

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jecl, A., 2014. Načrtovanje učinkovitega izpiranja vodovodnega sistema. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Kozelj, D.): 83 str.

Datum arhiviranja: 04-11-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jecl, A., 2014. Načrtovanje učinkovitega izpiranja vodovodnega sistema. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Kozelj, D.): 83 pp.

Archiving Date: 04-11-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

ALEŠ JECL

**NAČRTOVANJE UČINKOVITEGA IZPIRANJA
VODOVODNEGA SISTEMA**

Diplomska naloga št.: 246/VKI

**EFFICIENT FLUSHING PROGRAM FOR A WATER
DISTRIBUTION SYSTEM**

Graduation thesis No.: 246/VKI

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentor:
asist. dr. Daniel Kozelj

Ljubljana, 27. 10. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Aleš Jecl izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Načrtovanje učinkovitega izpiranja vodovodnega sistema«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici naloge.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, dne 10. 10. 2014

Aleš Jecl

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.14:696.11(497.4)(043.2)
Avtor:	Aleš Jecl
Mentor:	prof. dr. Franc Steinman
Somentor:	asist. Daniel Kozelj, univ. dipl. inž. vod. in kom.
Naslov:	Načrtovanje učinkovitega izpiranja vodovodnega sistema
Tip dokumenta:	Dipl. nal. – UNI
Obseg in oprema:	83 str., 31 pregl., 59 sl., 6 graf., 25 en., 4 pril.
Ključne besede:	hidravlični model, cevovodni sistemi, motnost vode, enosmerno izpiranje cevovodov, Aquis 5.0, Šmartno ob Paki

Izvleček

Diplomska naloga obravnava temo priprave učinkovitega programa izpiranja za vodovodni sistem Šmartno ob Paki. Zaradi odlaganja materiala znotraj cevovodov na območjih nizkih hitrosti toka obstaja tveganje za pojav motnosti vode. Na voljo je več metod, katerih cilj je spopadanje z akumulacijo materiala znotraj cevovodov in posledičnim pojavom motnosti. Od pregledanih metod sem izbral metodo enosmernega izpiranja, ki se je, navezujoč na uporabljene vire, izkazala za najbolj stroškovno učinkovito pri reševanju težav, povezanih s pojavom motnosti vode. Bistvo izbrane metode je sistematičen pristop k načrtovanju, izvajanju in dokumentiranju izpiranj cevovodov, pri čemer je čim manj faktorjev prepuščenih naključju. V okviru diplomske naloge sem se seznanil z vodovodnim sistemom Šmartno ob Paki, v programu Aquis izdelal oz. posodobil hidravlični model sistema, nato pa z uporabo le-tega izdelal učinkovit program izpiranja za problematični del obravnavanega omrežja z uporabo metode enosmernega izpiranja.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 628.14:696.11(497.4)(043.2)
Author: Aleš Jecl
Supervisor: prof. Franc Steinman, Ph. D.
Cosupervisor: Assist. Daniel Kozelj, B. Sc. VKI
Title: Efficient flushing program for a water distribution system
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 83 p., 31 tab., 59 fig., 6 graph., 25 eq., 4 ann.
Keywords: hydraulic model, pipeline system, discolouration of water, unidirectional flushing, Aquis 5.0, Šmartno ob Paki

Abstract

The graduation thesis addresses the subject of elaborating an efficient flushing program for the water distribution system of Šmartno ob Paki. Due to the occurrence of material deposition at low velocity sections in a water distribution system there is a constant risk of water discoloration. There are several methods available for coping with the accumulated material and its management, to prevent the occurrence of water discoloration. From the reviewed methods, I have chosen the method of unidirectional flushing. This method has proven to be most efficient, according to literature sources, and cost-effective in removing accumulated material and its prevention against water discoloration occurrence. The essence of this method is a systematic approach towards planning, implementing and documenting of flushing operations, which does not leave many factors to coincidence. Within the graduation thesis, I have performed a study of the Šmartno ob Paki water distribution system. I have updated the hydraulic model of the mentioned water distribution system using the Aquis water network simulation software. An efficient flushing program for a problematic part of the Šmartno ob Paki water distribution system was elaborated by means of this hydraulic model and the use of the unidirectional flushing method.

ZAHVALA

Za vso pomoč in podporo pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju g. Steinmanu in somentorju g. Kozelju.

Posebna zahvala gre tudi g. Primožu Rošerju in ge. Petri Stropnik iz Komunalnega podjetja Velenje ter g. Tomažu Ružiču in g. Mateju Sili iz podjetja Eltec Petrol ter ostalim iz obeh podjetij, ki so s svojim strokovnim znanjem in izkušnjami pomagali pri uresničitvi zadanih ciljev.

Na koncu pa hvala staršema za omogočen študij in Lari za vso moralno podporo.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VI
KAZALO PREGLEDNIC	X
KAZALO SLIK	XI
KAZALO GRAFIKONOV	XIII
1 UVOD	1
2 HIDRAVLIČNO MODELIRANJE CEVOVODOV	2
2.1 Teorija toka v tlačnem cevovodu	2
2.1.1 Kontinuitetna enačba	2
2.1.2 Zakon o ohranitvi energije	3
2.1.3 Energijske izgube	5
2.1.3.1 Linijske izgube	6
2.1.3.2 Lokalne izgube	9
2.1.3.3 Karakteristika cevovoda	10
2.1.4 Dodaten izvor energije v sistemu - črpalka	11
2.1.4.1 Točka obratovanja črpalke	12
2.2 Računalniško modeliranje cevovodnih sistemov	13
2.2.1 Sestavni deli računalniškega modela cevovodnega sistema	13
2.2.1.1 Spoj cevi, vozlišče	15
2.2.1.2 Cevi	17
2.2.1.3 Vir	19
2.2.1.4 Vodohran	20
2.2.1.5 Črpalke	22
2.2.1.6 Ventili	24
2.2.1.7 Tipi simulacij	28
2.2.2 Modeliranje iztoka iz sistema v programu Aquis	28
3 IZPIRANJE CEVOVODOV	31
3.1 Motnost vode	31
3.2 Mehanizmi za pojav motnosti vode	31
3.3 Izpiranje cevovodov in druge metode reševanj težav povezanih z motnostjo vode	32
3.3.1 Izpiranje cevovodov z vodo	33
3.3.1.1 Konvencionalno izpiranje	34
3.3.1.2 Neprekinjeno puščanje vode	35
3.3.1.3 Enosmerno izpiranje - metoda UDF	35
3.3.2 Izpiranje cevovodov z mešanico vode in zraka	36
3.3.3 Pigging	36
3.3.4 Metoda RPM	37
3.3.5 Samočistilna omrežja	38

