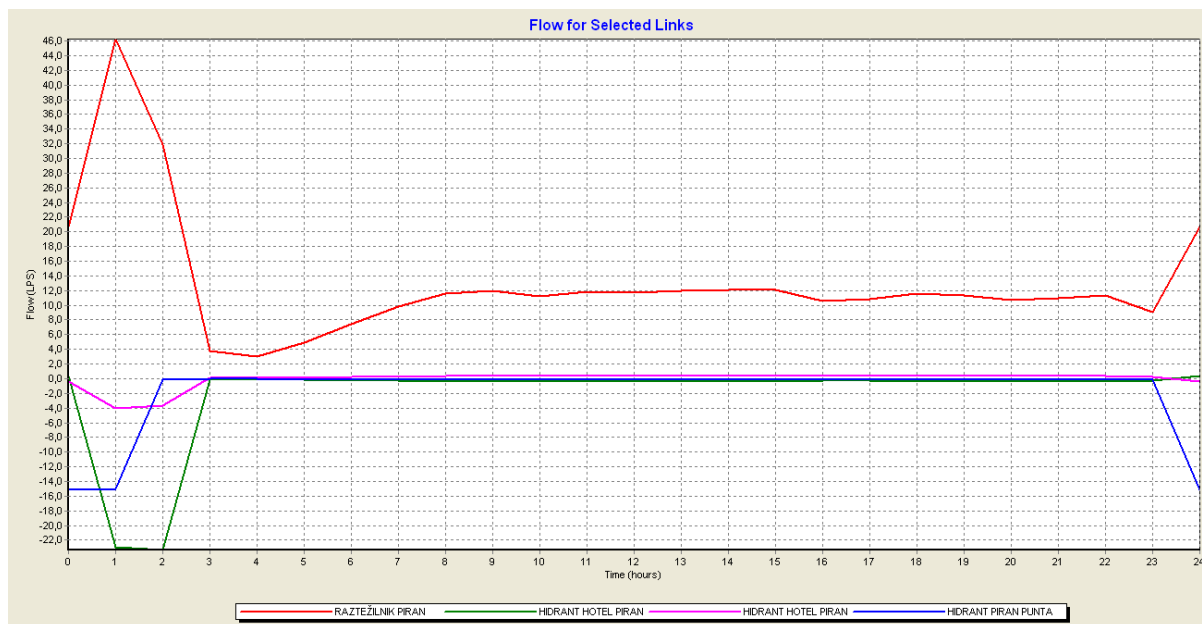


**Slika 22: Požar hotel Piran**



Slika 23: Prikaz hidravličnega stanja s programom Epanet v času simuliranja požara

