

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*



Univerzitetni program Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidatka:

**Petra Stropnik**

# **Hidravlična analiza vodovodnega sistema Šmartno ob Paki**

**Diplomska naloga št.: 2867**

**Mentor:**  
prof. dr. Franc Steinman

**Somentor:**  
asist. Daniel Kozelj

Ljubljana, 27. 1. 2006

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>519.61/.64:532.58:628.14(497.4ŠmartnoobPaki)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Petra Stropnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Franc Steinman</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. Daniel Kozelj, udiVKI</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Hidravlična analiza vodovodnega sistema Šmartno ob Paki</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>117 str., 12 pregl., 17 graf., 31 sl., 9 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>hidravlični model, vodovodni sistem, tlačne razmere, pretoki, hitrosti, Šmartno ob Paki</b>

## **IZVLEČEK**

Diplomska naloga obravnava hidravlične razmere na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki. Pri tem je poudarek predvsem na analizi tlačnih in pretočnih razmer s pomočjo uporabe ustreznega programskega orodja ter optimizaciji obstoječega stanja.

Vsebina naloge je razdeljena na teoretični in praktični del. Teoretični del zajema znanja, potrebna za ustrezno vzpostavitev hidravličnega modela, izračune ter analizo hidravličnih razmer, medtem ko se v praktičnem delu seznanimo konkretno z razmerami na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki. Vodovodni sistem je bil z večino podatkov na razpolago že v digitalni obliki ( v geografsko-informacijskem sistemu ). Podatki so najprej obdelani v programskem okolju ArcView ter s pomočjo vmesniškega programa DC Water Design Extension prenešeni v program Epanet, kjer je vzpostavljen hidravlični model. Nato so izvedeni hidravlični preračuni in nadalje analize rezultatov – tlačne in pretočne razmere na sistemu. Po opravljeni hidravlični analizi je povzeta poglobljena problematika delovanja vodovodnega sistema in na podlagi le-te podane ustrezne možne rešitve. Med temi je poiskana tehnično in ekonomsko najbolj sprejemljiva varianta, za katero je prav tako oblikovan hidravlični model in analiza dobljenih rezultatov.

Tekom nastajanja te naloge je bilo ugotovljeno, da obratovanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, ki je zelo razvejan in kompleksno sestavljen, ni povsem usklajeno s pravilniki in standardi. Tako je potrebno v prihajajočem obdobju na sistemu še marsikaj urediti.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 519.61/.64:532.58:628.14(497.4ŠmartnoobPaki)(043.2)  
**Author:** Petra Stropnik  
**Supervisors:** prof. dr. Franc Steinman  
asist. Daniel Kozelj, B.Sc.VKI  
**Title:** Hydraulic analysis of water supply system Šmartno ob Paki  
**Notes:** 117 p., 12 tab., 17 graph., 31 fig., 9 add.  
**Keywords:** hydraulic model, water supply system, pressure, flow, velocity, Šmartno ob Paki

**ABSTRACT**

The subject of the Graduation Project is the hydraulics of the Šmartno ob Paki water supply system. The primary focus is on the analysis of pressure and flow conditions using the appropriate software tools, and the optimisation of the existing situation.

The Graduation Project features a theoretical and a practical part. The theoretical part includes all the bases required for hydraulic modelling, and the calculations and analysis of hydraulic conditions, while the practical part involves the actual conditions present in the Šmartno ob Paki water supply system. The water supply system along with most data was already available in digital format ( Geographic Information System ). Initially, the data were processed in ArcView and subsequently, by way of the DC Water Design Extension interface software, transferred to Epanet where we established the final hydraulic model, calculated the hydraulics and analysed the results i.e. system pressure and flow conditions. Following the hydraulic analysis, we reviewed the main problems in the operation of the water supply system and outlined potentially viable solutions. We subsequently identified the most acceptable option from the engineering and economic point of view, for which we also developed a hydraulic model and analysed the results obtained.

In the course of the Graduation Project it also has been established that the operation of the Šmartno ob Paki water supply system, with its numerous branches and complexity of design, does not entirely comply with applicable regulations and standards. It follows that much remains to be done on the system in the future.

## **ZAHVALA**

Ob tej priložnosti bi se rada iskreno zahvalila za vso pomoč pri nastajanju diplomske naloge mentorju prof. dr. F. Steinmanu in somentorju asist. D. Kozelju. Hvala tudi g. Primožu Rošerju za koristne napotke ter g. Francu Rednaku za izčrpno pomoč pri zbiranju podatkov in za usmerjanje pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se svojim staršema za vso pomoč in podporo, ki sta mi ju nudila v času študija, in ker sta vseskozi verjela vame.

Predvsem pa najlepša hvala Emi in Petru, ki sta me v času nastajanja te diplomske naloge vzpodbujala in bodrila ter mi tako pomagala vsak dan narediti lepši.

**KAZALO**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>HIDRAVLIČNO MODELIRANJE TLAČNIH CEVOVODOV .....</b>	<b>3</b>
2.1	Hidravlična analiza cevododov .....	3
2.1.1	Osnovne enačbe toka.....	3
2.1.2	Energijske izgube v cevododih .....	8
2.1.3	Matematični zapis načina delovanja črpalk .....	15
2.1.4	Osnove delovanja ventilov .....	18
2.1.5	Fizikalni robni pogoji ( kontrola podtlakov ).....	20
2.1.6	Nekatere inženirske poenostavitve.....	21
2.2	Računalniško podprto hidravlično modeliranje cevododnih omrežij .....	23
2.2.1	Teorija hidravličnega modeliranja cevododnih omrežij .....	23
2.2.2	Osnovni elementi hidravličnega modela cevododnih omrežij.....	25
2.2.3	Struktura podatkovne baze elementov hidravličnega modela.....	37
2.2.4	Obdelava podatkov za vzpostavitev modela.....	38
2.2.5	Tipi časovnih simulacij za potrebe različnih analiz .....	45
2.3	Uporabljena programska oprema .....	50
2.3.1	Program ESRI ArcView 3.3.....	50
2.3.2	Programski dodatek DC Water Design Extension.....	52
2.3.3	Program Epanet 2.0.....	53
2.4	Pravni vidiki .....	56
2.4.1	Predpisi na področju oskrbe z vodo .....	56
2.4.2	Akti lokalne skupnosti.....	58
2.4.3	Interni pravilniki in standardi.....	59
<b>3</b>	<b>VODOVODNI SISTEM ŠMARTNO OB PAKI .....</b>	<b>61</b>
3.1	Opis vodovodnega sistema.....	61
3.1.1	Potek izgradnje vodovodnega omrežja v občini Šmartno ob Paki.....	61
3.1.2	Splošen opis vodovodnega sistema Šmartno ob Paki .....	63
3.2	Razpoložljivi podatki o vodovodnem omrežju in njegovem obratovanju .....	64
3.2.1	Osnovne karakteristike in zasnova vodovodnega omrežja .....	64
3.2.2	Podatki o cevododih.....	65

3.2.3	Podatki o vodnih virih, vodohranih, črpališčih in ostalih armaturah.....	69
3.2.4	Podatki o porabi vode .....	75
3.2.5	Podatki o obratovanju vodovodnega omrežja.....	80
3.3	Problematika vodovodnega sistema .....	83
<b>4</b>	<b>VZPOSTAVITEV HIDRAVLIČNEGA MODELA IN ANALIZA REZULTATOV .....</b>	<b>85</b>
4.1	Vzpostavitev podatkovne baze vodovodnega omrežja.....	85
4.1.1	Obdelava podatkov o fizičnih elementih vodovodnega omrežja s programskim orodjem ArcView .....	85
4.1.2	Priprava podatkov o obratovanju vodovodnega omrežja .....	89
4.1.3	Obdelava podatkov o porabi vode v vodovodnem omrežju .....	90
4.1.4	Vzpostavitev hidravličnega modela vodovodnega omrežja s programom Epanet 92	
4.1.5	Umerjanje in testiranje modela ( kalibracija in verifikacija ) .....	98
4.2	Analiza hidravličnih razmer v vodovodnem omrežju .....	101
4.2.1	Običajni obtežbeni primeri na vodovodnem omrežju Šmartno ob Paki.....	102
4.2.2	Analiza hidravličnih razmer posameznih obtežbenih primerov .....	103
4.3	Analiza hidravličnih razmer ob navezavi vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki na centralni del vodovodnega omrežja Velenja.....	109
4.3.1	Možne rešitve navezave vodovodnega omrežja .....	109
4.3.2	Hidravlična zasnova navezave vodovodnega omrežja .....	111
4.3.3	Rezultati novih hidravličnih razmer .....	113
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>116</b>
<b>6</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>118</b>
<b>7</b>	<b>PRILOGE.....</b>	<b>123</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Hrapavost cevi $k$ ( mm ) za različne materiale cevi .....	9
Preglednica 2: Koeficient hrapavosti $C$ za različne materiale cevi.....	11
Preglednica 3: Manningov koeficient trenja $n_G$ za različne materiale cevi .....	12
Preglednica 4: Vrednosti koeficienta $\xi$ za tipične spojne člene .....	14
Preglednica 5: Dolžine cevovodov po materialu .....	66
Preglednica 6: Splošne karakteristike zajetij ( po podatkih iz leta 2000 ) .....	70
Preglednica 7: Izdatnost vodnih virov v letu 2004 .....	71
Preglednica 8: Splošne karakteristike vodohranov .....	73
Preglednica 9: Prikaz srednje dnevne porabe vode glede na porabnika .....	76
Preglednica 10: Prikaz podatkov o porabi vode po mesecih v letu 2004 .....	77
Preglednica 11: Prikaz izgub na obravnavanem sistemu .....	78
Preglednica 12: Prikaz odprtih hidrantov dne 12.12.2005.....	100

## KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Točka obratovanja v sistemu črpalka - cevovod.....	16
Grafikon 2: Izkoristek črpalke na točki obratovanja .....	18
Grafikon 3: Prikaz deleža posameznih materialov v omrežju.....	66
Grafikon 4: Prikaz dolžine cevovoda glede na material cevi .....	67
Grafikon 5: Prikaz razdelitve cevovoda glede na starost cevi.....	67
Grafikon 6: Prikaz funkcij obravnavanega cevovoda.....	68
Grafikon 7: Prikaz srednje dnevne porabe vode glede na porabnika .....	76
Grafikon 8: Prikaz ekstremnih porab vode po mesecih v letu 2004.....	77
Grafikon 9: Dnevno nihanje porabe vode iz vodohrana Rečica.....	96
Grafikon 10: Prikaz koeficienta dnevnega nihanja porabe vode.....	97
Grafikon 11: Primerjava izračunanih in izmerjenih tlakov v vozlišču 2279.....	101
Grafikon 12: Urno nihanje hitrosti vode na izbrani cevi .....	105
Grafikon 13: Urno spreminjanje tlaka na izbranih vozliščih.....	105
Grafikon 14: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica.....	106
Grafikon 15: Nihanje tlakov na kritičnem mestu v vodovodnem sistemu pri požarnem pretoku 5 l/s .....	107
Grafikon 16: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica.....	108
Grafikon 17: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica.....	108
Grafikon 18: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica.....	114
Grafikon 19: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica v primeru požara.....	115



**KAZALO SLIK**

Slika 1: Ohranitev energije .....	5
Slika 2: Tlačna (HGL) in energijska (EGL) črta.....	7
Slika 3: Prikaz Moodyjevega diagrama .....	10
Slika 4: Tokovnice na vtoku v cev .....	15
Slika 5: Vpliv relativne hitrosti na karakteristiko črpalke .....	28
Slika 6: Prirobnični litoželezni fazonski kosi .....	32
Slika 7: Zasun z mehkim tesnenjem, namenjen za zapiranje pretoka vode.....	33
Slika 8: Skica vejičastega sistema.....	35
Slika 9: Skica mrežastega sistema .....	36
Slika 10: Skica krožnega sistema.....	36
Slika 11: Prikaz strukture podatkovne baze elementov hidravličnega modela.....	37
Slika 12: Prikaz pravilne in nepravilne povezave cevi .....	40
Slika 13: Pogosta dnevna krivulja porabe.....	48
Slika 14: Prikaz programskega okolja ArcView .....	51
Slika 15: Pogovorna okna programskega vmesnika DC Water Design Extension.....	53
Slika 16: Vpogled v okolje programskega orodja Epanet.....	55
Slika 17: Oskrbovano območje vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki.....	62
Slika 18: Prikaz Šmartnega ob Paki na karti.....	63
Slika 19: Vodni vir Šmartno ob Paki ( levo ) in vodnjaka na vodnem viru Rečica 1 ( desno )	70
Slika 20: Vodovarstveni pasovi zajetij Šmartno ob Paki in Rečica1 .....	72
Slika 21: Vodohran Šmartno ob Paki ( levo ) in vodohran Rečica ( desno ).....	74
Slika 22: Prikaz točk porabe vode v Šmartnem ob Paki .....	75
Slika 23: Črpališče Rečica 1 .....	80
Slika 24: Črpališče Šmartno ob Paki.....	81
Slika 25: Prikaz priprave podatkov v programskem okolju ArcView .....	91
Slika 26: Priprava hidravličnega modela v programskem okolju Epanet.....	92
Slika 27: Prikaz vnosa karakteristik črpalke .....	94
Slika 28: Vzorec delovanja črpalke v črpališču Rečica .....	95
Slika 29: Vzorec dnevnega nihanja porabe vode .....	98
Slika 30: Prikaz izbranih točk za umerjanje modela.....	99

Slika 31: Prikaz tlakov na obravnavanem vodovodnem omrežju .....	104
Slika 32: Tlaki pri različnem požarnem pretoku .....	107
Slika 33: Prikaz modeliranja navezave vodovodnega sistema Šmartno ob Paki na centralni del vodovodnega omrežja Velenje – Šoštanj.....	112
Slika 34: Prikaz tlakov pri požarnem pretoku 5 l/s ob 12h .....	115

**SEZNAM PRILOG**

- Priloga A: Vodovodno omrežje občin Velenje, Šoštanj in Šmartno ob Paki
- Priloga B: Vodovodni sistem Šmartno ob Paki
- Priloga C: Vodovarstveni pasovi na vodovodnem omrežju Šmartno ob Paki
- Priloga D: Možne rešitve navezave vodovodnega sistema Šmartno ob Paki na centralni del vodovodnega omrežja Velenje
- Priloga E: Shematski prikaz delovanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki
- Priloga F: Tlačne in pretočne razmere na osnovnem modelu
- Priloga G: Tlačne in pretočne razmere na dinamičnem modelu
- Priloga H: Tlačne in pretočne razmere v primeru požara
- Priloga I: Tlačne in pretočne razmere predlagane navezave na vodovodni sistem Velenje
- Priloga J: Tlačne in pretočne razmere predlagane navezave v primeru požara

## 1 UVOD

Vsako živo bitje potrebuje za svoj obstanek, rast in razvoj vodo. Za razliko od živali in rastlin pa človek poleg osnovnih bioloških potreb izkorišča vodo še v druge namene. Potrebe po vodi se spreminjajo in so odvisne od različnih faktorjev – od podnebja in letnega časa, načina oskrbe z vodo, velikosti in tipa naselja, predvsem pa od stopnje razvoja industrije in gospodarstva.

Vodooskrbni sistemi, kot jih poznamo danes, so nastajali in se izpopolnjevali skozi tisočletja. Človek se je že v pradavnini naseljeval v bližini tekočih površinskih voda, kar nam dokazujejo ostanki naselij – npr. Babilon na obeh bregovih Evfrata približno 2000 let pred našim štetjem. Prav tako se je v času bronaste dobe pojavil že prvi javni vodovod in sicer v Mikenah ter nekoliko kasneje na Kreti, podobno pa so v antični dobi Grki in Rimljani gradili akvadukte, ki so bili navadno v obliki mostu. Iz tega časa so znani tudi že prvi predpisi o dobavi in porabi vode iz javnih vodovodov. V srednjem veku skrb za zdravo pitno vodo kot tudi za osebno higieno nekoliko tone v pozabo, pravo "razsvetljenje" pa nato doživimo v času renesanse, ko nastopi preporod antičnega duha in miselnosti. V tem obdobju se začenjajo z vodo, predvsem njeno kvaliteto, ukvarjati številni znanstveniki, katerih eksperimentalno delo ogromno doprinese k izboljšanju pitne vode in s tem tudi standardov vodooskrbe ljudi.

V zadnjih desetletjih ima človek vedno večje potrebe po izkoriščanju vode v različne namene, kar se kaže v čedalje večji onesnaženosti voda, ta pa je posledica vse bolj uničenega naravnega okolja. Zaradi tega lahko v prihodnosti pričakujemo bolj zahtevno izvedbo vodovodnih sistemov, ki bodo omogočali čiščenje pitne vode na bistveno višji ravni, kot je bilo to potrebno do sedaj.

Znotraj Komunalnega podjetja Velenje d.o.o. je organizirana poslovna enota Vodovod - Kanalizacija, katere glavna naloga je oskrba uporabnikov z zadostno količino zdrave pitne vode na območju občin Velenje, Šoštanj in Šmartno ob Paki. Spremenjene družbeno-ekonomske razmere po letu 1990 so v Sloveniji povzročile prav tako spremenjene pogoje za upravljanje vodooskrbnih sistemov. Dvig cen komunalnih storitev, vedno večje izgube vode v

vodovodnem omrežju, stagniranje razvoja mestnih središč, razširitev vodooskrbnega sistema na območja z nizko gostoto odvzema vode ter prilagajanje na strožje evropske zahteve glede kvalitete vode so dejavniki, ki so bistveno spremenili in zaostriili pogoje upravljanja vodooskrbnega sistema, zaradi česar želijo v Komunalnem podjetju Velenje ponovno definirati strategijo le-tega za prihajajoče obdobje, t.j. vsaj do leta 2015. Poraba pitne vode vse bolj narašča, hkrati pa so vedno bolj onesnaženi tudi vodni viri. Zato je potrebno stremeti k oblikovanju takih vodovodnih sistemov, kjer bo zanesljiva poraba pitne vode na prvem mestu.

Cilj diplomske naloge je torej, da se oblikuje ustrezna podatkovna baza za nadaljnjo vzpostavitev hidravličnega modela, nato pa se izvrši hidravlični preračun vodooskrbnega sistema in s preračunom hidravličnih razmer analizira obstoječe stanje. V težnji po zagotavljanju kontinuirane vodooskrbe ( enakega oz. višjega standarda storitev ) se potem na območju, ki ga upravlja Komunalno podjetje Velenje, nakaže strokovno podkrepnjene smeri izboljšave delovanja vodovodnega omrežja kot celote ter razvoja na področju celostnega upravljanja z infrastrukturnimi objekti in napravami vodooskrbnega sistema Šmartno ob Paki.

Diplomska naloga je sestavljena iz teoretičnega in praktičnega dela. V drugem poglavju so zajeta in predstavljena vsa znanja, na katerih temelji hidravlično modeliranje, medtem ko se tretje in četrto poglavje nanašata na predstavitev vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki. Najprej so predstavljene osnovne značilnosti obravnavanega vodovodnega sistema, nato pa podani vsi podatki, ki so pomembni za optimalno vzpostavitev hidravličnega modela. Hidravlični izračun in analiza sta narejena za različne obtežbene primere. Na podlagi dobljenih rezultatov smo v petem poglavju na kratko obdelali možne rešitve, s katerimi bi lahko izboljšali obratovanje vodovodnega omrežja in tako omogočili ustrezen nivo storitev v zvezi s preskrbo s pitno vodo na območju Šmartnega ob Paki.

## 2 HIDRAVLIČNO MODELIRANJE TLAČNIH CEVOVODOV

Poglavje obravnava teoretične podlage, ki so potrebne za ustrezno hidravlično modeliranje vodovodnega sistema.

### 2.1 Hidravlična analiza cevovodov

Da lahko optimalno dimenzioniramo vodovodni sistem, je potrebno izdelati ustrezen hidravlični model. Na podlagi tega lahko ugotavljamo zvezo med posameznimi hidravličnimi parametri in določamo, ali so dejanske vrednosti skladne z dovoljenimi minimalnimi oziroma maksimalnimi vrednostmi hitrosti toka ali obratovalnega tlaka na vodovodnem sistemu. Za ustrezno modeliranje je potrebno poznati vse teoretične podlage, ki so navedene v naslednjih odstavkih.

#### 2.1.1 Osnovne enačbe toka

Pomembni enačbi za matematični opis karakteristik toka sta kontinuitetna in Bernoullijeva enačba.

##### 2.1.1.1 Zakon o ohranitvi mase (Kontinuitetna enačba)

Za nestisljivo tekočino velja:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = Q_1 = Q_2 = konst. \quad (1)$$

Pri tem je:

$S$  velikost prečnega prereza cevi na nekem odseku ( $m^2$ ),

$v$  hitrost toka vode na obravnavanem odseku ( $m/s$ ),

$Q$  pretok ( $m^3/s$ );

Kontinuitetna enačba se uporablja v primeru enostavnih cevovodov na mestih, kjer se stikajo cevi z različnimi premeri. Zgoraj podani izraz je merodajen za enodimenzijski izračun.

Kontinuitetno enačbo lahko zapišemo tudi na drugačen način. Zakon o ohranitvi mase namreč pravi, da je v vsakem vozlišču sistema ( v primeru nestisljive tekočine ) celotni volumski ali masni dotok v nek določen volumen načeloma enak iztoku iz tega volumna, h kateremu je potrebno prišteti morebitno spremembo, do katere v tem volumnu lahko pride. Če te tokove razdelimo na priključne cevovode, potrošnjo in skladiščenje, lahko dobljeno izrazimo na naslednji način:

$$\Sigma Q_{vt} \cdot \Delta t - \Sigma Q_{iz} \cdot \Delta t = \Delta V_{spr} \quad (2)$$

Pri tem je:

$Q_{vt}$  celotni dotok v vozlišče,

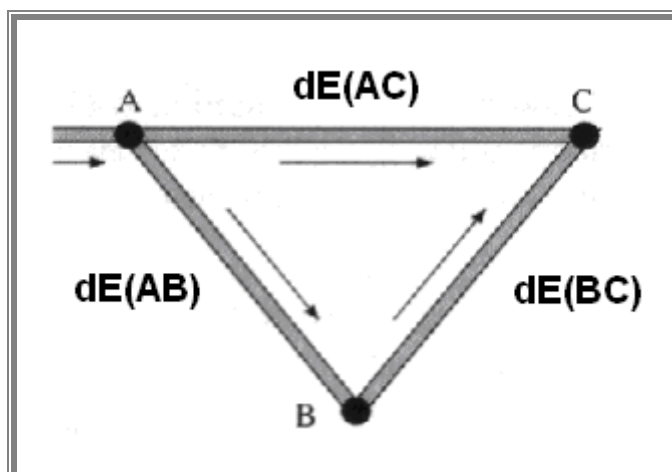
$Q_{iz}$  celotna potrošnja v vozlišču,

$\Delta t$  časovni interval, v katerem pride do spremembe volumna vode,

$\Delta V_{spr}$  sprememba volumna vode;

### 2.1.1.2 Zakon o ohranitvi energije ( Bernoullijeva enačba )

Pri ohranitvi energije gre za preprosto uravnoveženje energijskih izgub v vsaki točki. V primeru tlačnih cevovodov to pomeni, da mora biti celotna tlačna izguba med dvema vozliščema v sistemu enaka, ne glede na pot med tem dvema točkama. Tlačna izguba mora biti pravilno predznačena glede na predpostavljeno smer pretoka ( t. j. naraščanje energije, kadar je smer pretoka nasprotna predpostavljeni, in manjšanje energije, kadar je smer pretoka enaka predpostavljeni ). Zakon o ohranitvi energije lahko bolje pojasnimo s pomočjo slike 1.



**Slika 1: Ohranitev energije**

(Cybernet Teorija za Windows, 1999)

Pot od točke A do točke C lahko zapišemo kot bilanco hidravličnih izgub:  $\Delta E_{AC} = \Delta E_{AB} + \Delta E_{BC}$ , pot npr. od točke A do točke B pa kot:  $\Delta E_{AB} = \Delta E_{AC} - \Delta E_{BC}$ . Če pa želimo izraziti pot po zaključeni zanki, lahko to zapišemo na naslednji način:  $\Delta E_{AB} + \Delta E_{BC} - \Delta E_{AC} = 0$ . Naveden izraz opiše dogajanje na poti, ki se začne in konča v točki A. Čeprav postane ravnotežje z upoštevanjem lokalnih izgub in kontrolnimi ventili bolj zapleteno, lahko enak osnovni zakon uporabimo za katerokoli pot med dvema točkama. Kot je prikazano na zgornji sliki, mora biti vsota hidravličnih izgub v zanki vedno enaka 0, če želimo, da ostane hidravlična višina enaka kot na začetku.

Skupna mehanska energija v poljubni točki v hidravličnem sistemu je izražena z naslednjimi tremi oblikami energije:

tlačna višina  $\frac{p}{\gamma}$ ,

potencialna, izkazana z geodetsko višino  $z$ ,

hitrostna (dinamična) višina  $\frac{v^2}{2g}$ ,

kjer je:

$p$  tlak (N/m<sup>2</sup>),

$\gamma$  gostota vode ( $\gamma \cong 10^4$  N/m<sup>3</sup>),

$z$  geodetska višina (m.n.v., če je primerjalna ravnina na gladini morja),



$v$  hitrost ( m/s ),

$g$  gravitacijska konstanta (  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  );

Z omenjenimi količinami izrazimo tlačne izgube ali izvore energije med dvema točkama. Uporabimo jih v energijski enačbi, ki se glasi:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \sum (\text{vse oblike ireverz. energij}) \quad (3)$$

V energijski enačbi nastopata poleg že omenjenih količin še:

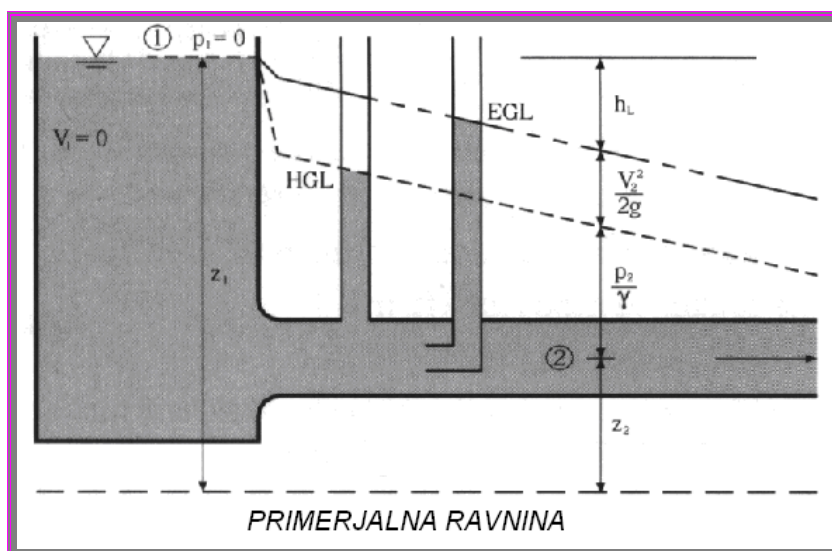
$h_1$  izvor energija – običajno s pomočjo črpalke ( m ),

$h_2$  vsota energijskih višin ( m ), npr. opravljeno mehansko delo;

Poleg tlačne energijske višine, potencialne energije in hitrostne energijske višine lahko sistemu energijo še dodamo, npr. s črpalko, ali pa jo odvezamo, npr. z izgubo energije zaradi trenja in drugih motenj v sistemu. Te spremembe energije imenujemo tudi izvori oz. izgube energije in jih uravnotežimo med dvema točkama v sistemu z že zgoraj navedeno energijsko enačbo.

S komponentami energijske enačbe lahko izrazimo dve uporabni količini - hidravlično in energijsko višino. Hidravlična višina je vsota tlačne energijske višine ( $\frac{p}{\gamma}$ ) in višine potencialne energije ( $z$ ). To je višina, do katere se dvigne vodni stolpec v piezometru. V skicah le-to pogosto označujemo kot tlačno črto ali HGL ( *Hdraulic Grade Line* ). Energijska višina pa je vsota tlačne energije in hitrostne energije ( $\frac{v^2}{2g}$ ). To je višina, do katere se dvigne vodni stolpec v pitotovi cevi. V diagramih jo pogosto imenujemo energijska črta ali EGL ( *Energy Grade Line* ). V jezerih ali vodohranih, kjer je hitrost približno nič, sta hidravlična in energijska višina enaki.

Tlačna in energijska črta sta grafično prikazani na sliki 2, ki prikazuje poenostavljen model vodohrana in cevovoda.



Slika 2: Tlačna (HGL) in energijska (EGL) črta

(Cybernet Teorija za Windows, 1999)

Na zgornji sliki je prikazana tlačna oz. hidravlična črta, ki nam pove, do kod bi se voda pri porabnikih lahko dvignila, kadar sistem obratuje in voda teče po ceveh. Priključki uporabnikov so izvedeni pravokotno na cev, zato nanje kinetična energija toka ne vpliva

Vodna gladina v vodohranu predstavlja hidrostatično črto. Do nje bi se lahko dvignila gladina vode pri vsakem uporabniku, ko ne bi bilo v vodovodnem sistemu nobenih energijskih izgub. Višinska razlika med gladino vode v vodohranu in gladino vode pri posameznem porabniku predstavlja velikost tlaka pri mirovanju vode v cevovodu. Na vsakih 10 metrov višinske razlike se tlak vode poveča za približno en bar. Ker naj bi praviloma bil največji dovoljeni tlak pri posameznem porabniku 7 barov, sme vodohran ležati največ 70 metrov nad porabniki oz. le toliko nad 70 metrov, kolikor znašajo tlačne izgube.

Energijska enačba za realno tekočino nam torej pove, da se celotna energija ohranja. Ko pa v zaporednih prerezi primerjamo energijo prereza, lahko ugotovimo, da se energija v smeri toka vedno manjša. Pri tem energija ne gre v nič, ampak se sestava le-te spreminja v nepovratno obliko energije, kot je npr. toplota realne tekočine. Slednje imenujemo energijske izgube.

## 2.1.2 Energijske izgube v cevovodih

V grobem ločimo linijske in lokalne izgube. Primarne so linijske izgube, do katerih pride zaradi trenja med tekočino in steno cevi. Te izgube potekajo po celi dolžini cevi, energijska in hidravlična črta padata linearno v smeri toka tekočine. Sekundarne energijske izgube imenujemo lokalne izgube. Te so lahko posledica povečane turbulence ali pa nastanejo zaradi motenj tokovnic, ki jih pogosto povzročajo ventili, merilci ali priključni spoji.

Lokalne izgube so v primerjavi z linijskimi majhne in ( če so dovolj majhne ) jih lahko v nekaterih analizah zanemarimo. V cevnih omrežjih, ki vsebujejo relativno veliko spojnih členov glede na celotno dolžino cevi, pa imajo lokalne izgube pomemben vpliv na izgubo energije.

### 2.1.2.1 Linijske izgube

Na razpolago imamo kar nekaj enačb, ki ponazarjajo linijske izgube v tlačnih cevovodih. Najpogosteje uporabljene metode so:

- a) Darcy-Weisbachova enačba,
- b) Prandtl-Colebrookova enačba,
- c) Hazen-Williamsova enačba,
- d) Manningova enačba.

Prvo izmed omenjenih enačb lahko uporabljamo za široko območje tekočin, medtem ko sta slednji dve empirični in izključno prilagojeni le za izračun v vodnih sistemih. Vse te enačbe pa določajo linijske izgube kot funkcijo hitrosti tekočine in vpliva hrapavosti cevi.

#### a) Darcy-Weisbachova enačba

Ta enačba je izpeljana teoretično, vsi neznani vplivi so zajeti v koeficientu  $\lambda$ . Uporabljamo jo pri analizi tlačnih cevovodov in velja za vse pretoke in vse nestisljive tekočine. Darcy-Weisbachova enačba se glasi:

$$\Delta E_{lin} = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (4)$$

pri tem je:

$\Delta E_{lin}$  linijske izgube v ceveh ( m vodnega stebra ),

$\lambda$  Darcy-Weisbachov koeficient trenja ( - ),

$l$  dolžina cevovoda ( m ),

$D$  premer cevi ( m ),

$v$  hitrost ( m/s ),

$g$  gravitacijski pospešek ( m/s<sup>2</sup> );

Darcy-Weisbachov koeficient trenja  $\lambda$  je funkcija relativne hrapavosti cevi, hitrosti tekočine in kinematične viskoznosti tekočine. Izračunamo ga lahko s pomočjo Swamme & Jain enačbe, ki se glasi:

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}. \quad (5)$$

Pri tem je:

$k$  višina hrapavosti ( m ),

$Re$  Reynoldsovo število ( - );

Reynoldsovo število izračunamo s pomočjo enačbe:

$$Re = \frac{vD}{\nu}, \quad (6)$$

pri čemer je  $\nu$  kinematična viskoznost tekočine.

Vrednosti hrapavosti cevi za različne materiale cevi so podane v spodnji preglednici.

Preglednica 1: Hrapavost cevi  $k$  ( mm ) za različne materiale cevi

Material	Hrapavost cevi $k$ ( mm )	Material	Hrapavost cevi $k$ ( mm )
azbestni cement	0,0015	pocinkano jeklo	0,0005
medenina, bron	0,0015	steklo	0,000005
opeka	0,6	svinec	0,000005
lito železo	0,26	plastika	0,000005
beton	0,0012 – 0,006	jeklo	0,000016 – 0,003
baker	0,000005	les	0,0006
valovito jeklo	0,15	/	/

b) Prandtl-Colebrookova enačba

Prandtl-Colebrookova enačba je enačba za določitev koeficienta trenja in se glasi:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71D} \right]. \quad (7)$$

Pri tem imamo naslednje vrednosti:

$\lambda$  koeficient trenja (-),

$Re$  Reynoldsovo število (-),

$k$  absolutna hrapavost (m),

$D$  premer cevi (m);

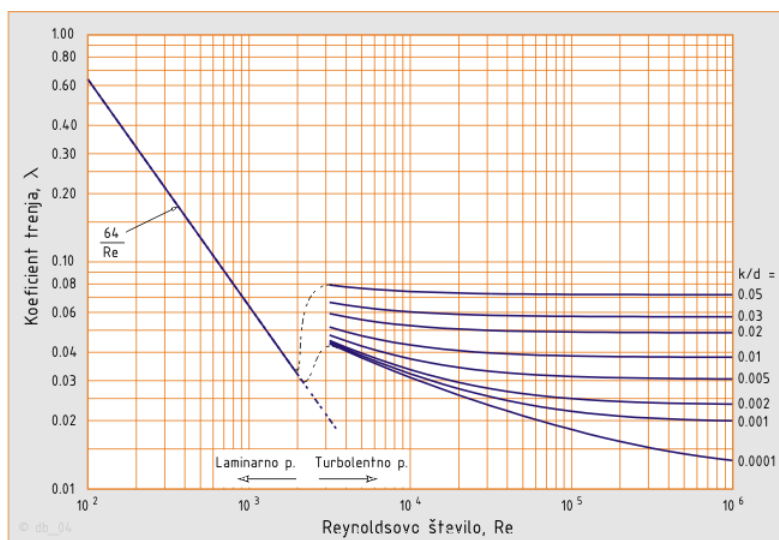
Dobljen koeficient trenja uporabljamo v enačbi linijskih izgub, ki smo jo obravnavali že pod

točko a) in jo zapišemo kot:  $\Delta E_{lin} = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$ . Reynoldsovo število pa lahko ponovno

izrazimo z  $Re = \frac{vD}{\nu}$ . Pri tem je  $v$  hitrost toka ( m/s ),  $D$  premer cevi ( m ) in  $\nu$  kinematična

viskoznost ( m<sup>2</sup>/s ), relativno hrapavost pa izražamo z razmerjem:  $\frac{k}{D}$  (-). Koeficient trenja  $\lambda$  je

odvisen od Reynoldsovega števila in relativne hrapavosti. Običajno je predstavljen grafično in sicer s pomočjo Moody-jevega diagrama.



Slika 3: Prikaz Moodyjevega diagrama

( [http://sl.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbachova\\_ena%C4%8Dba](http://sl.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbachova_ena%C4%8Dba) [20.7.2005] )

c) Hazen-Williamsova enačba

Hazen-Williamsova enačba se največkrat uporablja pri projektiranju in analizi tlačnih cevovodov za distribucijo vode. Enačba je bila dobljena eksperimentalno in velja le za vodo, medtem ko za izračune pri ostalih tekočinah ni uporabna. Upoštevamo jo lahko le v območju normalnih temperatur v cevovodih.

Hazen-Williamsova enačba vsebuje koeficient hrapavosti  $C$ , ki je konstanten samo čez široko območje ( turbulentnih ) tokov, vsebuje pa tudi empirično konstanto. Enačba se glasi:

$$\Delta E = \frac{6,79L}{D^{1,16}} \left( \frac{v}{C} \right)^{1,85} . \quad (8)$$

Pri tem je :

$\Delta E$     energijska izguba ( m ),

$L$       dolžina cevovoda ( m ),

$D$       premer cevi ( m ),

$v$       hitrost ( m/s ),

$C$       Hazen-Williamsov koeficient trenja ( hrapavosti ) ( - );

Značilne vrednosti koeficienta hrapavosti (  $C$  ) so prikazane v spodnji preglednici.

Preglednica 2: Koeficient hrapavosti  $C$  za različne materiale cevi

Material	Koeficient hrapavosti $C$
azbestni cement	140
medenina, bron	135
opeka	100
lito železo	130
beton	120 – 140
baker	135
pocinkano jeklo	120
steklo	140
svinec	135
plastika	150
jeklo	110 – 145
les	120

d) Manningova enačba

Manningova enačba se najpogosteje uporablja pri analizi odprtih vodotokov, vendar jo lahko uporabimo tudi za tokove v zaprtih sistemih. Izraz za izračun koeficienta upora vsebuje tudi parameter  $n_G$ , ki je v splošnem odvisen od materiala stene cevi in pogojev toka. Manningovo enačbo lahko zapišemo kot naslednji izraz:

$$\Delta E = \left( \frac{n_G \cdot v}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \cdot l, \quad (9)$$

kjer je:

$\Delta E$     energijska izguba ( m ),

$n_G$     Manningov koeficient trenja ( - ),

$v$       hitrost ( m/s ),

$R$       hidravlični radij ( m ),

$l$       dolžina cevovoda ( m );

Za hidravlični radij velja enačba:

$$R = \frac{S}{O}, \quad (10)$$

pri čemer je  $S$  pretočni prerez (  $m^2$  ) in  $O$  omočeni obseg ( m ).

Manningov koeficient trenja je poleg hrapavosti cevi in pogojev toka odvisen tudi od drugih lastnosti cevi, t.j. proizvajalca, obrabe, starosti in še mnogo drugih dejavnikov. Njegove okvirne vrednosti prikazuje naslednja preglednica.

Preglednica 3: Manningov koeficient trenja  $n_G$  za različne materiale cevi

Material	Manningov koeficient $n_G$	Material	Manningov koeficient $n_G$
azbestni cement	0,011	pocinkano jeklo	0,016
medenina, bron	0,011	steklo	0,011
opeka	0,015	svinec	0,011
lito železo	0,012	plastika	0,009
beton	0,011 – 0,015	jeklo	0,010 – 0,019
baker	0,011	les	0,012
valovito jeklo	0,022		
pocinkano jeklo	0,016		

### 2.1.2.2 Lokalne izgube

Lokalne izgube v ceveh so povzročene z lokalnimi elementi, ki povzročijo povečanje turbulence. Le-ta povzroči izgubo energije in skoke hidravlične črte v točkah sistema. Velikost teh izgub je primarno odvisna od oblike spojnih členov, ki direktno vplivajo na tokovnice v ceveh. Najbolj pogosta enačba za določitev izgub spojnih členov, ventilov, merilcev in ostalih lokalnih komponent je:

$$\Delta E_{lok} = \xi_{lok} \frac{v^2}{2g}, \quad (11)$$

kjer je:

$\Delta E_{lok}$  lokalne izgube elementa ( m vodnega stebra ),

$v$  hitrost ( m/s ),

$g$  gravitacijska konstanta ( m/s<sup>2</sup> ),

$\xi_{lok}$  koeficient izgub za spojni člen oz. drug element ( - );

Lokalne izgube lahko nastopijo:

- v krivinah
- zaradi nagle razširitve ali nagle zožitve cevi
- pri vtoku v sesalno košaro
- pri vtoku ( iz vodohrana v cev )
- na iztoku ( iz cevi v vodohran )
- na mestu zaslonke v cevovodu ( t.j. element za merjenje pretoka v cevovodu )
- na mestu zapornih elementov ( ventili, zasuni )
- pri popolnoma odprtih ventilih
- na mestih vgrajene rešetke ( grabelj ), itd.