3.4	Mejne vrednosti parametrov pri izpiranju cevovodov z vodo	39
3.4.1	Poraba vode pri izpiranju cevovodov z vodo	39
3.4.2	Hitrost toka oz. generirana strižna napetost.....	39
3.4.2.1	Hitrost toka	39
3.4.2.2	Strižna napetost.....	39
3.5	Načrtovanje programa enosmernega izpiranja	40
3.5.1	Možnost aplikacije metode	40
3.5.2	Načrtovanje programa	41
3.5.2.1	Priprava in pregled potrebnih podatkov	41
3.5.2.2	Snovanje načrta enosmernega izpiranja.....	43
3.5.3	Izvajanje programa enosmernega izpiranja	45
3.5.4	Ocena uspešnosti programa	46
3.6	Modeliranje izpiranja cevovodov	46
4	VODOVODNI SISTEM ŠMARTNO OB PAKI.....	47
4.1	Območje oskrbe.....	47
4.2	Opis vodovodnega sistema	48
4.2.1	Delovanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki.....	48
4.2.2	Lastnosti vodnih virov, vodohranov in črpališč	49
4.2.2.1	Vodni viri.....	49
4.2.2.2	Vodohrani	52
4.2.2.3	Črpališča.....	52
4.2.3	Lastnosti cevovodov	53
4.2.4	Poraba vode	56
4.3	Opis planiranega omrežja	57
4.3.1	Lastnosti novozgrajenih elementov	58
4.3.2	Delovanje sistema.....	58
4.3.3	Lastnosti vodnih virov	59
4.4	Opis problematike	59
4.5	Izpiranje cevovodov na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki	61
4.5.1	Plansko izpiranje cevovodov	61
4.5.2	Izredno izpiranje	62
5	NAČRTOVANJE PROGRAMA IZPIRANJA CEVOVODOV ZA VODOVODNI SISTEM ŠMARTNO OB PAKI.....	63
5.1	Metodologija in obseg dela.....	63
5.2	Priprava hidravličnega modela	63
5.2.1	Razporejanje porabe po sistemu	64
5.2.2	Zmanjšanje obsega osnovnega hidravličnega modela	65
5.2.3	Urejanje topologije	65
5.2.4	Ukinitev obstoječih vodnih virov in vzpostavitev kvazi povezave s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj	66
5.2.5	Določitev robnih pogojev delovanja sistema.....	66
5.2.6	Vstavljanje armatur, pomembnih za izvajanje metode enosmernega izpiranja.....	67
5.2.7	Karakteristike ustvarjenega modela.....	67

5.3	Načrtovanje učinkovitega programa izpiranja	68
5.3.1	Dejavnosti pred načrtovanjem programa izpiranja.....	68
5.3.2	Načrtovanje programa izpiranja	69
5.3.2.1	Priprava in pregled podatkov za vodovodni sistem Šmartno ob Paki	69
5.3.2.2	Načrt enosmernega izpiranja za obravnavano območje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki	71
5.3.3	Navodila za izvajalce izpiranj	82
6	ZAKLJUČEK.....	83
VIRI.....		84

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Hrapavost cevi ε za različne materiale (Walski in sod., 2003: str. 33).....	7
Preglednica 2: Hazen-Williamsov koeficient C za različne materiale (Larock in sod., 2000: str. 11)....	9
Preglednica 3: Vrednosti koeficienta K za nekatere elemente na cevovodu (Walski in sod., 2003: str. 41).....	9
Preglednica 4: Elementi cevovodnega sistema v hidravličnem modelu.....	13
Preglednica 5: Vhodni parametri za objekt vozlišče v programu Aquis	15
Preglednica 6: Rezultati modela za objekt vozlišče v programu Aquis	16
Preglednica 7: Vhodni parametri cevi v programu Aquis	18
Preglednica 8: Rezultati modela za cev v programu Aquis.....	18
Preglednica 9: Vhodni parametri za vir v programu Aquis.....	19
Preglednica 10: Rezultati modela za vir v programu Aquis	20
Preglednica 11: Vhodni parametri za vodohran v programu Aquis	21
Preglednica 12: Rezultati modela za vodohran v programu Aquis	21
Preglednica 13: Vhodni parametri za črpalko v programu Aquis	23
Preglednica 14: Rezultati modela za črpalko v programu Aquis	24
Preglednica 15: Vhodni parametri ventilov v programu Aquis.....	27
Preglednica 16: Rezultat modela za ventil v programu Aquis	28
Preglednica 17: Vrednost izmerjenega pretočnega števila za nadzemni hidrant DN 80 (IMP Armature, 2013b).....	30
Preglednica 18: Splošne lastnosti zajetij	50
Preglednica 19: Osnovne lastnosti vodohranov.....	52
Preglednica 20: Osnovne karakteristike črpališč.....	53
Preglednica 21: Podatki o srednji dnevni porabi za različne porabnike vode vodovodnega sistema Šmartno ob Paki za leto 2013	56
Preglednica 22: Osnovni podatki izpiranja za prvi odsek	72
Preglednica 23: Osnovni podatki izpiranja za drugi odsek	74
Preglednica 24: Osnovni podatki izpiranja za tretji odsek	75
Preglednica 25: Osnovni podatki izpiranja za tretji odsek pri spremenjenem kriteriju izpiranja	76
Preglednica 26: Osnovni podatki izpiranja za četrti odsek.....	77
Preglednica 27: Osnovni podatki izpiranja za peti odsek.....	78
Preglednica 28: Osnovni podatki izpiranja za šesti odsek.....	79
Preglednica 29: Osnovni podatki izpiranja za sedmi odsek	80
Preglednica 30: Povzetek izpiranja cone 1	81
Preglednica 31: Povzetek izpiranj con 2, 3 in 4	82