## Pretok po izbranih ceveh po sistemu



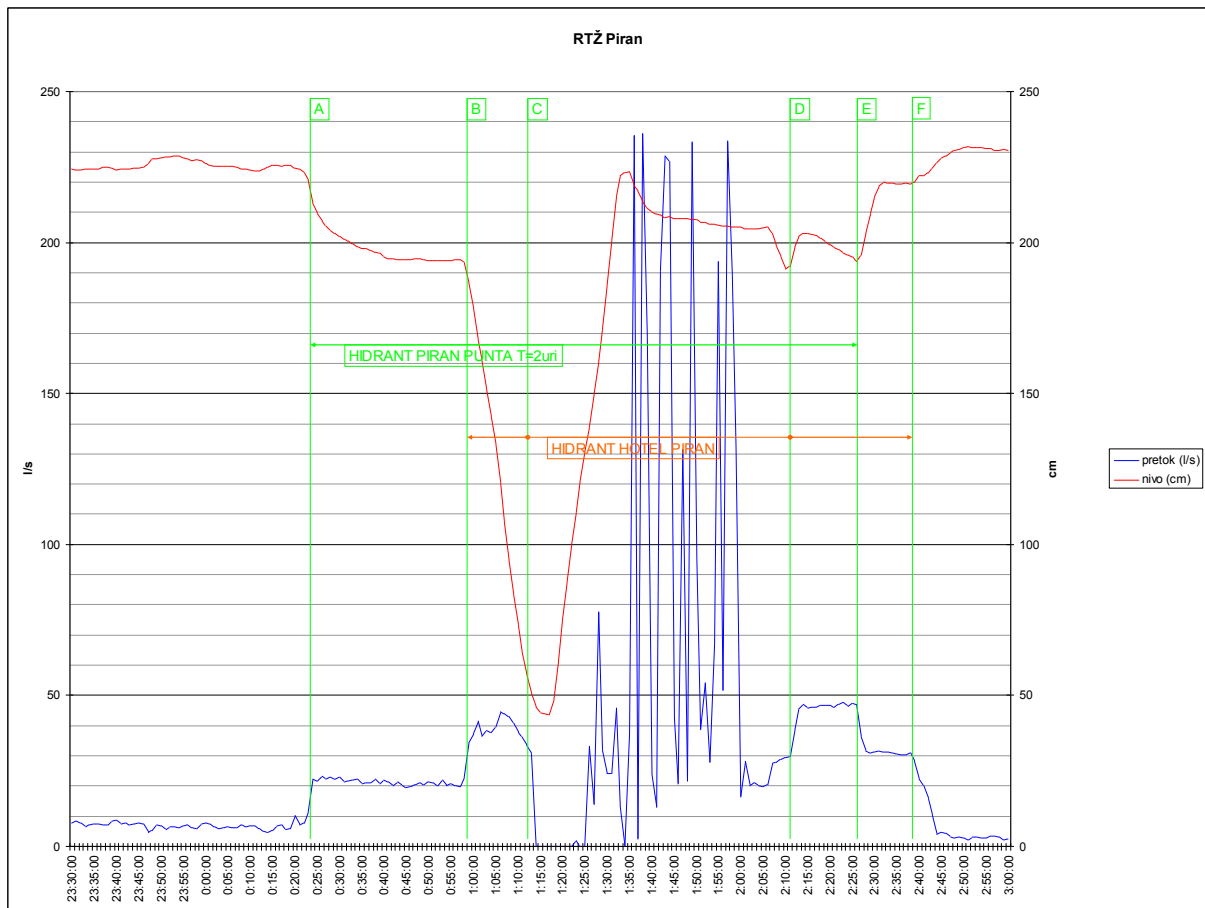
**Graf 5: Pretok v izbranih ceveh**

Negativen pretok pomeni, da teče voda v obratni smeri, kot je bila predvidena za vnosom cevi v programu Sewer.

V mojem diplomskem delu sem predpostavil, da ima raztežilnik Piran konstanten nivo, ker dotok uravnava plovni ventil. To pomeni, da ko se poveča poraba v mestu Piran, se začne spuščati gladina v raztežilniku Piran. Če ne bi bilo plovnega ventila, bi po določenem času zmanjkalo vode v raztežilniku. Naloga plovnega ventila pa je, da vzdržuje konstanten nivo. Večji kot je upad gladine bolj odpira dotok. Dotok v raztežilnik Piran prihaja iz rezervarja Moštra z volumnom 120 m<sup>3</sup> in dotočna cev ima premer 200 mm. Ob pogoju, da plovni ventil deluje in da je stalen dotok iz rezervarja Moštra v raztežilnik Piran, bi mesto Piran zdržalo dvo urni požar z gašenjem 40 l/s. V našem primeru pa se je zgodilo, da plovni ventil ni opravil svoje naloge, oziroma se ni dovolj odprl.

Predlog sanacije: odstranitev obstoječega plovnega ventila in vgraditev nivojskega stikala, kateri bi kontroliral dotok v raztežilnik Piran.