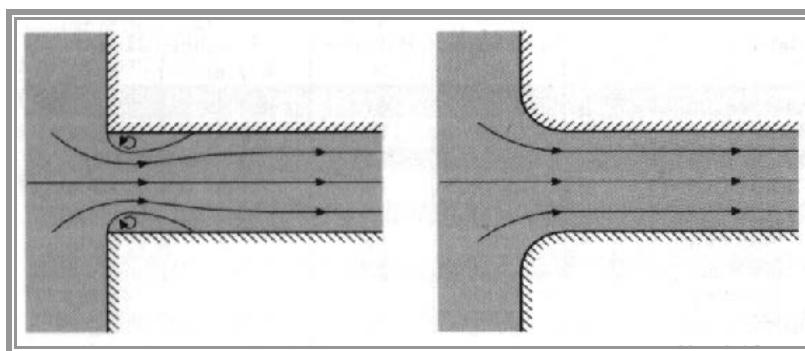
Značilne vrednosti za izgube spojnih členov smo zapisali v naslednji preglednici.



Preglednica 4: Vrednosti koeficienta  $\xi$  za tipične spojne člene

<b>Spojni člen</b>	<b>Vrednost <math>\xi</math></b>
<i>Vhodi v cev</i>	
zvonasti	0,03 – 0,05
zaokroženi	0,12 – 0,25
ostri	0,5
izbočeni	0,8
<i>Nenadna zožitev</i>	
$D_2 / D_1 = 0,80$	0,18
$D_2 / D_1 = 0,50$	0,37
$D_2 / D_1 = 0,20$	0,49
<i>Konična zožitev</i>	
$D_2 / D_1 = 0,80$	0,05
$D_2 / D_1 = 0,50$	0,07
$D_2 / D_1 = 0,20$	0,08
<i>Nenadna razširitev</i>	
$D_2 / D_1 = 0,80$	0,16
$D_2 / D_1 = 0,50$	0,57
$D_2 / D_1 = 0,20$	0,92
<i>Konična razširitev</i>	
$D_2 / D_1 = 0,80$	0,03
$D_2 / D_1 = 0,50$	0,08
$D_2 / D_1 = 0,20$	0,13
<i>90° kolena</i>	
Radij zaokrožitve: $D = 4$	0,16 – 0,18
Radij zaokrožitve: $D = 2$	0,19 – 0,25
Radij zaokrožitve: $D = 1$	0,35 – 0,40
<i>Kolena</i>	
$\Theta = 15^\circ$	0,05
$\Theta = 30^\circ$	0,1
$\Theta = 45^\circ$	0,2
$\Theta = 60^\circ$	0,35
$\Theta = 90^\circ$	0,8
<i>Odcep</i>	
Linijski tok	0,30 – 0,40
Pravokotni tok	0,75 – 1,80
<i>T - komad</i>	
Linijski tok	0,5
Pravokotni tok	0,75
<i>Priključek 45°</i>	
Linijski tok	0,3
Pravokotni tok	0,5

Iz zgornje preglednice lahko razberemo, da bolj zaokroženi prehodi povzročajo gladkejše tokovnice in manjše izgube. Večji kot je radij zaokrožitve, bolj je prehod zaokrožen. Da so izgube res manjše, nam dodatno potrjuje vrednost koeficienta  $\xi$ , ki je podana v zgornji preglednici. Slika spodaj prikazuje vpliv radija zaokrožitve na tokovnice pri vtoku v cev.



**Slika 4: Tokovnice na vtoku v cev**  
( Cybernet Teorija za Windows, 1999 )

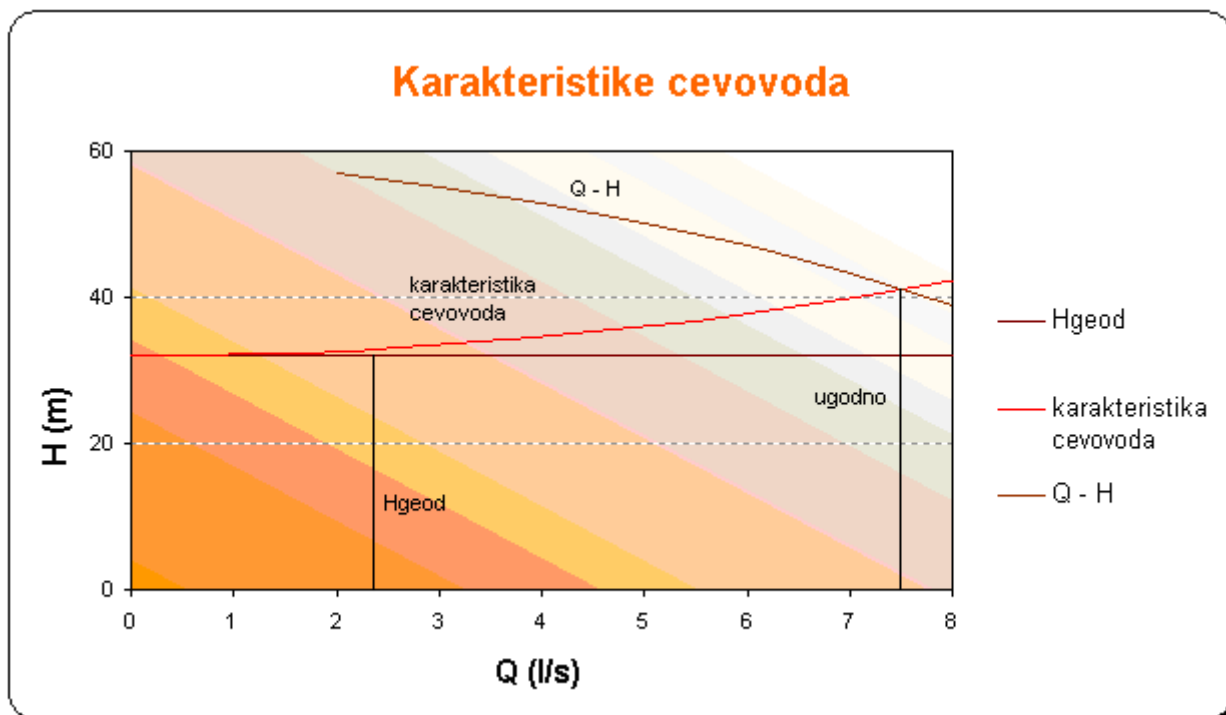
Kot je razvidno iz zgoraj omenjenega primera, je vrednost  $K$  za podobne spojne člene močno odvisna od radija zaokrožitve prehodov, razmerja zožitev itd.

V ceveh nastanejo tako linijske izgube tlaka ( zaradi trenja med tekočino in steno cevi ) kot tudi lokalne izgube tlaka ( zaradi trenja in vrtinčenja vode povsod tam, kjer je tok moten ). Skupne izgube energije lahko zato izrazimo na sledeč način:

$$\Delta E_{izgub} = \Delta E_{lin} + \Delta E_{lok} = \frac{v^2}{2g} \cdot \sum (\xi_{lin} + \xi_{lok}) . \quad (12)$$

### 2.1.3 Matematični zapis načina delovanja črpalk

Črpalke so sestavni del mnogih tlačnih sistemov in bistveno vplivajo na modeliranje tlačnih višin v cevem omrežju. Kadar gre za prevelike tlačne izgube in tlačne razlike v samem sistemu, s pomočjo črpalk povečamo energijo, pretok ali tlak oz. zmanjšamo razlike med tlaki, saj le-te dodajajo energijo v sistem. Karakteristike črpalke podajamo s spodaj prikazanim grafom.



Grafikon 1: Točka obratovanja v sistemu črpalke - cevovod

Lastnosti črpalke so podane s karakteristično krivuljo  $Q-H$ , ki prikazuje odvisnost med tlačno višino  $H$  ter pretokom  $Q$ . Ta krivulja prikazuje sposobnost črpalke za dodajanje tlačne višine pri določenem pretoku. Ko modeliramo sistem črpalke in cevi, potrebujemo dodatne podatke, ki določijo dejansko obratovalno točko črpalke. Ta točka sovpada s točko, ki je na zgornjem grafu prikazana kot sečišče krivulje  $Q-H$  ter krivulje karakteristik cevovoda, in hkrati predstavlja geodetsko spremembo višine ter linijske in lokalne izgube. S seštevkom tako linijskih kot lokalnih izgub enostavno najdemo točko optimalnega obratovanja.

Višino črpanja, ki je sestavljena iz geodetske višine in energijske razlike, ki je potrebna za želeni pretok ( zgornji grafikon ), lahko podamo z naslednjima matematičnima zapisoma:

$$H_{\check{c}} + H_{geod} = \left[ 1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum_{j=1}^m \xi_j \right] \cdot \frac{v^2}{2g} = H_e, \quad (13)$$

$$H_{\check{c}} - H_{geod} = \left[ 1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum_{j=1}^m \xi_j \right] \cdot \frac{v^2}{2g} = H_e; \quad (14)$$

kjer je:

$H_{\check{c}}$  višina črpanja ( m ),

$H_{geod}$  geodetska ( statična višina ) ( m ),

$H_e$  efektivna višina ( m ),

$\lambda$  koeficient trenja ( - ),

$L$  dolžina cevi ( m ),

$D$  premer cevi ( m ),

$\sum_{j=1}^m \xi_j$  koeficient izgub ( - ),

$v$  hitrost toka vode po cevi ( m/s ),

$g$  zemeljski pospešek (  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  );

Enačba ( 13 ) velja v primeru, ko gravitacijski potencial pomaga črpalki pri ustvarjanju pretoka. Z montažo črpalke na ta način povečamo pretok skozi cevovod. V primeru enačbe ( 14 ) pa mora črpalka premagovati najprej obstoječo potencialno razliko in nato dodati še ustrezno energijsko razliko, ki je potrebna za želeni pretok, saj le-ta brez črpalke v tem primeru na bi bil možen.

Višino črpanja potrebujemo za izračun moči črpalke, ki jo običajno podamo z naslednjo enačbo:

$$N_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H_{\epsilon} \cdot g}{\eta_{\epsilon}}, \quad (15)$$

pri čemer je:

$N_{\epsilon}$  moč črpalke ( kW ),

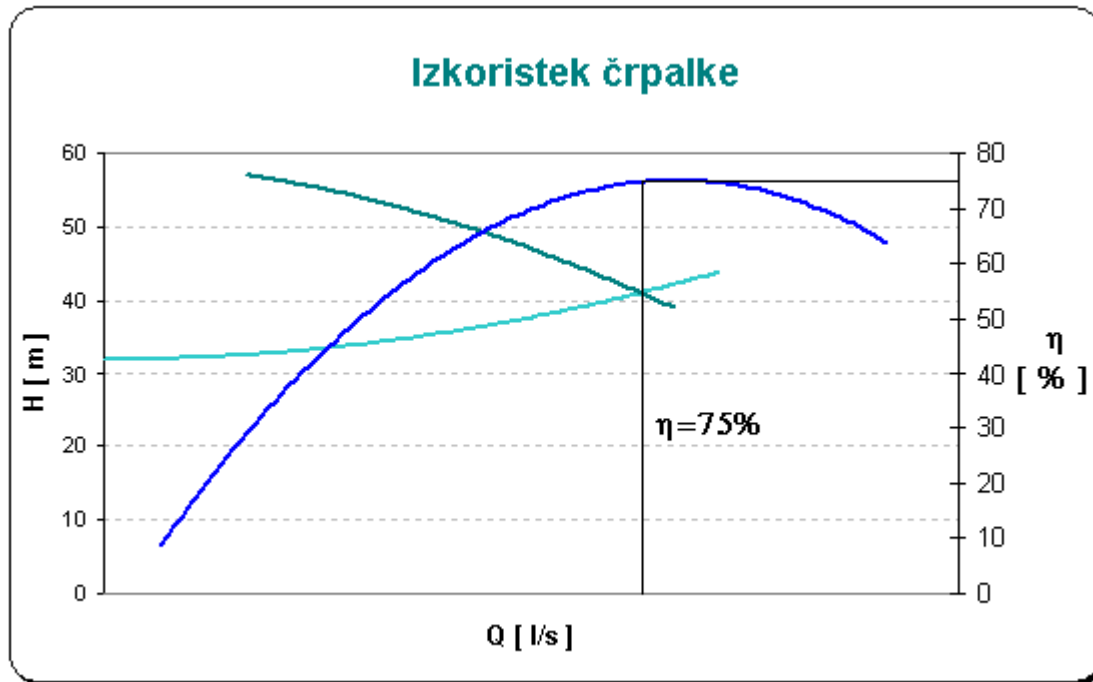
$Q$  pretok tekočine (  $\text{m}^3/\text{s}$  ),

$H_{\epsilon}$  višina črpanja ( m ),

$\eta_{\epsilon}$  izkoristek črpalke ( - );

Ker se gladina vode v sistemu nenehno spreminja, s tem pa tudi vrednosti različnih parametrov, se geodetska oz. statična višina in tlačne izgube prav tako spreminjajo. Iz tega sledi, da se hidravlične karakteristike cevovoda ( t.j. tiste, ki so npr. odvisne od hitrosti toka ) s časom spreminjajo, medtem ko karakteristike črpalke ostajajo enake. Zaradi časovnega spreminjanja karakteristik cevovoda se posledično po času spreminja tudi točka obratovanja.

Če želimo dokazati ekonomičnost delovanja črpalke, ki jo izberemo za nek vodovodni sistem, moramo na točki obratovanja preveriti, kolikšen je izkoristek delovanja črpalke. Le-tega nam prikazuje spodnji grafikon.



Grafikon 2: Izkoristek črpalke na točki obratovanja

Voda se (zaradi ekonomskih razlogov) iz zaječja običajno črpa le del dneva, t.j. v času nižje tarife električnega toka. Pri hidravličnem modeliranju je potrebno vzorec delovanja črpalke tekom dneva upoštevati (ali celo spremeniti), saj lahko le na ta način analiziramo dinamične razmere v vodovodnem sistemu.

#### 2.1.4 Osnove delovanja ventilov

Poznamo več vrst ventilov, ki so lahko sestavni del tlačnih cevovodov (Cybernet Teorija za Windows, 1999). Ventili imajo lahko različne naloge, ponavadi pa se uporabljajo kot avtomatski kontrolni elementi sistema, ki omogočajo odpiranje, zapiranje ali pa dušenje, s čimer dosežemo želene hidravlične razmere v vodooskrbnem sistemu.

a) Povratni ventili ( *Check Valves, CV* )

Ti ventili se uporabljajo za vzdrževanje toka samo v eni smeri. Ko je pretok v željeni smeri, smatramo, da je ventil popolnoma odprt, v primeru obratne smeri pa se ventil zapre. Povratni ventili so dodani v omrežje na cevni element.

b) Ventili za omejevanje pretoka ( *Flow Control Valves, FCV* )

S pomočjo teh ventilov lahko omejimo pretok na nekem odseku na določeno izbrano ali željeno vrednost v določeni smeri. Ti ventili se pogosto uporabljajo v omrežjih, kjer vodni distributer omeji maksimalno porabo vode v določenem delu omrežja, da le-ta ne vpliva pomembno na razmere v ostalem delu omrežja.

c) Tlačni reducirni ventili ( *Pressure Reducing Valves, PRV* )

Tlačni reducirni ventili se pogosto uporabljajo zato, da z njimi ločimo tlačna območja v omrežju. Ti ventili preprečujejo, da tlak za njimi ne preseže želene vrednosti. S tem se izognemo previsokim tlakom, ki bi sicer lahko poškodovali sistem.

d) Tlačno vzdrževalni ventili ( *Pressure Sustaining Valves, PSV* )

Ti ventili vzdržujejo željeni tlak v sistemu in sicer v predelu pred vgrajenim ventilom. Podobno kot ostali regulacijski ventili so tudi ti ventili pogosto uporabljeni za vzdrževanje tlaka, da le-ta ne pade pod željeno vrednost.

e) Tlačno dušilni ventili ( *Pressure Breaker Valves, PBV* )

Pri prehodu tekočine skozi tlačno dušilni ventil dosežemo točno določen padec tlaka, zato se ti ventili pogosto uporabljajo za modeliranje komponent, ki jih je sicer težko modelirati z lokalnimi izgubami standardnih elementov.

f) Dušilno kontrolni ventili ( *Throttle Control Valves, TCV* )

Ti ventili simulirajo elemente lokalnih izgub, katerih karakteristike tlačnih padcev se spreminjajo s časom.

### 2.1.5 Fizikalni robni pogoji ( kontrola podtlakov )

Kadar obravnavamo cevovod ( Steinman, 1999, Hidravlika ) kot relativni sistem, govorimo o omejitvi maksimalnega podtlaka, kadar pa gre za računanje v absolutnem sistemu, pa smo omejeni z absolutnim vakuumom.

Če bi se na kakšni točki cevovoda približali takim razmeram, bi se v sistemu pojavila embolija – nastal bi mehur vodne pare, ki bi se razširil po celotnem prerezu in tako preprečil pretok vode po cevi. Drugi pojav, do katerega bi lahko prišlo zaradi zniževanja podtlaka v cevovodih, je kavitacija. To je proces, pri katerem prihaja do izmeničnega nenadnega uparovanja in nato nenadne kondenzacije vode, zato ob tem nastajajo značilne velike pulzacije lokalnih tlakov. Take obremenitve pa materiali, iz katerih so običajno narejene cevi, ne prenesejo. Tako se na ostenju pojavijo številne poškodbe, dejanska hrapavost ostenja pa tak proces le še pospeši.

Da bi zaščitili sistem pred morebitnimi poškodbami, običajno dovoljujemo podtlake do  $-0,75 p_0$  (  $p_0$  je tlak okolice, kot primerjalna vrednost v relativnem sistemu ), kar znaša približno 7,5 m vodnega stebra ( VS ) podtlaka.

Podtlaki so velik problem, še posebej na mestih vgrajenih črpalk. Če bi zaradi napačno izračunane črpalne višine ali kakšnih drugih razlogov ( npr. višja temperatura tekočine ali povečanje pretoka ) vseeno prišlo do kavitacije pri vходу v črpalko, bi lahko mehurji vodne pare, ki nastanejo v procesu kavitacije, lahko prišli v rotor črpalke in prišlo bi do povečanja pritiska, ki povzroči kondenzacijo teh parnih mehurčkov. Zaradi nenadnih trkov delcev tekočine nastopi kratkotrajni, toda zelo povečan tlak, ki naraste tudi do  $10^4$  bara. Ta se širi v obliki udarnih valov skozi tekočino na vse strani, njegov učinek pa lahko povzroči intenzivno erozijo materiala črpalke. Lahko se zgodi, da so zaradi kavitacije elementi črpalke v zelo kratkem času tako poškodovani, da postane črpalka povsem neuporabna.

### 2.1.6 Nekatere inženirske poenostavitve

Da bi si olajšali hidravlično analizo, se lahko poslužujemo nekaterih inženirskih poenostavitev ( Steinman, 1999, Hidravlika ).

#### a) Princip superpozicije energijskih izgub

S principom superpozicije energijskih izgub predpostavimo, da je celotna izguba enaka vsoti posameznih izgub. Omenjeni princip lahko uporabimo, kadar izvajamo hidravlični preračun nekega cevovoda, ki je pod določenim tlakom, vendar le, če se lokalne motnje med seboj ne prepletajo. V tem primeru morajo biti izvori motenj na zadostni medsebojni razdalji, da se cone, kjer nastanejo motnje toka, ne prekrivajo.

Princip superpozicije energijskih izgub lahko izrazimo z naslednjo enačbo, ki velja le pod zgoraj omenjenim pogojem:

$$\sum \Delta E = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{L_i}{d_i} \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m \xi_j \frac{v_j^2}{2g}, \quad (16)$$

pri čemer je:

$\Sigma \Delta E$  vsota vseh energijskih izgub ( m VS ),

$\lambda$  Darcy-Weisbachov koeficient trenja ( - ),

$L$  dolžina posamezne cevi ( m ),

$D$  premer cevi ( m ),

$v$  hitrost toka po cevi ( m/s ),

$g$  gravitacijski pospešek (  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ),

$\xi$  koeficient lokalnih izgub ( - );

Običajno se dve ali več motenj toka prekriva. Takrat moramo le-te obravnavati kot celoto in oceniti, ali je potrebno določiti koeficient vseh izgub eksperimentalno ali pa to za določen ( manj zahteven ) hidravlični račun nima bistvenega pomena in je nastala netočnost s principom superpozicije sprejemljiva.



b) Hidravlično dolgi cevovodi

Hidravlično dolgi cevovodi so cevovodi relativno velikih dolžin, kjer velja, da je  $L/D \geq 500$ . V tem primeru vsota linijskih izgub bistveno presega vsoto vseh lokalnih izgub. Ker vemo, da so hidravlični računi izvedeni z neko natančnostjo ( 3 – 5% ), lahko prispevek lokalnih izgub zanemarimo, ne da bi pri tem bistveno poslabšali natančnost izračunov.

Tako lahko izgube za hidravlično dolgi cevovod računamo po naslednji enačbi:

$$\sum \Delta E = Q^2 \cdot \sum_i \frac{L_i}{K_i^2}. \quad (17)$$

Pri tem je:

$Q$  pretok (  $m^3/s$  ),

$K$  pretočni modul;

Pretočni modul lahko izrazimo na naslednji način:

$$K = S \cdot \frac{1}{n_G} \cdot R^{\frac{2}{3}}, \quad (18)$$

pri čemer je:

$S$  prerez cevi (  $m^2$  ),

$n_G$  Manningov koeficient ( - ),

$R$  hidravlični radij ( m );

c) Nadomestna dolžina cevovoda

Kadar se na nekem odseku pojavi skupina motenj, ki vplivajo druga na drugo, je račun celotnih izgub zelo otežen. Zato obravnavamo cevovod kot celoto in izvednotimo skupne hidravlične izgube s pomočjo nadomestne dolžine cevovoda.

V primeru, da je premer cevi na nekem odseku konstanten, velja naslednji izraz:

$$\sum \Delta E = \left( \lambda \frac{L}{d} + \sum \xi_{lok} \right) \frac{v^2}{2g}. \quad (19)$$

Drugi člen v vsoti spremenimo v izraz za fiktivno ( nadomestno ) dolžino cevovoda, ki se glasi:

$$\sum \xi_{lok} = \lambda \frac{L_e}{d}, \quad (20)$$

kjer je  $L_e$  ekvivalentna oz. nadomestna dolžina cevovoda, s pomočjo katere lahko celotne izgube računamo le kot linijsko izgubo in sicer po naslednji enačbi:

$$\sum \Delta E = \lambda \frac{\sum (L + L_e)}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}. \quad (21)$$

## 2.2 Računalniško podprto hidravlično modeliranje cevovodnih omrežij

Da se lahko lotimo modeliranja vodovodnega omrežja, moramo najprej vedeti, kakšne prostorske razsežnosti in obratovalne lastnosti ima ter kateri so njegovi osnovni elementi. V naslednjih podpoglavjih so predstavljene teoretične osnove karakteristik vodovodnega omrežja in njegovih elementov ter struktura podatkovne baze, ki je osnova za vzpostavitev hidravličnega modela.

### 2.2.1 Teorija hidravličnega modeliranja cevovodnih omrežij

Modeliranja vodovodnih sistemov se lahko lotimo z različnih vidikov. Poznamo fizični model vodovodnega sistema z vsemi elementi v pomanjšanem merilu, t.i. maketo, običajni ( ročno izdelan ) izračun, v zadnjem času pa uporabljamo hidravlični preračun, ki temelji na predhodno izdelanem računalniškem modelu. Le-ta je določen z nizom matematičnih zakonitosti, ki veljajo za določen vodovodni sistem.

Hidravlični model je orodje, ki omogoča tako spoznavanje kot tudi obvladovanje obstoječih tlačnih in pretočnih razmer na obravnavanem vodovodnem sistemu. S pomočjo hidravličnega modela lahko ugotovimo optimalno izrabo in simuliramo različne variante širitve oz. prenove sistema.

Ko model umerimo ( in verificiramo ), nam le-ta potrjuje ali ovrže smiselnost ukrepov, ki jih želimo na obstoječem vodooskrbnem sistemu uvesti. Ti ukrepi so med drugim lahko:

- reorganizacija pretokov ( količine, smeri ),
- vključevanje novih vodnih virov,
- ugotavljanje okvar na omrežju ali napak na merilnih napravah;

Pri analizi ukrepov težimo k lažjemu vzdrževanju, zmanjšanju potrebnih sanacijskih ukrepov, še posebej pa k lažjemu in čimbolj optimalnemu obratovanju vodooskrbnega sistema, kar je pomembno za doseg cilja za zmanjševanje tako vodnih kot energijskih izgub.

Poleg simuliranja tlačnih in pretočnih razmer nam kvaliteten hidravlični model omogoča tudi simulacijo velikosti prispevanja posameznih vodnih virov na določenem mestu odvzema ter simulacijo transportnih in zadrževalnih časov pitne vode v vodooskrbnem sistemu. Tako lahko najdemo vir onesnaževanja na sistemu in nadalje uvedemo potrebne ukrepe za sanacijo oz. odstranitev le-tega.

Z rezultati modeliranja lahko določimo režim obratovanja sistema in upravičenost izgradnje oz. pojačitve določenih odsekov tako primarnih kot razdelilnih cevovodov. Prav tako lahko izdelamo več variant optimizacije sistema in nato za vsako od teh pripravimo še izračun za oceno investicije. S tem lahko ugotovimo, katera od izdelanih variant je z ekonomsko-tehničnega stališča najbolj upravičena do realizacije.

V praksi so hidravlična omrežja sestavljena tako iz cevi kot tudi iz različnih spojnih členov, vodohranov, merilcev, regulacijskih ventilov, črpalk, električnih in mehanskih kontrolnih elementov itd. Za namene modeliranja so ti elementi razvrščeni v tri glavne skupine:

a) vozliščne točke

Vozlišča so točke v sistemu, kjer nas zanimajo določene količine. Vozlišča zajemajo križiščne stike, lokacije odzemov za glavne porabnike ( npr. velika industrija, skupek individualnih hiš, požarni hidranti ) ter kritične točke v sistemu, kjer nas zanima tlak za analizo razmer.

b) robne točke

Robne točke v sistemu so tiste točke, kjer poznamo vrednosti parametrov, ki definirajo začetne in robne ( npr. obratovalne ) hidravlične razmere za vsak računski cikel. Robne točke predstavljajo robne pogoje, po katerih se ravna oz. računajo hidravlični parametri v vseh vozliščih ali točkah. Robne točke so običajno vodohrani in točke, v katerih je znana hidravlična višinska črta ( HGL ).

c) povezave

Povezave vsebujejo cevi, črpalke in različne ventile. To so komponente sistema, ki jih priključimo na vozliščne ali robne točke in določajo pretoke in izgube oz. izvore energije med točkami.

Robni pogoji v katerikoli točki v sistemu lahko vplivajo na vse ostale razmere v celotnem sistemu. Sicer to oteži inženirjevo pot k najdbi rešitve, vendar obstajajo naravni zakoni, ki določajo obnašanje cevnega omrežja ( npr. ohranitev mase, ohranitev energije, pretvorbe energij ).

## **2.2.2 Osnovni elementi hidravličnega modela cevovodnih omrežij**

Za oskrbo prebivalstva s pitno vodo potrebujemo vodooskrbni sistem, ki predstavlja tako zajem in črpanje kot tudi transport, hranjenje ter razdelitev vode. Vodovodne sisteme tako sestavljajo črpališča, vodovodno omrežje, vodohrani, regulacijski objekti, razbremenilniki itd. ( Berdajs, et al., 2004, Gradbeniški priročnik ). Parametri delovanja, kot so izdatnost vodnih virov, poraba vode, pretočne hitrosti in tlaki, se znotraj vodovodnih sistemov nenehno spreminjajo. Le-ti pa morajo biti zgrajeni tako, da zagotavljajo neprekinjeno dobavo pitne vode uporabnikom, da so vodovodne cevi vedno polne in hkrati tudi pod zadostnim tlakom.

### **2.2.2.1 Vodno zajetje**

Vodo zajemamo na različne načine – iz ozračja v obliki dežja ( dotok v kapnice ), po zemeljskem površju s pomočjo odprtih vodotokov ( npr. reke in jezera ) ali pa kot podzemno

vodo oz. podtalnico. Pri zajemu vode iz vodnega vira je pomembna tako njegova izdatnost kot sama kvaliteta vode na mestu odvzema. Načini zajetja vode se med seboj razlikujejo in so opisani v naslednjih odstavkih.

a) Zajem izvira

Izvir nastane tam, kjer podzemna voda priteče na površje. Kvaliteta vode na mestu izvira je odvisna od več dejavnikov – od časa pretakanja pod zemljo, vrste zemljine, globine pretakanja, onesnaženja s površja in pri samem izviru. Kakovost vode merimo ob največjih pretokih, saj je tedaj le-ta najslabša. Poleg tega merimo čim dlje tudi izdatnost vodnega vira, ker je razmerje med maksimalno in minimalno izdatnostjo zelo pomembno – manjše kot je, manj niha kvaliteta vode. Izvir zajamemo tako, da z izkopom pravokotno na plastnice sledimo vodnemu toku v notranjost, pri čemer kopljemo po neprepustni plasti. Vedno iščemo, kje je tok najmočnejši. Kadar voda izvira na enem mestu, govorimo o točkovnem izviru. Če pa se voda izceja v širino, pa izberemo ustrezno zajetje in zajemamo vodo z drenažami. V tem primeru gre za zajem izvira v plasti.

b) Zajem podtalnice

Podtalnica je meteorna, včasih pa tudi rečna voda, ki pronica v tla skozi prepustne plasti in zapolnjuje prazen prostor v zemljini med neprepustnimi plastmi. Kako hitro voda pronica in se pretaka, je odvisno od vrste zemljine in njene zrnavosti. S hitrostjo pronicanja in pretakanja vode je pogojena tudi hitrost črpanja vode, s katerim pridobivamo vodo na površje. Vodnjaki, preko katerih pridobivamo vodo iz podtalnice, se med seboj razlikujejo. Poznamo kopane, zabite (nortonove) in vrtane vodnjake. Kopani in zabiti vodnjaki se uporabljajo za preskrbo posameznih hiš tam, kjer javnega vodovoda še ni, medtem ko vrtani vodnjaki služijo za napajanje vodovodnih sistemov iz podtalnice tam, kjer imamo podtalnico v prodnatih oz. peščenih tleh ter podzemne vodne tokove v kameninastih tleh.

c) Ostali načini zajema vode

Poznamo še zajem vode iz rek in jezer ter zajem deževnice. Reke in jezera v Sloveniji redko uporabljamo za zajem vode, ker so onesnaženi, zato bi jih bilo potrebno čistiti, prav tako pa nimajo primerne temperature. Deževnico pa zajemamo le na območjih, kjer ni na razpolago drugih vodnih virov. Zaradi vedno bolj onesnaženega zraka in nečistih zbirnih površin je

zajeta padavinska voda lahko vse bolj onesnažena, zato je njen zajem drag in tako se tudi kapnice vse manj uporabljajo.

### 2.2.2.2 Črpanje vode

V primerih, ko leži zajetje nižje od vodohrana, je potrebno v vodohran vodo črpati. Črpališče je lahko zgrajeno kot črpalna postaja nad vodnjakom ali kot samostojen objekt, t.j. črpalnica.

#### a) Črpalnica

Črpalnico uporabljamo v primeru manjših vodovodov, kjer gre za zajem točkovnega izvira ali za zajem izvira v plasti. Samostojen objekt ( črpalnico ) zgradimo tako, da voda priteka vanj težnostno. V črpalnici se nahajata dve črpalke – ena služi za redno črpanje vode v vodohran, druga pa služi za rezervo. Poleg omenjenih črpalk je v objektu še električna omarica in po možnosti še ustrezen sistem za dezinfekcijo vode.

#### b) Črpalke

Kadar ima vodni vir lastnosti pitne vode, lahko za črpanje le-te uporabljamo črpalke različnih tipov. Po načinu delovanja se črpalke ločijo na centrifugalne in batne, glede na postavljenost na horizontalne in vertikalne in glede na lego motorja na suhe, kjer motor leži zunaj vode, ter potopne, t.j. mokre črpalke. Delimo jih tudi glede na število stopenj – poznamo enostopenjske, dvostopenjske itd.

Črpalke ločimo tudi glede na to, ali obratujejo s konstantno ali pa s spremenljivo hitrostjo ( Cybernet Teorija za Windows,1999 ).

#### - Črpalke s spremenljivo hitrostjo

Karakteristika črpalke je konstantna glede na določeno vrtilno hitrost motorja in premera rotorja, vendar jo lahko določimo za poljubno hitrost in premer rotorja. Za črpalke s spremenljivo hitrostjo zapišemo naslednja dva zakona:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad ( 22 )$$

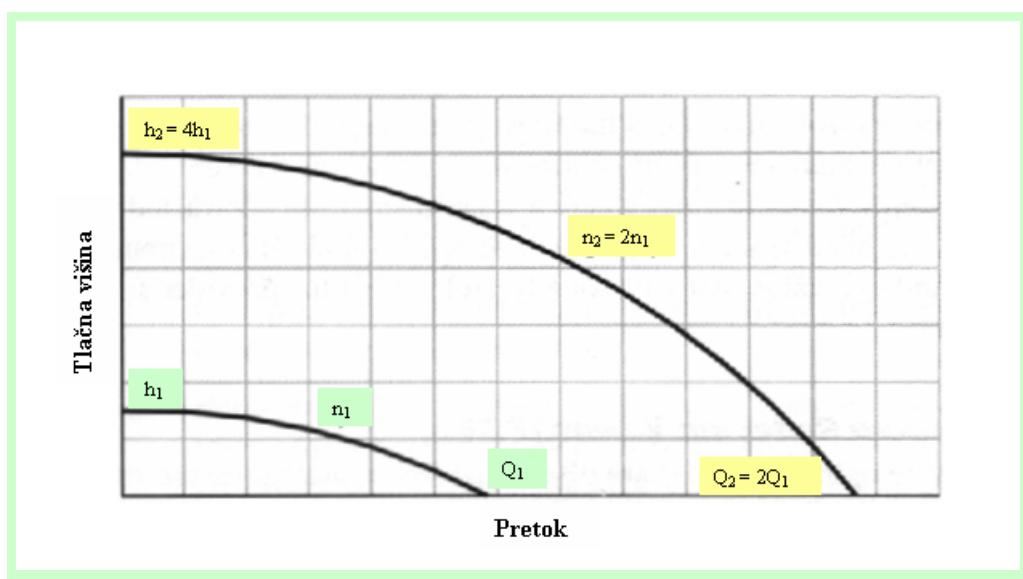
$$\frac{h_1}{h_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (23)$$

Pri tem je:

$Q$  pretok črpalke (  $\text{m}^3/\text{s}$  ),

$h$  tlačna višina ( m ),

$n$  vrtilna hitrost črpalke ( 1/min );



**Slika 5: Vpliv relativne hitrosti na karakteristiko črpalke**

( Rošer, 2000, Analiza hidravličnih razmer... )

- Črpalke s konstantno hitrostjo

Pri idejnem načrtovanju morda ne poznamo natančne karakteristike črpalke. V tem primeru predpostavimo konstantno energijo, t.j. določeno energijo, ki jo črpalka dodaja sistemu. Na podlagi relacije moč - tlačna višina – pretok lahko za črpalke določimo točko obratovanja. Ta predpostavka je lahko zelo uporabna v določenih primerih, vendar predpostavko konstantne moči uporabljamo le v začetni fazi projektiranja.

### **2.2.2.3 Tlačni cevovod**

To je cevovod, po katerem črpamo vodo iz črpalnice v vodohran. Zaradi velike višinske razlike ( to je običajno 20 do 60 m, lahko pa tudi do 200 metrov ) se ga pogosto položi zelo strmo. Ker je črpanje občasno, lahko ob spremembi delovanja pride do vodnega udara. Običajno se v vodovodnem omrežju, kjer se voda prečrpava, uporablja dvocevni sistem. Po eni cevi se voda črpa iz črpalnice v vodohran, nato pa po drugi cevi teče iz vodohrana in tako napaja vodovodni sistem. V primeru požarnih pretokov, ko je poraba vode bistveno večja od normalne vsakodnevne porabe, se lahko zgodi, da se voda črpa iz črpalnice počasneje kot se prazni vodohran. Posledica so negativni tlaki na tlačnem cevovodu.

### **2.2.2.4 Vodohrani**

Vodohran je tisti element vodovodnega sistema, v katerem shranjujemo vodo. Z akumuliranimi količinami vode iz vodohrana lahko uravnavamo dnevna nihanja porabe vode. V času, ko je poraba vode manjša od pritoka v vodovodni sistem, se vodohran polni, ko pa je poraba večja od dotoka, pa se le-ta prazni. Poleg navedene funkcije ima vodohran še nalogo, da oskrbuje porabnike z vodo v primerih raznih okvar na omrežju, ob manjših popravilih, dezinfekciji cevovodov in tlačnih preizkusih, ter da zagotavlja vodo za gašenje požarov.

Vodohran mora s svojo lego zagotavljati ustrezen vodni tlak v sistemu oz. pri porabnikih. Praviloma je to 1 do 7 barov. Pri gašenju požarov neposredno iz hidrantov mora znašati tlak vsaj 4 bare, za gašenje z uporabo gasilske črpalke na odvzemu iz sistema pa vsaj 1,5 bara.

V Sloveniji imamo zaradi razgibanega terena predvsem vkopane, dvocelične vodohrane, ki so običajno prekriti ( in s tem toplotno izolirani ) z en meter debelo plastjo zemlje. Okoli objekta je po potrebi napeljana horizontalna drenaža. Med vodnima celicama je zgrajena armaturna celica, skozi katero so speljane vse cevi iz vodnih celic, kar omogoča uspešen nadzor delovanja. V armaturni celici so običajno nameščeni zasuni, kontrolne naprave, orodja, čistila, razkužila, pipa za odvzem vzorcev vode idr.



### 2.2.2.5 *Razbremenilnik*

Kadar se iz vodohrana napajajo nižje ležeča območja, pa je višinska razlika tako velika, da bi bil tlak večji od običajnih 6 barov, je potrebno vmes pritisk zmanjšati z razbremenilnikom. Ta je lahko gravitacijski. V tem primeru imamo v manjšem objektu ventil s plovcem, ki je nameščen v vodnem bazenu, s katerim v bazenu ustvarimo novo prosto gladino in tako zmanjšamo tlak na nič ( t.j. tlak okolice  $p_0$  ). Pogosteje pa razbremenilnik opremimo z reducirnim ventilom, s katerim lahko tlak v nižje ležečem cevovodu poljubno zmanjšamo, poleg tega pa so reducirni ventili tudi cenovno ugodnejši od klasičnega gravitacijskega razbremenilnika.

### 2.2.2.6 *Cevovodi – cevi, fazonski kosi in armature*

Glavni cevovod, ki vodi iz vodohrana do naselja, je lahko magistralni ali primarni. Ta se nato razcepi v veje razdelilnega cevovoda, ki sestavljajo sekundarno vodovodno omrežje. Vsi cevovodi so sestavljeni iz cevi, fazonskih kosov in armatur.

#### a) Cevi

Poznamo več vrst cevi, katerih izbira je odvisna od:

- notranje in zunanje statične obremenitve
- trajnosti cevi
- obstojnosti proti koroziji
- blodečih tokov
- načina spajanja posameznih cevi
- pričakovane življenjske dobe
- cene cevi
- zemeljskih del, ki jih zahteva polaganje cevi.

Pri izbiri je potrebno upoštevati najbolj ustrezno kombinacijo vseh naštetih faktorjev, čeprav pogosto prevlada cena cevi, ki je investitorju pogosto najpomembnejša. Poleg tega je potrebno upoštevati še stroške obratovanja in vzdrževanja v celi življenjski dobi. Pri nas se pri izgradnji in prenovi vodooskrbnih sistemov poslužujemo predvsem naslednjih vrst cevi:

- *PVC-cevi*

PVC-cevi so izdelane iz polivinilklorida. Te cevi so gladke in toge, izdelane so v šestmetrskih kosih. Običajno so sive ali svetlomodre barve. Občutljive so za udarce, še zlasti pri nizkih temperaturah. S starostjo postajajo vse bolj toge in krhke, to pa povečuje nevarnost lomov.