KAZALO SLIK

Slika 1: Grafična predstavitev poenostavljene kontinuitetne enačbe (http://www.itacanet.org/fluid-mechanics-for-gravity-flow-water-systems-and-pumps/part-3-derivation-of-the-continuity-equation-3/ [15.3.2013]).....	3
Slika 2: Princip ohranjanja mase (Walski in sod., 2003: str. 50)	3
Slika 3: Tlačna in energijska črta	4
Slika 4: Grafični prikaz zakona o ohranitvi energije za primer odseka cevi.....	4
Slika 5: Zakon o ohranitvi energije v cevovodnem omrežju.....	5
Slika 6: Relativna hrapavost cevi.....	7
Slika 7: Moodyjev diagram (Larock in sod., 2000: str. 10)	8
Slika 8: Krivulja karakteristik cevovoda.....	10
Slika 9: Črpalna krivulja	11
Slika 10: Točka obratovanja in izkoristek črpalke	12
Slika 11: Virtualna linija (Povzeto po Macke, 2001: str. 8).....	14
Slika 12: Potek energijske črte za primer črpalke in ventila v programu Aquis	14
Slika 13: Vozlišče	16
Slika 14: Okenca in meniji za objekt vozlišče v programu Aquis	16
Slika 15: Cev	18
Slika 16: Okenca in meniji za cevi v programu Aquis.....	19
Slika 17: Okenca in meniji za vir v programu Aquis	20
Slika 18: Okno za urejanje krivulje napolnjenosti vodohrana v programu Aquis.....	21
Slika 19: Vodohran oz. rezervoar.....	22
Slika 20: Črpalka.....	22
Slika 21: Okence za urejanje kontrolnih parametrov za črpalke v programu Aquis.....	22
Slika 22: Ventil	24
Slika 23: Okence za urejanje vrste nadzora nad delovanjem ventila v programu Aquis	25
Slika 24: Ventil za reduciranje tlakov (PRV).....	25
Slika 25: Ventil za ohranjanje tlakov (PSV)	26
Slika 26: Ventil za znižanje tlakov (PBV)	26
Slika 27: Pretočno število K_v (UL FS, 2011)	29
Slika 28: Modeliranje iztoka iz odprtine pri izpiranju cevovodov	30
Slika 29: Koncept mehanizma za pojav motnosti vode (Vreeburg in Boxall, 2007: str. 523).....	32
Slika 30: Frekvenca čiščenja omrežja (povzeto po Vreeburg, 2007: str. 89).....	33
Slika 31: Hitrosti in pretoki po ceveh pri konvencionalnem izpiranju.....	34
Slika 32: Hitrosti in pretoki po ceveh pri enosmernem izpiranju.....	35
Slika 33: Princip čiščenja cevovodov z uporabo mešanice vode in zraka (povzeto po Kitney in sod., 2001: str. 51)	36
Slika 34: Prikaz izvajanja metode čiščenja pigging (http://www.vecom-group.com/en/services/on-site-services/pipe-pigging [22.2.2014]; http://www.sfglobal.com/?p=426 [22.2.2014])	37
Slika 35: Tipičen primer obnašanja motnosti pri preizkusu RPM (povzeto po Vreeburg in Boxall, 2007: str. 523)	38
Slika 36: Pregled objavljenih hitrosti in strižnih napetosti za učinkovito izpiranje gladkih plastičnih cevi (Husband in Boxall, 2010: str. 93)	40
Slika 37: Primer razdelitve vodovodnega sistema na cone (Langston, 2013).....	43
Slika 38: Primer grafične priloge iz navodil za enosmerno izpiranje (Langston, 2013).....	45
Slika 39: Občina Šmartno ob Paki (levo) in vodovodni sistem Šmartno ob Paki (desno) (http://www.geoprostor.net/ [3.3.2014] in KP Velenje, 2014).....	48

Slika 40: Vodovarstveno območje vodnih virov Rečica in Podgora (http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/ [18.3.2014]).....	51
Slika 41: Vodovarstveno območje vodnega vira Šmartno ob Paki (http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/ [18.3.2014]).....	51
Slika 42: Vzorec porabe za kategorijo porabnika "individualna hiša" in "večstanovanjski objekt" (Eltec Petrol, 2014).....	57
Slika 43: Območje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki oskrbovano iz dveh smeri	60
Slika 44: Hidravlični model vseh cevovodov v upravljanju KP Velenje (Eltec Petrol, 2014).....	64
Slika 45: Razporeditev porabe v programu Aquis.....	64
Slika 46: Okno za ustvarjanje modela v programu Aquis	65
Slika 47: Model planiranega stanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki	68
Slika 48: Definiranje čistega zaledja (rdeča cev)	69
Slika 49: Razdelitev območja izpiranja na cone.....	71
Slika 50: Prvi odsek izpiranja v coni 1	73
Slika 51: Smer toka vode pri izpiranju prvega odseka v coni 1	73
Slika 52: Drugi odsek izpiranja v coni 1	74
Slika 53: Tretji odsek izpiranja v coni 1	75
Slika 54: Tretji odsek izpiranja v coni 1 pri spremenjenem kriteriju izpiranja	76
Slika 55: Četrty odsek izpiranja v coni 1.....	77
Slika 56: Peti odsek izpiranja v coni 1	78
Slika 57: Šesti odsek izpiranja v coni 1	79
Slika 58: Sedmi odsek izpiranja v coni 1	80
Slika 59: Povzetek izpiranja cone 1.....	81

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Delež posameznih materialov cevi v omrežju	53
Grafikon 2: Dolžina cevi iz posameznih materialov	54
Grafikon 3: Delež cevi v omrežju glede na leto vgradnje	54
Grafikon 4: Dolžina cevi v omrežju glede na leto vgradnje.....	55
Grafikon 5: Dolžina cevi v omrežju glede na funkcijo	55
Grafikon 6: Delež srednje dnevne porabe glede na kategorijo porabnika.....	56

1 UVOD

Voda je življenjskega pomena za vsa živa bitja, brez vode ni življenja. Za človeka ima voda poleg življenjskega še druge pomene. Več kot za fiziološke potrebe se vode porabi za vzdrževanje higiene, še večje količine vode pa človek porabi za industrijske in kmetijske namene.

Začetek dovajanja vode do uporabnikov po ceveh sega v 15. stoletje pr. n. št., kjer je Minojska civilizacija na otoku Kreta verjetno kot prva uporabljala sistem akvaduktov s cevnim vodom, kjer so za material cevi uporabljali glino in keramiko. Okoli 3. stoletja pr. n. št. so svoje akvadukte in cevovode začeli graditi Rimljani za oskrbo rastočih mest.

Od antičnih vodovodov do modernih časov je minilo veliko časa, bistvo vodooskrbnih sistemov pa se ni spremenilo: dovesti pitno vodo od vira do uporabnika. Se je pa občutno spremenil obseg omrežij za distribucijo vode, ki so v smislu zapletenosti izračunov fizikalnih količin znotraj omrežja postali težko obvladljivi. Prvi, ki je uspel matematično opredeliti kompleksno hidravliko cevovodnih omrežij, je bil Hardy Cross leta 1936, v šestdesetih oz. sedemdesetih letih prejšnjega stoletja pa se pojavijo prvi računalniški programi za modeliranje cevovodnih omrežij. Računalniško modeliranje cevovodnih omrežij predstavlja najnovejšo tehnologijo na področju vodooskrbe in je nepogrešljivo orodje za zanesljivo, ekonomsko upravičljivo ter varno načrtovanje in upravljanje vodovodnih sistemov tako v sedanjem času kot v prihodnosti.

V ceveh vodovodnega sistema se zaradi različnih razlogov skozi čas akumulira material, ki predstavlja tveganje za pojav motnosti vode. To tveganje je možno zmanjšati z rednim odstranjevanjem akumuliranega materiala, kar je možno doseči z izpiranjem cevovodov.

V diplomski nalogi so obravnavani pogoji in izdelan program za učinkovito izpiranje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki z uporabo hidravličnega modela obravnavanega sistema. Cilj diplomske naloge je torej ustvariti hidravlični model obravnavanega omrežja z uporabo programske opreme Aquis, nato pa načrtovati program za učinkovito izpiranje dela obravnavanega omrežja z uporabo preverjenih metod čiščenja cevovodnih omrežij.