### Iztok in nivo v raztežilniku Piran



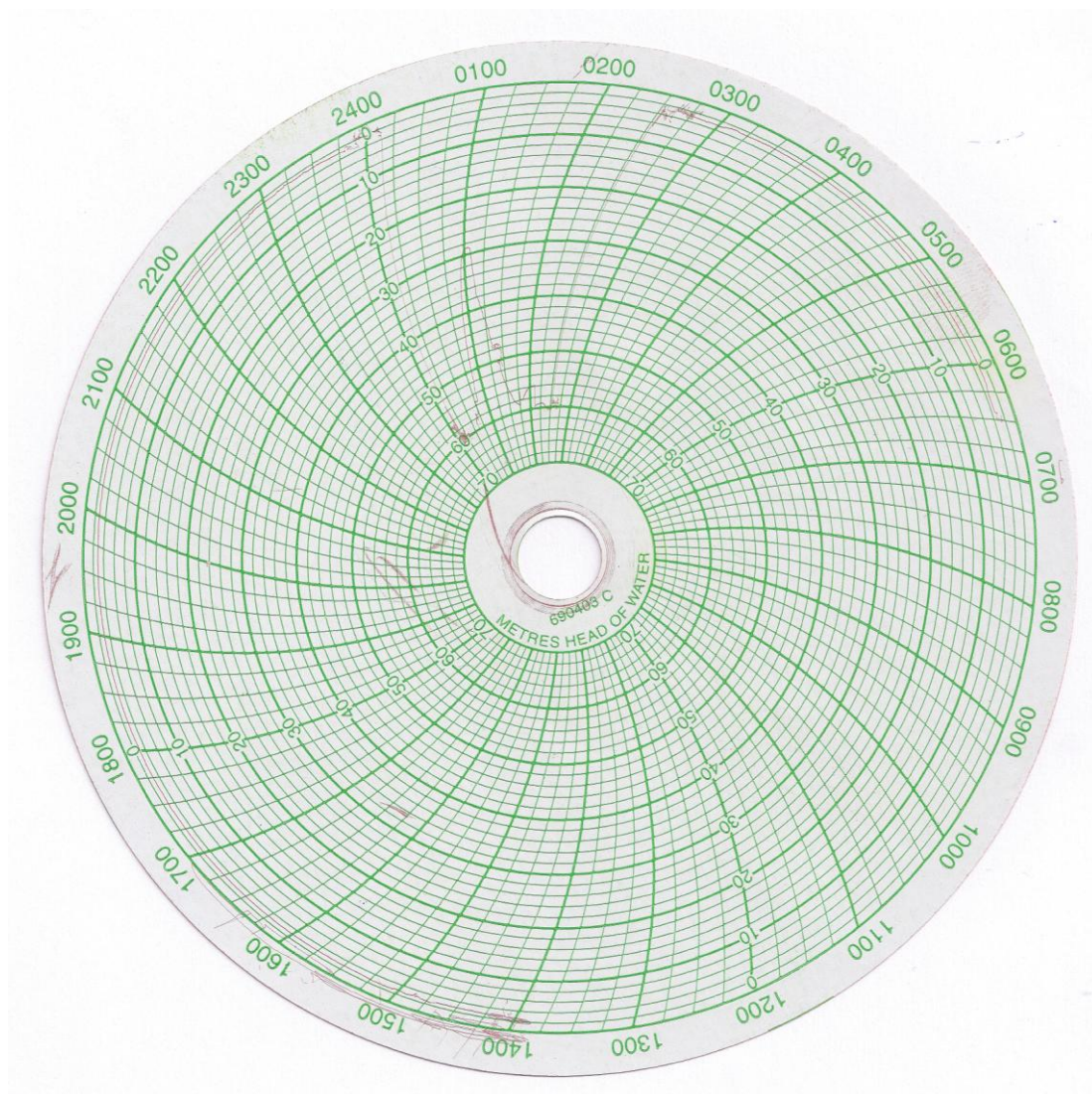
**Graf 6: Iztok iz raztežilnika Piran**

Opis območij:

- ◆ od A do E je odprt hidrant Piran Punta
- ◆ od B do C je odprt hidrant hotel Piran
- ◆ od C do D je zaprt hidrant hotel Piran
- ◆ od D do F je odprt hidrant hotel Piran
- ◆ pri C in D je bil plovni ventil odprt s pomočjo človeka



Dejanske tlačne razmere na mestu meritve pri carinskem pomolu zmerjene z merilcem tlaka Model XX, ki je bil vgrajen v času simulacije požara na izpust talnega hidranta.



**Graf 7: Rezultati meritev z merilnikom tlaka Model XX**

Iz razvidnega, je padel tlak na mestu meritve na 2,9 bara.

### 7.3 Puščanje

Večji del mesta Piran ima za zankan vodovod, kar pomeni, da se točka v sistemu napaja vsaj iz dveh smeri. Tak sistem je dosti bolj prilagodljiv v primiru puščanj, saj lahko okvarjeni del cevovoda izločimo iz sistema in razen priključkov, ki so vezani na zaprti del vodovoda, imajo ostali nemoteno preskrbo z vodo. Ko se okvara sanira oziroma odpravi puščanje, se zaprti cevovod lahko nazaj odpre. Kritična je sama konica polotoka Piran, ker se napaja samo z ene strani. Tak sistem je dosti bolj občutljiv na obnašanje vseh uporabnikov. Prihaja lahko do zastajanja vode oziroma do tako imenovanih slepih krakov. Ob manjših pretokih prihaja do večjega usedanja apnenca na stene cevi, kar spet lahko privede do okvar. V primiru puščanja oziroma okvare tega dela cevovoda, nima rt drugega vira pitne vode.