- *Polietilenske cevi ( PE ) ali alkatene cevi*

Te cevi so narejene iz trdega polietilena, zato so lahke, gladke in gibke. Odporne so proti obrabi, kislinam in udarcem in tudi mraz jim ne škodi. Njihove slabosti pa so raztapljanje v topilih in oljih, gorljivost in možna slaba kvaliteta pri površni proizvodnji in neustreznem nadzoru. Polietilenske cevi so običajno črne barve.

- *Cevi iz nodularne litine*

Nodularna oz. duktilna litina je posebna jeklena litina, ki se odlikuje z dobrimi mehanskimi lastnostmi. Cevi iz tega materiala so težke. Znotraj so zaščitene s cementno prevleko ali umetno maso, proti rjavenju pa so zaščitene tudi na zunanji strani in sicer z vročim cinkanjem in črnim bitumenskim premazom. V primerjavi z ostalimi cevmi so bistveno dražje, vendar kvalitetnejše.

- *Jeklene cevi*

Jeklene cevi odlikuje visoka nosilnost, zato so se v preteklosti uporabljale za gradnjo tlačnih in glavnih cevovodov, medtem ko so bile za sekundarni cevovod predrage. Danes so jeklene cevi izdelane podobno kot cevi iz nodularne litine. Predhodno so kakovostno zaščitene in spajane z obojkami.

- *Pocinkane jeklene cevi*

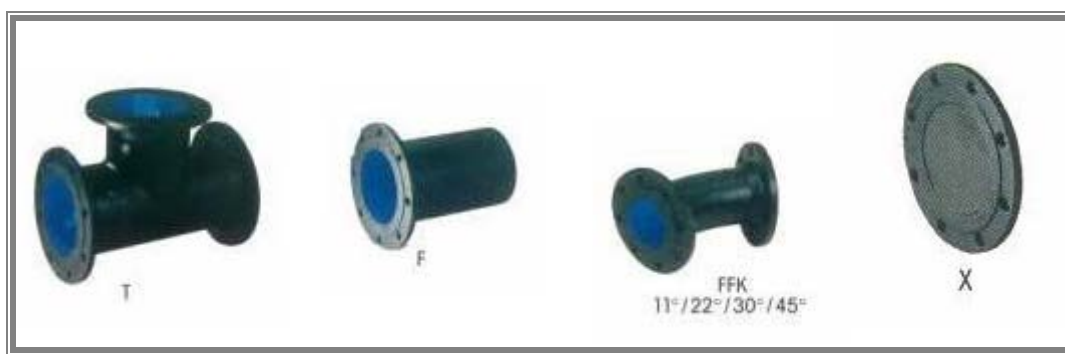
Vroče pocinkane jeklene cevi se uporabljajo predvsem za hišne inštalacije. Te cevi se spajajo s fazonskimi kosi, ki imajo navoje, na ceveh pa navoje vrežemo pri montaži. Najpogosteje se v praksi uporabljajo cevi z nazivnim premerom DN 10 do DN 80, ki je približno enak notranjemu premeru.

- *Poliestrške cevi*

Te cevi so izdelane iz poliestrske smole in steklenih vlaken, običajno pa jim je kot dopolnilo dodan še kremenov pesek. Odlikujejo se z visoko kemijsko in korozijsko odpornostjo, imajo dobre hidravlične lastnosti. So lahke, trajne, njihova montaža pa je enostavna. Izdelane so v šestmetrskih kosih in so nekoliko dražje.

b) Fazonski kosi

Fazonski kosi omogočajo, da lahko cevovod prilagodimo terenu. S fazonskimi kosi lahko spajamo cevi različnih premerov ter zaključke in vgrajujemo armature. Običajno imajo vsaj na enem koncu obojko ali prirobnico. Konstrukcijske izvedbe fazonskih kosov so prilagojene materialom, iz katerih so cevi in fazonski kosi.



**Slika 6: Prirobnični litoželezni fazonski kosi**

( <http://www.zagozen.si> [ 22.12.2005] )

c) Armature

- *Zasun*

Zasun je element, s katerim izključimo posamezen del cevovoda iz uporabe. To navadno vgradimo na odcepkih, pred hidranti, od izpustih in zračnikih, pa tudi neposredno na samem cevovodu. Poznamo zasune različnih oblik – ploščate, ovalne, okrogle, metuljaste itd. Na cevovode manjših dimenzij vgrajujemo zasune v vodovodno omrežje neposredno z zasutjem, na cevovodih večjih premerov pa jih vgrajujemo v betonski jašek.



**Slika 7: Zasun z mehkim tesnenjem, namenjen za zapiranje pretoka vode**

( <http://www.zagozen.si> [ 22.12.2005] )

- *Blatni izpust*

Blatni izpust služi za izpuščanje blata, ki se useda v ceveh, in za izpuščanje vode iz cevi v primeru popravil, zato je izpuste potrebno vgraditi na vseh najnižjih točkah vodovodnega sistema oz. tam, kjer je tlak največji. Blatni izpust je običajno vgrajen v jašku, ki je lahko tudi montažni.

- *Zračnik*

Zračnike vgrajujemo na vseh mestih vodovoda, kjer se lahko nabira zrak. To so najvišje točke cevovoda, kjer je tlak najmanjši. Zračnike običajno vgradimo v jaške, pri novejših izvedbah pa to ni več potrebno.

- *Hidrant*

Hidrant je element vodovodnega sistema, ki nam služi za gašenje požarov. Poznamo podtalne in nadzemne hidrante. Slednji so uporabnejši, saj jih lažje opazimo.

#### **2.2.2.7 Delitev vodovodnih sistemov**

Vodovodne sisteme delimo na več načinov ( Berdajs, et al., 2004, Gradbeniški priročnik ):

- glede na funkcionalno zasnovo ( t.j. po namestitvi vodohrana ),

- glede na dovod vode,
- glede na tlačne cone,
- glede na najmanjši oskrbovalni tlak pri požaru,
- glede na zgradbo omrežja;

a) Vodovodni sistemi glede na funkcionalno zasnovu ( po namestitvi vodohrana )

Po namestitvi vodohrana delimo vodovodne sisteme na sisteme s pretočnim vodohranom, sisteme s protiležnim vodohranom ter kombinirane vodovodne sisteme.

Pri sistemih s pretočnim vodohranom se vodohran napaja iz črpališča, voda pa nato odteka gravitacijsko do porabnikov.

V primeru, da leži naselje v dolini, črpališče in vodohran pa ležita vsak na svojem hribu in sta si protiležna, govorimo o vodovodnem sistemu s protiležnim vodohranom. Pri tej izvedbi vodijo cevi iz črpališča do vodohrana skozi območje vodooskrbe. Ko je v vodovodnem omrežju majhna poraba, napajamo z vodo iz črpališča tako porabnike kot vodohran, kadar pa je poraba na sistemu velika, pa dobijo porabniki vodo delno iz črpališča, delno pa iz zaloge v vodohranu. Tak sistem je boljši od sistema s pretočnim vodohranom, kar se izkaže v izjemnih situacijah, kot so dnevne konice, požar ipd.

Pri kombiniranem sistemu imamo tako pretočne kot protiležne vodohrane. Kombinirani sistemi se uporabljajo pri večjih mestnih vodovodnih sistemih.

b) Delitev vodovodnih sistemov glede na dovod vode

Glede na dovod vode iz zajetja do vodohrana ter porabnikov delimo vodovodne sisteme v težnostne ( gravitacijske ), tlačne ( črpalne ) in kombinirane. Pri težnostnem sistemu leži zajetje nad porabniki, dobavljena količina in tlak pa sta zadostna, zato črpanje vode ni potrebno. Voda teče gravitacijsko do vodohrana in nato enako do porabnikov. Tak sistem je cenejši, ker je brez črpalk. Pri tlačnem sistemu pa je zajetje na višini porabnikov ali celo nižje, zato je potrebno vodo do vodohrana črpati.

c) Delitev vodovodnih sistemov glede na tlačne cone

Poznamo enoconske in večconske vodovodne sisteme.

Kadar je naselje višinsko raztegnjeno po pobočju, a je višinska razlika manjša od razlike med največjim in najmanjšim dovoljenim tlakom, lahko vsem porabnikom iz enega vodohrana zagotovimo ustrezen vodni tlak. Tak sistem imenujemo enoconski vodovodni sistem.

Če je naselje višinsko raztegnjeno po pobočju, višinska razlika pa je večja od razlike med največjim in najmanjšim dovoljenim tlakom, pa je potrebno zgraditi dvoconski ali večconski vodovodni sistem, saj bi porabnikov ne mogli pokriti z eno samo cono.

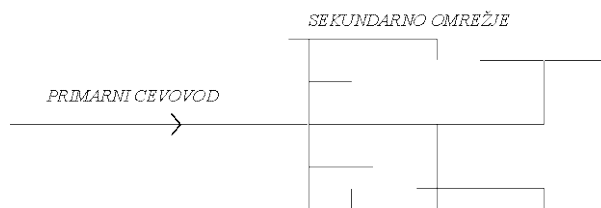
d) Vodovodni sistemi in najmanjši oskrbovalni tlak pri požaru

Poznamo vodovodne sisteme, kjer je minimalni oskrbovalni tlak pri zagotavljenem pretoku večji ali enak zahtevanemu požarnemu tlaku. Takrat je v sistemu dovolj vode za gašenje požara neposredno iz hidranta. Pri sistemih, pri katerih je minimalni oskrbovalni tlak manjši od požarnega, lahko gasimo požar iz hidranta preko gasilskih črpalk. Tretja vrsta sistemov pa so tisti vodovodni sistemi, v katerih je tlak tako majhen, da je v primeru požara potrebno vodo dovajati od drugod oz. jo priskrbeti iz drugih vodnih virov ( npr. vodotok ).

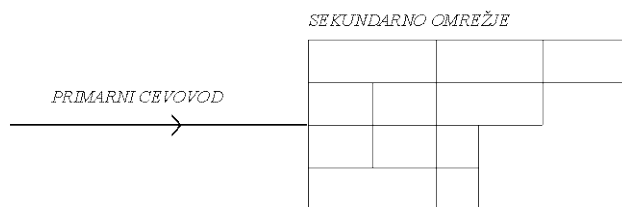
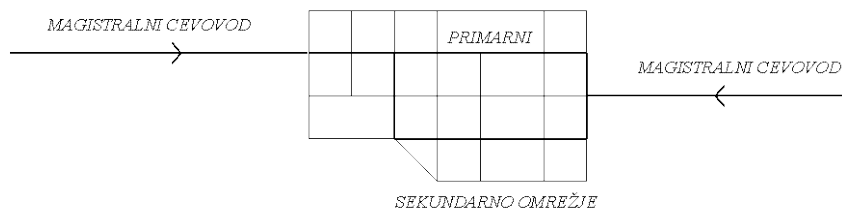
e) Delitev vodovodnih sistemov glede na zgradbo omrežja

Glede na zgradbo omrežja delimo vodovodne sisteme na:

- *Vejičasti sistem*



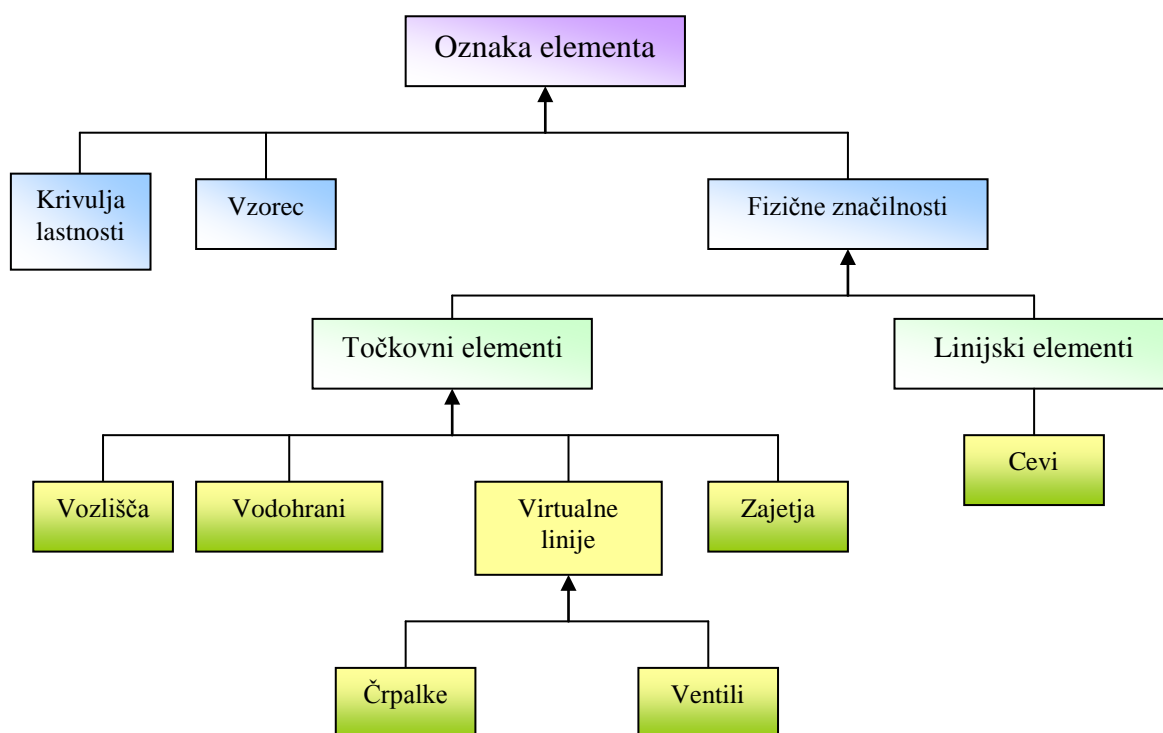
**Slika 8: Skica vejičastega sistema**

- *Mrežasti sistem***Slika 9: Skica mrežastega sistema**- *Krožni sistem***Slika 10: Skica krožnega sistema**

Zgoraj navedeni sistemi se razlikujejo po tem, kako je izdelan sistem razdelitve po območju oskrbe oz. kako dobavljamo vodo porabnikom. Vejičast sistem uporabljamo pri manjših, razpotegnjenih naseljih, saj je najcenejši in hidravlično jasen. Je pa žal nezanesljiv, saj vsaka poškodba cevovoda prekine dobavo vode v nadaljevanju tiste veje. Zaradi zagotavljanja požarnih količin vode so potrebne cevi večjega premera, voda pa zaradi tega, predvsem na koncih, zastaja. Pri mrežastem sistemu se zanke prepletajo, dolžina cevovodov je večja, obratovanje pa zanesljivejše. Najdražji in najbolj zanesljivi so krožni sistemi, ki jih uporabljamo v večjih mestih. Cevi, ki vodijo do porabnikov, napajamo iz osnovnega ( primarnega ) krožnega cevovoda velikih dimenzij.

### 2.2.3 Struktura podatkovne baze elementov hidravličnega modela

Hidravlični model vodovodnega sistema je sestavljen iz točkovnih in linijskih elementov. Kot točkovne elemente obravnavamo vozlišča, kjer se stikajo cevi, ter vozlišča, v katerih imamo vodne vire, črpališča, vodohrane in različne zaporne elemente. Za povezavo naštetih elementov pa se uporabljajo linijski elementi. To so običajno cevi, hidravlično pa so črpalke in ventili prav tako linijski elementi. Kako je potrebno podatke obdelati za vzpostavitev hidravličnega modela, je opisano v poglavju 2.2.4, v naslednjih odstavkih pa se bomo osredotočili le na opis same strukture podatkovne baze elementov hidravličnega modela.



Slika 11: Prikaz strukture podatkovne baze elementov hidravličnega modela

Elementi vsakega vodovodnega sistema so cevi, vozlišča, zajetja, vodohrani, črpalke in ventili. Oznaka elementov zagotavlja, da je računski model enovit in da so vse relacije med njimi znane. Vsak element ima svoje fizikalne lastnosti, krivuljo lastnosti in vzorec delovanja. Glede na fizikalne lastnosti elementov lahko le-te v modelu opredelimo kot točkovne ali kot linijske elemente. Linijski elementi so cevi, s pomočjo virtualnih linij pa modeliramo črpalke in ventile, ki so sicer točkovni elementi. S pomočjo virtualne linije tako določimo smer



delovanja črpalke oz. ventila. Poleg črpalk in ventilov prištevamo med točkovne elemente tudi vozlišča, zajetja in vodohrane. Točkovne elemente imenujemo tiste elemente, ki jih v hidravličnem modelu poenostavimo kot točke, linijski elementi pa so tisti elementi, ki so v modelu predstavljeni kot linije. Fizikalne lastnosti elementov, ki jih je potrebno podati v model, so predstavljene v naslednjem poglavju.

Poleg fizikalnih lastnosti je za nekatere elemente pomemben podatek tudi krivulja lastnosti. To je običajno krivulja medsebojne povezanosti dveh karakteristik nekega elementa. Tak primer so črpalke, za katere podamo karakteristično izdatnost črpanja ter maksimalno višino črpanja. Na podlagi tega program sam ( v našem primeru Epanet ) izriše krivuljo obratovanja črpalke.

Pomemben je tudi vzorec delovanja posameznih elementov. Z njim določimo na primer, kako delujejo črpalke ( npr. v katerih urah dneva ), kako niha dnevna poraba vode v vozliščih vodovodnega sistema, ipd.

#### **2.2.4 Obdelava podatkov za vzpostavitev modela**

V naslednjih podpoglavjih so na kratko opisani elementi, ki nastopajo v hidravličnem modelu vodovodnega sistema, in njihove karakteristike, ki jih je potrebno poznati za oblikovanje podatkovne baze, namenjene vzpostavitvi modela. Pri navedbi posameznega elementa je v oklepaju navedeno še njegovo ime, pod katerim je ta element zastopan v programskem vmesniku DC WDE in nato v programu Epanet.

Programi, ki smo jih v diplomski nalogi uporabljali za pripravo podatkovne baze in vzpostavitev modela, so predstavljeni in opisani v poglavju 2.3.

##### **2.2.4.1 Cevi**

Cevi ( Pipes ) smatramo kot linijske elemente, katerih pomembne lastnosti so njihova dolžina, notranji premer in koeficient hrapavosti cevi.

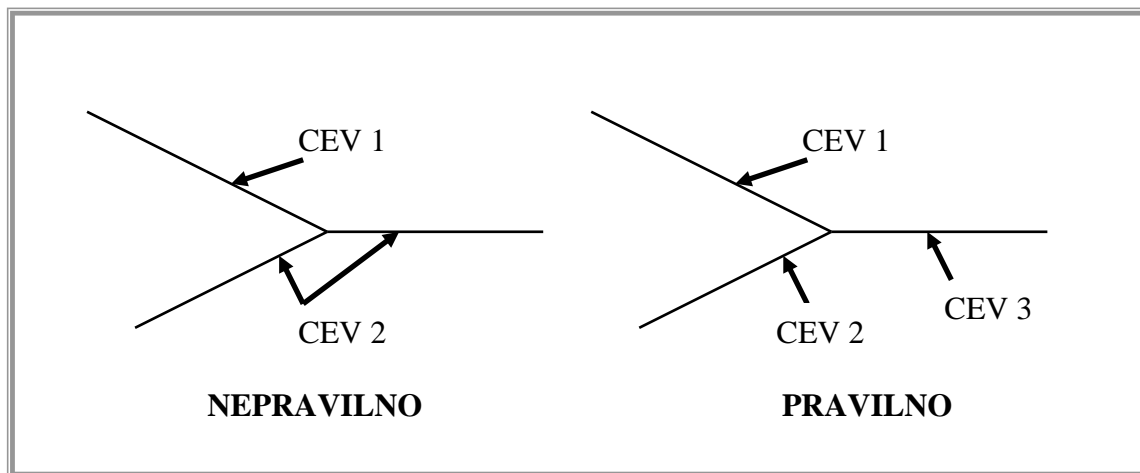
Dolžina cevi je celotna razdalja cevi od enega do drugega vozlišča. Dolžine cevi se lahko podajajo na različne načine. Če vodovodnega sistema nimamo na razpolago v digitalni obliki in imamo namen njegov model narediti neposredno v programu Epanet, bi bilo potrebno vnašati dolžine posameznih cevi neposredno v bazo podatkov v uporabljenem programu, t.j. ročno. V našem primeru so bili podatki na voljo že v digitalni obliki, saj jih program ArcView avtomatsko določi na podlagi znanih koordinat dveh vozlišč, ki omejujeta posamezno cev.

Pri podajanju podatkov o notranjem premeru cevi je potrebno paziti, iz kakšnega materiala je cev. Standardne oznake različnih cevi namreč pogosto predstavljajo zunanji premer cevi. Največji problem določevanja notranjega premera predstavljajo PVC in PE cevi. Notranji premer teh cevi navadno določimo s pomočjo preglednic, v katerih proizvajalec poda vrednosti tako zunanjega kot notranjega premera cevi. Debelina cevi je odvisna tudi od nazivnega tlaka. Večji kot je ta, debelejša je stena cevi. To pomeni, da bo pri istem zunanjem premeru cev z večjim nazivnim tlakom imela manjši notranji premer.

Koeficient hrapavosti cevi je odvisen od številnih dejavnikov, predvsem pa od premera, materiala in starosti cevi ter od kakovostne lastnosti vode oz. možnosti za tvorbo oblog. Kateri koeficient hrapavosti bomo uporabili, je odvisno od tipa enačbe, s pomočjo katere bomo izvršili hidravlični preračun.

Cevi morajo za pripravo hidravličnega modela v programu Epanet zadostiti naslednjim pogojem:

- biti morajo predstavljene kot linijski element ( »polyline« ali »3D polyline« ),
- povezane cevi sistema se morajo stikati v skupnih točkah, v katerih se morajo posamezne cevi končati ( pravilnost prikazuje slika 12 ),



Slika 12: Prikaz pravilne in nepravilne povezave cevi

- v sistemu ne sme biti ločenih delov, ki nimajo lastne oskrbe ( vodohran, vodni vir );

Za vzpostavitev hidravličnega modela v programu Epanet so tako potrebni naslednji podatki o ceveh ( Banovec, 2004, Usmeritve...):

- identifikacijska oznaka posamezne cevi, ki je tipa »string« ( t.j. zaporedje znakov ),
- premer cevi ( Diameter ) – to je notranji premer cevi, podan v mm,
- dolžina ( Length ), ki je avtomatično izračunana z orodji ArcView,
- začetno ( Node1 ) in končno ( Node 2 ) vozlišče, ki se ju da avtomatično določiti z orodjem DC Water Design Extension,
- lokalne izgube ( Minorloss ),
- status, ki določa, ali je cev odprta ( Open ) ali zaprta ( Closed );

Podatek o lokalnih izgubah za vzpostavitev hidravličnega modela ni nujno potreben, je pa za hidravlični model zelo pomemben podatek o tem, ali je določena cev odprta ali zaprta, saj se lahko s tem spremeni struktura omrežja in celotna hidravlika le-tega.

Kot rezultat hidravličnega preračuna v Epanetu dobimo:

- pretok po ceveh ( Flow ),
- hitrost potovanja vode po ceveh ( Velocity ),
- linijske izgube na posamezni cevi ( Unit Headloss ),
- faktor trenja ( Friction Factor );

Podatek, ki bi ga lahko dobili pri izračunu, bi lahko bila tudi kvaliteta vode v posamezni cevi, vendar to ni predmet te diplomske naloge. Kadar gre za statično simulacijo, dobimo za vsak parameter kot rezultat le eno vrednost, v primeru dinamične simulacije pa za vsak parameter več rezultatov ( za vsako situacijo posebej ), kar je odvisno od časa trajanja simulacije ter od časovnega koraka, po katerem se izvršuje hidravlični preračun.

Za hidravlično analizo so pomembni pretok, hitrost in tlaki. V primeru dinamične simulacije si lahko ogledamo obnašanje vodovodnega omrežja s stališča tlačnih in pretočnih razmer v nekem časovnem obdobju in ugotovimo, ali se sistem obnaša v skladu s pričakovanji. V primeru, da se ne, lahko poskušamo poiskati rešitve za boljše delovanje sistema s preoblikovanjem modela in z realizacijo te rešitve na dejanskem cevovodu.

#### **2.2.4.2 Vozlišča**

Vozlišča ( Junctions ) so točkovni elementi, v katerih se stikata dve ali več cevi. Vozlišča se lahko nahajajo tudi na koncu posameznih cevi in predstavljajo točko, kjer se omrežje konča. Vozlišča so pomembna, saj se v njih izvršuje poraba vode ali pa dodajanje le-te v omrežje. Poleg porabe je pomemben podatek še nadmorska višina posameznega vozlišča, s pomočjo katere se izračunajo tlaki v sistemu. Tlak ( v m VS ) je definiran kot razlika med višino tlačne črte v sistemu in nadmorsko višino obravnavane točke sistema.

Z elementom vozlišče so na vodovodnem sistemu definirani tudi hidranti. Hidrante vnašamo v model, ko želimo analizirati požarne razmere. Takrat v določenem vozlišču povečamo porabo vode za toliko, kolikor so velike potrebe po vodi v času požara.

Za vzpostavitev in analizo hidravličnega modela so potrebni naslednji podatki ( Banovec, 2004, Usmeritve...):

- identifikacijska oznaka, ki je tipa »string«,
- nadmorska višina ( Elevation ), izražena v m,
- poraba vode ( Demand ) v posameznem vozlišču, izražena v l/s,

- vzorec nihanja porabe vode ( Pattern ), s katerim določimo časovno spreminjanje porabe vode po urah glede na predpostavljeno porabo, kar je običajno srednja dnevna poraba;

Poznamo dva osnovna tipa simulacije delovanja vodovodnega sistema – statično in dinamično simulacijo. Kadar nas zanima stanje sistema pri nekih specifičnih ( nespremenjenih ) pogojih obratovanja, uporabimo statične simulacije. Dinamična simulacija pa nam služi pri analizi hidravličnih razmer v primeru, ko nas zanima delovanje sistema v nekem daljšem časovnem obdobju. Dinamično simulacijo uvedemo v model prav s pomočjo vzorcev.

Za vzpostavitev hidravličnega modela so nujno potrebni vsi zgoraj navedeni podatki razen zadnjega, t.j. vzorca nihanja porabe vode. Tega ne podamo, kadar gre za statično simulacijo modela vodovodnega sistema. Če pa gre za dinamično simulacijo, pri kateri prav tako ne podamo vzorca nihanja porabe vode, program predpostavi ( s koeficientom 1 ) konstantno porabo vode skozi ves čas simulacije.

Kot rezultat hidravličnega izračuna dobimo za vsako vozlišče naslednje parametre:

- trenutno porabo v vozlišču ( Actual Demand ),
- hidravlično višino ( Total Head ),
- dejanski tlak na vozlišču ( Pressure );

Podatek, ki bi ga lahko dobili pri izračunu, bi lahko bila tudi kvaliteta vode v posameznem vozlišču, vendar to ni predmet te diplomske naloge. Za analizo hidravličnih razmer je od dobljenih rezultatov pomemben predvsem tlak v posameznem vozlišču. Za ustrezno obratovanje vodovodnega omrežja mora le-ta znašati med 2 bara in 7 bari, odvisno od predpisa.

#### **2.2.4.3 Vodni viri – zajetja**

Vodni vir ( Reservoir ) predstavlja v modelu robno vozlišče ( robni pogoj ), ki lahko daje ali pa prejema velike količine vode, pri čemer se hidravlična gladina v njem ne spreminja. Zajetje tako predstavlja neomejen vir. To teoretično pomeni neomejen vtok oziroma iztok v poljubnem časovnem obdobju.

Pri modeliranju vodovodnega sistema sta pomembna podatka nadmorska višina gladine vode in tudi kakovost vode, če bi jo v modelu upoštevali. Ker pa se diplomska naloga nanaša le na analizo hidravličnih razmer v sistemu in ne na kakovost vode, slednjega podatka pri pripravi modela ne bomo obravnavali.

Za vzpostavitev modela v programu Epanet so potrebni naslednji podatki:

- identifikacijska oznaka, ki je tipa »string«,
- kota gladine vode ( Head ), t.j. gladina vode za pregrado, v vodnjaku ali črpalnem bazenu, izražena v m.n.m.,
- vzorec ( Pattern ) nihanja gladine vode v zbiralniku, s katerim določimo časovno spreminjanje gladine po urah glede na začetno ( pripisano ) gladino vode;

Tudi v tem primeru vzorca nihanja gladine vode v primeru analize ustaljenih razmer ni potrebno podajati v bazo podatkov za pripravo hidravličnega modela.

#### **2.2.4.4 Vodohrani**

Tudi vodohrani ( Tanks ) predstavljajo v hidravličnem modelu robni pogoj, vendar se v tem primeru gladina vode s časom spreminja. Vodohran ima končno prostornino in ga je mogoče popolnoma napolniti in popolnoma sprazniti.

Za vnos karakteristik vodohranov v Epanet so potrebni naslednji podatki:

- identifikacijska oznaka, ki je tipa »string«,
- višina ( Elevation ), s katero se opredeli nadmorsko višino dna vodohrana ( m.n.v. ),
- premer vodohrana ( Diameter ), izražen v m,
- začetna gladina vode ( Initiallevel ), t.j. privzeta gladina vode v vodohranu ( m ),
- maksimalna gladina ( Maximumlevel ), t.j. najvišji nivo vode v vodohranu ( m ),
- minimalna gladina ( Minimumlevel ), t.j. najnižji nivo vode v vodohranu ( m ),
- prostorninska krivulja ( Volumecurve ), izražena v m<sup>3</sup>;

S prostorninsko krivuljo določimo spreminjanje efektivne prostornine vodohrana glede na spreminjajočo se višino gladine vode v njem.

S hidravličnim izračunom dobimo za vodohrane naslednje rezultate:

- dotok vode v vodohran ali iztok vode iz njega ( Net Inflow ), kar je določeno z ustreznim predznakom,
- gladino vode v danem trenutku, določeno z nadmorsko višino ( Elevation ),
- dejanski tlak v vodohranu v določenem trenutku ( Pressure );

Podatek, ki bi ga lahko dobili pri izračunu, bi lahko bila tudi kvaliteta vode v vodohranu v določenem trenutku, vendar to ni predmet te diplomske naloge.

Z vpogledom v nihanje gladine vode v vodohranu ter s kontrolo dotoka vode vanj lahko vidimo, kakšni so trenutni viški vode v sistemu, ter ugotovimo, če model deluje skladno z dejanskim obratovanjem vodovodnega sistema ( pri maksimalni gladini vode v vodohranu se črpalke izklopijo, pri minimalni pa vklopijo ).

#### 2.2.4.5 *Virtualne linije*

Med virtualne linije ( Virtual lines ) uvrščamo elemente, ki so v podatkovnih bazah predstavljeni kot točke, v hidravličnem modelu pa nastopajo kot linijski elementi. Med t.i. virtualne linije spadata elementa črpalka in ventil.

Orientiranost virtualne linije se določi z orientiranostjo stičnih cevi. Tako se mora virtualna linija obvezno nahajati med dvema cevema, ki sta orientirani v isto smer. Orientacija cevi je določena iz začetnega ( Node1 ) v končno vozlišče ( Node2 ).

Za **črpalko ( Pump )** potrebujemo naslednje podatke:

- identifikacijsko oznako ( tipa »string ),
- karakteristike črpalke ( Properties ), s katerimi se določijo lastnosti črpalke z naslednjimi ključnimi besedami:
  - a) power ( moč ), ki se določi v kW,
  - b) head ( višina črpanja ), ki jo izrazimo s pomočjo identifikacijske oznake krivulje, ki določa odvisnost višine črpanja ( m ) od količine črpanja ( l/s ),
  - c) speed ( hitrost ), s katero določimo odstopanje črpalnih karakteristik črpalke od privzete krivulje. Pri različnih hitrostih se pretoki in višine črpanja spreminjajo

po enačbah, ki so navedene v poglavju 2.1.3.2, v katerem so med drugim opisane tudi osnovne karakteristike črpalk in črpališč,

- d) pattern ( vzorec delovanja črpalke ), ki določa časovno spreminjanje delovanja črpalke po urah;

**Ventili ( Valves )** morajo biti podani z naslednjimi karakteristikam:

- identifikacijska oznaka ( tipa »string« ),
- premer ( Diameter ), izražen v mm,
- tip ventila ( Type ), ki je lahko:
  - f) PRV ( pressure reduction valve ), ventil za znižanje tlaka – reducirni ventil,
  - g) PSV ( pressure sustaining valve ), ventil za vzdrževanje tlaka – razbremenilni ventil,
  - h) PBV ( pressure braking valve ), ventil, ki zniža tlak za določeno vrednost,
  - i) FCV ( flow control valve ), ventil za kontrolo pretoka,
  - j) TCV ( throttle control valve ), pripirni ventil, pri katerem se zniža tlak s pomočjo določene lokalne izgube,
  - k) GPV ( general purpose valve ), splošni ventil, pri katerem določimo krivuljo, ki določa odvisnost izgub od pretoka,
- nastavitev ( Setting ), t.j. vnos nastavljene vrednosti ali identifikacijske oznake krivulje;

## 2.2.5 Tipi časovnih simulacij za potrebe različnih analiz

V tem poglavju je podrobneje opisano, kdaj uporabljamo statično in kdaj dinamično simulacijo ter kakšne so njune glavne značilnosti. Kot poseben primer dinamične simulacije so obravnavani požarni pretoki.

### 2.2.5.1 Simulacije – statične in dinamične

Obstajata dva načina analize omrežja – ustaljene ( stacionarne ) razmere, ko ni sprememb po času, in neustaljene hidravlične razmere. Kadar obravnavamo ustaljene razmere na



vodovodnem omrežju, govorimo o statični simulaciji razmer na sistemu, ko pa vključimo še opis sprememb količin v času, so to razširjene periodne simulacije, ki jih lahko z drugim izrazom označimo kot dinamične.

a) Ustaljene razmere hidravlike omrežja

Analiza ustaljenih razmer določi režim obratovanja sistema v določeni točki pri ustaljenih ( nespremenjenih ) robnih pogojih. Ti tipi analiz so uporabni za določitev kratkotrajnih vplivov na sistem, npr. zaradi požarnih pretokov ali povprečne porabe v omrežju. Za te tipe analiz so enačbe omrežja navadno določene in zaznamovane z vodohrani, v katerih je fiksno določena višina. Rezultati, dobljeni iz teh tipov analiz, so trenutne vrednosti in so lahko reprezentativne vrednosti sistema nekaj ur ali pa samo nekaj minut.

b) Razširjene periodne simulacije

Če so vplivi na sistem časovno značilni oz. pomembni, potem je primerna uporaba razširjene časovne simulacije. Ti modeli uporabniku dopuščajo, da modelira polnjenje in praznjenje vodohranov, odpiranje in zapiranje regulacijskih ventilov in tlačne ter pretočne spremembe v sistemu, v odvisnosti od spremembe zahtevanih pogojev in v odvisnosti od avtomatskih kontrolnih strategij, ki jih določi projektant. S tem načinom analize lahko ugotovimo, kakšen je odziv obravnavanega sistema na spreminjanje potrošnje vode, na spremembo statusa črpalk in ventilov, itd. Da lahko izvedemo ta način analize, je pri pripravi hidravličnega modela potrebno podati naslednje tri parametre:

- začetni čas ( *Start Time* ),
- trajanje simulacije ( *Duration* ),
- hidravlični časovni korak ( *Hydraulic Time Step* );

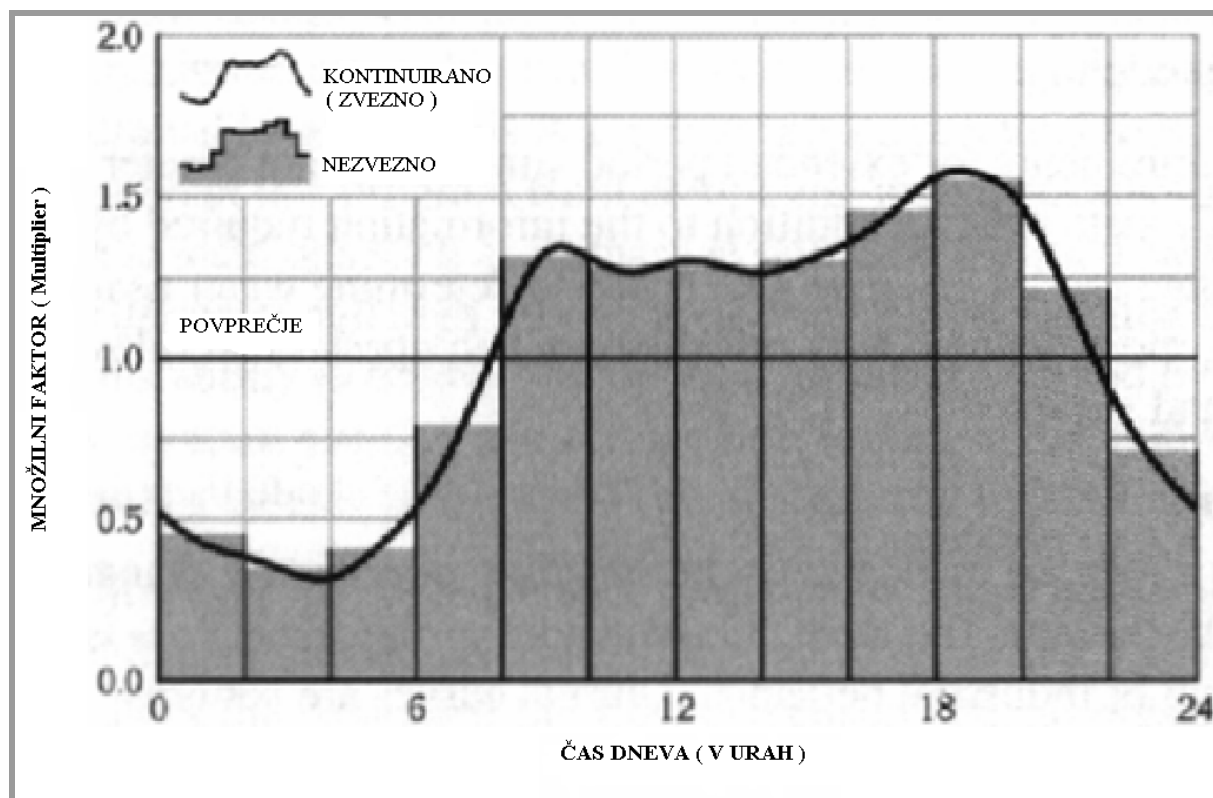
Model ustaljenih razmer nam pove, ali bo sistem sposoben zagotoviti določene povprečne zahteve ali ne, razširjena periodna simulacija pa nakaže, ali bo sistem zagotovil zadovoljive stopnje storitev iz omrežja v časovnem obdobju minute, ure ali dneva. Razširjene časovne simulacije so uporabne za simulacijo porabe energije in študij stroškov kot tudi za modeliranje kvalitete vode.

Podatkovne zahteve za razširjeno časovno simulacijo so večje kot za ustaljene izračune. Poleg informacij, potrebnih za model ustaljenih razmer, mora uporabnik definirati tudi model dinamike porabe vode, več detajlov vodohrana in obratovalne karakteristike črpalk in ventilov.

Posamezen vzorec, ki ga lahko izdelamo pri vzpostavljanju hidravličnega modela, dopušča uporabniku možnost, da izbere in vstavi avtomatske časovno odvisne spremembe v sistem. Najbolj pogosti primer vzorca je modeliranje vodooskrbnega sistema za individualno ali industrijsko potrošnjo (Cybernet Teorija za Windows, 1999). Dnevne krivulje so vzorci, ki povedo, kako poteka potrošnja vode tekom dneva. Le-ta se primerja s povprečno dnevno porabo. Z vzorcem tako izrazimo, kdaj je poraba vode večja oziroma manjša od povprečne dnevne porabe.

Večina vzorcev temelji na faktorju množenja (*Multiplier*). Če je faktor enak 1, dobimo osnovno vrednost, t.j. najpogosteje povprečno vrednost.