Diplomska naloga se deli na teoretični in praktični del. V teoretičnem delu se najprej predstavijo osnovne enačbe in principi, katerih poznanje je nepogrešljivega pomena za razumevanje hidravličnih razmer v vodooskrbnih sistemih. Nato se pozornost preusmeri na programsko opremo za hidravlično modeliranje Aquis. Predstavljene so komponente hidravličnega modela, kot so interpretirane v omenjeni programski opremi. Sledi poglavje, namenjeno izpiranju cevovodov, kjer je podana teorija v zvezi s pojavom motnosti vode ter podan pregled metod za preprečevanje oz. omejevanje primerov pojava motnosti. Največ pozornosti je namenjeno metodi enosmernega izpiranja, ki je tudi osnova za izdelavo programa izpiranja za vodovodni sistem Šmartno ob Paki.

V praktičnem delu diplomske naloge se najprej posvetim opisu vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. V času nastajanja diplomske naloge so bile v teku dejavnosti, ki bodo spremenile delovanje obravnavanega sistema, zato se poglavje z opisom sistema deli na obstoječe in planirano stanje. Sledi poglavje, kjer se načrtuje program izpiranja. Najprej je opisan hidravlični model sistema, ki sem ga naredil za potrebe izpiranja sistema, nato pa se posvetim načrtovanju programa izpiranja po metodi enosmernega izpiranja. Program izpiranja je zasnovan za del vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, vendar je uporabljene smernice in ugotovitve strokovnjakov s tega področja mogoče uporabiti tudi za načrtovanje izpiranj drugih omrežij.

2 HIDRAVLIČNO MODELIRANJE CEVOVODOV

V tem poglavju si bomo pogledali lastnosti in enačbe toka v cevovodih, ki so ključne pri hidravličnem modeliranju le-tega. Opisano bo računalniško modeliranje cevovodov z uporabo programske opreme Aquis.

2.1 Teorija toka v tlačnem cevovodu

Cevovodno omrežje je sestavljeno iz več elementov, ki so medsebojno povezani. Na stanje v nekem elementu vpliva stanje v vseh njegovih sosednjih elementih. To povezavo v cevovodnih omrežjih lahko opišemo z dvema enačbama:

- kontinuitetna enačba in
- energijska enačba.

Osnovne povezave med kontinuitetno in energijsko enačbo opisujejo pretočne in tlačne razmere v vodooskrbnih sistemih pod pogojem, da predpostavimo stalni tok (Boulos in sod., 2006). Pri stalnem toku se hitrost in tlak ne spreminjata po času, temveč samo po prostoru (Steinman, 2010).

Za celovito hidravlično dimenzioniranje cevovodnih sistemov pa so pomembni še drugi principi in enačbe, ki so opisani v nadaljevanju poglavja.

2.1.1 Kontinuitetna enačba

Kontinuitetna enačba pravi, da je neto masni pretok skozi površino A enak časovni spremembi mase v volumnu V (Četina, 2010):

$$\iint_A \rho \vec{v} d\vec{A} = -\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho dV \quad (1)$$

kjer je:

- ρ gostota (kg/m^3),
- v hitrost (m/s),
- A površina prereza (m^2),
- V volumen (m^3) in
- t čas (s).

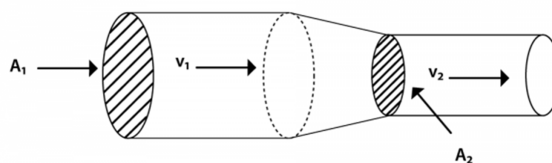
Za primer, ko imamo stalni tok (hitrost in tlak se po velikosti in smeri ne spreminjata) in nestisljivo tekočino (gostota se ne spreminja), se kontinuitetna enačba poenostavi v obliko (Larock in sod., 2000):

$$Q = \int_A v dA = A_i v_i = \text{konst.} \quad (2)$$

kjer je:

- A_i površina prereza cevi na i -tem odseku (m^2),
- v_i hitrost toka vode v i -tem odseku (m/s) in
- Q pretok vode (m^3/s).

To enačbo lahko uporabimo za enostavne cevovode z odseki z različnimi preseki cevi.



Slika 1: Grafična predstavitev poenostavljene kontinuitetne enačbe

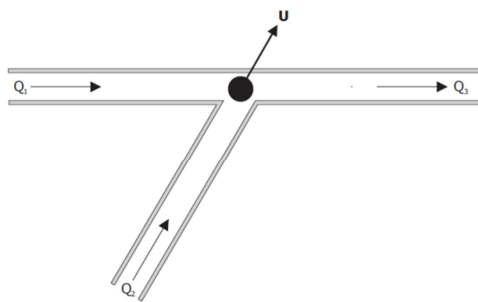
(<http://www.itacanet.org/fluid-mechanics-for-gravity-flow-water-systems-and-pumps/part-3-derivation-of-the-continuity-equation-3/> [15.3.2013])

Vendar pa to ni edini način uporabe kontinuitetne enačbe. Kontinuitetno enačbo oz. zakon o ohranjanju mase lahko, v primeru, da gre za cevovodno omrežje, zapišemo za vsako vozlišče v omrežju. V tem primeru zakon o ohranjanju mase pravi, da je prostorninski dotok v neko vozlišče enak prostorninskemu iztoku iz tega vozlišča (Walski in sod., 2003).

$$\sum_{cevi} Q_i - U = 0 \quad (3)$$

kjer je:

Q_i dotok v vozlišče po i -ti cevi (m^3/s) in
 U poraba v obravnavanem vozlišču (m^3/s).



Slika 2: Princip ohranjanja mase
(Walski in sod., 2003: str. 50)

2.1.2 Zakon o ohranitvi energije

Zakon o ohranitvi energije pravi, da je, v primeru stalnega toka, vsota vseh mehanskih energij v tekočini vzdolž tokovnice enaka na vseh točkah te tokovnice (Streeter, 1962). Iz tega principa izhaja Bernoullijeva enačba, ki se za točko na tokovnici zapiše kot:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z = konst. \quad (4)$$

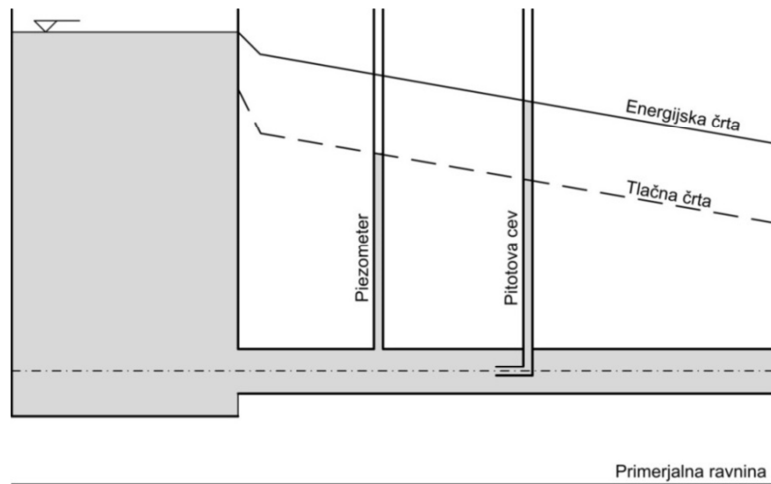
kjer je:

v hitrost toka (m/s),
 g gravitacijski pospešek (m/s^2),
 p tlak (N/m^2),
 ρ gostota tekočine (kg/m^3) in
 z višina od primerjalne ravnine do obravnavane točke (m).