Da bi čim bolj zaokrogelili, predlagam sledeče:

- ◆ zelena barva; na novo zgrajeni vodovod
- ◆ rumena barva; obnovitev obstoječega vodovoda oziroma povečanje premera cevi

Predlog sanacije:



**Slika 24: Predlog sanacije mesta Piran**

## 8. ZAKLJUČEK

Cilj, ki sem si ga zastavil na začetku izdelave diplomske naloge, je uspel. Z uporabo programov SDMS in Sewer sem izdelal hidravlični model vodovoda mesta Piran in s programom Epanet izvedel nekaj izračunov za različne hidravlične obremenitve.

Model sem tudi verificiral in izvedel osnovno umerjanje. Rezultati, ki jih model daje, so zadovoljivi za potrebe te diplomske naloge.

Poraba v vozliščnih je bila, kot načrtovano, določena s pomočjo podatkov o porabi po evidenci hišnih števil. Model je nastavljen tako, da se lahko za vsak mesec posebj izdelava novo bazo porabe. Izmerjena je bila dnevna poraba iztoka iz raztežilnika Piran. Iz teh podatkov je izdelan vzorec porabe za celotno mesto Piran.

Glede na rezultate, ki jih daje model, lahko ugotovim, da je omrežje v Piranu dobro povezano v mrežasto oz. krožno obliko, kar se je pokazalo pri računanju požarnega toka. Problematičen je sam rt Pirana, zato sem tudi predlagal primer rešitve tega problema. Mrežasta povezanost omrežja namreč zagotavlja visoko stopnjo varnosti potrošnika, kajti kljub okvari na cevovodu je mogoče zagotoviti dobavo vode po drugih ceveh. Ko se bo končala trenutna gradnja v bližini napajalnega vodovoda za Piran iz rezervarja Bernardin, bo imelo mesto Piran na voljo dva vira pitne vode.

V hidravličnih izračunih za različne obtežnostne primere se je tudi izkazalo, da je večino časa zagotovljena količina pitne vode iz raztežilnika Piran. V primiru okvare dotočnega vodovoda iz rezervarja Moštre za raztežilnik Piran, bi mesto piran ostalo brez pitne vode. Ta problem bo lahko rešil odprt dotok iz rezervarja Bernardin. Izkazalo se je tudi, da v primeru večjega požara oziroma puščanja, plovni ventil v raztežilniku Piran ne spušča zadosti vode.

Model, ki sem ga izdelal za potrebe te diplomske naloge, je uporaben za trenutno stanje v mestu Piran. Pred uporabo za načrtovanje rešitev v omrežju vodovoda mesta Piran, pa bi ga bilo treba na novo umeriti, ko se bo začelo mesto napajati tudi iz rezervarja Bernardin.

Z naštetimi podatki, bi bilo mogoče model precej bolje umeriti in bi tako dajal uporabnejše in zanesljivejše rezultate. Poleg vsega omenjenega pa bi bilo potrebno biti pri nadaljnjem razvoju modela v sodelovati z zaposlenimi v podjetju Rižanski vodovod Koper, saj zelo dobro poznajo sistem, njegove lastnosti, posebnosti in njegovo obnašanje v različnih razmerah. Takšne informacije so in bodo ključnega pomena pri iskanju in odpravljanju napak ter preverjanju točnosti rezultatov.

## **VIRI**

### **Uporabljeni viri**

Samostojne publikacije

Tehnični arhiv Rižanskega vodovoda Koper

Rossman L.A. 2000. *Epanet 2 users manua*. Cincinnati, Environmental Protection Agency, Water supply and Water resources Division

Steinman, F. 1999 *Hidravlika*. 1. ponatis. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem.

Hlabjan A., Knez V., Lozej V., Turk M., Žigon I. 1997. *Ob prelivu tisočletja*. Koper, Rižanski vodovod Koper

### **Elektronski viri**

Podatki o zgodovini vodovoda v slovenski Istri (7.6.2009)

[http://www.rvk-jp.si/kratka\\_zgodovina](http://www.rvk-jp.si/kratka_zgodovina)

Program EPANET 2.0 (7.6.2009)

<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>

Navodila k programu EPANET 2.0

<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet/EN2manual.PDF>

Navodila k programu Sewer

<http://www.sl-king.si/Sewer/Prospekti/sewer%20plus%20slovenski%20web.pdf>