Na spodnji sliki je pogost vzorec dnevne, individualne porabe. Opazimo lahko, da je vrh porabe zjutraj, ko se ljudje tuširamo in pripravljamo zajtrk, naslednji vrh pa okoli poldneva in tretji vrh zvečer, ko pridemo iz službe domov in pripravljamo večerjo. Čez noč vzorec prikazuje relativno neaktivnost sistema, z zelo majhnimi pretoki glede na povprečne vrednosti.



**Slika 13: Pogosta dnevna krivulja porabe**

(Cybernet Teorija za Windows, 1999)

Poznamo dva osnovna načina prikazovanja vzorcev - zvezno in nezvezno. Nezvezni vzorec je vzorec, ki predpostavlja konstantno porabo v nekem časovnem obdobju ( stolpič na sliki 13 ) in potem trenutno skoči na drugačno vrednost, ki ostane konstantna do naslednjega skoka. Zvezni vzorec pa je tisti, pri katerem poznamo nekaj točk v vzorcu, odseke med njimi pa interpoliramo po neki funkciji, kar rezultira v zveznem poteku vzorca.

Nihanje dnevne porabe vode običajno podajamo s koeficientom neenakomerne dnevne porabe, ki poda razmerje med največjo urno porabo vode in povprečno porabo vode tekom dneva. Ta koeficient je odvisen od vrste porabnikov oz. tipa naselja in znaša:

- do 1,3 za velemesto
- 1,5 za srednje veliko mesto
- 2,4 za manjše mesto
- do 2,8 za vas;

Nihanje porabe vode tekom dneva se pokriva z zalogo vode v vodohranu.

Z normo porabe vode določimo porabo vode za povprečni dan v letu. Potrebno je poudariti, da tako kot se spreminja poraba vode tekom posameznega dneva, tako je tudi poraba vode med letom neenakomerna – pozimi je manjša in poleti večja. Tisti dan v letu, ko je poraba vode največja, imenujemo kritični dan. Tako povečanje porabe vode izrazimo s koeficientom letnega nihanja porabe, ki je razmerje med porabo vode kritičnega dne in dnevom s povprečno porabo vode. Običajno privzamemo vrednost koeficienta 1,5.

### ***2.2.5.2 Simuliranje požarnih pretokov***

Primarna funkcija vsakega distribucijskega omrežja je zagotavljanje pitne vode uporabnikom, eden pomembnejših sekundarnih ciljev pa je omogočiti tudi odvzem vode za gašenje požarov. Požarne pretoke lahko računamo v poljubnem vozlišču, skupini vozlišč ali pa za vsa vozlišča v sistemu. Kompletna analiza lahko obsega zelo veliko rešitev. Požarni pretok načeloma izračunamo glede na zahtevani tlak v vozlišču tako, da ohranimo naslednje pogoje:

a) Ostanek tlaka

To je minimalni dopuščeni ostanek tlaka, ki se pojavi na mestu, kjer se odvzema požarna voda.

b) Minimalni sistemski tlak

To je minimalni tlak, ki nastopi kot posledica požarnega pretoka, in ga še dopuščamo v kateremkoli vozlišču obravnavanega sistema.

c) Minimalni conski tlak

To je minimalni tlak, ki nastopi kot posledica požarnega pretoka, in ga še dopuščamo v kateremkoli vozlišču v določeni coni obravnavanega sistema.

d) Zgornja meja požarnega pretoka

Zgornja meja požarnega pretoka je maksimalni dovoljeni pretok, ki se lahko pojavi v posameznem izstopnem vozlišču. To vrednost običajno določa načrtovalec – na podlagi predhodnih izkušenj in pravilnikov. Maksimalni požarni pretok je omejen tudi z velikostjo

izstopne odprtine hidranta, dovodne cevi ter s celotnim številom hidrantov, ki so na določenem območju na razpolago.

Poraba vode za gašenje požarov je v primerjavi z običajno ( vsakodnevno ) porabo bistveno večja. Ko je hidravlični model vodovodnega sistema pripravljen in lahko analiziramo tlačne in pretočne razmere na posameznih odsekih cevovoda, je smiselno analizirati tudi delovanje sistema v primeru požara. Za gašenje požara pri manjših vodovodih ( do 5000 prebivalcev ) lahko predpostavimo požar, ki ga gasimo dve uri z desetimi litri vode na sekundo, kar skupaj znaša 72.000 litrov vode.

## **2.3 Uporabljen programski oprema**

V naslednjih podpoglavjih je na kratko predstavljena programska oprema, ki smo jo uporabljali pri oblikovanju podatkovne baze ter pri nadaljnji vzpostavitvi hidravličnega modela.

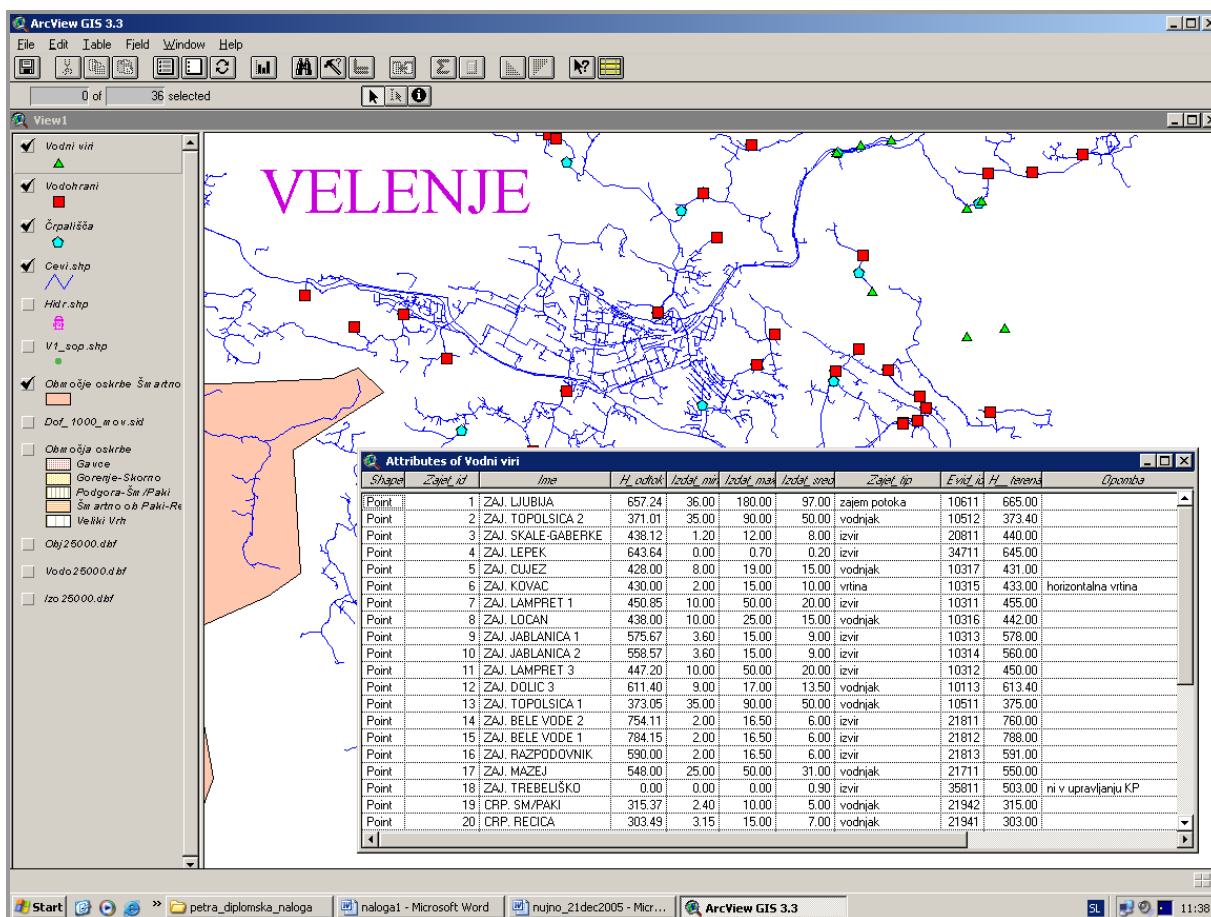
### **2.3.1 Program ESRI ArcView 3.3**

ArcView je program, ki deluje na osnovi geografsko - informacijskega sistema in omogoča ponazarjanje, nadziranje, izdelavo in analizo geografskih podatkov. Razvilo ga je podjetje Environmental Systems Research Institute ( ESRI ). Danes ArcView uporabljajo mnoga podjetja, s čimer jim je omogočeno dosegati optimalne odločitve in hitreje reševati obstoječe probleme.

Program ArcView omogoča obdelavo in uporabo tako grafične kot podatkovne baze obravnavanih atributov. Namen grafične baze je, da nam omogoča prostorsko predstavbo izbranih elementov in njihovih podatkov. Konkretno v našem primeru so to vodovodne cevi, vodni viri, vodohrani, črpališča itd. Podatkovna baza pa je sistem urejenih podatkov, ki podajajo karakteristike obravnavanih elementov z navedbo vrednosti različnih parametrov. Za cevi so to npr. premer, dolžina, material cevi. Ti podatki so običajno na razpolago v obliki

preglednic. Grafična in podatkovna baza sta med seboj povezani. Tako lahko z oznako nekega elementa, podanega grafično, pogledamo njegove karakteristike, predstavljene v obliki preglednice.

Omenjeno programsko okolje je zasnovano tako, da omogoča obdelavo različnih elementov v različnih plasteh. Vsaka plast zase ima svoje ime in je lahko hkrati na voljo več uporabnikom. Tako si lahko sami izberemo ustrezno kombinacijo sklopov podatkov, v katere želimo imeti vpogled v danem trenutku. Za obdelavo podatkov o vodovodnih sistemih potrebujemo npr. istočasno plasti, ki obravnavajo cevovod, vodne vire, vodohrane in črpališča, kar prikazuje spodnja slika.



Slika 14: Prikaz programskega okolja ArcView

Na sliki 14 je v grafični obliki prikazan del vodovodnega omrežja Velenje. Na levi strani je prikazano, katere plasti podatkov smo zajeli v obravnavanem projektu. Plasti, označene s

kljukico, so vidne tudi na sliki. Prikazana je preglednica plasti Vodni viri, v kateri je možno trenutno gledati podatke. Da lahko te podatke obdelujemo, mora biti plastnica aktivna za urejanje. Podatke lahko spreminjamo grafično z risalnim orodjem, ki je v tem programu na razpolago, ali pa v podatkovni bazi z vnosom v prikazane tabele.

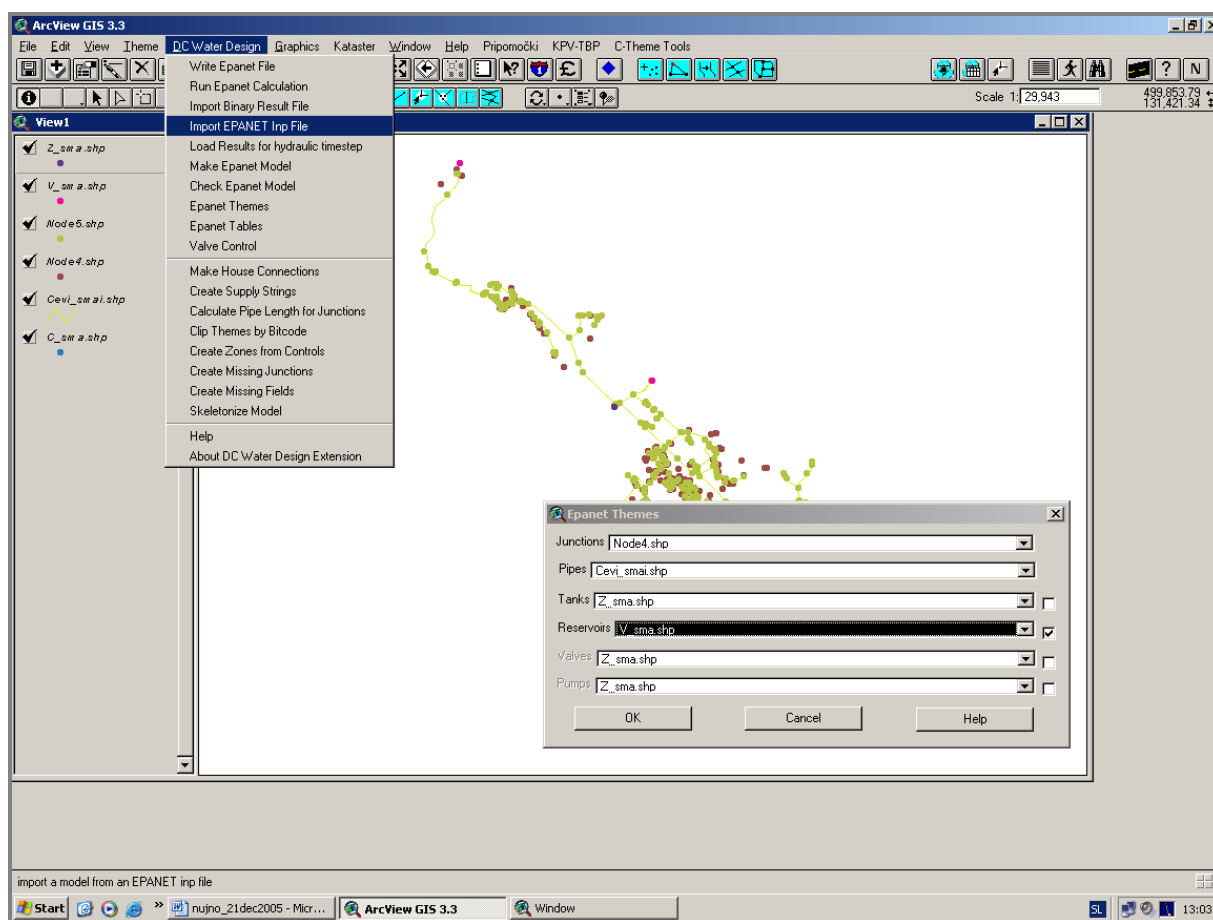
Geografski informacijski sistem je sistem podatkov, za oblikovanje katerega je potrebno medsebojno sodelovanje številnih strok ( geodezija, gradbeništvo, ... ). To je odvisno od tega, katere podatke želimo imeti na razpolago. Zato se znotraj posameznih podjetij formirajo interne baze podatkov, ki dajejo možnost zaposlenim, da redno spremljajo in evidentirajo spremembe, do katerih pride – pa naj bodo to spremembe na vodovodnem sistemu, spremembe namembnosti zemljišč ipd.

Poleg zgoraj naštetih možnosti pa nam program ArcView omogoča tudi, da prenesemo sklope podatkov s pomočjo posebnih programskih dodatkov tudi v druge programe ( Excel, Epanet ), kjer jih lahko dodatno obdelamo z določenim namenom ( statistika, modeliranje ).

Zaključimo lahko, da je program ArcView namenjen širokemu spektru uporabnikov, saj lahko zajame raznovrstne sklope tako grafičnih kot podatkovnih baz, s katerimi lahko vsak posameznik razpolaga na svoj način in z določenim namenom.

### **2.3.2 Programski dodatek DC Water Design Extension**

DC Water Design Extension ( DC WDE ) je programski dodatek k programu ESRI ArcView, ki omogoča ravnanje z bazo podatkov geografsko-informacijskega sistema. DC WDE omogoča prenos podatkov, potrebnih za hidravlično modeliranje vodovodnega sistema iz programa ArcView v Epanet, in s tem predhodno pripravo podatkov z omenjenim programskim orodjem. DC WDE prav tako omogoča, da se rezultati, dobljeni s hidravlično analizo v programu Epanet, prenesejo nazaj v ArcView, kjer so na razpolago v preglednicah atributov poleg predhodno oblikovanih podatkov.



**Slika 15: Pogovorna okna programskega vmesnika DC Water Design Extension**

Za vsak element, ki ga želimo vključiti v hidravlični model v programu Epanet, je potrebno imeti zbrane podatke o karakteristikah le-tega. Na kakšen način in s katerimi parametri morajo biti posamezni elementi zastopani, da je v Epanetu model ustrezno oblikovan, je navedeno že v poglavju 2.2.4.

### 2.3.3 Program Epanet 2.0

Epanet je programsko orodje, s pomočjo katerega lahko modeliramo hidravlične in kvalitativne parametre vode za vodovodne sisteme. Vsako vodovodno omrežje je sestavljeno iz cevi, vozlišč ( to so spoji cevi ), vodnih virov, vodohranov, črpalk in ventilov. Epanet omogoča vpogled v pretočne razmere v posameznih ceveh ter tlačnih razmer na vozliščih. Glede na zasnovano simulacijo lahko opazujemo tudi, kako niha voda v posameznih



vodohranih in kakšna je koncentracija določenih snovi v sistemu, če bi želeli obravnavati vodovodno omrežje tudi z vidika kvalitete vode.

Program Epanet, ki je zasnovan za programsko okolje Windows, istočasno omogoča urejanje vhodnih podatkov, zagon hidravličnih in kvalitativnih simulacij ter pregled rezultatov v različnih formatih, kar vključuje barvno kodirane karte omrežja, podatkovne preglednice, časovne grafe ter dvodimenzionalni oz. tridimenzionalni ploskovni prikaz tlakov.

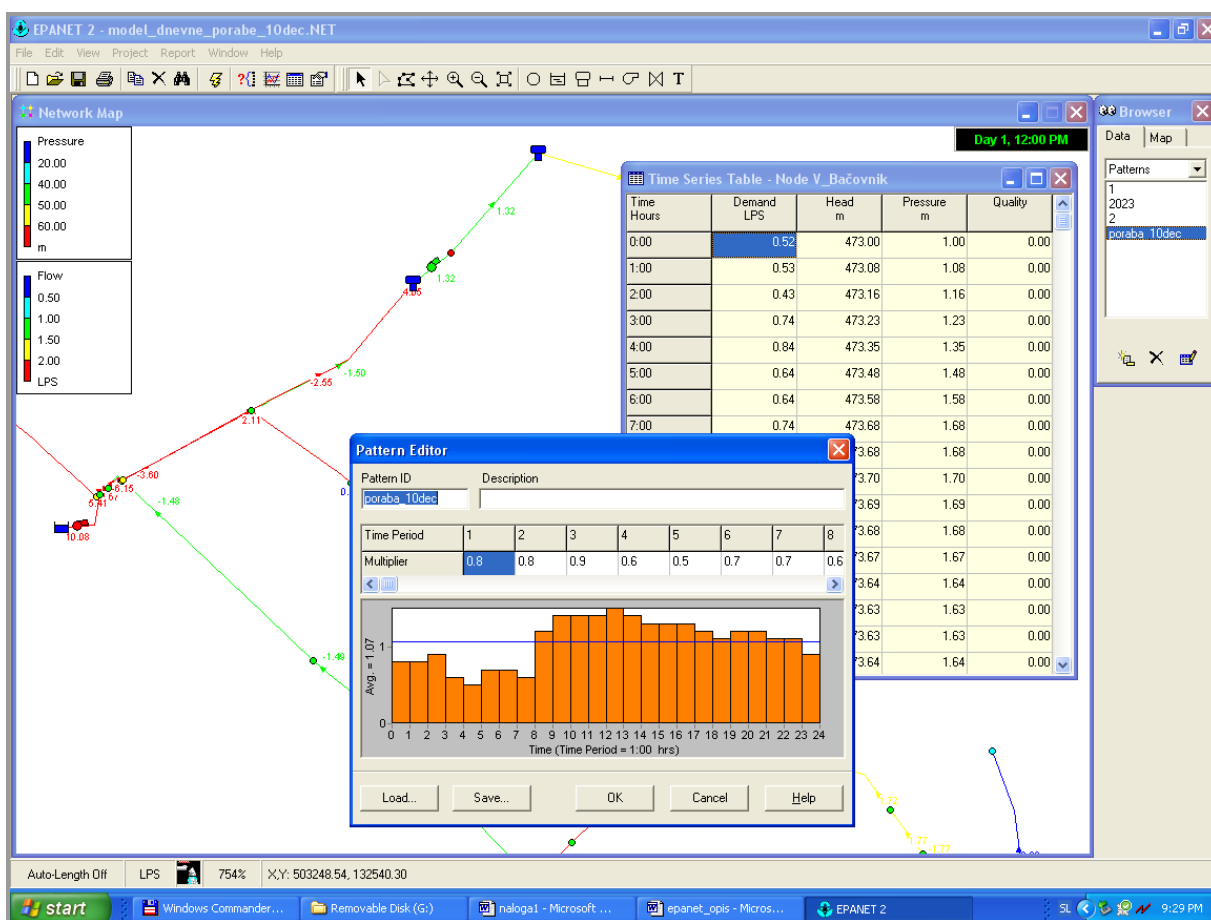
Epanet 2.0 je razvila ameriška agencija za okolje ( U.S. Environmental Protection Agency ) in je brezplačno dostopen na internetnih straneh ( [www.epa.gov](http://www.epa.gov) ). Zasnovan je tako, da omogoča tako statične kot tudi razširjene časovne simulacije in hkrati nudi:

- analizo vodovodnega sistema poljubne velikosti
- račun linijskih izgub tlaka z uporabo različnih enačb ( Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ali Chezy-Manning )
- račun lokalnih izgub zaradi lokov, zožitev, ipd.
- modeliranje različnih črpalk ( krivulja  $H(Q)$ , konstantna ali spremenljiva hitrost črpalk )
- modeliranje različnih tipov ventilov ( zaporni ventil, kontrolni ventil, regulator tlaka, ventil za kontrolo pretoka )
- simulacijo vodohranov poljubne velikosti in oblike ( npr. premer se lahko spreminja z višino );

Poleg zgoraj naštetih možnosti lahko Epanet upošteva tudi različne kategorije porabe ( šole, vrtci, bolnišnice, industrija ) na konkretnem vozlišču s specifičnim vzorcem potrošnje, odvisne od časa. Modelira tudi iztok oz. izgube v odvisnosti od tlaka v sistemu in omogoča zasnovano najbolj kompleksnih scenarijev kontrole ( npr. nivo gladine vode v vodohranu, časovna kontrola, ... ).

Poleg zgoraj naštetih ponuja programsko orodje Epanet še številne druge možnosti in je namenjen tako manj kot tudi bolj zahtevnim uporabnikom. Epanet je bil razvit za modeliranje vodovodnih omrežij z namenom, da omogoči izboljšanje kvalitete vode, ki se dovaja potrošnikom preko vodovodnega sistema, predvsem pa za planiranje in izboljšanje sistemskih hidravličnih razmer. Določimo lahko nove dimenzije in lokacijo posameznih cevi, črpalk,

ventilov, omogočimo čim nižjo porabe energije, itd. Da izboljšamo tlačne in pretočne razmere, lahko s pomočjo programa Epanet preoblikujemo model na različne načine. Tako lahko npr. na črpališčih uvedemo črpalke z drugačnimi karakteristikami ali novim vzorcem delovanja, spremenimo lastnosti funkcioniranja vodohranov, vključimo v model redukcijske elemente... Pri ponovni vzpostavitvi hidravličnega modela lahko preverimo nove tlačne in pretočne razmere. Če so le-te ustrezne, lahko izvedemo obravnavane ukrepe na vodovodnem omrežju.



Slika 16: Vpogled v okolje programskega orodja Epanet

Iz zgornjih vrstic lahko povzamemo, da je Epanet vsestransko programsko orodje, saj nam omogoča tako analizo obstoječega stanja kot tudi možnost, da dobimo vpogled v to, ali bi bila neka predlagana sprememba na vodovodnem omrežju za obratovanje le-tega sprejemljiva ali ne.

## 2.4 Pravni vidiki

Oskrba naselij z vodo je urejena s predpisi, ki so obravnavani v naslednjih podpoglavjih. To so standardi in zakoni, sprejeti na nivoju države in EU, akti lokalne skupnosti ter povsem interni pravilniki, ki veljajo le znotraj določenega podjetja, katero upravlja s posameznim vodovodnim omrežjem ( npr. Komunalno podjetje Velenje ).

### 2.4.1 Predpisi na področju oskrbe z vodo

Kar se tiče evropskih standardov in predpisov, ki obravnavajo oskrbo s pitno vodo, izstopata predvsem dva - EN 805 ( Oskrba z vodo – Zahteve za sisteme izven zgradb in komponente ) in EN 1610 ( Gradnja in preskušanje vodov in kanalov za odpadno vodo ). Na podlagi teh sta bila v Sloveniji sprejeta Slovenski standard SIST EN 805 in Slovenski standard SIST EN 1610.

Evropski standard EN 805 najprej pojasnjuje osnovne pojme, ki opisujejo vodovodne sisteme in oskrbo s pitno vodo. Predstavljene so teoretične osnove, ki smo jih opisali že v prejšnjih poglavjih. Standard opisuje posamezne elemente vodovodnih sistemov in navaja karakteristike, ki jih je potrebno upoštevati pri samem projektiranju oz. dimenzioniranju. Poleg zahtev, ki se naslanjajo na hidravliko sistema ( hidravlične izgube, tlaki, pretoki in hitrosti ), postavlja standard tudi zahteve, ki obravnavajo kvaliteto vode ( normativi pri dezinfekciji vode ). Poleg tega, kakšne morajo biti razmere na vodovodnem omrežju, je opisano tudi, na kakšen način se morajo vgrajevati posamezni elementi, kakšna mora biti kontrola funkcioniranja sistema ter kakšen mora biti nadzor nad vsemi izvajanimi deli.

Evropski standard EN 1610 natančno opisuje, kako se izvajajo gradbena dela pri polaganju cevovoda – tako tlačnega voda kot kanalov s prosto gladino. Najprej so opisani materiali, ki se pri vgradnji cevi uporabljajo. Nato so navedeni normativi, ki se nanašajo na izkop in pripravo jarkov za polaganje cevovoda, vgrajevanje cevovoda in končno na zasipanje jarka. Ko je cevovod položen, je potrebno narediti še končni pregled in preveriti tesnost položenega cevovoda skladno s postopki, opisanimi v standardu.

Poleg zgoraj opisanih standardov so pomembni pravilniki, ki se nanašajo na delovanje vodovodnih omrežij, še naslednji:

- Pravilnik o pitni vodi
- Pravilnik o tehničnih normativih za hidrantno omrežje za gašenje požarov
- Pravilnik o preizkušanju hidrantnih omrežij
- Pravilnik o gradnjah na vodovarstvenih območjih, ki se lahko izvedejo na podlagi vodnega soglasja, in o dokumentaciji, ki je potrebna za pridobitev soglasja;

Pravilnik o pitni vodi določa zahteve, ki jih mora izpolnjevati pitna voda, z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki zaradi kakršnegakoli onesnaženja pitne vode. Kvaliteta pitne vode se redno preverja z monitoringom in laboratorijskim preskušanjem, v primeru vključitve neposredne dobave vode iz novega vodnega vira v sistem za oskrbo s pitno vodo pa mora upravljavec vodovodnega omrežja v okviru raziskovalnih del najmanj eno leto spremljati skladnost vode vodnega vira. V primeru, da se ob kontroli kvalitete pitne vode ugotovi neskladnost z normativi, je potrebno za to poiskati vzroke in neskladnosti čim prej odpraviti. Kadar se v vodi pojavijo prevelike koncentracije snovi, ki so za zdravje ljudi škodljive, je potrebno nemudoma odstraniti neustrezno dobavljeno vodo iz uporabe in o tem preko medijev obvestiti prebivalce. V primeru prekinitve dobave, ki traja več kot 24 ur, mora upravljavec zagotoviti nadomestno oskrbo s pitno vodo. Če v vodi koncentracije posameznih snovi presegajo predpisano vrednost, ne predstavljajo pa nevarnosti za zdravje ljudi, lahko minister, pristojen za zdravje, izda dovoljenje o uporabi te vode. Dovoljenje je izdano pod točno določenimi pogoji in velja največ tri leta.

Pravilnik o tehničnih normativih za hidrantno omrežje za gašenje požarov določa naslednje:

- Za naselje, ki šteje do 5000 prebivalcev, predpostavimo, da je v enem trenutku mogoče le en požar, za gašenje katerega je potrebno zagotoviti minimalno 10 l/s vode.
- Na območju, ki je predmet te diplomske naloge, ni industrije, za katero bi bilo potrebno določati posebne ukrepe za zagotavljanje požarne varnosti.
- Razdalja med hidranti je določena tako, da je požar mogoče na vsakem objektu gasiti z najmanj dveh zunanjih hidrantov, med katerima je dovoljena razdalja največ 80 m.
- V krajih, v katerih so večinoma stanovanjski objekti, je lahko razdalja med zunanjimi hidranti največ 150 m.

- Razdalja med hidrantom in zidom objekta mora znašati najmanj 5 m, največ pa lahko znaša 80 m.
- Glede na pretok, ki ga je potrebno doseči, se vgrajujejo hidranti z notranjim premerom 80 mm ali 100 mm, ki se morajo postaviti in zavarovati tako, da ne zamrznejo in se ne poškodujejo.
- Cevi razdelilnega cevovoda v omrežju hidrantov in cevi za posamezen hidrant morajo imeti premer po izračunu, vendar ne manjšega od 100 mm.
- Potreben tlak v zunanjem hidrantnem omrežju ne sme biti manjši od 2,5 bara.

Pravilnik o gradnjah na vodovarstvenih območjih, ki se lahko izvedejo na podlagi vodnega soglasja, in o dokumentaciji, ki je potrebna za pridobitev soglasja, določa gradnjo objektov ter izvajanje gradbenih del, ki se na vodovarstvenih območjih lahko izvedejo samo na podlagi preveritve vpliva teh gradenj na vodni režim in stanje vodnega telesa, namenjenega za javno oskrbo s pitno vodo, v postopku pridobitve vodnega soglasja. Prav tako ta pravilnik določa vso potrebno dokumentacijo, ki je za pridobitev vodnega soglasja nujno potrebna.

#### **2.4.2 Akti lokalne skupnosti**

Leta 1984 je bil sprejet Odlok o varstvenih pasovih vodnih virov in termalnih vrelic na območju občine Velenje, ki je veljal vse do leta 2001, ko je bil sprejet v naslednjem odstavku opisan Odlok o varstvu pitne vode na območju Mestne občine Velenje.

S strani Sveta Mestne občine Velenje je bil oktobra 2001 sprejet Odlok o varstvu pitne vode na območju Mestne občine Velenje. Sestavni del tega odloka je tudi elaborat z naslovom Zaščita obstoječih in predvidenih vodnih virov za potrebe dolgoročne oskrbe s pitno vodo v Mestni občini Velenje, Občini Šoštanj in Občini Šmartno ob Paki, ki ga je izdelalo podjetje za geološke raziskave GEOKO d.o.o. Ta odlok navaja osnovne značilnosti vseh vodovarstvenih območij ( CONA 0, CONA I, CONA II in CONA III ) in določa vse prepovedane, obvezne in dovoljene dejavnosti na posameznem vodovarstvenem območju. Vsako območje mora biti ustrezno zaščiteno, če je to potrebno, ter označeno z opozorilnimi tablami in prometnimi

znaki. Za vse posege v vodovarstvena območja mora podati svoje soglasje pristojna zdravstvena inšpekcija, ki preveri tudi obstoječe in nove dejavnosti.

Zadnji od odlokov, ki obravnavajo vodovodno omrežje občin Velenje, Šoštanj in Šmartno ob Paki, je bil sprejet na seji Sveta Občine Šmartno ob Paki februarja 2005. To je Odlok o oskrbi s pitno vodo na območju občine Šmartno ob Paki, ki določa pogoje in način oskrbe s pitno vodo na območju občine Šmartno ob Paki iz javnega vodovoda, s katerim upravlja pooblaščená pravna oseba za izvajanje te gospodarske javne službe ( v tem primeru Komunalno podjetje Velenje, Javno komunalno podjetje Žalec in Javno podjetje komunala Mozirje ). Odlok najprej navaja objekte in naprave uporabnikov in upravljavca ter pogoje za priključitev na javni vodovod. Nadalje obravnava, kakšni so pogoji za prevzem vodovodnih objektov in naprav v upravljanje, kako potekajo meritve porabe pitne vode in obračun porabljene vode. Upravljavec lahko v določenih primerih prekine dobavo pitne vode za krajši čas, vendar s predhodnim obvestilom. Zaradi planiranih vzdrževalnih del ali okvar brez predhodnega obvestila lahko upravljavec prekine dobavo vode za največ tri ure, v primeru daljše prekinitve ( največ do osem ur ) pa je dolžan pravočasno obvestiti uporabnike neposredno ali preko sredstev javnega obveščanja. Posebej je obravnavano tudi ravnanje s pitno vodo v izrednih razmerah, kot so potresi, požari, suša, onesnaževanje virov, izpad energije itd., ter odjem vode iz hidrantov. Na koncu obravnavanega odloka so opisane obveznosti upravljavcev in uporabnikov ter kazenske določbe v primeru morebitnih prekrškov tako s strani upravljavca kot s strani uporabnika.

### **2.4.3 Interni pravilniki in standardi**

Skladno s predpisi, ki obravnavajo preskrbo prebivalstva z vodo, je bil oblikovan Pravilnik o tehnični izvedbi in uporabi vodovodnih objektov in naprav na območju Občine Šmartno ob Paki. Ta določa naslednje:

- Največja dnevna poraba vode je določena s koeficientom letnega nihanja vode, ki znaša 1,5. Ta vrednost izraža razmerje med porabo vode kritičnega dne in srednjo dnevno porabo.

- Koeficient neenakomerne dnevne porabe je odvisen od porabnikov in znaša 2,0 za Velenje, 2,2 za Šoštanj, 2,5 za Šmartno ob Paki in 3,5 za manjša naselja in vasi.
- Vodovod mora biti projektiran in izveden tako, da so pretočne hitrosti pri srednji porabi vode med 0,8 m/s in 1,4 m/s. Primerno območje je še med 0,5 m/s in 2,0 m/s. V izjemnih okoliščinah je dopustna najvišja hitrost pretoka do 3,5 m/s ( npr. požar ).
- Dobavni tlak je odvisen od hidravličnega stanja in porabe vode in je na mestu obračunskega vodomera pri pretoku nič lahko med 0,2 MPa ( 2 bar ) do 0,8 MPa ( 8 bar ). V izrednih razmerah je minimalni tlak lahko tudi manjši ( požar, večja okvara ). Za vsak objekt se v projektnih pogojih ali soglasjih navede statični in dinamični tlak na mestu priključitve na javni vodovod, ki ga omogoča normalno stanje v vodovodni mreži.
- Če tlak presega 0,55 MPa, se mora ( na interni inštalaciji ) za vodomero vgraditi ventil za zmanjševanje in regulacijo tlaka.
- Zmogljivost črpalnega agregata mora biti določena na osnovi srednje urne porabe, maksimalne urne porabe ter požara. Črpalni agregat mora prečrpati dnevno količino vode v osmih urah. V primeru, ko je požarna varnost zagotovljena iz drugih virov, se zmogljivost črpalnih postaj lahko ustrezno zmanjša.

V zgornjih vrsticah so navedeni le najpomembnejši pogoji, ki smo jih uporabili pri analizi hidravličnega modela.

### **3 VODOVODNI SISTEM ŠMARTNO OB PAKI**

Sledeče poglavje zajema opis obravnavanega sistema ter obdelavo podatkov o vodovodnem omrežju, potrebnih za oblikovanje hidravličnega modela. V poglavju 3.3 je zajeta problematika, ki se nanaša na obratovanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki

#### **3.1 Opis vodovodnega sistema**

Kako se je vodovodno omrežje gradilo ter kakšna sta njegova struktura in obratovanje danes, bomo spoznali v naslednjih podpoglavjih.

##### **3.1.1 Potek izgradnje vodovodnega omrežja v občini Šmartno ob Paki**

V Šmartnem ob Paki, Paški vasi in Gorenju so se do leta 1964 oskrbovali s pitno vodo iz kopanih vodnjakov in podtalnice. V ostalih zaselkih, kot so Skorno, Mali Vrh, Gavce, Slatina in Podgora, pa so bile razmere še slabše, saj so skoraj povsod uporabljali kapnico, le tu in tam je bil kakšen izvir, iz katerega so lahko nosili vodo za pitje.

Ko so leta 1959 v Šmartnem ob Paki začeli graditi osnovno šolo in širiti podjetje VINO, so se utrnili prva razmišljanja o izgradnji vodovodnega omrežja. V Šmartnem ob Paki so zgradili črpališče in prvi vodohran s prostornino 100 m<sup>3</sup>. Po poružitvi zajezev na reki Paki se je nivo podtalnice v Rečici močno zmanjšal in skoraj povsod so ostali brez vode. Z udarniškim delom so krajanje leta 1965 pripeljali vodovod iz Šmartnega ob Paki v Rečico, nekoliko kasneje pa tudi v Paško vas in Gorenje ter v spodnji del naselja Gavce. Takoj zatem so krajanje začeli graditi iz območja Šmartno ob Paki vodovod z dvakratnim prečrpavanjem in vodohran na Velikem vrhu prostornine 100 m<sup>3</sup>. S tem so dobila vodo naselja Veliki Vrh, Mali Vrh in Gavce. Poraba vode iz zajetja Šmartno ob Paki je kmalu postala prevelika, zato se je Komunalno podjetje Velenje, ki je upravljavec obravnavanega vodovodnega omrežja,



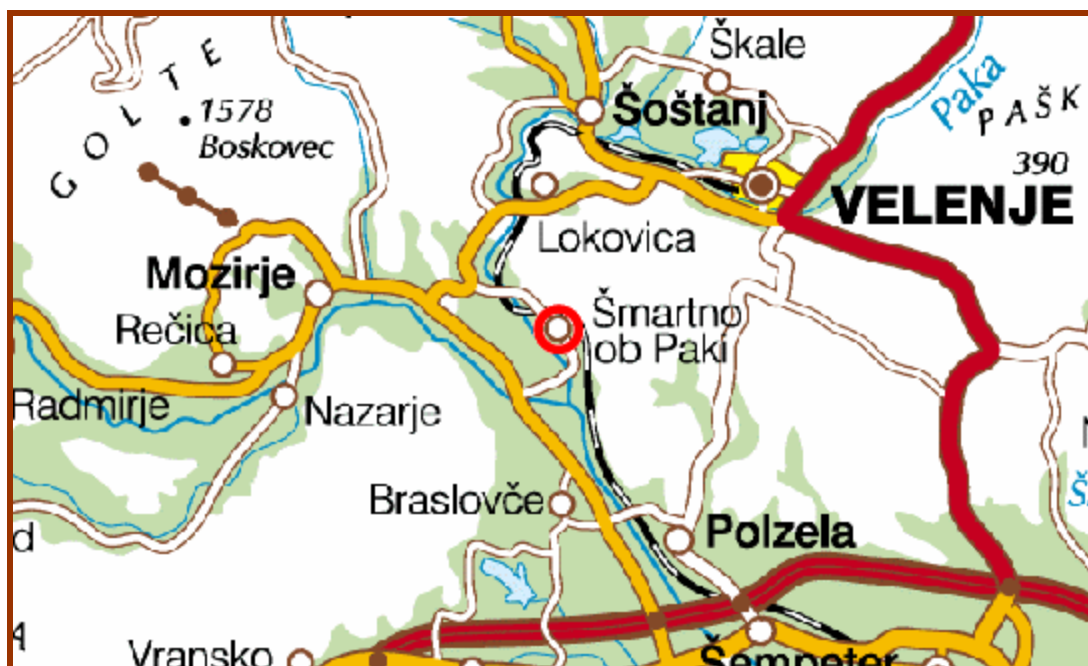
odločilo za izgradnjo novega črpališča in vodohrana v Rečici. Ta vodohran ima prostornino 250 m<sup>3</sup>. Leta 1994 sta tako bila s cevovodom povezana oba vodovoda.

Tako zgrajen cevovod, imenovan kot vodovodni sistem Šmartno ob Paki, oskrbuje z vodo sedaj naslednja območja: Šmartno ob Paki, Skorno, Gorenje, Gavce, Veliki Vrh, Mali Vrh, Paško vas, Podgoro in Rečico ob Paki, kar nam prikazuje spodnja slika. Na sliki 17 ni vidna le Paška vas.



Slika 17: Oskrbovano območje vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki

( <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp> [ 2.12.2005 ] )



Slika 18: Prikaz Šmartnega ob Paki na karti

( <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp> [ 2.12.2005 ] )

Za lažjo predstavo lahko na zgornji sliki vidimo, da se Šmartno ob Paki nahaja jugozahodno od Velenja. Naselje obkrožajo poleg Velenja še občine Šoštanj, Mozirje in Polzela.