Iz enačbe je razvidno, da je skupna mehanska energija v neki točki sestavljena iz treh členov, in sicer:

- $v^2/2g$ kinetična energija (m),
- $p/\rho g$ tlačna energija (m) in
- z potencialna energija (m).

Za grafičen prikaz tlakov po sistemu uporabljamo energijsko in tlačno črto. Energijska črta predstavlja vsoto višin, ki jo prispevajo potencialna, tlačna in kinetična energija vode v določeni točki sistema. Višina energijske črte v neki točki sistema je enaka višini vodnega stolpca v Pitotovi cevi v tej točki. Tlačna črta pa predstavlja vsoto višin, ki jo prispevata potencialna in tlačna energija vode v določeni točki sistema. Tej vsoti lahko rečemo tudi piezometrična višina, saj jo izmerimo s pomočjo piezometra. Tlačna črta v primeru mirujoče tekočine s prosto gladino (vodohran, jezero) sovpada z gladino vode.



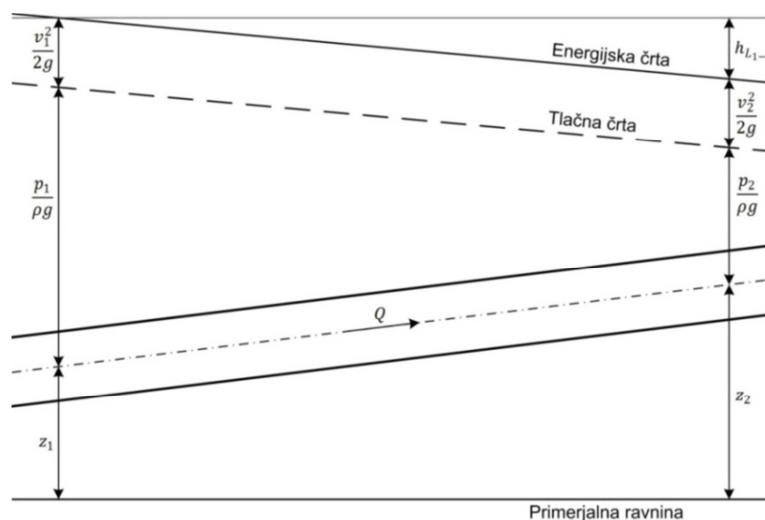
Slika 3: Tlačna in energijska črta

Zakon o ohranitvi energije oz. Bernoullijeva enačba se lahko za primer stalnega eno-dimenzijskega toka tekočine v cevi za odsek med dvema točkama cevi, kot opisuje Larock (2000), zapiše kot:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \sum h_{L_{1-2}} \quad (5)$$

kjer je:

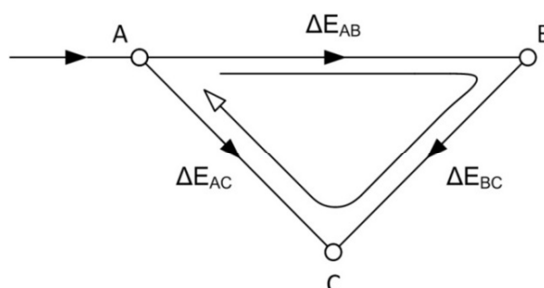
$h_{L_{1-2}}$ nepovratne izgube na obravnavanem odseku 1-2 (m).



Slika 4: Grafični prikaz zakona o ohranitvi energije za primer odseka cevi

Zakon o ohranitvi energije pravi, da mora biti razlika v energiji med dvema točkama v cevovodnem omrežju enaka ne glede na izbrano pot (Bernoulli, 1738, cit. po Walski in sod., 2003). Torej je razlika v energiji med dvema točkama v cevovodnem omrežju enaka energijskim prirastkom (črpalke) in

energijskim izgubam (linijske in lokalne) na poti med točkama (Walski in sod., 2003). Vsota energijskih izgub in prirastkov v zanki mora biti zato enaka 0.



Slika 5: Zakon o ohranitvi energije v cevovodnem omrežju

Če zapišemo pot po zaključeni zanki, dobimo:

$$\Delta E_{AB} + \Delta E_{BC} - \Delta E_{AC} = 0$$

Lahko tudi rečemo, kot to pravi Boulos (2006), da se energija ohranja med dvema poljubno izbranimi točkama. Za pot med vozliščema A in B, katera vključuje samo cevi, lahko zakon o ohranitvi energije zapišemo kot:

$$H_A - H_B = \sum_{i \in l_{pot}} h_{L,i} = \sum_{i \in l_{pot}} K_i [Q_i]^n \quad (6)$$

kjer je:

- H_A skupna energija v vozlišču A,
- H_B skupna energija v vozlišču B,
- $h_{L,i}$ tlačna izguba v cevi i ,
- K_i koeficient izgub za cev i ,
- Q_i pretok po cevi i ,
- n eksponent iz enačbe za tlačne izgube in
- l_{pot} set cevi med vozliščema A in B.

Zapis za pretok v obliki $[Q_i]$ nima drugega pomena kot tega, da nas opomni na previdnost pri dajanju predznakov pretokom (Boulos in sod., 2006).

Pri zaprti zanki (tj. zanka, ki se začne in konča v istem vozlišču) je neto izguba energije enaka 0.

$$H_A - H_B = 0 = \sum_{i \in l_{zanka}} h_{L,i} = 0 \quad (7)$$

Zakon o ohranitvi energije se lahko zapiše tudi samo za eno cev, kjer sta H_A in H_B skupna energija na začetku in koncu cevi, in sicer:

$$H_A - H_B = K_i [Q_i]^n \quad (8)$$

2.1.3 Energijske izgube

Energijske ali tlačne izgube so sestavljene iz dveh delov (Walski in sod., 2003):

- linijske izgube, ki so rezultat trenja med tekočino in ostenjem cevi,
- lokalne izgube, ki so rezultat lokalnih motenj v toku npr. hipna razširitev ipd.

Do linijskih izgub prihaja vzdolž celotne dolžine cevi, lokalne pa so osredotočene na točke, kjer prihaja do lokalnih motenj v toku. Lastnosti in velikost energijskih izgub pri gibanju tekočin so odvisne od režima toka (Steinman, 2010).

2.1.3.1 Linijske izgube

Pri gibanju tekočine skozi cev nastaja trenje med njenimi delci in med delci tekočine ter ostenjem cevi. To trenje je odvisno od upora tekočine tangencialnim silam, od hrapavosti ostenja in od viskoznosti tekočine (Steinman, 2010). Za določevanje linijskih izgub v tlačnem cevovodu je razvitih več enačb, izmed katerih bodo v nadaljevanju opisane naslednje:

- Darcy-Weissbachova enačba,
- Colebrook-Whiteova enačba in
- Hazen-Williamsova enačba.

Za računanje linijskih izgub v cevovodu se v praksi uporablja tudi Chezy-Manningova enačba, ki je empirična in velja le v območju hidravlično hrapavih cevi (Steinman, 2010).