### 3.1.2 Splošen opis vodovodnega sistema Šmartno ob Paki

Vodooskrbni sistem Šmartno ob Paki se napaja iz dveh večjih vodnih virov. Prvi vir je vodnjak s črpališčem Šmartno ob Paki, katerega izdatnost je v povprečju med 6 l/s in 10 l/s. Drugi pomemben vir je vir Rečica, kjer imamo dva vodnjaka in dve vrtini, od katerih je ena aktivna in se nahaja znotraj objekta, druga pa je zunaj obstoječega objekta in se zaradi prevelikih koncentracij antimona v vodi žal ne uporablja. Izdatnost tega vira niha od 4 l/s do 15 l/s. Poleg vodnjakov in vrtin imamo na viru Rečica hkrati tudi črpališče.

Z obeh omenjenih črpališč se voda prečrpava v vodohran Šmartno ob Paki ter vodohran Rečica. Vodohran Šmartno ob Paki služi delno kot akumulacija za napajanje večjega dela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, hkrati pa so na objektu vgrajene črpalne postaje, preko katerih se z zaporednim prečrpavanjem oskrbujejo z vodo višje ležeča območja.

Vodohran Šmartno ob Paki s črpališčem Veliki Vrh 1 deluje v sistemu kot podrejen oz. protiležen vodohranu Rečica. Poleg omenjenih se v sistemu nahaja še manjši vodohran Gorenje – Skorno1 s črpališčem Skorno na severu, ki je podobno zasnovan kot vodohran Šmartno ob Paki – objekt služi le kot akumulacija za črpalke. V sistemu sta direktno na vodovodno omrežje priključeni še dve črpalni postaji. To sta postaji Gavce in Podgora, ki predstavljata za obravnavano cono točkovne odjeme vode za napajanje višje ležečih območij. Delovanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki je za lažjo predstavbo shematsko prikazano na skici v prilogi E.

## **3.2 Razpoložljivi podatki o vodovodnem omrežju in njegovem obratovanju**

Podatke, ki so obdelani v tem poglavju, smo dobili v Komunalnem podjetju Velenje. Nekateri od uporabljenih podatkov so bili na voljo v digitalni obliki, nekaj pa jih je povzetih iz različnih elaboratov, izdelanih znotraj tega podjetja.

### **3.2.1 Osnovne karakteristike in zasnova vodovodnega omrežja**

Komunalno podjetje Velenje oskrbuje z vodo tri občine – Velenje, Šoštanj in Šmartno ob Paki, kar nam prikazuje priloga A. Na jugozahodu s pitno vodo oskrbovanega področja se nahaja vodovodni sistem Šmartno ob Paki.

Vodovodni sistem Šmartno ob Paki pokriva več naselij ( priloga B ):

- Šmartno ob Paki
- Gorenje in Skorno
- Gavce
- Veliki Vrh in Mali Vrh
- Paško Vas
- Podgoro
- Rečico ob Paki;

Odseke sistema, ki oskrbujejo z vodo zaselke Paška Vas, Podgora in Rečica ob Paki, običajno obravnavamo kot del centralnega cevovoda Šmartno ob Paki.

Vodovodni sistem Šmartno ob Paki je zelo razvejan in posledično tudi razgiban. Celotno vodooskrbno območje zajema naselje Šmartno ob Paki in tudi okoliške zaselke, ki se razprostirajo po okoliških hribih. Najnižji porabnik se nahaja na skrajnem jugu Šmartnega ob Paki in leži na višini 301 m.n.v., najvišji pa je na skrajnem severu območja Gorenje – Skorno in se nahaja na višini 593 m.n.v. Vidimo, da je višinska razlika med najnižjim in najvišjim porabnikom vode precejšnja, saj znaša skoraj 300 m.

Število prebivalcev, ki jih vodovodno omrežje sistema Šmartno ob Paki oskrbuje z vodo, je približno 2200. Celotna dolžina omrežja znaša dobrih 65 km. Podrobnejša analiza je narejena v naslednjem poglavju.

### **3.2.2 Podatki o cevovodih**

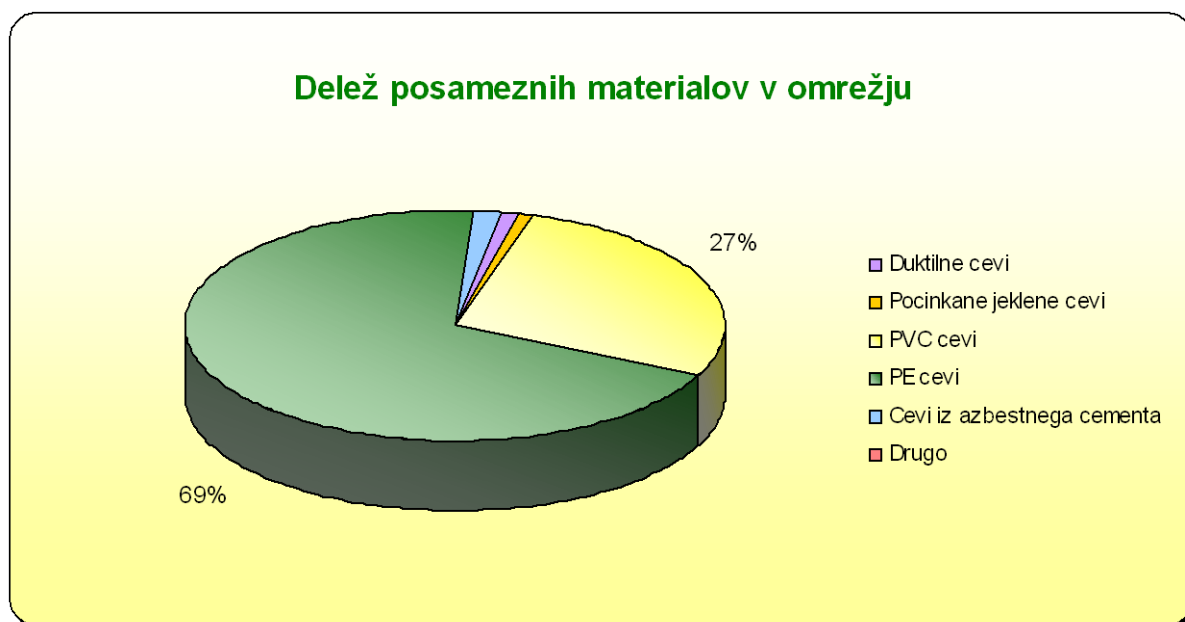
Porabniki pitne vode na tem območju so od zajetij oddaljeni najmanj 500 m in najdlje tudi do 5000 m. Izgube vode na obravnavanem sistemu so izredno velike in na posameznih odsekih znašajo tudi do 50%. Do izgub prihaja zaradi netesnosti sistema, ki je posledica zastarelih odsekov cevovodov, ter okvar na ceveh, saj jih je težko odkriti, ker je to področje podtalnic.

Zaradi lažje predstave o karakteristikah obravnavanega cevovoda so le-te prikazane v tabelarni in grafični obliki v sledečih vrsticah. Spodnji podatki so obdelani s pomočjo programskega orodja ArcView. Podatke sem prenesla v program Excel, kjer sem jih obdelala, nato pa izdelala grafični prikaz osnovnih karakteristik cevovoda. V obdelavo sem poleg vodovodnega sistema Šmartno ob Paki vključila tudi cevovode v zaselkih Gorenje, Skorno, Gavce in Veliki Vrh, ki se neposredno navezujejo na vodovodni sistem Šmartno. Pri sami pripravi hidravličnega modela pa podatkov o cevovodu iz okoliških naselij ne podajamo, ampak upoštevamo le porabo vode s teh območij.

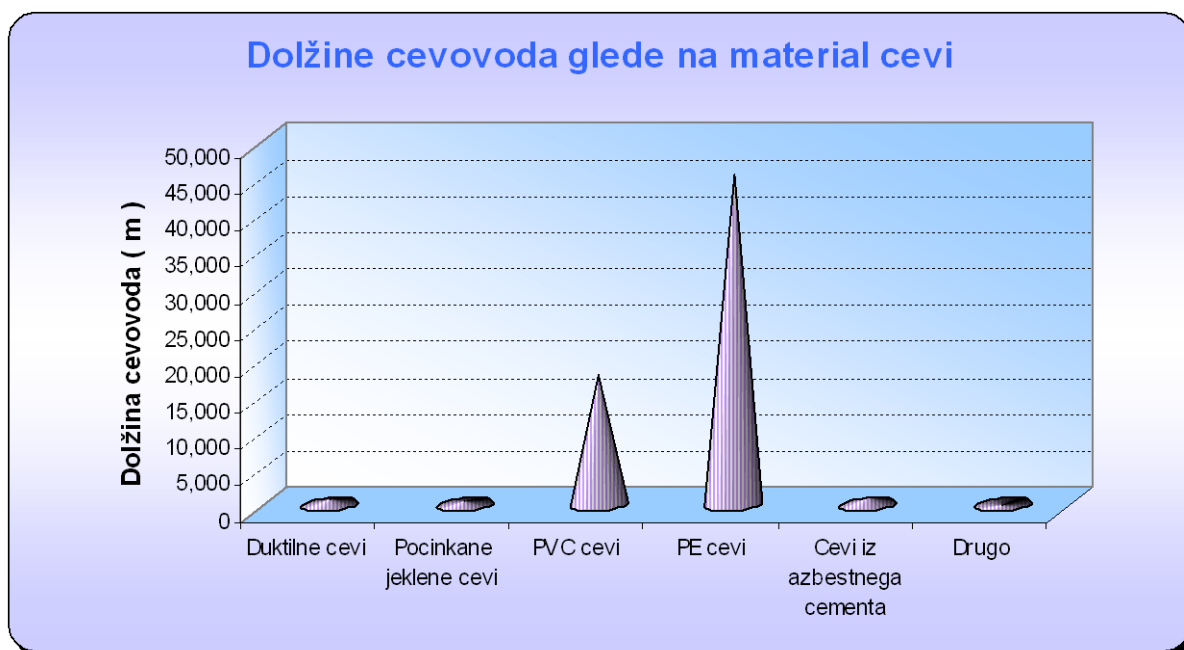
Preglednica 5: Dolžine cevododov po materialu

Material	Gorenje-Skorno	Gavce	Veliki Vrh	Šmartno ob Paki	CEL SISTEM
Duktilne cevi	/	/	183	563	746
Pocinkane jeklene cevi	/	/	/	572	572
PVC cevi	6.314	/	10.210	1.437	17.961
PE cevi	3.478	4.927	14.296	22.621	45.322
Cevi iz azbestnega cementa	/	/	/	1.061	1.061
SKUPAJ	9.791	4.927	24.689	26.254	65.662

Zgornja preglednica prikazuje, kolikšne so dolžine cevi glede na material, podane v metrih. V preglednici so predstavljeni le najpogosteje uporabljeni materiali. Tako zgornja preglednica kot spodnja grafa nam povedo, da je pretežni del cevododa iz cevi, ki so iz polietilena ( PE ) in polivinilklorida ( PVC ). Material cevi je pomemben podatek, saj na podlagi le-tega določimo izhodiščno hrapavost cevi, ki je pomembna za hidravlični preračun obravnavanega cevododa.



Grafikon 3: Prikaz deleža posameznih materialov v omrežju



**Grafikon 4: Prikaz dolžine cevovoda glede na material cevi**

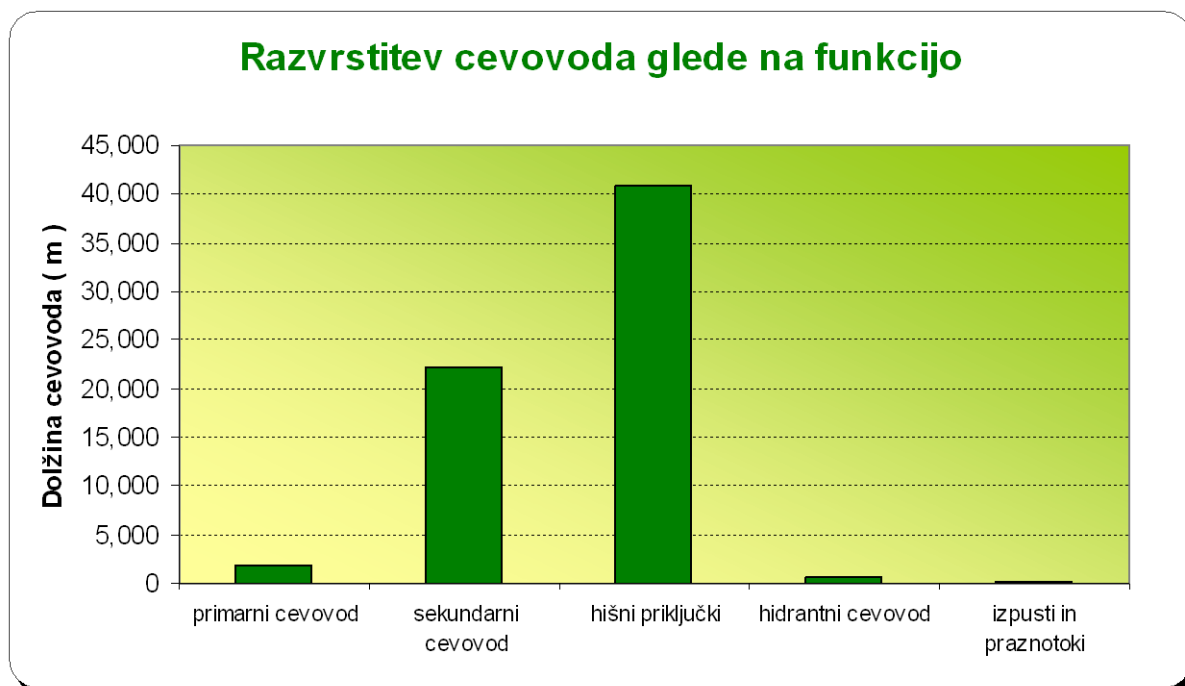
Pomembni lastnosti cevovoda sta tudi njegova starost in funkcija. Na grafikonu 5 lahko vidimo, da so cevi pretežno iz obdobja med letoma 1990 in 2000. Najstarejši cevovod iz obravnavanega področja lahko najdemo prav v Šmartnem ob Paki in sicer je kar nekaj cevi še iz leta 1961.



**Grafikon 5: Prikaz razdelitve cevovoda glede na starost cevi**

Grafikon 6 pa prikazuje, kakšno funkcijo ima cevovod na obravnavanem območju. Še enkrat je potrebno poudariti, da gre v tem primeru za bolj podrobno obdelavo podatkov, medtem ko smo se pri izdelavi modela omejili tako glede področja oskrbe z vodo, kot tudi tega, kako podrobno ( do katerih notranjih premerov ) bomo sistem modelirali.

Generalno lahko predpostavimo, da celoten vodovodni sistem sestavljata primarni in sekundarni cevovod v skupni dolžini nekaj več kot 24 km. Cevovoda hišnih priključkov je v skupni dolžini nekaj več kot 40 km, medtem ko je cevovoda z ostalimi karakteristikami zelo malo. Pri vzpostavitvi hidravličnega modela smo se omejili le na primarno ter sekundarno omrežje.



**Grafikon 6: Prikaz funkcij obravnavanega cevovoda**

### **3.2.3 Podatki o vodnih virih, vodohranih, črpališčih in ostalih armaturah**

#### **3.2.3.1 Vodozbirno območje**

V črpališču Šmartno ob Paki ( ki se nahaja na levem bregu reke Pake, nad Šmartnim ob Paki ) je z vodnjakom zajeta podtalnica vodonosnika, ki ga sestavlja starejši peščeno – prodnati zasip reke Savinje, debel 3 – 6 metrov. V podlagi peščeno – prodnatega zasipa nastopa sivi lapor z vložki tufa. Debelina glinastega in glinasto – peščenega pokrova nista znani. Iz tega vodnjaka je možno črpati do 10 l/s vode. Glavna smer toka podtalnice je severozahod – jugovzhod.

V črpališču Rečica ( ki se nahaja na levem bregu reke Pake, pod Rečico ) je z vodnjakom zajeta podtalnica nad vodonosnikom, ki je prav tako ( kot v zgornjem primeru ) iz starejšega peščeno – prodnatega zasipa reke Savinje. Plast vodonosnika je debela 3,5 – 5,8 metra. V podlagi peščeno – prodnatega zasipa nastopa sivi lapor z vložki tufa. Glinasti in glinasto – peščeni pokrov je debel 0,6 – 2,2 metra in se debeli v smeri vzhoda, t.j. proti Podgori. Nivo podtalnice je na globini 2 – 2,5 metra, debelina omočenega sloja pa je približno 2,2 m. Po študiji, izdelani leta 1986, je iz tega vodnjaka možno črpati tudi do 15 l/s vode. Glavna smer toka podtalnice je severozahod – jugovzhod.

#### **3.2.3.2 Vodni viri - zajetja**

Vodooskrbni sistem Šmartno ob Paki pridobiva vodo iz dveh vodnjakov – iz vodnjaka Šmartno ob Paki, ki se nahaja v črpališču Šmartno ob Paki, ter iz vodnjaka Rečica, ki se nahaja v črpališču Rečica. V črpališču Šmartno ob Paki se iz vodonosnika zajame voda in se neposredno preko dveh črpalk prečrpa v vodooskrbni sistem, kjer prehaja do uporabnikov. Višek vode, t.j. voda, ki se ne porabi takoj, se črpa v vodohran Šmartno ob Paki. Na zajetju Rečica imamo poleg dveh vodnjakov še dve vrtini, od katerih je aktivna le ena, medtem ko druga zaradi vsebnosti antimona v vodi ne obratuje. Iz tega črpališča gre voda preko dveh črpalk v vodohran Rečica, kamor priteka tudi voda iz vrtine Rečica 2, šele nato pa se z njo



napaja obravnavani vodovodni sistem. Splošne karakteristike obeh navedenih zajetij so opisane v spodnji preglednici.

Preglednica 6: Splošne karakteristike zajetij ( po podatkih iz leta 2000 )

Karakteristike	Vodnjak Šmartno ob Paki	Vodnjak Rečica
Leto ureditve zajetja	1964	1989
Leto preureditve	1976	/
Minimalna kapaciteta ( l/s )	3,4	3,3
Maksimalna kapaciteta ( l/s )	7	10
Povprečna kapaciteta ( l/s )	6	7
Tip zajete vode	podtalnica	podtalnica
Globina črpanja ( m )	4	4
Vodonosni sloj	Peščeno – prodnata tla	Peščeno – prodnata tla
Dezinfekcija vode	Kloriranje z NaOCl	Kloriranje s plinskim klorom
Število napajanih vodohranov	5	4

Oba vodna vira sta redno vzdrževana in možni so takojšnji posegi, kot npr. takojšnje povečanje količine črpanja, izločitev določenega vira iz uporabe ipd.

Poleg zajetij Šmartno ob Paki in Rečica1 imamo sedaj še nov vodni vir, vrtino Rečica2.



Slika 19: Vodni vir Šmartno ob Paki ( levo ) in vodnjaka na vodnem viru Rečica 1 ( desno )

Izdatnost vodnih virov je zelo pomembna, saj s tem ugotovimo, ali imamo tudi v najbolj kritičnih obdobjih na razpolago dovolj vode za potrebe porabnikov na vodovodnem omrežju. Karakteristične vrednosti izdatnosti prikazuje spodnja preglednica.

Preglednica 7: Izdatnost vodnih virov v letu 2004

Vodni vir	Izdatnost ( l/s )		
	minimalna	srednja	maksimalna
Šmartno ob Paki	2,8	3,9	5,2
Rečica 1	0,1	1	3,5
Rečica 2	1,1	1,3	1,5

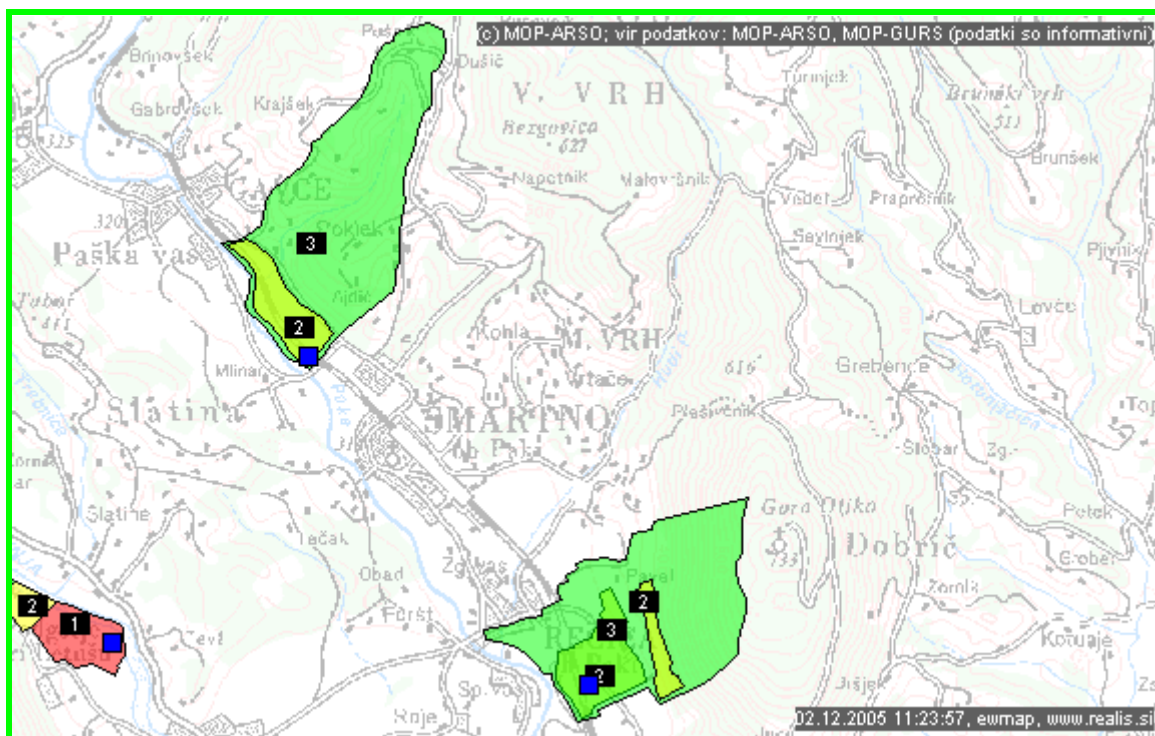
Vodovarstveno območje vodnih virov Šmartno ob Paki in Rečica ( priloga C ) se deli na:

- a) neposredno zaščito zajetja
- b) tri vodovarstvene cone:
  - notranja vodovarstvena cona – CONA I ( območje najstrožje sanitarne zaščite ),
  - zunanja vodovarstvena cona – CONA II ( območje stroge sanitarne zaščite ),
  - vplivna vodovarstvena cona – CONA III ( območje z blagim režimom zaščite );

Neposredna zaščita vodnega vira Šmartno ob Paki obsega ob samem zajetju prostor v izmeri 100 – 150 m<sup>2</sup>. Ta prostor je ograjen z zaščitno ograjo in z opozorilom, da je vstop nepooblaščenim osebam prepovedan. V tem prostoru se ne izvajajo nobene dejavnosti. Vodovarstvene cone I, II in III ležijo na ravnici, ki jo proti zahodu omejuje levi breg reke Pake, proti vzhodu pa vznožje Gorice. Tretja vodovarstvena cona sega vse do Gavic.

Neposredna zaščita vodnega vira Rečica prav tako obsega ob zajetju prostor velikosti 100 – 150 m<sup>2</sup>, ki je enako varovan kot prva vodovarstvena cona zajetja Šmartno ob Paki. Vodovarstvene cone I, II in III zajemajo ravnico, ki jo proti zahodu omejuje levi breg reke Pake, proti vzhodu pa vznožje Podgore. Tretja vodovarstvena cona sega vse do Rečice ob Paki.

Vodovarstveni pasovi so bili določeni z Odlokom o varstvenih pasovih vodnih virov in termalnih vrelov na območju občine Velenje ( *Uradni vestnik občine Velenje, št.3, 1984* ). Izdelane so že nove in posodobljene strokovne podlage za določevanje vodovarstvenih pasov ( Osnutek odloka o varovanju vseh vodnih virov v upravljanju KP Velenje ), ki pa še čakajo na potrditev s strani občinskih organov.



**Slika 20: Vodovarstveni pasovi zajetij Šmartno ob Paki in Rečica 1**

( <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp> [ 2.12.2005 ] )

Zgornja slika prikazuje, kako potekajo varstveni pasovi na obeh vodnih virih obravnavanega vodovodnega omrežja. Na obeh zajetjih imamo varovano območje – ponekod režima 2 in v večjem obsegu režima 3. Režimi vodovarstvenih območij so določeni z občinskim odlokom.

### 3.2.3.3 Vodohrani

Za potrebe prebivalcev Šmartnega ob Paki s preskrbo s pitno vodo in za transport oz. skladiščenje vode po okoliških pobočjih je na področju obravnavanega sistema postavljenih devet vodohranov z naslednjimi karakteristikami:

Preglednica 8: Splošne karakteristike vodohranov

Ime vodohrana	Prostornina ( m <sup>3</sup> )	Sr. dnevna poraba ( l/s )	Poraba ( m <sup>3</sup> /dan )	Kota iztoka ( m. n. v. )	Kota preliva ( m. n. v. )
V. Rečica	250	2,48	8,93	365	366,9
V. Podgora	60	0,56	2,02	406,3	409,5
V. Šmartno ob Paki	100	0,56	2,02	360	362,9
V. Veliki vrh	200	0,56	2,02	578,6	580,8
V. Bačovnik	15	0,39	1,4	472,4	474,1
V. Gavce	100	0,54	1,944	397,1	399
V. Gorenje-Skorno 1	20	0,25	0,9	353	355
V. Gorenje-Skorno 2	20	Ni podatka	Ni podatka	478,9	481,3
V. Gorenje-Skorno 3	30	Ni podatka	Ni podatka	597	599

Srednja dnevna poraba, ki je v zgornji preglednici navedena za vsak posamezni vodohran, je določena z meritvijo iztoka vode iz vodohrana v določenem dnevu. Ta voda gre neposredno v sistem do uporabnikov. Srednjo dnevno porabo smo določili s povprečno vrednostjo iztoka vode iz vodohrana, le-ta pa je dejansko odvisen od nihanja porabe vode tekom dneva. Srednja dnevna poraba nam tako pove, v kolikšni meri je prebivalstvo oskrbovano z vodo iz vodohranov in koliko načrpane vode pride do uporabnika neposredno iz zajetja.

Iz obeh zajetij na obravnavanem vodovodnem omrežju se primarno napajata vodohran Rečica in vodohran Šmartno ob Paki. Iz vodohrana Rečica teče voda v črpališče Podgora, od koder se črpa v vodohran Podgora. Iz vodohrana Šmartno ob Paki pa se voda črpa v manjša vodohrana Bačovnik in Veliki Vrh. Iz obeh vodohranov ( Rečice in Šmartnega ob Paki ) se voda transportira v vodohran Gavce in vse tri vodohrane Gorenje – Skorno. V večini primerov gre za enocevni sistem, ki povezuje vodohrane z ostalimi elementi omrežja. To pomeni, da se v primeru premajhnih količin vode v posameznem vodohranu črpalke v črpališču vklopijo in črpajo vodo do maksimalne dovoljene gladine. Ko le-to dosežejo, se avtomatsko izklopijo. Voda se nato gravitacijsko transportira v vodovodno omrežje do porabnikov. V skrajnem primeru, ko zataji vsa avtomatika in pride v vodohranu do viškov vode, se ti odvajajo preko preliva.



Slika 21: Vodohran Šmartno ob Paki ( levo ) in vodohran Rečica ( desno )

#### 3.2.3.4 Črpališča

Ker se celotno vodovodno omrežje Šmartno ob Paki razprostira tudi po okoliškem hribovju, temelji ves sistem na večkratnem prečrpavanju vode iz zajetij, ki ležita v sami dolini, do okoliških zaselkov, ki ležijo tudi na višini 600 m nadmorske višine ( na tej višini imamo vodohran Gorenje – Skorno 3 ).

Poleg črpališč Šmartno ob Paki in Rečica1 smo v modelu uporabili še naslednja črpališča:

- Rečica2,
- Gorenje – Skorno 1,
- Veliki Vrh;

Ostala črpališča za modeliranje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki niso toliko pomembna, zato ne bodo posebej navedena.

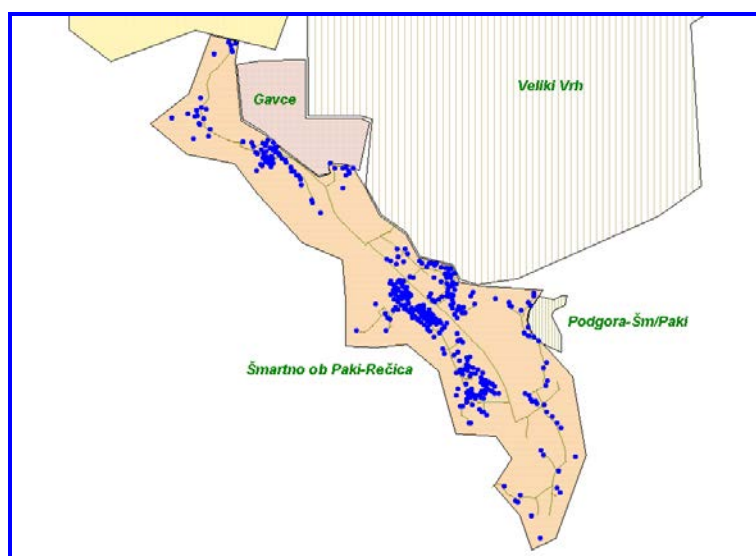
Karakteristike pomembnih črpalk na sistemu so opisane v poglavju 3.2.5, kjer je podrobneje predstavljeno obratovanje določenih črpališč in vodohranov. Tako karakteristike kot delovanje črpalk so pomembni podatki pri vzpostavljanju modela v Epanetu, saj določajo hidravliko celotnega vodovodnega sistema.

### 3.2.3.5 Ostale armature

Hidravlični model je bil v Epanetu zasnovan in poenostavljen tako, da smo odseke cevovoda z notranjim premerom, manjšim od 26 mm, izločili iz sistema. S tem smo izločili tudi vse reducirne ventile, ki na obravnavanem vodovodnem omrežju nastopajo. Hidranti igrajo v hidravličnem modelu pomembno funkcijo le v primeru požarov, zato jih v pripravljanju samega modela ni potrebno posebej obravnavati. Ostali elementi, kot so blatni izpusti, jaški ipd., so spremljajoči del vsakega vodovodnega omrežja, sami zase pa nimajo pomembnejšega vpliva na hidravlične razmere v vodovodnem sistemu, zato jih v sam hidravlični model nismo vnašali.

### 3.2.4 Podatki o porabi vode

Podatke o porabi vode na obravnavanem območju lahko pridobimo na več načinov. Številni pravilniki obravnavajo, kolikšne količine vode se približno porabijo za določeno dejavnost ( gospodinjstva, industrija, ipd. ) v enem dnevu. To je bolj podrobno opisano v poglavju 2.4, medtem ko se v tem poglavju opiramo konkretno na primer vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki. Na naslednji sliki je prikazano območje, na katerem smo analizirali porabo vode.



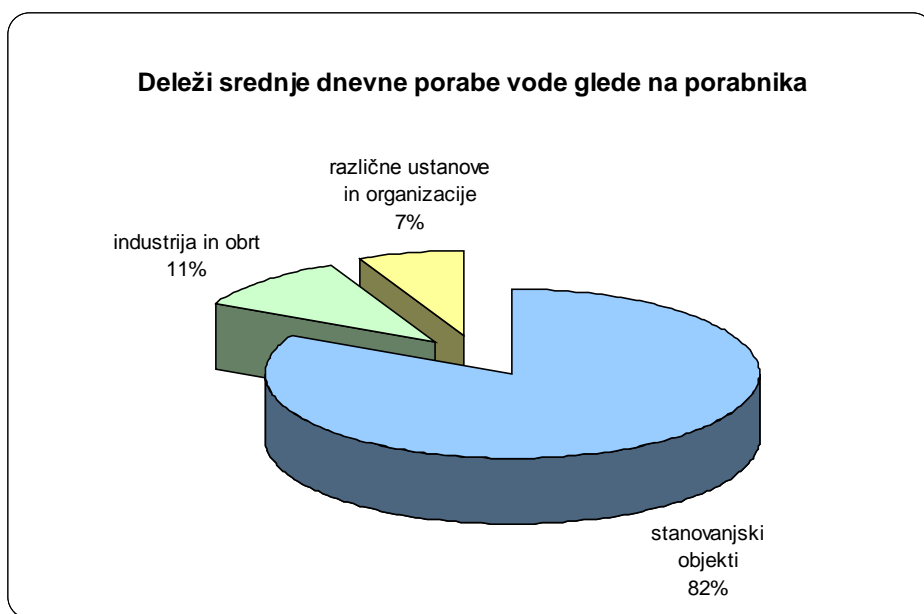
Slika 22: Prikaz točk porabe vode v Šmartnem ob Paki

Na tem območju smo imeli porabo vode, kot jo prikazujeta preglednica 9 in graf 7;

Preglednica 9: Prikaz srednje dnevne porabe vode glede na porabnika  
( Komunalno podjetje Velenje, 2005 )

Porabnik vode	Sr. dnevna poraba ( l/s )	Dnevna poraba ( m <sup>3</sup> )
enodružinske hiše	1,824	157,6
večstanovanjski objekti	0,278	24,0
industrija	0,133	11,5
obrt	0,14	12,1
ustanove, vrtci in šole	0,044	3,8
ostale negospodinjске organizacije	0,133	11,5

Zgornja preglednica prikazuje srednjo dnevno porabo pitne vode glede na kategorijo porabe. Podatki so bili na razpolago v digitalni obliki v katastru vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. Le-ta je bil oblikovan v Komunalnem podjetju Velenje, ki poleg upravljanja samega vodovodnega omrežja nenehno obnavlja že nekaj časa obstoječo podatkovno bazo vodovodnih sistemov Velenje-Šoštanj in Šmartno ob Paki ( trenutno še s pomočjo programa ArcView ). Podatki o porabi pitne vode so vneseni v kataster na podlagi vodenja podatkov o prodanih količinah vode.



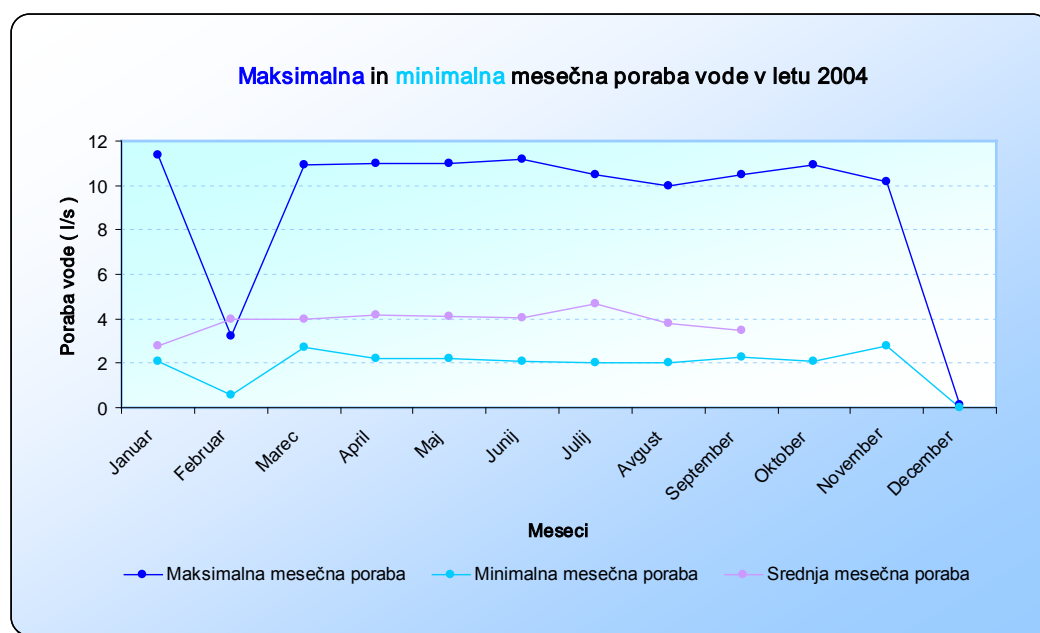
Grafikon 7: Prikaz srednje dnevne porabe vode glede na porabnika

KP Velenje med drugim vodi tudi podatke o maksimalnih in minimalnih mesečnih porabah vode, kar prikazuje spodnja preglednica. Podatki o porabi vode, ki jih bomo uporabili za hidravlični preračun, so podatki o porabi vode v letu 2004.

Preglednica 10: Prikaz podatkov o porabi vode po mesecih v letu 2004

( Komunalno podjetje Velenje, 2005 )

Mesec	Max. mes. poraba ( l/s )	Sr. mes. poraba ( l/s )	Min. mes. poraba ( l/s )	Koeficient
Januar	11,4	2,8	2,1	4,1
Februar	3,2	4,0	0,6	0,8
Marec	10,9	4,0	2,7	2,8
April	11	4,2	2,2	2,6
Maj	11	4,1	2,2	2,7
Junij	11,2	4,0	2,1	2,8
Julij	10,5	4,7	2	2,2
Avgust	10	3,8	2	2,6
September	10,5	3,5	2,3	3,0
Oktober	10,9	Ni podatka	2,1	/
November	10,2	Ni podatka	2,8	/
December	0,1	Ni podatka	0	/



Grafikon 8: Prikaz ekstremnih porab vode po mesecih v letu 2004



Zgornji graf se opira na predhodno preglednico. Podatki, navedeni v preglednici, so dobljeni s sprotnim beleženjem načrpane vode na zajetjih Šmartno ob Paki, Rečica1 in Rečica2. Vidimo lahko, da maksimalna mesečna poraba vode običajno niha med 10 in 12 l/s, minimalna mesečna poraba pa med 2 in 3 l/s. Izjema so zimski meseci, saj takrat poraba vode pade. Iz zgornjega grafa vidimo, da naj bi po podatkih iz preglednice poraba vode drastično padla prav v februarju in decembru, januarja pa ne, zato je smiselnost podatkov o porabi vode v času zimskih mesecev nekoliko vprašljiva. To nam potrjuje tudi krivulja srednjih mesečnih porab vode.

V zgornji preglednici je izračunan tudi koeficient neenakomerne dnevne porabe, ki je povsem primerljiv s pričakovanimi vrednostmi.

Pomembno pri obdelavi podatkov o porabi vode je tudi, kaj nam povedo številke o prodanih količinah vode in kaj številke o črpanih količinah vode. Črpane količine vode so bile dobljene s popisom števecov na samih zajetjih, od koder se voda črpa v vodovodno omrežje oz. v vodohrane, in so bile že na razpolago v digitalni obliki v obliki tabel v programu Excel, v katerem poteka tudi nadaljnja obdelava teh podatkov, medtem ko so bile količine prodane vode za celo leto 2004 na razpolago v katastru vodovodnega sistema Šmartno ob Paki v programskem okolju ArcView. Primerjava med prodanimi in črpanimi količinami vode v samem Šmartnem ob Paki in v posameznih zaselkih je na razpolago v spodnji preglednici.

Preglednica 11: Prikaz izgub na obravnavanem sistemu

Naselje	Prodane količine ( m <sup>3</sup> /leto )	Črpane količine ( m <sup>3</sup> /leto )	Izgube ( % )
Gorenje in Skorno	6.717,20	7.253,30	7
Gavce	11.353,00	17.029,40	33
Veliki Vrh	23.904,30	Ni realnega podatka	/
Šmartno ob Paki	123.001	243.773	50

Iz zgornje preglednice lahko ugotovimo, da v okoliških naseljih sicer prihaja do znatnih izgub vode na sistemu, vendar so v primerjavi z vodovodnim omrežjem, ki ga obravnavamo v

modelu, še nekako sprejemljive. Če pa pogledamo vodovodni sistem Šmartno ob Paki, kjer imamo zajetja Rečica1, Rečica2 in Šmartno ob Paki, katerih črpane količine smo sešteli, vidimo, da so izgube vode na sistemu gromozanske, saj se na vodovodnem omrežju izgubi kar 50% črpane vode in le preostalih 50% predstavlja dejansko količino prodane vode.