Za večjo preglednost se lahko enačba za določevanje linijskih izgub v splošnem zapiše v eksponentni obliki. Vrednosti za koeficient linijskega upora r in eksponent n se spreminjajo glede na uporabljeno enačbo za izračun linijskih izgub.

$$h_L = rQ^n \quad (9)$$

kjer je:

- h_L linijske izgube v cevi (m),
 r koeficient linijskega upora,
 Q pretok v cevi (m³/s) in
 n eksponent.

Darcy-Weissbach

Darcy-Weissbachova enačba je izpeljana teoretično z uporabo dimenzijske analize in velja za najbolj uporabno, večstransko ter fizikalno korektno enačbo za izračun linijskih izgub v cevi za različne tekočine (Larock in sod., 2003). Enačba se glasi:

$$h_L = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = \lambda \frac{8LQ^2}{gD^5\pi^2} = r_{dw}Q^2 \quad (10)$$

kjer je:

- h_L linijske izgube v cevi (m),
 λ Darcy-Weissbachov koeficient trenja (-),
 L dolžina cevi (m),
 D premer cevi (m),
 v hitrost toka vode v cevi (m/s),
 g gravitacijski pospešek (m/s²),
 Q pretok v cevi (m³/s) in
 r_{dw} koeficient linijskega upora za Darcy-Weissbachovo enačbo.

Darcy-Weissbachov koeficient trenja λ je odvisen od:

- hitrosti tekočine,
- gostote tekočine,
- viskoznosti tekočine,
- premera cevi in
- višine hrap na ostenju cevi.

Vse zgoraj navedene količine opisujeta dva parametra: Reynoldsovo število in relativna hrapavost. Lahko rečemo, da je Darcy-Weissbachov koeficient trenja λ funkcija Reynoldsovega števila in relativne hrapavosti.

$$\lambda = f\left(Re, \frac{\varepsilon}{D}\right)$$

Hitrost, gostoto in viskoznost tekočine ter premer cevi zajamemo v Reynoldsovem številu in ga izračunamo s sledečo enačbo:

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \quad (11)$$

kjer je:

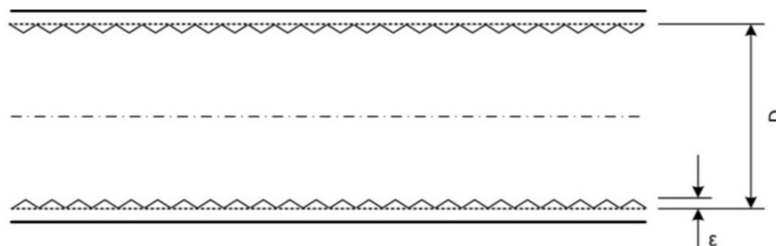
- v hitrost toka tekočine v cevi (m/s),
- D premer cevi (m),
- ρ gostota tekočine (kg/m^3),
- μ dinamični koeficient viskoznosti (Ns/m^2 oz. kg/ms) in
- ν kinematični koeficient viskoznost (m^2/s).

Razmerje med višino hrap na ostenju cevi in premera cevi nam določa relativno hrapavost:

$$\text{Relativna hrapavost} = \frac{\varepsilon}{D} \quad (12)$$

kjer je:

- ε višina hrap na ostenju cevi (m) in
- D premer cevi (m).



Slika 6: Relativna hrapavost cevi

Preglednica 1: Hrapavost cevi ε za različne materiale (Walski in sod., 2003: str. 33)

Material	Hrapavost cevi ε [mm]
Baker, medenina	0,0305 - 0,9
Beton	0,3 - 3,0
PVC	0,0015
Les	0,2 - 0,9
Lito železo	0,2 - 5,5
Jeklo	0,046 - 2,4

Colebrook-White

Colebrook-Whiteova enačba povezuje Darcy-Weissbachov koeficient trenja λ z Reynoldsovim številom in relativno hrapavostjo cevi (Walski in sod., 2003). Velja poudariti, da ta enačba ni samostojna enačba za računanje linijskih izgub, ampak je njen namen določitev koeficienta trenja λ :

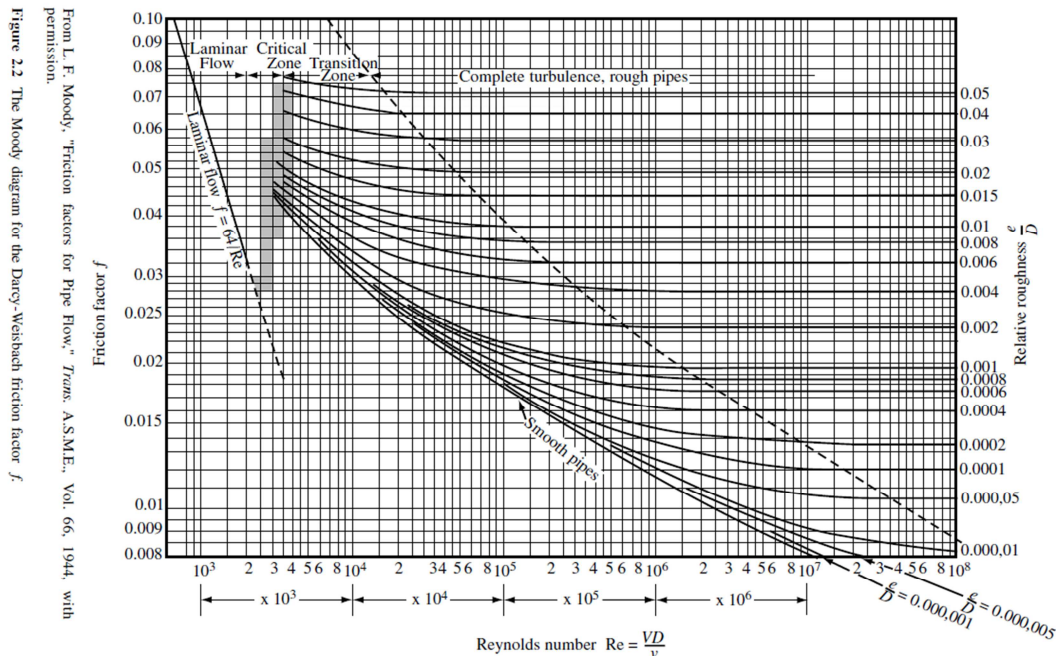
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -4 \log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{1,413}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \quad (13)$$

Koeficient trenja λ , ki je neznanka, se v Colebrook-Whiteovi enačbi pojavlja na levi in desni strani enačaja, kar pomeni, da se enačba rešuje iterativno. Enačba se rešuje tako dolgo, dokler vrednosti λ nista na obeh straneh enačbe enaki.

Enačba za izračun koeficienta trenja λ v laminarnem režimu toka je enostavnejša in se glasi:

$$\lambda = 64/Re \quad (14)$$

Iz enačbe je Lewis F. Moody razvil grafično rešitev za Darcy-Weissbachov koeficient trenja λ , ki jo poznamo v obliki Moodyjevega diagrama (Steinman, 2010). Iz Moodyjevega diagrama vidimo, da je pri laminarnem režimu toka, pri Reynoldsovih številih manjših od 2300, koeficient trenja λ linearna funkcija Reynoldsovega števila λ in ni odvisen od relativne hrapavosti, medtem ko je v turbulentnem režimu, pri visokih vrednostih relativne hrapavosti in Reynoldsovega števila, koeficient trenja odvisen le od relativne hrapavosti (Walski in sod., 2003).