Glede na to, da so količine črpane oz. prodane vode v Šmartnem ob Paki bistveno večje od količin v okoliških zaselkih, celotnih izgub ne moremo dobiti kar z izračunom povprečja izgub, ampak lahko izgube posplošimo tako, da podamo približno oceno le-teh. Tako smo ocenili, da izgube na obravnavanem vodovodnem omrežju znašajo približno 45%. Pri tem je potrebno še poudariti, da žal ne vemo, kje in zakaj prihaja do teh izgub ( razlog so lahko okvare, nelegalni priključki, ipd. ), oziroma kakšen delež je porabljen za javni namen ( neobračunana voda ), npr. testi hidrantov ipd.

Iz preglednice 10 lahko izluščimo tudi, kakšna je poraba vode v kritičnem dnevu leta. Običajno nastopi maksimalna poraba v mesecu juniju, po zgornjih podatkih pa lahko predpostavimo, da to velja za mesec januar. Pri vzpostavitvi hidravličnega modela ni pomembno, kdaj kritični dan nastopi, temveč je pomembno razmerje med porabo v kritičnem dnevu leta ter srednjo dnevno porabo. To razmerje podamo s količnikom  $k_{max}$ :

$$k_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{sr}}, \quad (24)$$

kjer je  $Q_{max}$  srednja dnevna poraba v kritičnem dnevu leta,  $Q_{sr}$  pa srednja dnevna poraba v povprečnem dnevu leta. Če je  $Q_{max}$  11,4 l/s in  $Q_{sr}$  7,73 l/s, potem dobimo vrednost količnika  $k_{max} = 1,47$ , kar je v skladu s pričakovanji.

Poleg letnega nihanja porabe vode poznamo tudi nihanje porabe vode tekom dneva. Slednjega izražamo s koeficientom neenakomerne dnevne porabe, s katerim podamo razmerje med maksimalno urno porabo vode in povprečno porabo vode med dnevom. Za manjše mesto znaša vrednost tega količnika 2,4 in za vas 2,8. Ker ne moremo reči, da je Šmartno ob Paki ravno mesto, ni pa niti vas, je privzet koeficient neenakomerne dnevne porabe 2,5.

Koeficient neenakomerne dnevne porabe je za oblikovanje hidravličnega modela zelo pomemben podatek, s katerim med drugim določimo dinamično simulacijo delovanja vodovodnega omrežja.

### 3.2.5 Podatki o obratovanju vodovodnega omrežja

Da bi lahko ustvarili hidravlični model, ki čimbolj ponazarja dejansko stanje obratovanja vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki, je potrebno poznati tudi pravila oz. načine delovanja črpališč in vodohranov. Najpomembnejši za naš model sta črpališči Rečica1 in Šmartno ob Paki.

Na vodnem viru Rečica1 oz. Podvin imamo poleg zajetja še črpališče s tremi črpalkami. Delovna črpalka je črpalka, ki se nahaja v sami vrtini. Njena črpalna zmogljivost je  $Q = 8$  l/s, maksimalna višina črpanja pa znaša  $H = 70$  m. Dejanski pretok, ki je bil ( na dan 1.12.2005 ) izmerjen, je  $0,315$  m<sup>3</sup>/min, kar znaša  $5,25$  l/s. Poleg delovne imamo še dve črpalki ( črpalko za dodatno porabo in rezervno črpalko ), katerih karakteristike so enake – moč posamezne črpalke znaša  $5,5$  kW, črpalna zmogljivost je od  $3$  do  $5,8$  l/s, minimalna višina črpanja znaša  $H_{min} = 34$  m, maksimalna višina črpanja pa  $H_{max} = 96$  m. Običajno obratuje le delovna črpalka, rezervni pa le v primeru, če pride do okvare na delovni črpalki oz. takrat, ko pride do potreb po črpanju večjih količin v sistem. Delovna črpalka ne obratuje konstantno, temveč le v času nižje tarife oskrbe z elektriko. Spodnja slika prikazuje zgoraj opisane črpalke. Delovne črpalke ni mogoče videti, saj se nahaja v vrtini, vidna je le cev, po kateri priteče voda. V ozadju sta nameščeni rezervni črpalke.



Slika 23: Črpališče Rečica 1

Na vodnem viru Šmartno ob Paki imamo prav tako zajetje in črpališče. Tu imamo dve črpalki – eno delovno in eno rezervno. Delovna črpalka ima črpalno zmogljivost  $24 \text{ m}^3/\text{h}$  oz.  $6,7 \text{ l/s}$ , maksimalno višino črpanja  $86 \text{ m}$  in obratovalno moč  $5,5 \text{ kW}$ . Sicer je ta črpalka vertikalna in večstopenjska., medtem ko je rezervna črpalka na tem črpališču horizontalna, enostopenjska centrifugalna črpalka, kar je razvidno iz spodnje slike ( na levi strani je delovna črpalka, desno spodaj pa se vidi le del rezervne črpalke ). Karakteristike rezervne črpalke so: črpalna zmogljivost  $Q = 6 \text{ l/s}$ , maksimalna višina črpanja  $H = 61,8 \text{ m}$ . Delovna črpalka na tem črpališču obratuje konstantno, njeno obratovanje ni odvisno od časa nižjih tarif električne energije.



**Slika 24: Črpališče Šmartno ob Paki**

Poleg podatkov o obratovanju posameznih črpališč je pri zasnovi hidravličnega modela potrebno vedeti tudi, v kakšnih mejah nihajo gladine v vodohranih in na kakšen način se le-ti polnijo. V grobem ločimo tri principe delovanja:

- V prvem primeru imamo vodohrane, ki se napajajo s pomočjo črpalk s konstantnim delovanjem. V tem primeru je v vodohranu nameščen merilec višine gladine vode v vodohranu, s pomočjo katerega ugotovimo, kdaj doseže gladina vode maksimalni dovoljeni nivo. Takrat črpalka avtomatsko preneha delovati, nivo vode pa se potem

- znižuje, vse dokler ne pride do neke minimalne gladine, pri kateri se črpalka ponovno vklopi in črpa vodo vse do takrat, ko gladina ponovno ne doseže maksimalnega nivoja.
- Kadar je delovanje črpalke omejeno z nižjo tarifo dovedene električne energije, potem sistem črpalka – vodohran deluje po enakem principu kot v zgornjem primeru, le da je v primeru nižje tarife interval med maksimalno in minimalno gladino v vodohranu bistveno večji, kot je ta v času višjih tarif. V času višje tarife se črpalka vklaplja le, kadar je to nujno potrebno.
  - Tretji primer predstavljajo vodohrani, v katere voda priteka gravitacijsko. Ti so v obravnavanem sistemu običajno opremljeni s plovnim ventilom, ki se ob določenih pogojih odpre in omogoča polnjenje vodohrana. Ko je v vodohranu dosežena maksimalna gladina, se ta sam zapre. Delovanje plovnega ventila temelji na plovcu, ki s plavanjem na gladini vode v vodohranu s pomočjo vzgona dvigne in tako zapre plovni ventil, ali pa se spusti in ventil odpre.

Po načinu, ki ga obravnava tretji primer, deluje vodohran Gorenje – Skorno 1. Voda iz zajetja Šmartno ob Paki se delno črpa v vodohran Šmartno ob Paki, delno pa direktno v omrežje. V primeru, ko je v vodohranu dosežena maksimalna gladina vode, se črpalke izklopijo, voda pa nato gravitacijsko teče v sistem – nekaj je gre do porabnikov, nekaj pa v nižje ležeče vodohrane, med drugim tudi v vodohran Gorenje –Skorno 1, kjer se gladina vode regulira s plovnim ventilom.

V programu Epanet povzamemo lastnosti delovanja črpalk s karakteristično krivuljo obratovanja, časovno pa opredelimo njihovo obratovanje s posebnim vzorcem oz. z nizom stavkov, ki določajo pogoje obratovanja posamezne črpalke ( npr. glede na nivo vode v vodohranih ). Prav tako lahko določimo posebne karakteristike vodohranov, na kakšen način le-ti funkcionirajo v vodovodnem omrežju.

### 3.3 Problematika vodovodnega sistema

Vodovarstvena območja obeh vodnih virov – zajetja Šmartno ob Paki ter zajetja Rečica – ležijo sredi kmetijskih površin, ki se intenzivno obdelujejo. Glede na to, da se je v letu 1996 na tem območju pojavil v vodi atrazin, je to potrdilo zahtevo po posebnih pogojih kmetovanja na tem področju. Ker je področje kmetijskih površin v vodovarstvenih območjih veliko in je omejevanje kmetijstva oz. odkup parcel ali izplačilo odškodnin vedno težavno, so se v Komunalnem podjetju Velenje odločili za izdelavo dveh novih vrtin.

Predhodne geološke raziskave podjetja GEOKO iz Ljubljane so pokazale, da je na globini več kot 100 metrov pod zemljo voda kvalitetna. Tako so izvedli dve piezometrijski preiskavi. Prva je bila narejena na zahodnem vznožju Gore Oljke. Tu so izvrtali 142 metrov globok piezometer. Črpalni poizkus je pokazal, da vrtina žal ne bi dajala zadostnih količin vode za potrebe prebivalcev Šmartnega ob Paki. Drugi piezometer, globok 150m, je bil izvrtan na mestu sedanjega črpališča Rečica. Črpalni preizkus iz te vrtine je pokazal, da ima vrtina sicer zadostno izdatnost, tudi voda je z mikrobiološkega stališča primerne kakovosti, vendar pa se v vodi pojavljajo prevelike količine antimona. Le-ta je kovina in se nahaja v dveh modifikacijah. Vse njegove spojine so strupene. Ker se le redko pojavlja v pitni vodi, za njegovo odstranjevanje ni znanih zanesljivih in ekonomsko sprejemljivih postopkov. Zaradi omenjenega problema je bil izključen tudi predlog za uporabo druge navedene vrtine.

Poleg kmetijstva, ki vodo onesnažuje z uporabo različnih škropiv za zatiranje plevela ter uporabo umetnih gnojil, sta v bližini vodovarstvenih področij še dva znana polutanta – bližnja železniška trasa, kjer se lahko občasno pojavi transport nevarnih snovi, in cesta v bližini, kjer vozila z izpušnimi plini onesnažujejo okolje. Omenjena dejavnika še dodatno pojasnjujeta, da bodo za pripravo pitne vode iz teh zajetij vedno prisotni stroški, do katerih ne bi prišlo, če bi imeli na razpolago vodne vire s tako vodo, katere kvaliteta že na mestu zajema ustreza predpisani kvaliteti pitne vode. Zato bi bila ena od možnih rešitev poiskati nove vire pitne vode za porabnike na obravnavanem območju.

Ker gradimo objekte na vodovodnih sistemih za daljše obdobje, običajno za več deset let, je potrebno poudariti, da se zaradi zunanjih vplivov parametri, ki jih je potrebno pri hidravličnem izračunu upoštevati, lahko v času delovanja cevovoda spreminjajo. Na samo prevodno sposobnost cevi vplivajo tako obloge na ostenju kot tudi razžiranje sten cevovoda. Na ta način se tekom delovanja vodovodnega sistema hrapavost v ceveh spreminja. Pri hidravličnem izračunu so bile hrapavosti cevi predpostavljene v nekih okvirih, saj je težko določiti, koliko so v določenem času vplivali na hrapavost cevi obraba, starost in vrste materialov, iz katerih so cevi narejene.

V vodovodnem omrežju prihaja do prevelikih izgub vode, kar bi bila običajno posledica starosti cevovoda ter netesnosti spojev in cevi na cevovodih in priključkih. To obravnavata v prejšnjem poglavju obdelana sklopa podatkov o starosti in materialu cevi. Grafikona 3 in 5 pojasnjujeta, da je bil večji del cevovoda obnovljen v obdobju od leta 1990 do leta 2000 in da je večji del cevi na obravnavanem vodovodnem omrežju iz polietilena. Na podlagi tega lahko ugotovimo, da za izgube vode na sistemu ni kriva starost cevovoda, temveč netesnost cevi. Ker je na obravnavanem področju pretežno prodnat teren, je težko odkriti okvare na ceveh, saj se voda ne zadržuje okoli mesta, kjer cevi puščajo, ampak takoj ponikne v tla.

Izgube na vodovodnem sistemu potencirajo previsoki tlaki, zaradi katerih se voda na delih cevovoda, ki ne tesnijo, še intenzivneje izgublja iz vodovodnega omrežja. Da bi zagotovili ustrezne količine pitne vode prebivalstvu Šmartnega ob Paki, se lahko lotimo reševanja tega problema na dva načina. Prvi način bi bil črpanje večjih količin vode, s čimer problema ne bi rešili, ker bi bile izgube na sistemu še večje kot so sedaj. S črpanjem bi namreč povzročili še večje tlake na sistemu in s tem še večje izgube vode. Drugi način bi bila preureditev vodovodnega sistema tako, da bi na sistemu zmanjšali tlake in posledično s tem tudi izgube.

Z vzpostavitvijo hidravličnega modela in nadaljnjo analizo tlačnih razmer bomo lahko ugotovili, kje na sistemu se pojavljajo preveliki tlaki. Šele na podlagi dobljenih izračunov lahko poiščemo čimbolj optimalne rešitve, s katerimi bi lahko zmanjšali tlake na sistemu in tako tudi izgube vode. Na ta način bi lahko zagotovili večje količine pitne vode za tamkajšnje prebivalce oz. običajne količine za večje število uporabnikov.

## **4 VZPOSTAVITEV HIDRAVLIČNEGA MODELA IN ANALIZA REZULTATOV**

Poglavje zajema pripravo podatkovne baze elementov vodovodnega omrežja, vzpostavitev hidravličnega modela, oblikovanje posameznih obtežbenih primerov ter hidravlično analizo le-teh.

### **4.1 Vzpostavitev podatkovne baze vodovodnega omrežja**

Predmet tega poglavja je obdelava podatkov o karakteristikah in vzorcih delovanja elementov vodovodnega sistema, nato vzpostavitev osnovnega modela ter njegovo umerjanje.

#### **4.1.1 Obdelava podatkov o fizičnih elementih vodovodnega omrežja s programskim orodjem ArcView**

Oblikovanje hidravličnega modela zajema delno transformacijo ter vnos naslednjih elementov iz obstoječega vodovodnega katastra PE Vodovod ( GIS- geografsko informacijski sistem ) in sicer:

- a) transformacijo grafične (\*.shp) in podatkovne (\*.dbf) baze primarnih in sekundarnih cevovodov; Pomembni podatki so dolžina in premer cevi, hrapavost sten cevovoda, itd. Dolžina in premer sta v GIS-u že navedena, hrapavost cevi pa lahko določimo na podlagi podatkov o materialu in starosti ( letu vgradnje ) posameznih odsekov.
- b) transformacijo grafične (\*.shp) in podatkovne (\*.dbf) baze karakterističnih vozlišč; Sem sodijo vsa stičišča posameznih cevi na primarnih, sekundarnih in razdelilnih cevovodih, kjer pride do spremembe profila, odvzema vode, spremembe konfiguracije terena, itd.



c) transformacijo obstoječih objektov, na katerih se izvajajo regulacije sistema kot robni pogoji modela. To so zajetja, črpališča, vodohrani, regulacijski ventili. Pomembni so tako podatki o pogonskih karakteristikah kot tudi o geometriji nekaterih objektov.

Model je dopolnjen s podatki o prodani količini vode v formiranih vozliščih. Priprava podatkov je zahtevala povezavo med digitalnim katastrom in poslovnim delom obračuna vode v Komunalnem podjetju Velenje. Izgube na vodnih virih oziroma v sistemu distribucije so upoštevane in analizirane v nadaljnjih izračunih – simulacijah in pri verifikaciji modela.

Hidravlično modeliranje vodovodnega sistema se je izvajalo v programu Epanet. Podatki, ki jih za to potrebujemo, so iz programskega okolja ArcView GIS 3.3 preneseni s pomočjo posebnega programskega dodatka za ArcView okolje, t.j. dodatka DC Water Design Extension.

#### **4.1.1.1 Cevovod**

Preden smo se lotili samega modeliranja, se je bilo potrebno odločiti, kako podrobno bomo vodovodni sistem sploh obdelali. Ker je sistem Šmartno ob Paki izredno razvejan sistem in se ponekod pojavlja tudi večkratno črpanje vode v višja območja, smo se pri izdelavi modela omejili le na prvo tlačno cono obravnavanega sistema. Vsa ostala območja oskrbe z vodo, t.j. Gorenje – Skorno, Gavce, Veliki Vrh in Podgora, smo obravnavali le v izbranih vozliščih, v katera smo prenesli porabo s celotnega odstranjenega odseka.

S pomočjo programskega orodja ArcView smo najprej izluščili del vodooskrbnega sistema, za katerega smo v nadaljevanju pripravili hidravlični model. Ker je v sistem vključenih veliko porabnikov pitne vode, smo predpostavili, da se bosta v hidravličnem modelu upoštevala le primarno in sekundarno omrežje. Sestavljajo ju cevi, ki imajo notranji premer enak ali večji od 26 mm. Hišni priključki so iz modela izločeni in so upoštevani pri oblikovanju robnih pogojev ( kot vozliščna poraba ).

Ko smo v programu ArcView pripravili grafično prikazan cevovod, je bilo potrebno urediti še pogloblitve karakteristike cevi, ki so potrebne pri ustvarjanju podatkovne baze, namenjene

vzpostavitvi hidravličnega modela. Preveriti je bilo treba podatke o notranjih premerih cevi, o njihovi starosti ter materialih, iz katerih so narejene. Analiza teh podatkov je narejena že v poglavju 3.2.2, kjer so podane osnovne karakteristike cevovoda. Dolžine posameznih cevi so bile avtomatsko izračunane s pomočjo programskega orodja ArcView, prav tako so bila avtomatsko formirana vozlišča na obravnavanem sistemu s pomočjo funkcije DC Water Design Extension. Nadmorske višine vozlišč smo dobili tako, da smo združili plast z vozlišči s plastjo lomnih točk. Posamezno vozlišče se je vezalo na najbližjo lomno točko in tako privzelo podatek o nadmorski višini. Ponavadi vozlišče sovpada z lomno točko. V tem primeru je podatek o nadmorski višini čisto točen, medtem ko v ostalih primerih pride do odstopanj, ki pa so minimalna.

Hrapavost cevi je odvisna od številnih dejavnikov, predvsem od materiala in starosti cevi, in je pomemben parameter v bazi podatkov, ki jih potrebujemo za izdelavo hidravličnega modela. Ker celoten hidravlični preračun temelji na Hazen-Williamsovi enačbi, smo uporabili koeficient hrapavosti  $C$ , katerega vrednosti so predstavljene v preglednici 2 v poglavju 2.1.2.1. Manningova enačba je najpogosteje uporabljena v analizah odprtih kanalov ter za notranje tokove v zaprtih kanalih, medtem ko se Hazen-Williamsova enačba najpogosteje uporablja v projektiranju in analizi cevovodov za distribucijo vode. Na podlagi te predpostavke smo se odločili za uporabo slednje, čeprav se pri nas za hidravlično analizo vodovodnih omrežij večinoma uporablja prav prva od omenjenih enačb.

V programu ArcView je bilo potrebno podati tudi izgube. Pri tem bi se lahko posluževali dveh poenostavitev – hidravlično dolgega cevovoda in nadomestne dolžine cevi. Ker je sistem precej razvejan in za 90% cevovoda velja, da je  $L/D \geq 500$ , smo za celoten obravnavani sistem predpostavili, da imamo hidravlično dolg cevovod. V ostalih 10% bi bilo boljše, da bi lokalne izgube podali z nadomestno dolžino cevi in tako s fiktivnim podaljšanjem cevi za 10% dovolj dobro nadomestili lokalne izgube na obravnavanem omrežju. Vendar glede na to, da bi to veljalo za zelo majhen delež, si lahko model lahko dovolimo toliko poenostaviti, da za celotno obravnavano omrežje predpostavimo hidravlično dolg cevovod, katerega glavna lastnost je, da so lokalne izgube v primerjavi z linijskimi tako majhne, da jih lahko kar zanemarimo.

Vse omenjene podatke smo urejali v podatkovni tabeli v plasti *Cevi2\_sop.shp*, ki smo jo nato s pomočjo programskega vmesnika DC Water Design Extension avtomatsko prenesli v Epanet, pri čemer se izhodni podatki shranijo kot plast z imenom *Pipes.inp*.

#### 4.1.1.2 Točkovni elementi

Kot točkovne elemente smatramo enostavna vozlišča, zajetja oz. vodne vire, vodohrane, črpališča in ostale elemente, ki kakorkoli vplivajo na hidravliko obravnavanega sistema.

V vozliščnih točkah smo najprej strnili podatke o porabi vode, katerih obdelava je prikazana v poglavju 4.1.3. Model smo poenostavili tako, da smo v programu ArcView zajeli porabnike vode do najbližjih vozlišč in v le-teh sešteli njihovo porabo. Vsako vozlišče pa mora poleg podatka o porabi vode vsebovati tudi koto nadmorske višine. Na kakšen način smo pridobili podatke o nadmorski višini, je opisano že v poglavju 4.1.1.1. Pri formiranju osnovnega modela najprej nismo uporabili vzorca nihanja porabe vode. Vzorec smo dodali v model naknadno, ko smo le-tega že prenesli v program Epanet. Podatke o vozliščih smo urejali v plasteh *Nodes1.shp* in *Vozliscna\_poraba.shp*, s pomočjo vmesnika DC Water Design Extension pa smo jih prenesli v Epanet pod imenom *Junctions.inp*.

Vodni viri, vodohrani in črpališča so definirani kot točkovni elementi, ki so glede na svojo funkcijo obravnavani v različnih plasteh v programskem okolju ArcView. Kot podatki, pomembni za vzpostavitev hidravličnega modela v programu Epanet, so zbrani pod naslednjimi imeni:

- vodni viri v plasti pod imenom *Reservoirs.shp*,
- vodohrani pod imenom *Tanks.shp*,
- črpališča pod imenom *Valves.shp*;

Na obravnavanem vodovodnem omrežju ni nobenega reducirnega ventila.

Vse podatke o točkovnih elementih smo preverjali in oblikovali podobno kot podatke o cevovodih, t.j. s pomočjo podatkovnih tabel posameznih plasti.

Ker je vodovodno omrežje Šmartno ob Paki kompleksno sestavljeno in zelo razvejano, smo težili k temu, da prenesemo dosledno vsaj podatke o ceveh in vozliščih. Problem se je pojavil pri prenosu nekaterih točkovnih elementov ( zajetja, vodohrani, črpalke ). Ker teh ni veliko, smo njihove določene karakteristike vnesli kar neposredno v podatkovno bazo, pripravljeno v programu Epanet.

#### **4.1.2 Priprava podatkov o obratovanju vodovodnega omrežja**

Že v poglavju 3.2.5 smo opisali, na kakšen način deluje celoten sistem oz. njegovi posamezni elementi. Zajetja nimajo posebnih karakteristik, saj je že v začetku predpostavljeno, da dajejo zadostne količine vode in se hidravlična gladina v njih ne spreminja ( npr. depresijska krivulja ob vodnjaku ). Drugače pa je potrebno obravnavati vodohrane in črpališča.

##### **4.1.2.1 Delovanje vodohranov**

Vodohran Rečica, ki se napaja iz zajetja Rečica1 in iz vrtine Rečica2, leži na višini 365 m.n.v. Minimalna gladina vode v vodohranu mora biti 0,5 m, maksimalna pa je lahko 1,9 m. Ko se vodohran napolni do maksimalne gladine, se posledično izklopijo črpalke v črpališču. Voda iz vodohrana napaja sistem, dokler ne pade gladina na minimalno dovoljeno. Takrat se črpalke ponovno vklopijo in vodohran se prične ponovno polniti.

Vodohran Šmartno ob Paki se napaja iz enako imenovanega črpališča. Leži na višini 360 m.n.v. Minimalna gladina vode mora biti 0,5 m, maksimalna gladina pa je lahko 2,9 m. Deluje po istem principu kot vodohran Rečica.

Vodohrani Bačovnik, Gorenje-Skorno1 in Gorenje-Skorno2, ki smo jih prav tako uporabili v modelu, so manjših dimenzij. Vodohrana Bačovnik in Gorenje-Skorno2 delujeta na enak način kot vodohrana Šmartno ob Paki in Rečica, medtem ko gladino v vodohranu Gorenje-Skorno1 uravnava plovni ventil.

Ostali vodohrani, ki se na tem območju nahajajo, niso toliko pomembni za prikaz obratovanja obravnavanega vodovodnega omrežja, zato jih v modelu nismo upoštevali oz. smo jih nadomestili z vozliščno porabo. V tem primeru nas namreč zanima le podatek o iztoku vode iz vodohrana, ki teče dalje in napaja del sistema, ki smo ga iz modela izločili.

#### 4.1.2.2 Delovanje črpališč

V samem sistemu sta dve večji črpališči – Šmartno ob Paki in Rečica1. Manjša črpališča, ki smo jih vključili v sistem, so črpalka na zajetju Rečica2, črpališče Veliki Vrh in črpališče Gorenje-Skorno. V Šmartnem ob Paki in v Rečici1, kjer gre za črpanje vode iz glavnih zajetij na vodovodnem sistemu, delujejo črpalke z določenim vzorcem delovanja, za ostale (manjše) črpalke pa smo predpostavili, da delujejo konstantno.

Vzorec, s katerim smo nakazali delovanje črpalk, je predstavljen v poglavju 4.1.4.4.

Poleg vzorca o delovanju črpalk smo zasnovali tudi vzorec dnevnega nihanja porabe vode za povprečni dan v letu. Tudi ta je predstavljen v poglavju 4.1.4.4.

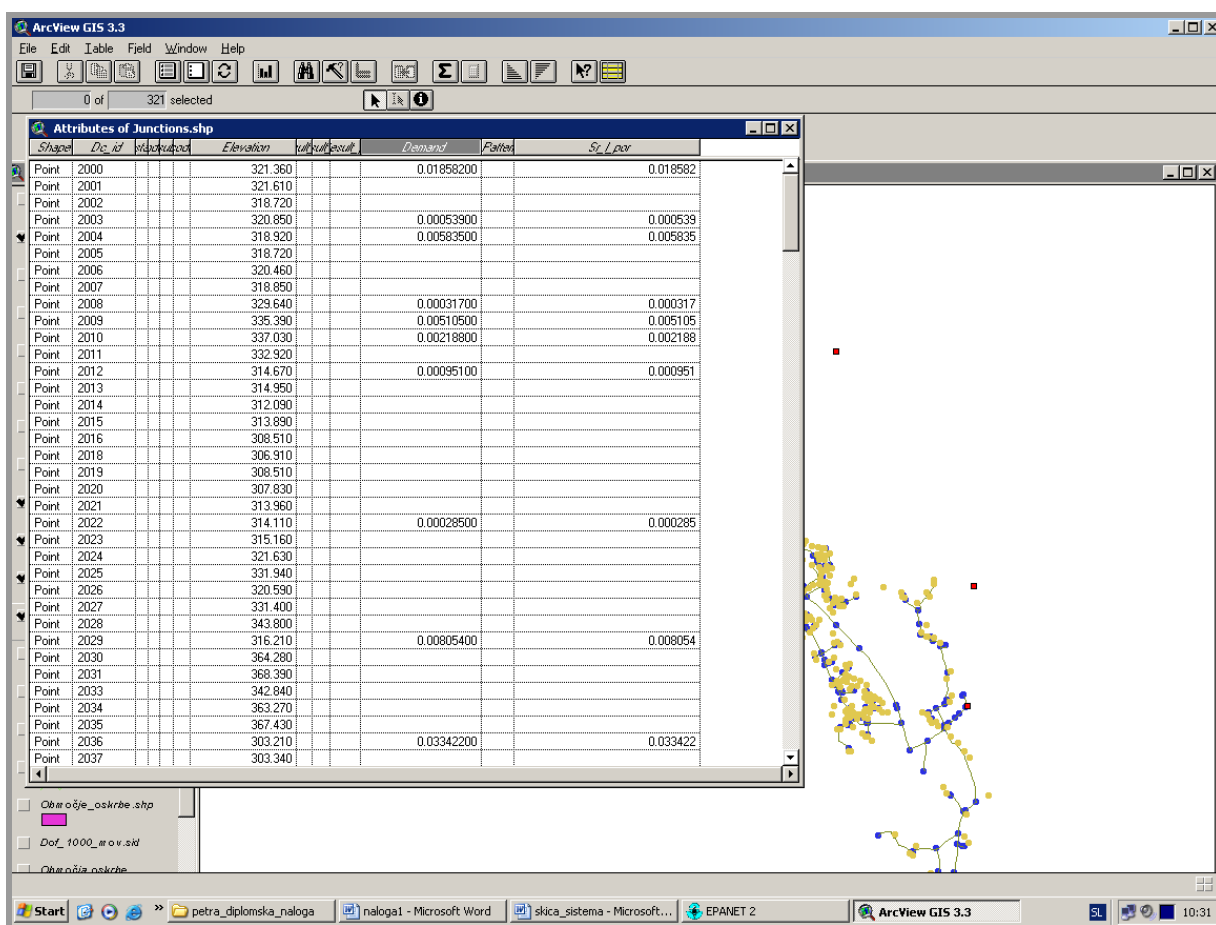
#### 4.1.3 Obdelava podatkov o porabi vode v vodovodnem omrežju

Za obravnavani hidravlični model smo privzeli podatke o porabi vode za leto 2004, ki so že bili na razpolago v digitalni obliki. V vsakem vozlišču našega vodovodnega omrežja smo imeli podatek o prodanih količinah vode v celem letu. Da smo lahko letno porabo upoštevali v Epanetu, smo dane podatke preoblikovali v porabo v litrih na sekundo s pomočjo naslednje enačbe:

$$\text{iskana poraba} = \frac{\text{letna poraba}}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \quad (25)$$

Podatek o iskani porabi smo dobili v enotah l/s, medtem ko je bila letna poraba v enotah l/leto. Izračunano porabo smo predpostavili kot srednjo dnevno porabo, podano v litrih na sekundo. Podatke o porabi vode smo urejali v podatkovni tabeli plasti *Vozliscna\_poraba.shp*.

Ker smo modelirali le vodovodni sistem Šmartno ob Paki, smo morali porabo na okoliških območjih nadomestiti s porabo v specifičnih vozliščih. Takšni so zaselki Gorenje, Skorno, Gavce, Veliki Vrh in Podgora. Za posamezno območje smo sešteli prodane količine vode na celotnem območju, nato izračunali srednjo dnevno porabo ( v l/s ) določenega naselja in z dodano količino običajnih vodnih izgub določili pretok, ki smo ga kasneje upoštevali v robnih vozliščih obravnavanega sistema.



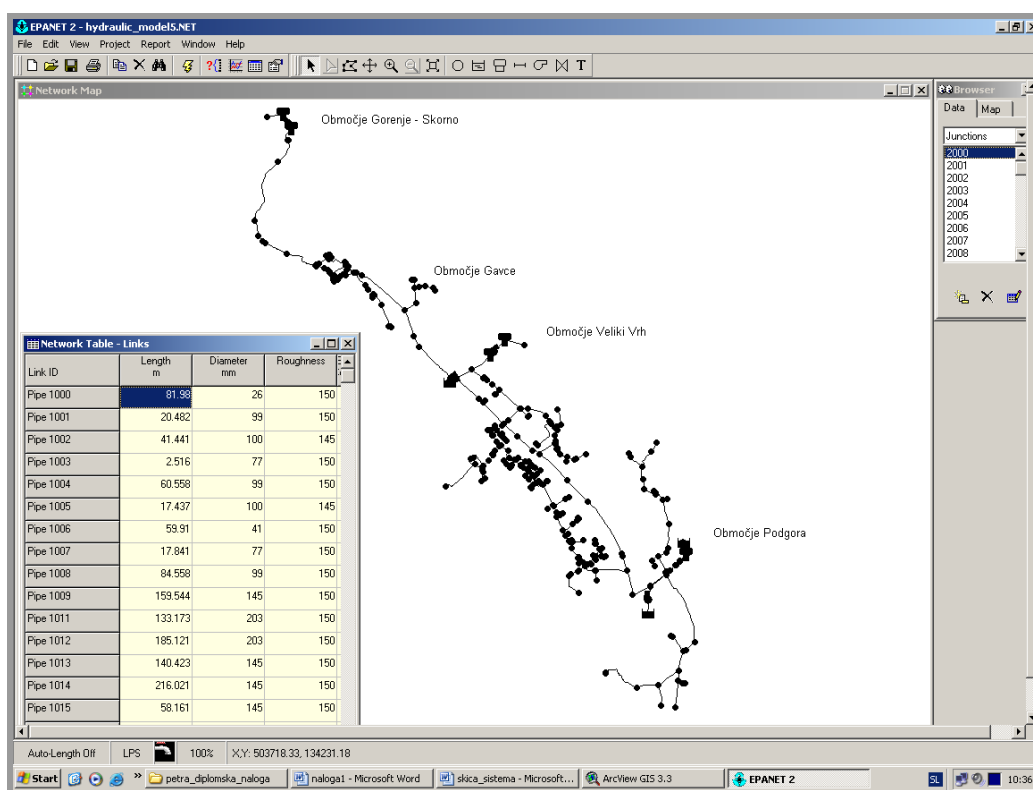
Slika 25: Prikaz priprave podatkov v programskem okolju ArcView

#### 4.1.4 Vzpostavitev hidravličnega modela vodovodnega omrežja s programom Epanet

Ko smo v programskem okolju ArcView obdelali vse podatke, ki jih je bilo možno v tem programu obdelati, smo tako grafično kot podatkovno bazo prenesli s pomočjo programskega vmesnika DC Water Design Extension v program Epanet, v katerem smo oblikovali hidravlični model in izvedli hidravlični preračun.

##### 4.1.4.1 Cevovod

Hidravlični model vodovodnega sistema Šmartno ob Paki predstavlja poenostavljen vodovodni sistem, ki zajema primarni in sekundarni vod dejanskega vodovodnega omrežja. Šmartno ob Paki obkrožajo že v prejšnjem poglavju navedeni zaselki, ki hkrati predstavljajo robne pogoje. Obravnavani model sestavlja 323 vozlišč in 329 cevi v skupni dolžini 26 320 metrov.



Slika 26: Priprava hidravličnega modela v programskem okolju Epanet

Cevi so skupaj z vozlišči prenesene iz programskega okolja ArcView v Epanet. Vozlišča so v hidravličnem modelu oblikovana na podlagi koordinat, ki jih določa GIS ( geografsko – informacijski sistem ). Glavni parametri, ki opredelijo cevi kot linijske elemente vzpostavljenega hidravličnega modela, so dolžina, premer in hrapavost cevi. Koeficient hrapavosti smo podali kot koeficient C, saj smo za hidravlični preračun v Epanetu uporabili metodo, ki računa tlačne in pretočne razmere po Hazen-Williamsovi enačbi. Koeficient C predstavlja hrapavost cevi, ki je odvisna od materiala cevi. Vrednosti koeficienta C se gibljejo med 100 in 150 ter so obratno sorazmerne z linijskimi izgubami. To pomeni: večji kot je koeficient C, manjše so izgube.

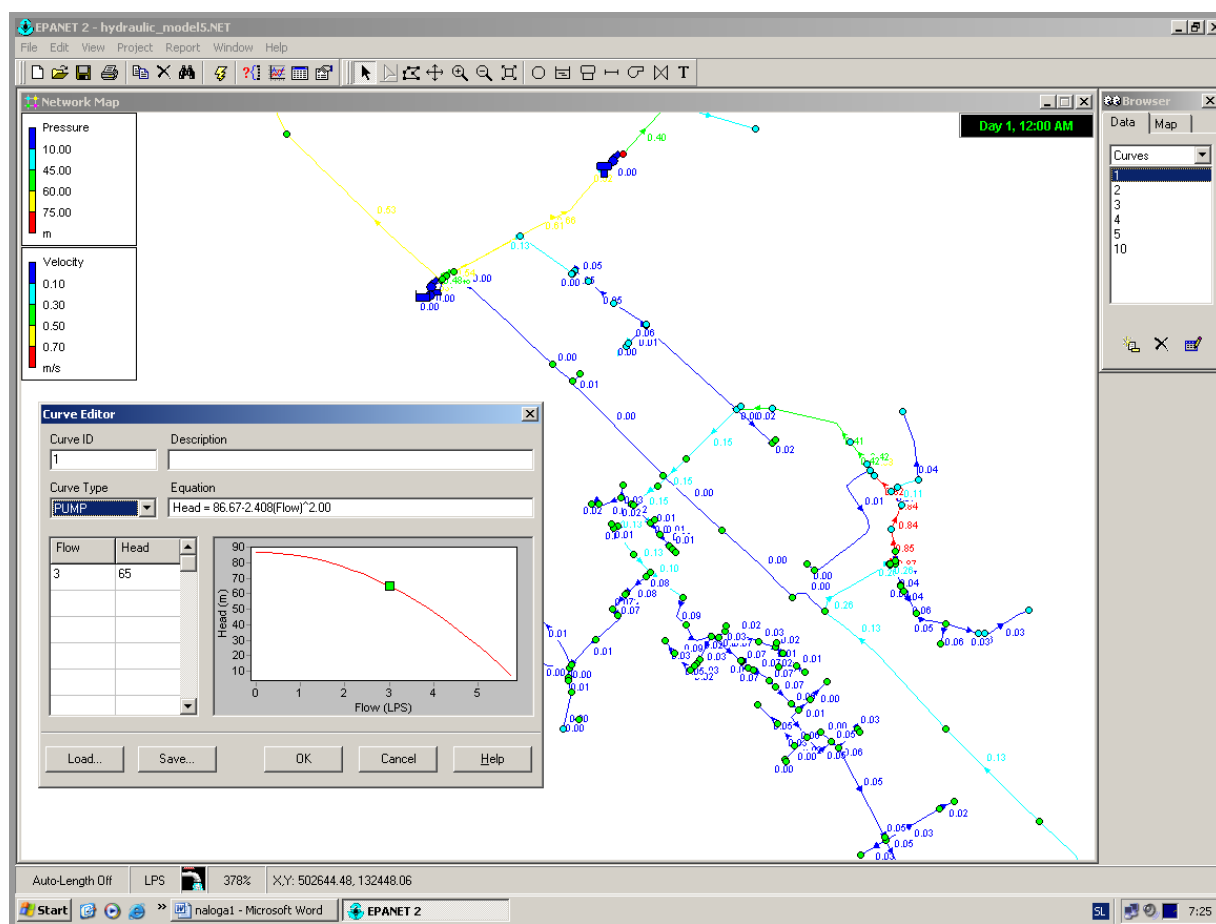
Problem, do katerega je prišlo pri prenosu podatkov, predstavljajo ponekod nepovezane cevi. Kje so bile cevi nepovezane, je bilo možno ugotoviti šele takrat, ko smo simulacijo pognali. Ko program izvede hidravlični preračun, poda poročilo, v katerem je navedeno, kje na modelu so najdene napake in kakšnega tipa so. Šele ko smo te napake odpravili, smo dobili model, ki merodajno ponazarja obravnavano vodovodno omrežje.

#### **4.1.4.2 Zajetja, črpalke in vodohrani**

Na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki imamo tri zajetja: zajetje Šmartno ob Paki, zajetje Rečica1 in zajetje Rečica2. Pri prenosu podatkov v Epanet so se pokazali problemi z elementi, ki povezujejo zajetja z ostalim cevovodom. Ker se voda iz zajetij v vseh primerih v sistem črpa, smo črpalke vnesli neposredno v hidravlični model v Epanetu. V primeru zajetij je bilo potrebno podati koto gladine vode v posameznem zajetju. Ta podatek smo že imeli na voljo v digitalni obliki.

Podatkov o črpalkah v GIS-u ni bilo na razpolago, zato sem jih nekaj pridobila pri pregledu objektov vodovodnega omrežja na terenu, preostale podatke o delovanju črpalk pa so mi ponudili na Komunalnem podjetju Velenje. Karakteristike črpalke so podane s krivuljo ( *Pump Curve* ), ki nam jo izriše program sam, če predhodno vnesemo v dialogno okno zahtevane parametre, t.j. črpalno zmogljivost ( l/s ) in potrebno višino črpanja ( m ).