Slika 7: Moodyjev diagram
(Larock in sod., 2000: str. 10)

Hazen-Williams

Hazen-Williamsova enačba za določevanje linijskih izgub je izpeljana empirično in je v smislu obsega uporabnosti v primerjavi z Darcy-Weissbachovo enačbo bolj omejena. Hazen-Williamsova enačba je uporabna samo v turbulentnem režimu toka vode (Larock in sod., 2000) in se zapiše kot:

$$h_L = \frac{10,67L}{C^{1,852}D^{4,87}} Q^{1,852} = r_{hw} Q^{1,852} \quad (15)$$

kjer je:

- h_L linijske izgube v cevi (m),
- L dolžina cevi (m),
- C Hazen-Williamsov koeficient C ,
- D premer cevi (m),
- Q pretok v cevi (m^3/s) in
- r_{hw} koeficient linijskega upora za Hazen-Williamsovo enačbo.

Hazen-Williamsov koeficient C predstavlja sposobnost prevajanja vode skozi cev. Višje vrednosti koeficienta C predstavljajo gladke cevi, medtem ko nižje vrednosti koeficienta C predstavljajo cevi z večjo hrapavostjo (Walski in sod., 2003).

Preglednica 2: Hazen-Williamsov koeficient C za različne materiale (Larock in sod., 2000: str. 11)

Material	Koeficient C
PVC	150
Lito železo	novo 130 staro 100 močno korodirano 80
Nodularna litina	140
Opeka	100
Beton	120
Les	120

2.1.3.2 Lokalne izgube

Lokalne izgube so povzročene s strani spremembe smeri tokovnic, ki jo povzročijo motnje v toku (Steinman, 2010). Spremembe tokovne slike se pojavijo pri toku skozi razno opremo (ventili, zožitve ...) na cevovodu, skozi zavoje in nasploh pri vsaki motnji, ki se pojavi znotraj cevovoda. Enačba, s katero določimo lokalne izgube, je sledeča:

$$h_m = K \frac{v^2}{2g} = K \frac{8Q^2}{\pi^2 D^4 g} = mQ^2 \quad (16)$$

kjer je:

h_m	lokalne izgube (m),
K	koeficient lokalnih izgub (-),
v	hitrost toka vode (m/s),
g	gravitacijski pospešek (m/s ²),
Q	pretok v cevi (m ³ /s),
D	premer cevi (m) in
m	koeficient lokalnih izgub osnovan na hitrosti toka (-).

Preglednica 3: Vrednosti koeficienta K za nekatere elemente na cevovodu (Walski in sod., 2003: str. 41)

Element	Koeficient lokalnih izgub K [/]
Vhod v cev	ostrorobi 0,50 zaokrožen 0,12 – 0,25 zvonast 0,03 – 0,05
Zožitev - nenadna	$D_2/D_1 = 0,80$ 0,18 $D_2/D_1 = 0,50$ 0,37 $D_2/D_1 = 0,20$ 0,49
Zožitev - konusna	$D_2/D_1 = 0,80$ 0,05 $D_2/D_1 = 0,50$ 0,07 $D_2/D_1 = 0,20$ 0,08
Razširitev - nenadna	$D_2/D_1 = 0,80$ 0,16 $D_2/D_1 = 0,50$ 0,57 $D_2/D_1 = 0,20$ 0,92
Razširitev - konusna	$D_2/D_1 = 0,80$ 0,03 $D_2/D_1 = 0,50$ 0,08 $D_2/D_1 = 0,20$ 0,13

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 3

Zasun	odprt	0,39
	3/4 odprt	1,10
	1/2 odprt	4,8
	1/4 odprt	27
Ventil	odprt	10
90° gladko zakrivljeno koleno	Radij krivine/D = 4	0,16 – 0,18
	Radij krivine/D = 2	0,19 – 0,25
	Radij krivine/D = 1	0,35 – 0,40
Kontrolni ventil	Običajen	4,0

»V cevovodnih omrežjih za distribucijo vode so lokalne izgube precej manjše od linijskih, zaradi česar se lokalne izgube pri modeliranju pogosto zanemarijo. Obstajajo pa primeri, v katerih lokalne izgube ne moremo zanemariti, saj te v primerjavi z linijskimi niso več tako majhne. Primeri za to so npr. na pol odprt ventil ali lokacije z več opreme na enem mestu in višjimi hitrostmi toka« (Walski in sod., 2003: str. 40).

2.1.3.3 Karakteristika cevovoda

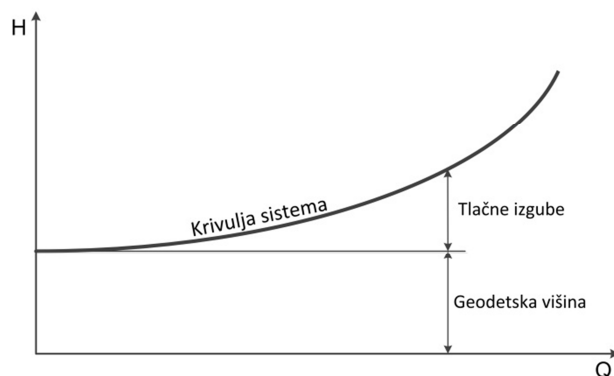
Krivulja karakteristik cevovoda oz. krivulja sistema je krivulja, ki nam kaže, kako se v posamezni cevi spreminjajo tlačne izgube v odvisnosti od pretoka skozi cev. Krivulja podaja potrebno energijo za pretok določene količine vode skozi cevovod. Za izbran odsek cevi se krivulja sistema zapiše z enačbo:

$$H = h_{geod} + \sum rQ^n + \sum mQ^2 \quad (17)$$

kjer je:

H	tlak (m),
h_{geod}	geodetska (statična) višina (m),
r	koeficient linijskega upora,
n	eksponent,
m	koeficient lokalnih izgub in
Q	pretok (m^3/s).

Za odsek cevi se vplivi linijskih in lokalnih izgub seštejejo. Ti vplivi se z večanjem pretoka skozi cevovod povečujejo. Geodetska oz. statična višina predstavlja razliko v višini med vtokom in iztokom iz cevi. Eksponent n je, tako kot koeficient linijskega upora in koeficient lokalnih izgub (glej poglavji 2.1.3.1 in 2.1.3.2), odvisen od uporabljene enačbe za izračun linijskih izgub. Če je uporabljena Darcy-Weissbachova enačba, je eksponent enak 2, za Hazen-Williamsovo enačbo je ta enak 1,875.