Slika 27: Prikaz vnosa karakteristik črpalke

Osnovne karakteristike vodohranov so podane že v poglavju 3.2.3.3. Znani so volumni vodohranov ter kote iztoka in preliva, česar pa ne moremo primerjati z minimalno in maksimalno gladino, ki ju vnesemo direktno v preglednice s karakteristikami posameznih vodohranov. Minimalna gladina, ki jo vnesemo v program Epanet, je tista gladina, pri kateri se morajo črpalke vklopiti in ponovno črpati vodo v vodohran, sicer padejo tlaki pod dovoljene in preskrba z vodo v vodovodnem omrežju ni več ustrezna. Maksimalna pa je tista gladina, pri kateri se črpalke izklopijo, saj bi v nasprotnem primeru prišlo do viškov vode in hkrati tudi do previsokih tlakov v vodovodnem sistemu.

V črpališču Šmartno ob Paki, ki se nahaja na isti lokaciji kot samo zajetje, je poleg delovne črpalke še rezervna črpalka, ki deluje le v primeru, če se delovna črpalka pokvari. Podobna situacija je v zajetju in črpališču Rečica, kjer nimamo samo ene rezervne črpalke, ampak jih je

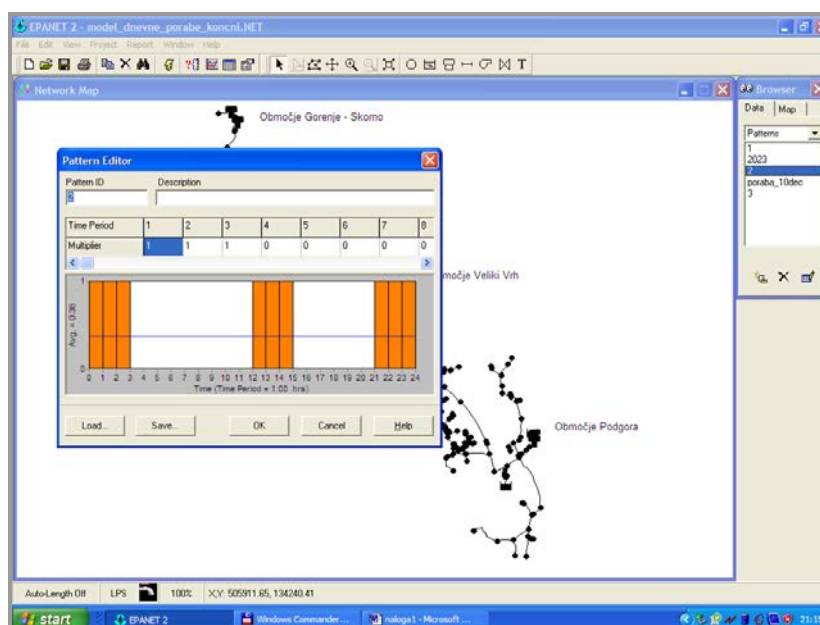
več. Ker v vsakem zajetju deluje naenkrat le ena črpalka, smo poenostavili črpališča v hidravličnem modelu tako, da smo vnesli le eno ( delovno ) črpalko v vsakem črpališču.

#### 4.1.4.3 Poraba vode

Vrednosti, ki smo jih izračunali s programskim orodjem ArcView, prikazujejo srednjo dnevno porabo vode v l/s. Le-to smo dobili na podlagi podanih prodanih količin vode v posameznih vozliščih. Pri prenosu podatkov iz programa ArcView v Epanet smo ugotovili, da je pri pripravi modela potrebno upoštevati izgube, saj načrpane količine vode niso enake prodanim količinam, ampak izgube na vodovodnem omrežju znašajo kar 40 – 50%. Tako smo vzeli neko povprečno vrednost izgub ( 45% ) in v programu Epanet to upoštevali tako, da smo izgube ustrezno prostorsko porazdelili. Pojavlja pa se vprašanje, kje točno se voda - glede na to, da so izgube precejšnje - v sistemu izgubi, in zakaj do tega sploh pride ( ali je to dotrajanost cevi, njihova slaba kvaliteta ali pa kakšni čisto drugi dejavniki ).

#### 4.1.4.4 Vzorci

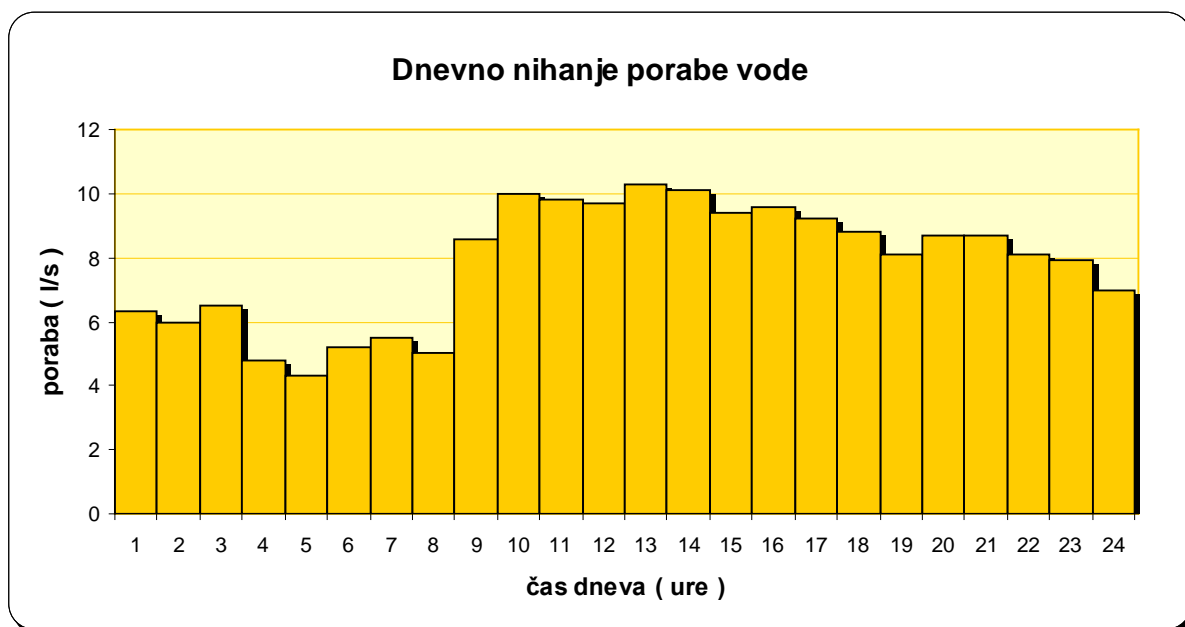
Pri oblikovanju dinamične simulacije smo si pomagali z različnimi vzorci.



Slika 28: Vzorec delovanja črpalke v črpališču Rečica

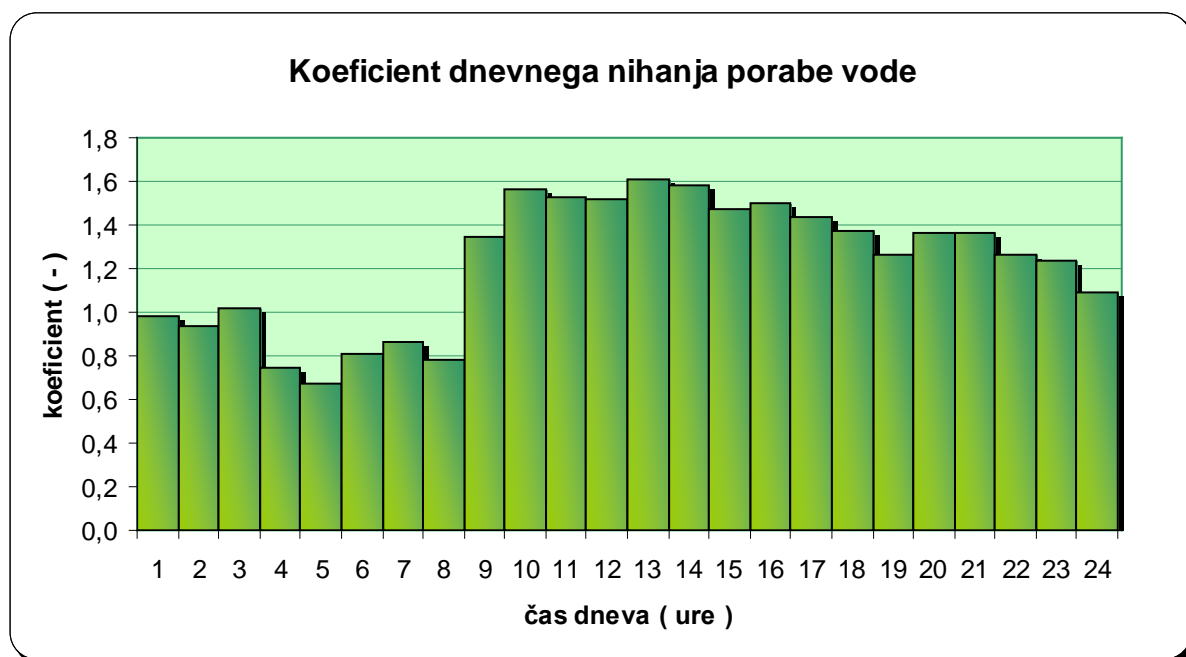
V modelu, ki ponazarja dinamične razmere na sistemu, je črpalka Šmartno ob Paki vključena ves dan, črpalka Rečica1 pa deluje po vzorcu 2, ki je prikazan na zgornji sliki. Vidimo, da se v tem primeru voda črpa od 21h zvečer do 3h zjutraj ter od 12h do 15h popoldan, kar skupaj znaša 9 ur dnevno.

Za vzorec nihanja dnevne porabe vode smo privzeli podatke, ki so bili izmerjeni 10.12.2005. Meritve so bile narejene na vodohranu Rečica, kjer se je meril pretok vode, ki je tekla iz vodohrana in napajala vodovodni sistem.



Grafikon 9: Dnevno nihanje porabe vode iz vodohrana Rečica

Iz dobljenih rezultatov meritev smo izračunali koeficient dnevnega nihanja porabe vode, kar je predstavljeno na sledečem grafu.



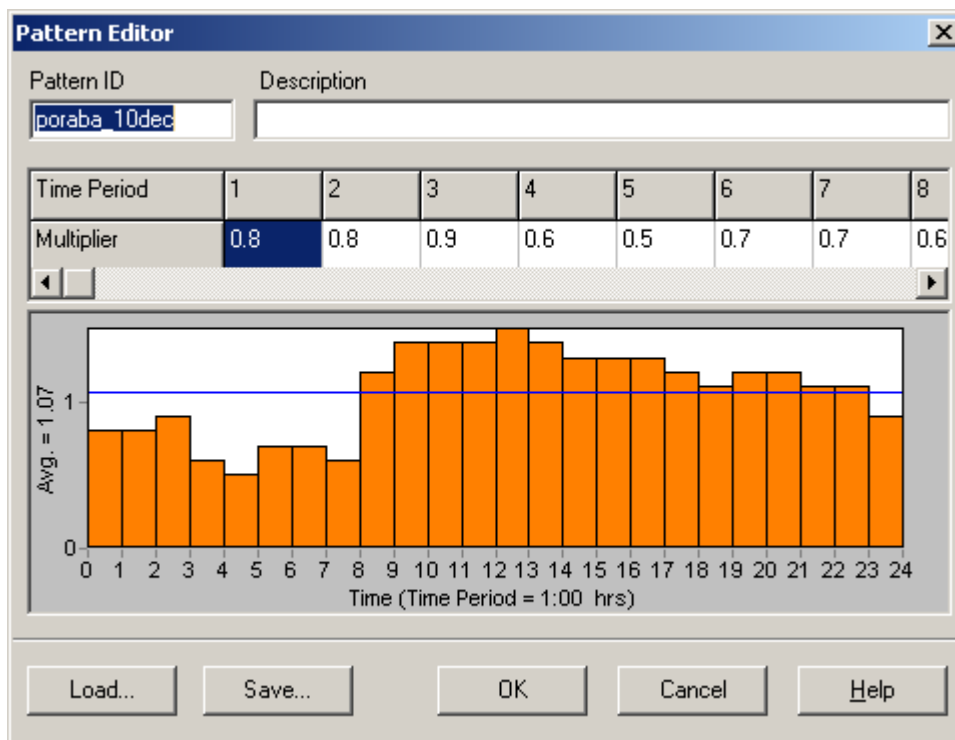
Grafikon 10: Prikaz koeficienta dnevnega nihanja porabe vode

Zgoraj narejen vzorec nihanja dnevne porabe vode smo prenesli v program Epanet. Sistem ni deloval, saj je bila povprečna vrednost koeficienta 1,23, znašati pa bi morala približno 1. Na črpališču Rečica1 je bilo na dan 10.12.2005 povprečje črpane vode 5,2 l/s, na črpališču oz. vrtini Rečica2 pa 1,2 l/s, kar znaša skupaj 6,4 l/s. To je povprečen vtok vode v vodohran Rečica v obravnavanem dnevu. Glede na meritve na vodohranu pa naj bi bil povprečen iztok 7,8 l/s. Iz navedenega lahko sklepamo dvojje:

- Meritve pretoka na vodohranu Rečica so se izvajale na vsakih 10 minut ne glede na to, ali je bila črpalka na črpališču Rečica1 vklopljena ali ne. Podatki so bili na razpolago le v grafični obliki, tako da ni bilo mogoče izračunati natančnega urnega povprečja. Posledica tega je, da nismo dobili reprezentativnega vzorca za koeficient dnevnega nihanja porabe vode. Poleg tega so podatki merjeni le šestkrat na uro in niso podani zvezno, da bi lahko dajali dovolj zanesljive rezultate.
- Ugotovimo lahko tudi, da iz vodohrana izteče več vode, kot je vanj priteče. To pomeni, da se vodohran na ta dan prazni.

Vzorec smo ponovno oblikovali tako, da smo za vsako uro zmanjšali iztok za 1 l/s in ponovno izračunali koeficiente dnevnega nihanja. Povprečje, ki smo ga dobili, je bilo sedaj 1,07. Ko

smo zagnali model, smo ugotovili, da daje novi vzorec bistveno bolj realne rezultate obnašanja vodovodnega omrežja kot prejšnji.



Slika 29: Vzorec dnevnega nihanja porabe vode

Na podlagi teh ugotovitev bo možno pripraviti pogoje in način nadaljnjih meritev.

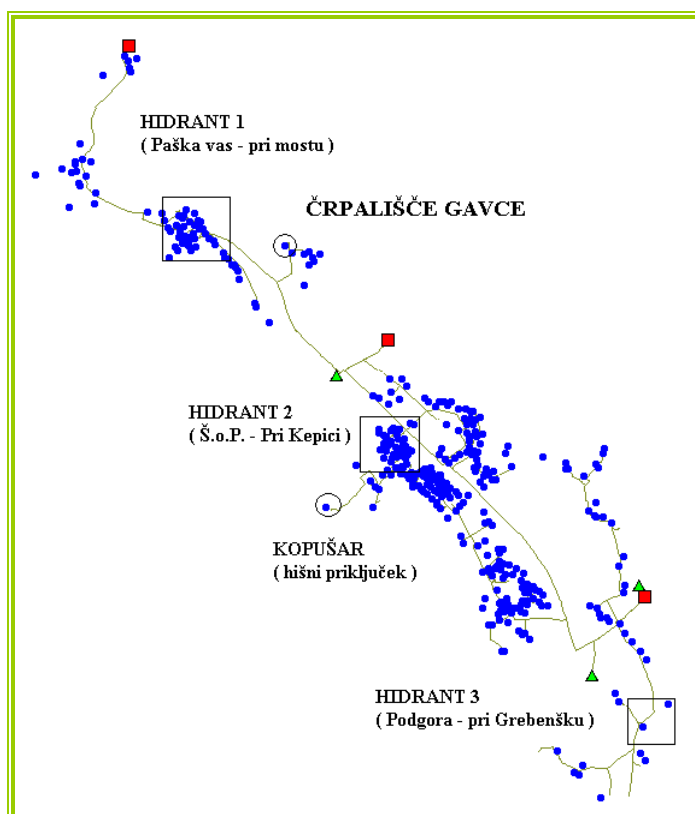
#### 4.1.5 Umerjanje in testiranje modela ( kalibracija in verifikacija )

Bistvo modeliranja nekega vodovodnega sistema je, da poenostavimo dejansko situacijo sistema v taki meri, da zadostimo dvema kriterijema:

- Z modelom prikažemo sistem na takšen način, da čim lažje ugotovimo hidravlične razmere na obstoječem vodovodnem sistemu,
- Kljub poenostavitvi mora hidravlični sistem še vedno odražati dejansko situacijo na vodovodnem sistemu. To pomeni, da izračunane vrednosti določenih hidravličnih veličin, ki jih pridobimo s pomočjo modela, ne smejo bistveno odstopati od količin, ki jih dobimo z meritvami na terenu, oziroma lahko odstopajo le v določenih okvirih;

Da zadostimo zgoraj omenjenima pogojema, je potrebno vsak na novo izdelan model umeriti. Šele na ta način se lahko lotimo analize stanja, ki temelji na predhodno izdelanem hidravličnem modelu.

Ker je vsak model le poenostavitev dejanskega stanja, ne moremo vnaprej dovolj natančno predvideti, kako se bo model obnašal v primerjavi z realnim sistemom. Zato je potrebno po vzpostavitvi modela znotraj programskega orodja Epanet model umeriti in preveriti. Osnovno umerjanje smo dejansko izvedli že v fazi obdelave podatkov, kjer se je definirala realna prostorska porazdelitev porab vode, ki se je smiselno združila v točkovne vozliščne porabe modela. Kako smo prostorsko porazdelili porabo v vozlišča, je opisano v poglavju 4.1.1.2. Nadaljnje umerjanje modela smo naredili tako, da smo v določenih točkah na sistemu izmerili tlake oz. pretoke in primerjali merjene količine le-teh z dobljenimi rezultati modela. Na spodnji sliki sta s krogcem označeni točki, na katerih so se izvedle meritve tlaka. S kvadratom pa so približno označene lokacije hidrantov, ki smo jih odprli, pri tem pa preverjali tlak na merilnih mestih.



Slika 30: Prikaz izbranih točk za umerjanje modela

Na črpališču Gavce je znašal statični tlak 3 bare, pri Kopusarju pa 1,8 bara. Nato so se na treh mestih v vodovodnem omrežju odprli hidranti. Kako so bili hidranti aktivirani, prikazuje spodnja preglednica.

Preglednica 12: Prikaz odprtih hidrantov dne 12.12.2005

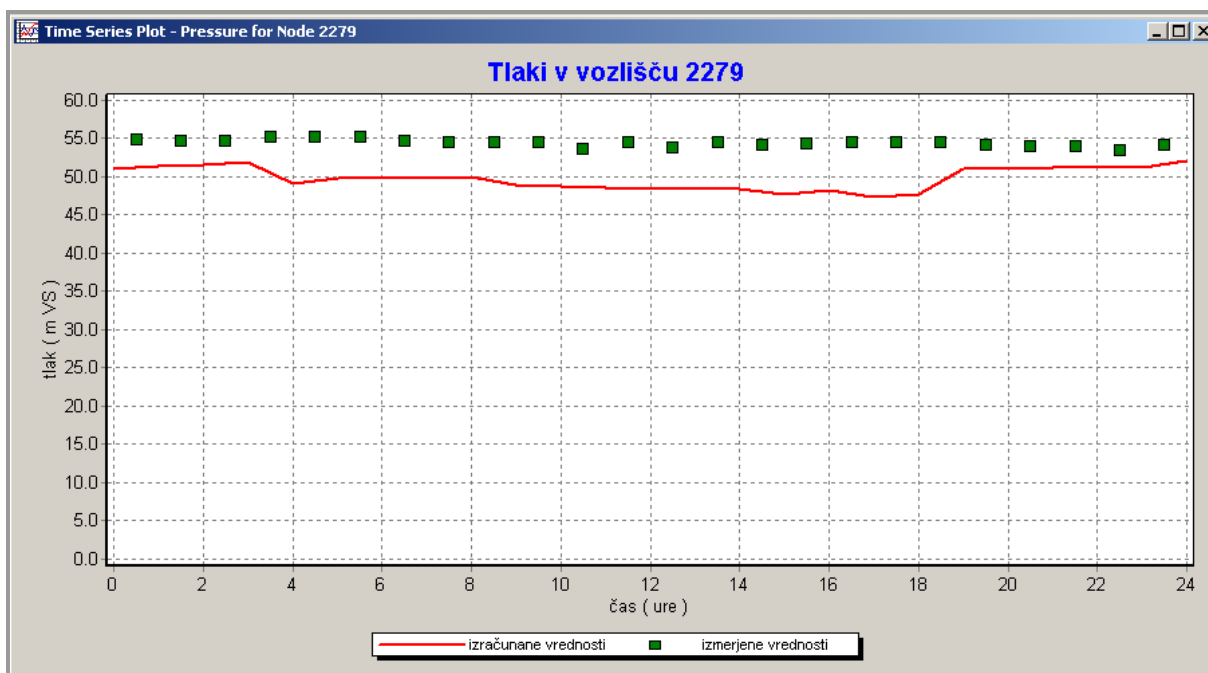
Hidrant	Čas odprtja hidranta	Pretok 1 ( l/s )	Pretok 2 ( l/s )
Paška vas	13.00 - 13.20	6	9
Šmartno ob Paki	13.30 - 13.50	5	10,3
Podgora	14.10 - 14.25	5,6	10,5

V Epanetu smo posamezne primere zgornjih situacij oblikovali tako, da smo izdelali nov vzorec iztoka vode v vozliščih, v katerih smo predpostavili, da je hidrant odprt. Časovni korak vzorca smo morali v tem primeru spremeniti iz ene ure v 15 minut.

Dinamični tlak se je v času delovanja pri hišnem priključku Kopušar gibal med 1,3 in 1,7 bara pri manjšem iztoku iz hidrantov in med 1,2 in 1,6 bara pri višjem iztoku. Ko smo pognali model in primerjali dejansko stanje sistema z rezultati modela, smo ugotovili, da dobimo v primerih odprtja hidrantov v Paški vasi in v Podgori povsem primerljive vrednosti. Problem se je pojavil pri odprtju hidranta, ki se nahaja v središču Šmartnega ob Paki. Simulacija je pokazala, da se v primeru izpusta vode iz sistema s pretokom 10,3 l/s sistem pospešeno prazni in že kar kmalu se na sistemu pojavijo negativni tlaki.

Dinamični tlak na črpališču Gavce se je gibal okoli 2,5 bara. Model je dal rezultate, ki so od dejanskih višji le za 0,2 bara. Napaka je sprejemljiva, saj je vsak vodovodni sistem dinamičen sistem in vrednosti tlakov ter pretokov se na sistemu nenehno spreminjajo.

Potem, ko smo model umerili in ponovno izvršili preračun, smo si na vozlišču 2279 ( t.j. točka v Šmartnem ob Paki v bližini črpališča ) pogledali, kakšne so na tem mestu vrednosti tlakov tekom enega dneva. Za primerjavo smo dodali niz podatkov o tlakih, ki smo jih dobili z meritvami na terenu, kar prikazuje spodnji grafikon.



**Grafikon 11: Primerjava izračunanih in izmerjenih tlakov v vozlišču 2279**

Izračunane vrednosti se od merjenih razlikujejo v povprečju za 0,5 bara. Ta odstopanja so sprejemljiva, saj je vsak vodovodni sistem dinamičen sistem, zato bi težko oblikovali sistem, ki bi deloval povsem identično z obratovanjem dejanskega vodovodnega omrežja.

Umerjanje in verifikacija modela sta potekala na modelu, ki je poleg vzorca delovanja črpalk že vključeval vzorec nihanja dnevne porabe vode na omrežju. Na ta način smo lahko ta postopek popolnoma zaključili.

## **4.2 Analiza hidravličnih razmer v vodovodnem omrežju**

Kako smo modelirali različne situacije obratovanja vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki in kako smo potem analizirali njihove rezultate, je obravnavano v sledečih podglavljih.



#### **4.2.1 Običajni obtežbeni primeri na vodovodnem omrežju Šmartno ob Paki**

Zasnovali smo več obtežbenih primerov. Prvi primer je zasnovan s pomočjo statične simulacije, ostali primeri pa bazirajo na dinamičnem simuliranju vodovodnega sistema.

##### ***4.2.1.1 Trenutni presek hidravličnih razmer na vodovodnem omrežju***

Osnovni model, ki smo ga najprej zasnovali, prikazuje trenutno stanje hidravličnih razmer v obravnavanem vodovodnem sistemu. V tem primeru smo privzeli povprečno srednjo porabo vode v letu 2004. To je povprečna poraba vode tekom enega karakterističnega dneva, izražena v l/s. Vse črpalke na vodovodnem sistemu v tem primeru obratujejo in tako dovajajo vodo v omrežje.

Osnovni model je bil narejen z namenom, da dobimo vpogled v ustaljene razmere na vodovodnem sistemu in da izvedemo prvo umerjanje modela.

##### ***4.2.1.2 Dnevno nihanje porabe vode***

Ko je bil osnovni model vzpostavljen, smo se lahko lotili njegove nadgradnje. Dinamične razmere na sistemu smo ponazorili s pomočjo vzorca nihanja dnevne porabe vode, ki smo ga oblikovali na podlagi meritev, dobljenih dne 10.12.2005. Črpalka na črpališču Šmartno ob Paki deluje ves dan ( konstantno ), črpalka na črpališču Rečica1 pa deluje po vzorcu 2, ki kaže, da deluje črpalka od 21h zvečer do 3h zjutraj, čez dan pa od 12h do 15h. Prvič smo model pognali za 24 ur. Da smo se prepričali, kako ta model funkcionira v nekoliko daljšem časovnem obdobju, smo model pognali še kot 72-urno simulacijo. Na modelu, ki vključuje dnevno nihanje porabe vode, smo ponovno izvedli umerjanje modela.

##### ***4.2.1.3 Simulacija požara***

Razmere na sistemu v primeru požara smo si nekoliko pogledali že pri samem umerjanju hidravličnega modela.

Vzorec požara smo vključili v dinamični model, pri čemer smo upoštevali 24-urno simulacijo porabe vode. Predpostavili smo, da se hidrant nahaja v vozlišču 2115, v središču Šmartnega ob Paki, požar pa traja dve uri, od 12h do 14h. To je ravno v času največje dnevne porabe vode, s čimer smo izpostavili eno najbolj kritičnih situacij na sistemu. Za takšno naselje bi morali imeti v primeru dvournega požara na razpolago 10 l/s vode na enem hidrantu oz. 5 l/s vode na dveh hidrantih. Poleg porabe 5 in 10 l/s v vozlišču 2115 smo preverili tudi, kakšno je obnašanje sistema pri vmesnih vrednostih pretoka ( 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 l/s, ... ).

S simulacijo požarnega pretoka smo želeli ugotoviti, kako dodatni odvzem vode vpliva na delovanje vodovodnega sistema in če obravnavano vodovodno omrežje zagotavlja ustrezno požarno varnost.

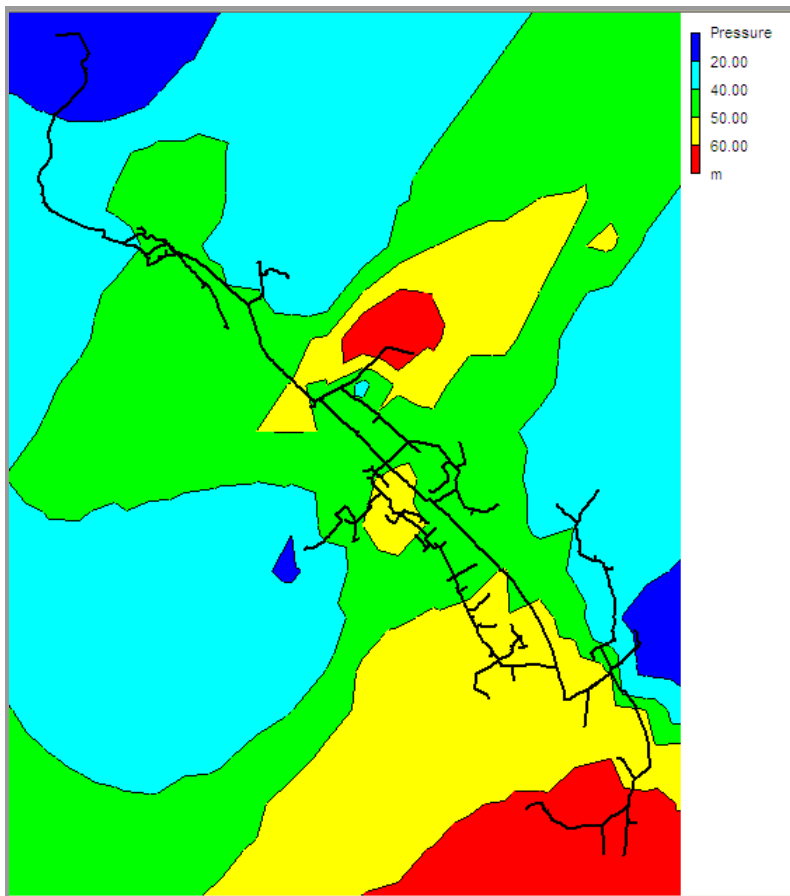
#### **4.2.2 Analiza hidravličnih razmer posameznih obtežbenih primerov**

V spodnjih odstavkih je povzeta analiza tlačnih ter pretočnih razmer na podlagi hidravličnega modela obravnavanega vodovodnega omrežja.

##### **4.2.2.1 Analiza trenutnega stanja hidravličnih razmer v vodovodnem sistemu**

Če pogledamo, kakšne so hitrosti vode po ceveh obravnavanega vodovodnega omrežja, lahko ugotovimo, da so te premajhne. Optimalne hitrosti bi bile med 0,8 in 1,4 m/s, v našem primeru pa le redko dosežemo hitrost 0,8 m/s. Za ta model ne moremo reči, da daje dovolj realne rezultate, saj ni vključenega dnevnega nihanja porabe vode. Vemo, da je dejansko na vodovodnem omrežju ponoči poraba najmanjša in v tem času voda v ceveh stoji, v času maksimalne porabe pa so hitrosti vode v okviru normalnih vrednosti.

Že tako zasnovan model pa jasno potrjuje, da so na skrajnem jugu obravnavanega vodovodnega omrežja zelo veliki tlaki. Ti znašajo približno 6 barov, kar je popolnoma primerljivo z realno situacijo. Najmanjši tlak je na mestu hišnega priključka Kopušar, ki v modelu za analizo ustaljenih razmer znaša 1,5 bara. Tlačne razmere na sistemu v primeru statične simulacije so prikazane na spodnji sliki.



Slika 31: Prikaz tlakov na obravnavanem vodovodnem omrežju

S temi razmerami lahko ugotovljamo tudi, ali je povsod dosežen predpisan standard oskrbe.

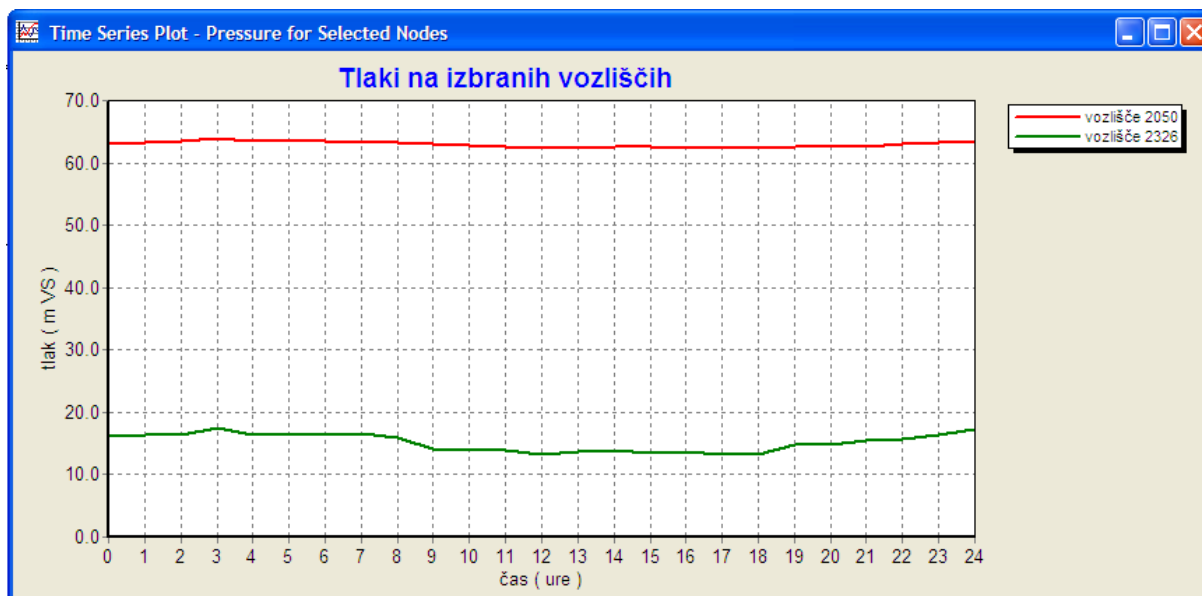
#### 4.2.2.2 Analiza dinamičnih razmer

Dinamično simulacijo obratovanja vodovodnega sistema smo oblikovali na podlagi dnevnega nihanja porabe vode. Ugotovimo lahko, da je hitrost vode po ceveh odvisna od porabe vode, trenutnega delovanja črpalk ter praznjenja oz. polnjenja vodohranov. Na spodnjem grafu lahko vidimo, kakšne so hitrosti na cevi, ki je v modelu označena z oznako 1159. Največjo hitrost ( 0,4 m/s ) doseže voda točno opoldne, ko je poraba največja, najmanjšo ( 0,15 m/s ) pa ob štirih zjutraj. Majhne hitrosti na ceveh nam dodatno pojasnjujejo, da je obravnavani vodovodni sistem predimenzioniran.



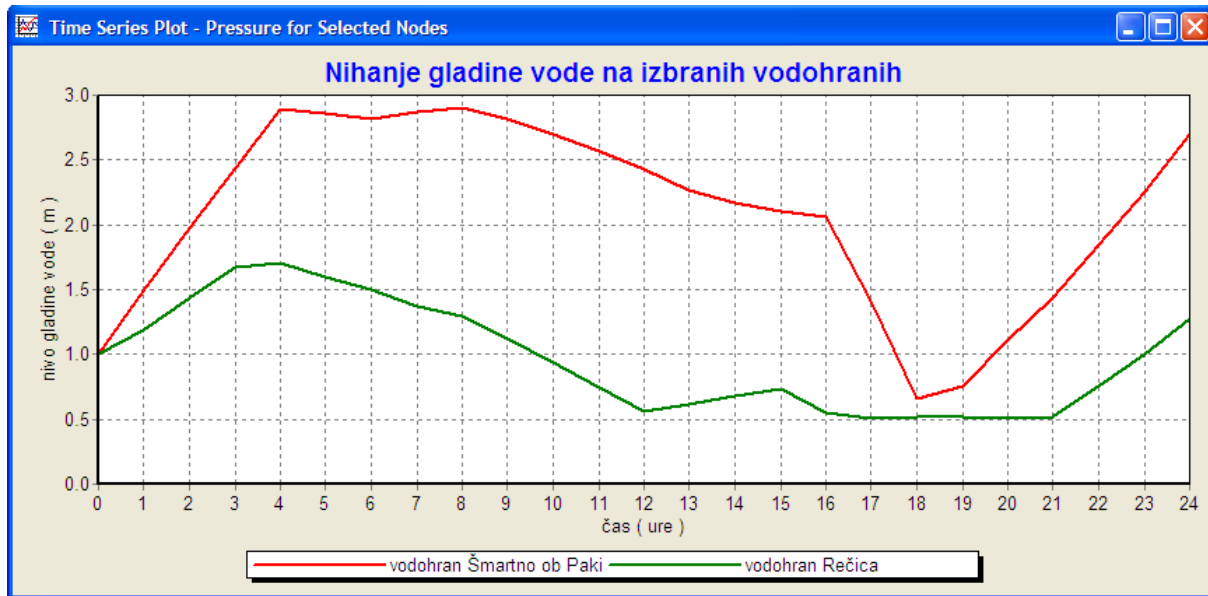
Grafikon 12: Urno nihanje hitrosti vode na izbrani cevi

Tlaki so še vedno najbolj kritični na skrajnem jugu obravnavanega vodovodnega omrežja, kjer le redko padejo pod 6 barov ( vozlišče 2050 ), ter pri Kopusarju ( vozlišče 2326 ), kjer so tlaki tako majhni ( približno 1,5 bara ) zaradi tega, ker je ta porabnik precej višje od ostalih porabnikov ( 347 m.n.v. ).



Grafikon 13: Urno spreminjanje tlaka na izbranih vozliščih

Poleg časovnega nihanja tlakov in hitrosti na sistemu niha tudi gladina vode v vodohranih, kar je vidno na spodnjem grafikonu.



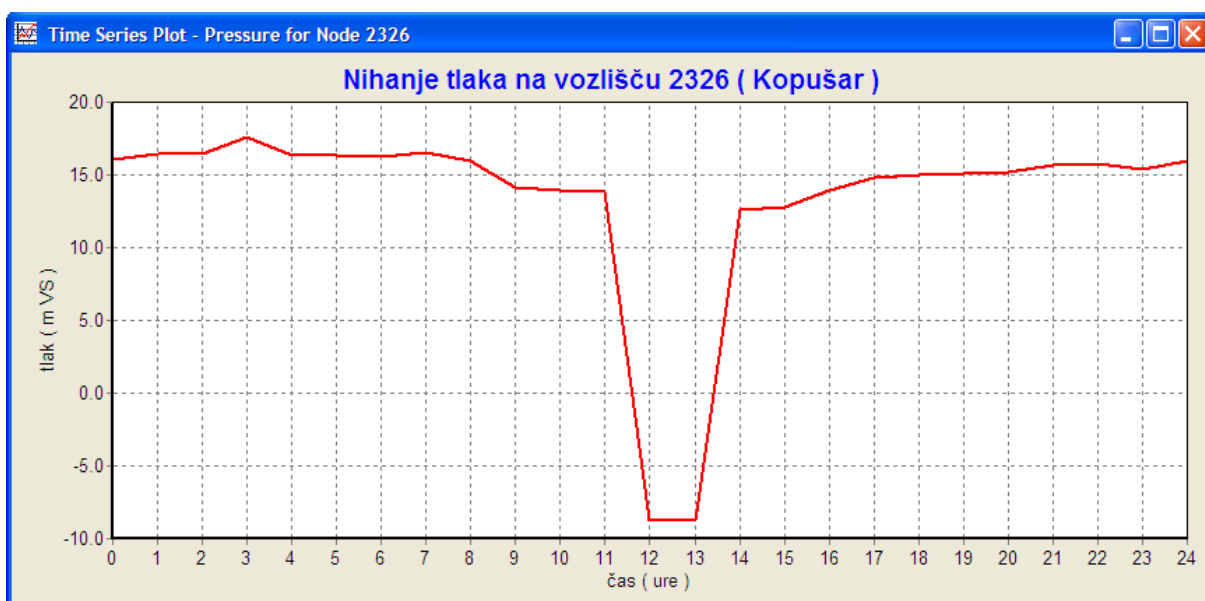
**Grafikon 14: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica**

Na zgornjem grafu vidimo, da se vodohrana najbolj izpraznita od 18h do 19h zvečer. Ko se voda v vodohranu Rečica spusti na minimalni nivo gladine 0,5m, se prazni le vodohran Šmartno. Vodohran Rečica je lociran nekoliko višje od vodohrana Šmartno, zato se prične prej prazniti.

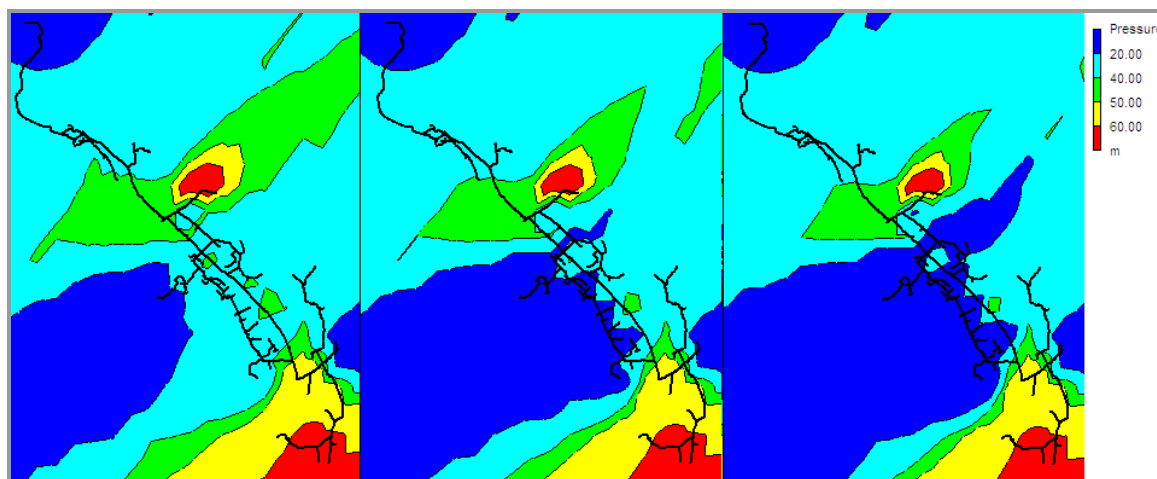
#### 4.2.2.3 Analiza požarnih pretokov

Pri modeliranju vodovodnega omrežja glede na požarne razmere smo ugotovili, da se že takoj v pričetku gašenja požara pojavijo na sistemu negativni tlaki. Pojavijo se le na mestu hišnega priključka Kopusar, kjer so že pri običajnih razmerah zelo nizki tlaki. V primeru porabe 5 l/s na hidrantu drugod po sistemu ni problemov s tlaki. Z vstavljanjem različnih vrednosti požarnega pretoka in takojšnjo analizo situacije sem ugotovila, da je edini pretok, ki ga sistem v vozlišču lahko nudi, 5 l/s. Pri požarnem pretoku 6 l/s se negativni tlaki že preveč razširijo po sistemu. Na podlagi dobljenih rezultatov lahko zaključimo, da v centru Šmartnega ob Paki z vodo ni zagotovljena požarna varnost iz hidrantov. Za zagotovitev le-te bi se bilo potrebno ozreti še po drugih virih vode, npr. vodotokih.

Skladnost požarne varnosti s predpisom bomo z vodo lahko zagotovili šele takrat, ko se bo realizirala načrtovana gradnja nakupovalnega centra, do katerega se bo položil cevovod, ki bo priključen neposredno na vod, ki se napaja z vodo iz vodohrana Rečica in bi omogočal zadosten pretok vode do hidranta v primeru požara.

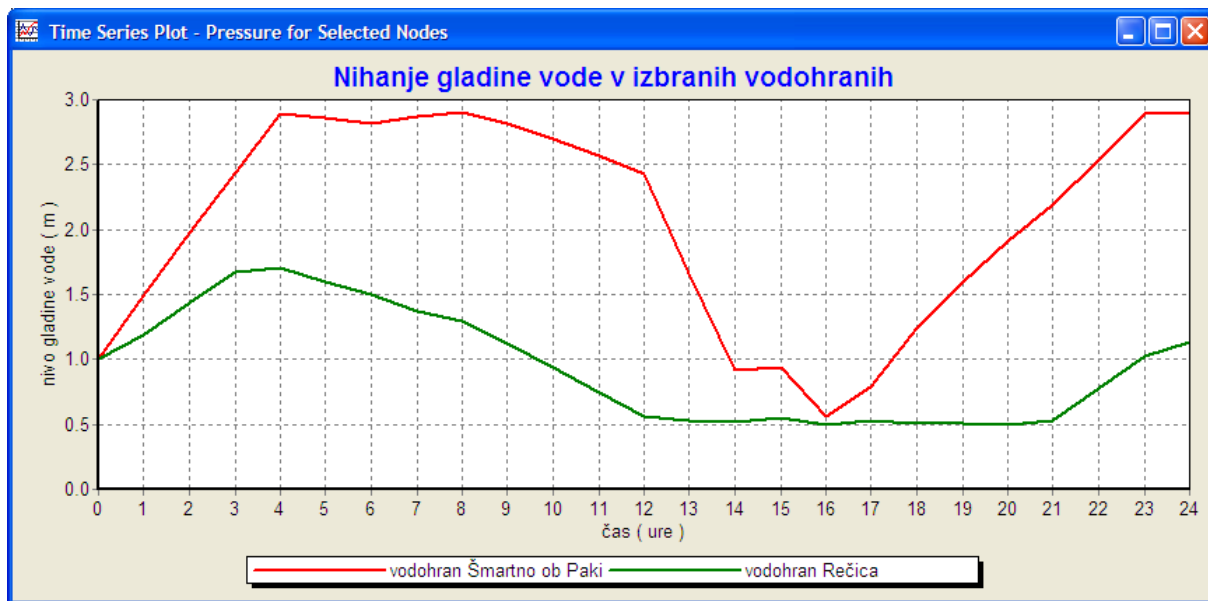


Grafikon 15: Nihanje tlakov na kritičnem mestu v vodovodnem sistemu pri požarnem pretoku 5 l/s



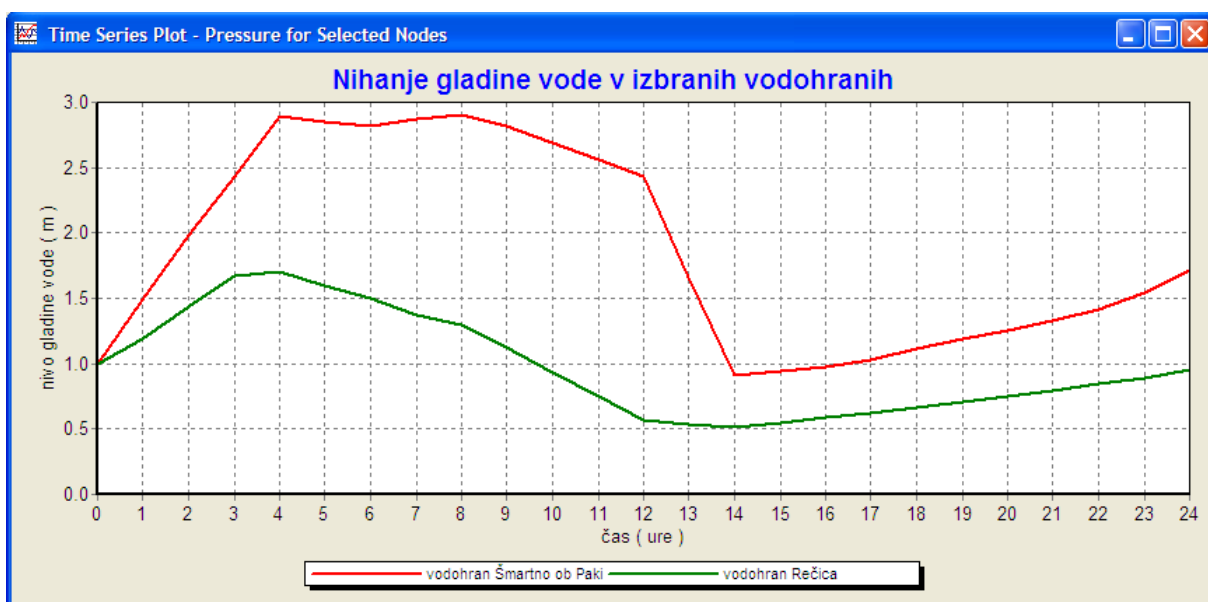
Slika 32: Tlaki pri različnem požarnem pretoku

Zgornja slika prikazuje, kakšne bi bile tlačne razmere ( ob 13h ) na sistemu v primeru, da je požarni pretok 5 l/s ( levo ), 7 l/s ( v sredini ) in 9 l/s ( desno ). Vidimo, da je območje negativnih tlakov na sistemu v vsaki naslednji situaciji vidno večje.



**Grafikon 16: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica**

V našem primeru je privzeto, da je nastopil požar ob 12h, ko obe črpalki delujeta. V času požara se sistem izprazni in ob običajnem delovanju črpalk se vodohran Šmartno ob Paki začne polniti dve uri po končanem požaru ( ob 16h ), vodohran Rečica pa ostaja prazen vse do 21h zvečer. Če bi predpostavili, da v primeru požara obratujeta do konca dneva obe črpalki ( črpališče Šmartno ob Paki ves dan, črpališče Rečica1 pa najprej do 3h, nato pa od 12h dalje do polnoči ), bi dobili na vodohranih razmere, kot jih kaže spodnja slika.



**Grafikon 17: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica**

Situacija, ki jo kaže grafikon 16, je v primeru požara bolj verjetna od predhodno navedene situacije. Vidimo, da se ob koncu požara ( ob 14h ) vodohran Rečica popolnoma izprazni, nekaj vode pa je še na razpolago v vodohranu Šmartno ob Paki. Ker po požaru obe omenjeni črpališči obratujeta in napajata vodovodno omrežje iz zajetij, se oba vodohrana pričneta istočasno polniti. To pomeni, da bi se v taki situaciji zelo hitro vzpostavile na sistemu takšne obratovalne razmere, kot so bile pred požarom.

### **4.3 Analiza hidravličnih razmer ob navezavi vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki na centralni del vodovodnega omrežja Velenja**

Največja problema, ki se pojavljata v Šmartnem ob Paki in okoliških zaselkih, sta dva. Prvi problem je tehnične narave. Na območju centralnega dela vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki se marsikje pojavljajo preveliki tlaki. Po pravilniku Komunalnega podjetja Velenje, PE VO-KA, se naj bi tam, kjer so tlaki med 5,5 in 8 barov, vgradili ventili za zmanjševanje in regulacijo tlakov in sicer na interni inštalaciji, medtem ko je v primeru tlakov, večjih od 8 barov, potrebno zmanjšati tlake že na samem sistemu, t.j. na sekundarnem vodu ( pred hišnim priključkom ). Drugi problem, ki se pogosto pojavlja na tem območju, je pogosto pomanjkanje vode. Včasih je to posledica sušnega obdobja, mnogokrat pa so problem izgube vode na vodovodnem sistemu ter neustreznost črpane vode. Pomanjkanje ustrezne pitne vode bi bilo mogoče rešiti z navezavo vodovodnega omrežja Šmartno ob Paki na centralni vodovod Velenje – Šoštanj.

#### **4.3.1 Možne rešitve navezave vodovodnega omrežja**

Načinov, kako bi vodovodno omrežje Šmartno ob Paki lahko navezali na centralni del vodovodnega omrežja Velenja, je več. V Komunalnem podjetju Velenje so že bile izdelane tri variante idejne povezave obeh sistemov, ki so grafično prikazane v prilogi D.



#### **4.3.1.1 Povezovalni cevovod s prečrpavanjem preko Velikega Vrha**

Prva varianta predvideva priključitev novozgrajenega povezovalnega cevovoda na magistralni cevovod v Prelogah pri Šoštanju v križišču Lokovica – NOP ( Nove Preloge ). Od tod poteka trasa cevovoda v dolžini 400 m ob lokalni cesti preko naselja Lokovica vse do Šaleške magistrale, kjer se izvede prečkanje ceste. Od križišča Šaleške magistrale s cesto Lokovica – Veliki Vrh poteka trasa cevovoda v dolžini 5300 m delno ob in delno po lokalni cesti. Na novozgrajenem povezovalnem cevovodu se naj bi na koti terena 430 m.n.v. zgradilo črpališče, katerega naloga je črpanje vode preko Velikega Vrha v obstoječi vodohran Šmartno ob Paki.

Slabosti te variante so sledeče:

- Potrebno bi bilo zgraditi novo črpališče in povečati obstoječi vodohran Bačovnik, ki bi v novi situaciji služil kot vodohran in hkrati kot razbremenilnik.
- Potrebno bi bilo zgraditi nov vodohran Šmartno ob Paki, saj bi v primeru uporabe tega postal vodohran Rečica popolnoma neuporaben, ker voda vanj ne bi več dotekala.
- Vso potrebno količino vode za celotno naselje Šmartno ob Paki bi bilo potrebno črpati, posledica tega pa so veliki obratovalni stroški.

#### **4.3.1.2 Povezovalni cevovod skozi Penk**

Ta primer predvideva priključitev novozgrajenega povezovalnega cevovoda na magistralni cevovod v Florjanu, od koder bi trasa prečkala potok Florjanščico in nadalje potekala po soteski Penk do črpališča Gorenje-Skorno1, kjer bi se lahko v prvi fazi navezala na obstoječo cev ( PE, DN 80 ), ki sedaj oskrbuje črpališče Gorenje-Skorno1.

Prednost te variante je v tem, da bi se nekatera naselja oskrbovala z vodo gravitacijsko, le del vodovodnega sistema Šmartno ob Paki pa še s prečrpavanjem. Tako bi se bistveno zmanjšali obratovalni stroški. Pomanjkljivost pa je trasa cevovoda, ki bi potekala v prostoru, ki je za izgradnjo izredno omejen. Poleg tega se je vodovod za področje Penka zgradil šele v letu 1995 in bi bilo zelo težko pridobiti ponovno dovoljenje za gradbene posege na posameznih parcelah.

#### **4.3.1.3 Povezovalni cevovod ob Šaleški magistrali**

Predvidena je priključitev novega cevovoda na magistralni cevovod v Prelogah pri Šoštanju v križišču Lokovica – NOP ( Nove Preloge ), od koder bi trasa le-tega potekala v dolžini 400 m ob lokalni cesti preko naselja Lokovica vse do Šaleške magistrale. Na križišču s Šaleško magistralno cesto bi se izvedlo podvrtanje cestišča in od tu dalje bi potekal povezovalni cevovod ob cestišču proti Šmartnemu ob Paki, ponekod vzporedno z visokonapetostnim daljnovodom, kjer je že vzpostavljen komunalni koridor in izveden posek gozda. Posebno pozornost bi bilo potrebno nameniti prečkanju obstoječe železniške proge in prečkanju reke Pake, ki se lahko izvedeta z obešanjem cevovoda na mostno konstrukcijo z ustrezno izvedbo izolacije vodovodnih cevi.

Prednost te variante je v tem, da bi se gravitacijsko oskrboval z vodo velik del omenjenega območja, le na nekaterih mestih bi še vedno bilo potrebno prečrpavanje vode v višje lege. Na ta način bi se bistveno zmanjšali stroški obratovanja. Pomanjkljivost te predlagane rešitve pa je, da je trasa ob Šaleški magistrali na nekaterih odsekih zelo zahtevna za gradnjo zaradi vkopov ceste v hribino.

#### **4.3.2 Hidravlična zasnova navezave vodovodnega omrežja**

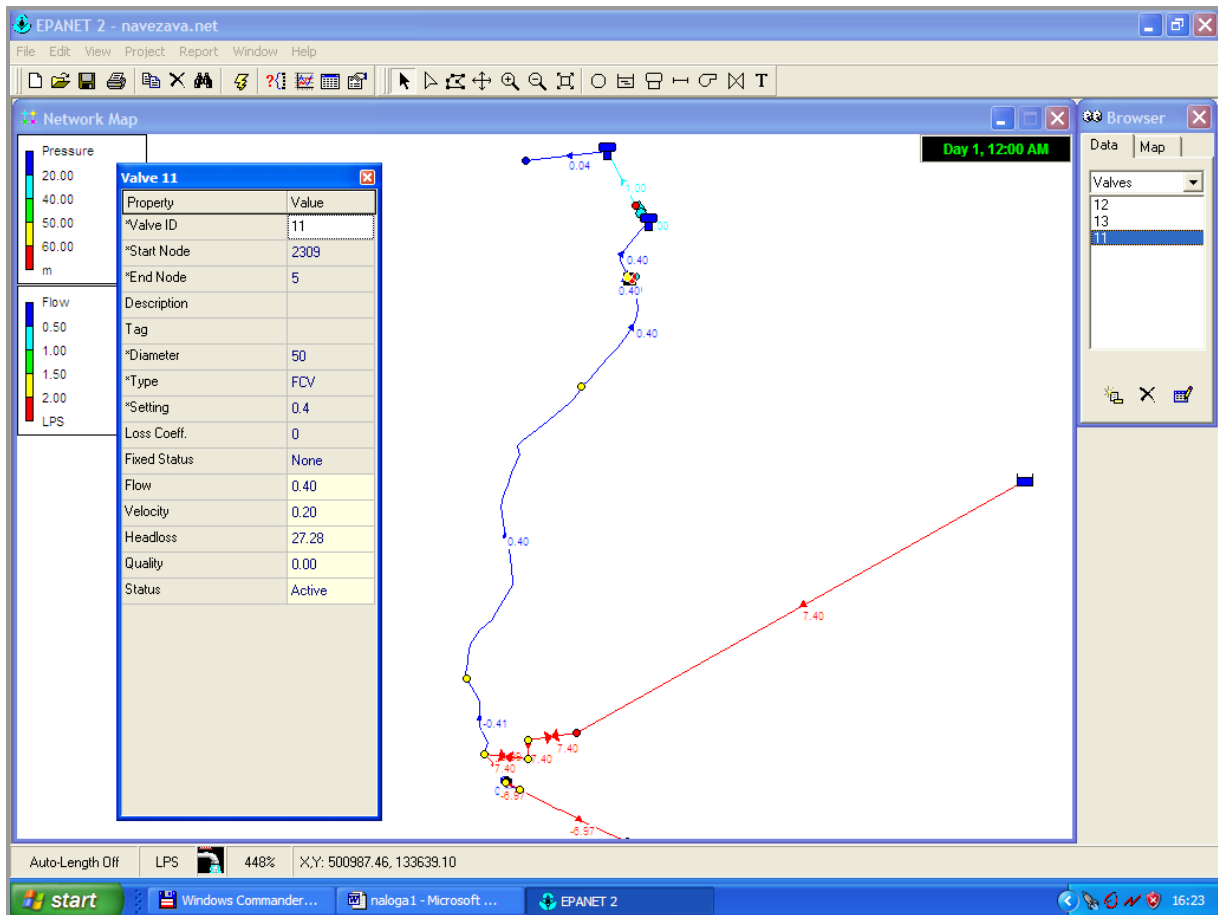
Ker je tako s tehničnega kot z ekonomskega stališča najbolj ugodna tretja od zgoraj navedenih variant, smo hidravlični model za presojo razmer zasnovali prav za ta primer.

##### **4.3.2.1 Osnovna vzpostavitev modela navezave vodovodnega omrežja**

Priključitev povezovalnega cevovoda na obstoječi magistralni vod Velenje – Šoštanj ( DN 500 ) smo v modelu ponazorili z zajetjem, saj smo predpostavili, da bi bile za oskrbo Šmartnega ob Paki na tem mestu vedno na razpolago zadostne količine vode. Od te točke poteka cevovod ( dolžina 5400 m, premer 150 mm ) do vozlišča 2097. Pred to točko smo v sistem namestili dva ventila – ventil za zmanjšanje tlakov ( PRV ) in ventil za kontrolo pretokov na sistemu ( FCV ). Z ventilom za zmanjšanje tlakov smo omogočili, da se tlaki na

tem mestu reducirajo na maksimalni tlak 6 barov, z ventilom za kontrolo pretokov pa smo predpostavili, da se sistem napaja z maksimalnim pretokom 7,4 l/s.

Poleg omenjenih ventilov smo namestili ventil za kontrolo pretoka še na mestu vodohrana Gorenje-Skorno1, s katerim smo ponazorili plovni ventil. Ventil za kontrolo pretoka na tem mestu omejuje dotok vode v naselji Gorenje in Skorno na 0,4 l/s.



**Slika 33: Prikaz modeliranja navezave vodovodnega sistema Šmartno ob Paki na centralni del vodovodnega omrežja Velenje – Šoštanj**

Model navezave je narejen na podlagi dinamičnega modela, kot smo ga obravnavali v poglavju 4.2.1.5.

#### **4.3.2.2 Požarna obremenitev navezave vodovodnega omrežja**

Za analizo požarnih pretokov smo vzpostavili model na podoben način kot v primeru požarnih pretokov za simuliranje obstoječega stanja. Spet smo predpostavili, da se hidrant odpre v vozlišču 2115, v središču Šmartnega ob Paki, požar pa traja dve uri, od 12h do 14h. Preverili smo, kako deluje sistem, če obstoječih črpališč ne aktiviramo in sistem še vedno napajamo samo preko navezave. Nato pa smo v situacijo vključili še delovanje črpalk, ki črpata vodo iz zajetij Šmartno ob Paki in Rečica1. Preverili smo situacije za različne vrednosti iztoka iz hidranta ( med 5 l/s in 10 l/s ).

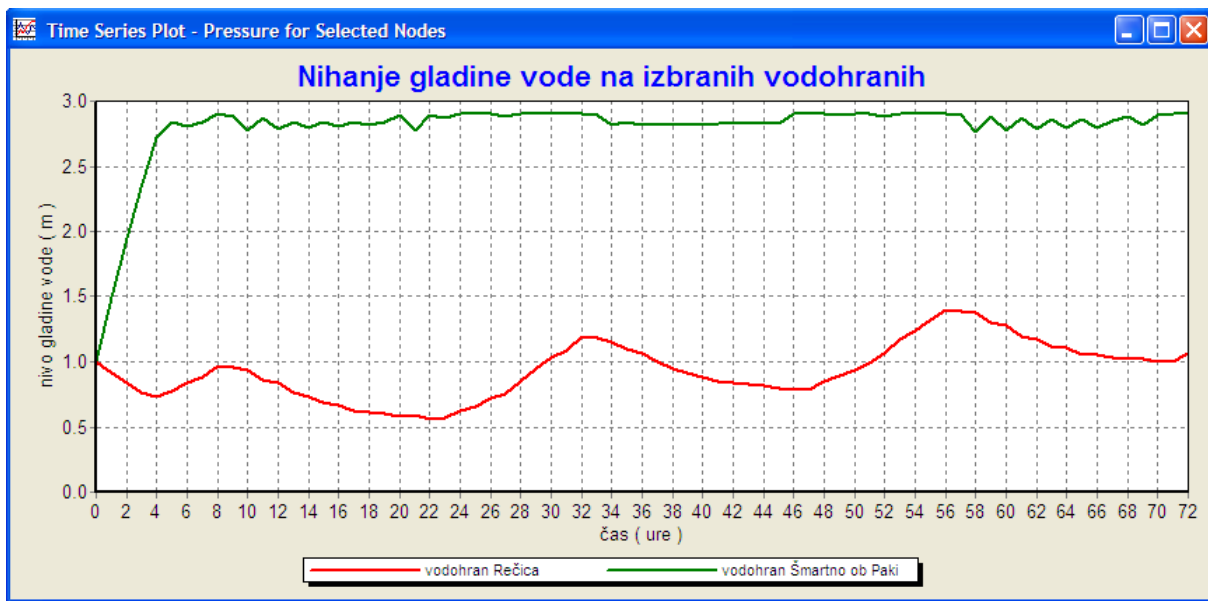
#### **4.3.3 Rezultati novih hidravličnih razmer**

Analiza hidravličnih razmer je za oba primera simulacij predstavljena v poglavjih 4.3.3.1 in 4.3.3.2.

##### **4.3.3.1 Analiza hidravličnih razmer osnovnega modela navezave**

Ko smo v modelu naredili navezavo, smo delovanje črpalk na zajetjih Šmartno ob Paki in Rečica1 ter na vrtini Rečica2 ustavili. Tako smo predpostavili, da se sedaj celotno vodovodno omrežje Šmartno ob Paki konstantno napaja z vodo iz centralnega vodovodnega sistema Velenje – Šoštanj. Pri tem se tlačne in pretočne razmere niso bistveno spremenile in so podobne razmeram iz osnovne situacije.

Ker voda konstantno doteka v sistem, se v nočnih urah, ko je poraba vode majhna, polnijo vodohrani. Ti se nato praznijo ob konicah, ko iz centralnega omrežja ni zadostnih količin vode. Nihanje gladine vode v vodohranih si lahko pogledamo na spodnjem grafu.



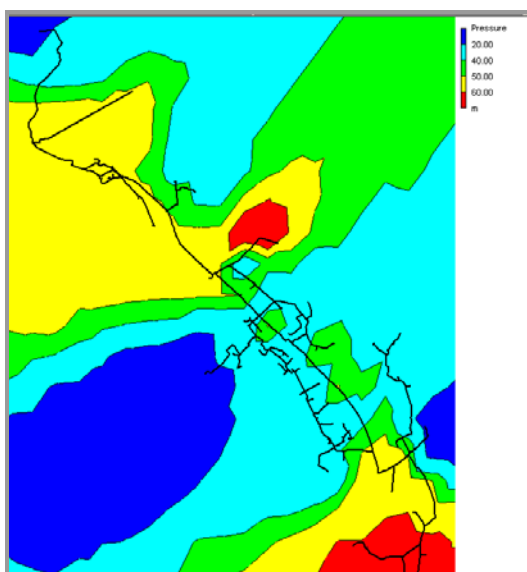
**Grafikon 18: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica**

Na grafu lahko vidimo, da je nihanje vode v vodohranu Šmartno ob Paki zelo majhno, medtem ko se vodohran Rečica vidno prazni in nato tudi polni. Na zgornjem grafu je prikazan graf 72-urne simulacije zato, ker lahko vidimo, da pride v daljšem časovnem obdobju do polnjenja vodohrana Rečica.

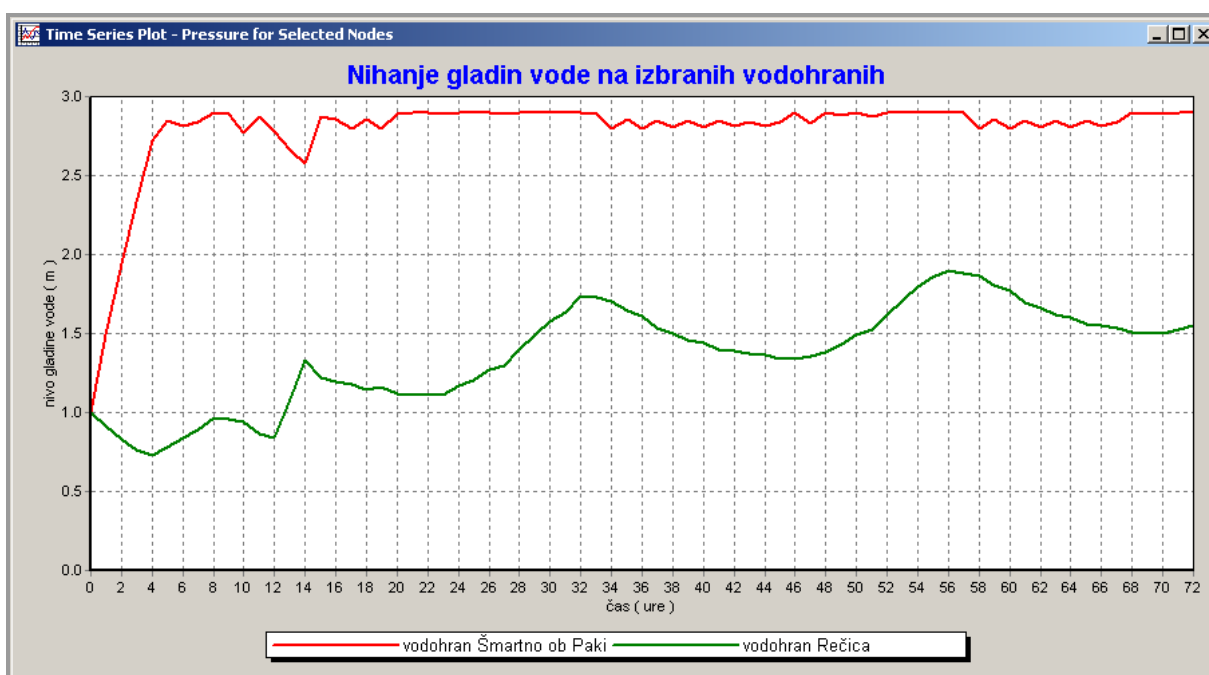
Na podlagi rezultatov lahko ugotovimo, da se sistem napaja z zadostnimi količinami vode. V primeru, da bi prišlo do prekinitve napajanja vodovodnega sistema Šmartno zaradi kakršnegakoli razloga ali pa do pomanjkanja vode na tem območju ( suša, požari, ... ), so še vedno na razpolago obstoječi vodni viri na obravnavanem vodovodnem omrežju – Šmartno ob Paki, Rečica1 in Rečica2.

#### 4.3.3.2 Analiza požarne obremenitve

Analiza požarne obremenitve je pokazala, da daje povezava z vodovodnim omrežjem Velenje – Šoštanj zadostne količine vode za predpostavljene požarne razmere in da ni potrebno vključevati obstoječih vodnih virov Šmartno ob Paki in Rečica1. Še vedno pa predstavlja problem vozlišče 2326 ( pri Kopušarju ), kjer že pri požarnem pretoku 5 l/s nastopijo podtlaki, ki v tem primeru znašajo -0,5 bara. Za to lokacijo bo potrebno poiskati dodatno rešitev. Razporeditev tlakov ob pričetku gašenja požara s 5 l/s vode prikazuje spodnja slika.



Slika 34: Prikaz tlakov pri požarnem pretoku 5 l/s ob 12h



Grafikon 19: Nihanje gladine vode v vodohranu Šmartno ob Paki in vodohranu Rečica v primeru požara

Grafikon 19 prikazuje nihanje gladine vode v vodohranih Šmartno ob Paki in Rečica za primer 72-urne simulacije (zaradi lažje primerjave z grafikonom 17). V času požara se nivo vode v prvem vodohranu malenkost spusti, vendar so kmalu vzpostavljene normalne obratovalne razmere. Nihanja gladine vode v drugem vodohranu pa požarni pretoki bistveno ne spremenijo.

## 5 ZAKLJUČEK

Namen te diplomske naloge je bil preučiti hidravlične razmere v vodovodnem omrežju Šmartno ob Paki. Najprej so bile obdelane teoretične osnove, nakar smo prešli na konkretni primer – prenesti dejansko stanje v hidravlični model, preučiti razmere na sistemu in podati ustrezne rešitve.

Digitalna podatkovna baza, ki je bila na razpolago, je bila nepopolna. Da bi vzpostavili čim boljšo podatkovno bazo, smo opravili še digitalizacijo manjkajočih podatkov, ki so potrebni za ustrezno oblikovanje hidravličnega modela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. Model smo izdelali na podlagi predhodno pridobljenih podatkov, ki so določevali natančnost oz. reprezentativnost vzpostavljenega modela. Potem, ko smo le-tega umerili in delno tudi verificirali, je bilo ugotovljeno, da marsikje na sistemu tlaki in hitrosti vode odstopajo od vrednosti, predpisanih z zakonodajo. Tako so predvsem na skrajnem jugu sistema tlaki nekoliko višji, na nekaterih posameznih točkah pa nižji od običajnih. Problematične so tudi hitrosti, saj so večinoma premajhne. Velik problem predstavljajo tudi vodni viri – njihovo varovanje ter njihova izdatnost. Poleg tega se je tekom preteklih desetletij pokazalo, da so se izgube vode na obravnavanem vodovodnem omrežju drastično povečale, kar je postal resen problem v zvezi s preskrbo s pitno vodo. Te so lahko posledica dejanskih okvar na vodovodnem omrežju, lahko pa so to le tiste količine vode, ki so bile porabljene za javni namen in niso bile obračunane.

Zaradi zgoraj navedenih vzrokov je upravljavec obravnavanega javnega vodovoda začel iskati rešitve, s katerimi bi lahko rešili nastale težave. Tako je nastal predlog o navezavi vodovodnega sistema Šmartno ob Paki na vodovodno omrežje Velenje – Šoštanj. Podali smo tri možne rešitve, med katerimi smo poiskali najustreznejšo ( tako s tehničnega kot z ekonomskega stališča ) in za ta primer izdelali hidravlični model ter analizirali tlačne ter pretočne razmere. Ugotovili smo, da bi se z navezavo na vodovodno omrežje Velenje – Šoštanj stroški oskrbe s pitno vodo bistveno zmanjšali, saj bi se sistem napajal gravitacijsko in ne več s prečrpavanjem vode v višje predele.

V zgornjem odstavku opisana rešitev bi dejansko znižala stroške obratovanja in upravljanja vodovodnega sistema ter omogočila ustrežnejšo kakovost pitne vode, saj bi se omrežje v tem primeru napajalo z drugih vodnih virov. S tem pa še vedno ne bi rešili problemov, ki zajemajo prevelike izgube na sistemu ter previsok tlak in premajhno hitrost, ki sta glavna pokazatelja predimenzioniranosti obravnavanega sistema. Tlake na sistemu bi bilo možno zmanjšati z vgraditvijo ustreznih redukcijskih elementov oziroma s preusmeritvijo glavnega toka vode v območja na sistemu, kjer je po dobljenih podatkih poraba v nekem trenutku največja in tlaki posledično manjši. Izgube na sistemu bi se v primeru reduciranja tlakov na omrežju avtomatsko zmanjšale. Da bi ta problem še bolj uspešno rešili, pa bi bilo potrebno uvesti še tri ukrepe. Prvi ukrep je sprotno odkrivanje okvar na sistemu ter njihovo takojšnje odpravljanje, drugi potreben ukrep bi bil ustrezno izvesti stike cevi in spojnih členov, na katerih prav tako pride do nekontroliranega »uhajanja« vode iz sistema, tretji ( zelo pomemben ukrep ) pa bi bil analiza dejanskih količin neobračunane porabljene vode.

Ugotovili smo, da vzpostavljeni hidravlični model dokaj uspešno simulira različne scenarije obratovanja vodovodnega omrežja. S tako oblikovanim modelom bi lahko pridobivali pomembne informacije o njegovem delovanju brez dejanskega poseganja vanj. Tako bi lahko s pomočjo modela iskali ustrezne rešitve za sanacijo posameznih delov omrežja, širitev vodovodnega sistema ipd. Vse to pa bi bilo mogoče le, če bi se redno vzdrževala baza podatkov. Pogoj za to je redno preverjanje stanja na vodovodnem sistemu, vzpostavljen sistem meritev na omrežju ter vnos vsake spremembe na omrežju, ki bi nastala kot posledica sanacije ali povsem nove izgradnje nekega dela cevovoda.

Povzamemo lahko, da je potrebno vsako podatkovno bazo sproti dopolnjevati in posodabljati. Šele tako vzdrževana baza podatkov zagotavlja skupaj z ustrežno vzpostavljenim hidravličnim modelom optimalne rešitve problemov, ki se lahko nanašajo na projektiranje vodovodnih sistemov ali pa le na sanacijo okvar na že obstoječem sistemu.



## 6 VIRI

### LITERATURA

Banovec, P., Šantl, S., Kozelj, D. Hidravlično modeliranje vodovodnih sistemov. Usmeritve za pripravo podatkov iz podatkovnih baz »ArcView« za prenos v hidravlični model »Epanet 2« z uporabo »DC Water Design Extension« ( DC WDE ). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Berdajs, A., et al. 2004. Gradbeniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: str. 435 – 476.

Katalogi za črpalke različnih proizvajalcev - Lowara, Vogel, Grundfos, ...

Kompare, B. 2001/2002. Zapiski s predavanj predmeta Vodovod.

Komunalno podjetje Velenje d.o.o. 2004. Informator Komunalnega podjetja Velenje št. 1, julij 2004. 24 str.

Komunalno podjetje Velenje d.o.o., PE VO-KA. 2005. Pravilnik o tehnični izvedbi in uporabi vodovodnih objektov in naprav na območju občine Šmartno ob Paki: 39 str.

Komunalno podjetje Velenje d.o.o., PE VO-KA, Rednak F. 2005. Možne variante oskrbe z vodo področja Šmartno ob Paki.

Kraut B., Puhar J. 1998. Krautov strojniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 694 str.

Mutschman J., Stimmelmayer F., prevod Savić I., urednik Ristić J. 1999. Snabdevanje vodom ( priručnik ). Beograd, Građevinska knjiga: 698 str.

Orel, B. 2004. Vzpostavitev digitalne baze podatkov za hidravlični model vodovoda.

Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo:  
84 str.

Orth, H. 1986. Model-based Design of Water Distribution and Sewage Systems.

Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand: 191 str.

Petrešin, E. 1980. Vodovodni sistemi. Ljubljana: 888 str.

Rossman, L.A. 2000. Epanet 2 – Users Manual. Environmental Protection Agency, United States: 200 str.

Roš, M. 2004. Strokovni seminar Vodni dnevi 2004, Zbornik referatov, Velenje. Slovensko društvo za zaščito voda, Ljubljana: 116 str.

Rošer P. 2000. Analiza hidravličnih razmer vodovodnega sistema občin Velenje, Šoštanj in Šmartno ob Paki. Diplomska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 53 str.

Saint – Gobains PAM. Water mains ( Ductile iron pipes and fittings for raw and potable water supplies and irrigation ). Katalog.

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem:  
295 str.

Šantl, S. 2001. Hidravlična analiza vodovodnih sistemov in iskanje optimalnih variantnih rešitev z uporabo genetskih algoritmov. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 62 str.

Zrnić, P., ur. 1979. Tehničar, građevinski priručnik. Beograd, Građevinska knjiga: 1156 str.

## SPLETNE STRANI

Agencija Republike Slovenije za okolje. Interaktivni naravovarstveni atlas.

<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp> ( 2.12.2005 )

ANITON. Industrijske armature in avtomatika.

<http://www.aniton.si/> ( 23.07.2005 )

ESRI. GIS and Mapping Software. Products – About ArcView.

<http://www.esri.com/software/arcgis/arcview/about/literature.html> ( 2.11.2005 )

Haestad Methods. 1999. Cybernet Teorija za Windows, Verzija 3.0.

<http://www.haestad.com/>.

Mariborski vodovod, javno podjetje d.d. Hidravlično modeliranje.

[http://www.mb-vodovod.si/Storitve/razvoj/hidr\\_modeliranje.htm](http://www.mb-vodovod.si/Storitve/razvoj/hidr_modeliranje.htm) ( 14.07.2005 )

Minerva d.d. Izdelki in storitve. Polietilenske cevi za distribucijo pitne vode – tehnični podatki ( preglednice ).

[http://www.minerva.si/water\\_techn\\_si.html](http://www.minerva.si/water_techn_si.html) ( 11.08.2005 )

Pipelife Hrvatska d.o.o. Website Pipelife Hrvatska. PVC tlačni sustavi – tabele.

<http://www.pipelife.com/web/hr/prodhr.nsf> ( 16.08.2005 )

VIGRAD d.o.o. Celje. Za vodovode od izvira do uporabnika.

<http://www.vigrad.si/vodovod.html> ( 22.07.2005 )

Zagožen d.o.o. Žalec. Proizvodno in trgovinsko podjetje za zunanji vodovod in kanalizacijo.

<http://www.zagozen.si> ( 22.12.2005 )

## ZAKONI IN PRAVILNIKI

Evropski standard EN 805. 2000. Anforderungen an Wasserversorgungssysteme und deren Bauteile ausserhalb von Gebäuden ( Oskrba z vodo in zahteve za sisteme izven zgradb in komponente ): 49 str.

Odlok o oskrbi s pitno vodo na območju občine Šmartno ob Paki. Uradni vestnik Mestne občine Velenje – februar 2005: str. 2 – 6.

Odlok o prispevku za investicijska vlaganja v objekte vodooskrbe ter objekte odvajanja in čiščenja odpadnih in padavinskih voda. Uradni list občine Šoštanj – april 1999.

Odlok o varstvenih pasovih vodnega vira Ljubije. Uradni vestnik Občine Velenje – avgust 1983.

Odlok o varstvenih pasovih vodnih virov in termalnih vrelic na območju občine Velenje – maj 1984: str. 1 – 2.

Odlok o varstvu pitne vode na območju Mestne občine Velenje. Uradni vestnik Mestne občine Velenje – oktober 2001: str. 15 – 21.

Pravilnik o gradnjah na vodovarstvenih območjih, ki se lahko izvedejo na podlagi vodnega soglasja, in o dokumentaciji, ki je potrebna za pridobitev soglasja. 2004. UL RS, št.62-2848/2004, stran 7949.

Pravilnik o pitni vodi. 2004. UL RS, št. 19-865/2004, stran 2155.

Pravilnik o preizkušanju hidrantnih omrežij. 1995. UL RS, št. 22-1008/1995, stran 1651.

Pravilnik o tehničnih normativih za hidrantno omrežje za gašenje požarov. 2000. UL RS, št. 52-2448/2000, stran 6936.

Slovenski standard SIST EN 1610. 2001. Gradnja in preskušanje vodov in kanalov za odpadno vodo: 37 str.

Zakon o gospodarskih javnih službah. 1993. UL RS, št. 300-02/91-1/9.

Zakon o vodah ( ZV – 1 ). 2002. UL RS, št. 802-01/91-0003/0010.

## **7 PRILOGE**