Slika 8: Krivulja karakteristik cevovoda

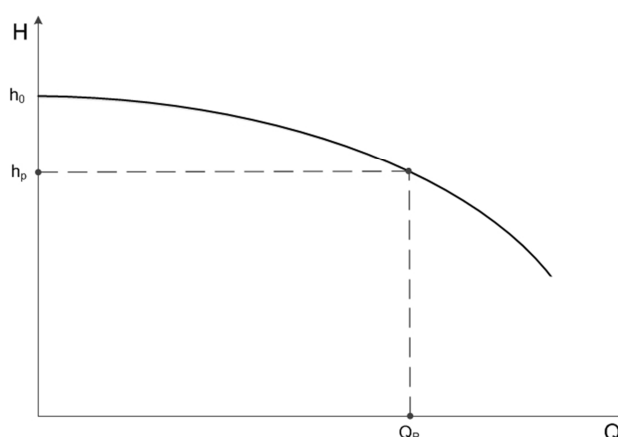
Krivulja sistema ni fiksna, saj se gladina vode in poraba v sistemu s časom nenehno spreminja (Walski in sod., 2003). S spreminjanjem gladine vode se spreminja statična višina, s spreminjanjem porabe se spreminjajo tlaki v sistemu, kar spremeni obliko krivulje.

2.1.4 Dodaten izvor energije v sistemu - črpalka

Na eni strani ima tok vode v tlačnem cevovodu potencialno, tlačno in kinetično energijo, na drugi strani pa se pri toku vode po cevovodu pojavljajo energijske izgube. Seštevek energij in izgub le-te ponazorimo z energijsko črto.

V primeru, da imamo za dosego neke točke v cevovodu na razpolago premalo energije (energijska črta ne doseže zelene točke v cevovodu), moramo energijo v cevovod dodati. Dvig energijske črte v sistemu dosežemo s črpalkami, dodana energija se imenuje črpalna višina. V cevovodnih sistemih za distribucijo vode se najpogosteje uporabljajo centrifugalne črpalke (Walski in sod., 2003), katerih delovanje je opisano v nadaljevanju.

Delovanje oz. karakteristiko črpalke opišemo s pomočjo krivulje, ki opisuje povezavo med tlakom, ki ga črpalka prispeva in med pretokom skozi njo. Ta povezava je nelinearna: večji kot je pretok skozi črpalko, manjšo energijo je črpalka sposobna dodati.



Slika 9: Črpalna krivulja

V hidravlične modele vnesemo krivuljo črpalke z matematično funkcijo. Nekateri modeli prilagodijo polinomske krivulje k izbranim podatkovnim točkam, drugi pa krivuljo črpalke opišejo z naslednjo enačbo (Walski in sod., 2003):

$$h_p = h_0 - cQ_p^m \quad (18)$$

kjer je:

- | | |
|--------|--|
| h_p | črpalna višina (m), |
| h_0 | črpalna višina pri ničelnem pretoku (m), |
| Q_p | pretok skozi črpalko (m^3/s) in |
| c, m | koeficienta, ki opisujeta obliko črpalne krivulje. |

Črpalna krivulja centrifugalne črpalke se pri danih vrtljajih oz. hitrosti delovanja in pri danem premeru lopatic turbine ne spreminja. Se pa lahko črpalna krivulja določi za poljubne vrtljaje in premere lopatic turbine z uporabo razmerij med pretoki (Q_p) in tlaki (h_p) pri različnih hitrostih (n) (Rossman, 2000):

$$Q_{P1}/Q_{P2} = n_1/n_2 \quad (19)$$

$$h_{P1}/h_{P2} = (n_1/n_2)^2 \quad (20)$$

kjer je:

Q_P pretok skozi črpalko pri določeni hitrosti delovanja črpalke (m^3/s),

n hitrost delovanja črpalke (1/min) in

h_p črpalna višina pri določeni hitrosti delovanja črpalke (m).

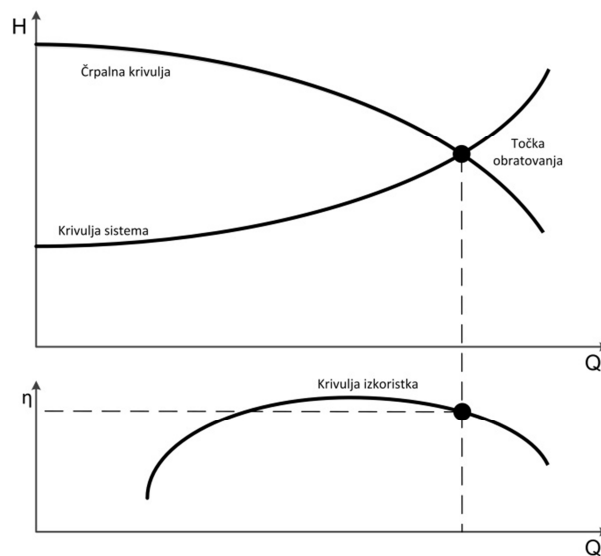
Ko enačbi (19) in (20) vstavimo v enačbo, ki opisuje krivuljo črpalke (18), dobimo splošno enačbo za prilagajanje črpalnih krivulj glede na hitrost delovanja črpalke:

$$h_{P2} = n^2 h_0 - c n^{2-m} Q_{P2}^m \quad (21)$$

$$n = n_2/n_1 \quad (22)$$

2.1.4.1 Točka obratovanja črpalke

Točka obratovanja črpalke je točka, v kateri se sekata karakteristika cevovoda in karakteristika črpalke. V isti koordinatni sistem zrišemo krivuljo, ki ponazarja izkoristek črpalke v odvisnosti od pretoka ter tako preverimo izkoristek delovanja črpalke v točki obratovanja.



Slika 10: Točka obratovanja in izkoristek črpalke

2.2 Računalniško modeliranje cevovodnih sistemov

Hidravlični model je matematična predstavitev fizičnega cevovodnega sistema (Walski in sod., 2003). Z njimi lahko poustvarjamo delovanje obstoječega ali predlaganega sistema in tako ugotovljamo tlačne in pretočne razmere znotraj sistema. S hidravličnim modelom lahko za predlagan cevovodni sistem preverimo, če zadostuje zahtevam, še preden je ta zgrajen. Hidravlične modele se lahko uporablja še za vrsto drugih namenov.

Uporabimo jih lahko za dolgoročno načrtovanje cevovodnega sistema, z njimi lahko raziskujemo kakovost pitne vode znotraj cevovodnega sistema, preverimo razmere v primeru požara, preučimo smotrnost širitve obstoječega cevovodnega sistema do novih porabnikov. Uporabni so tudi za izboljševanje učinkovitosti sistema ter za nadzor nad izgubami. Torej predstavljajo pomembno orodje za vsakega upravljavca vodovodov, »saj z njimi simuliramo delovanje vodovodnega sistema in preverjamo različne ukrepe, ki jih želimo uporabiti v bodoče« (Kozelj, 2013).

2.2.1 Sestavni deli računalniškega modela cevovodnega sistema

Cevovodni sistem je v hidravličnem modelu v osnovi sestavljen iz vozlišč, ki so točkovni elementi, in iz povezav, ki so linijski elementi. V hidravličnem modelu so med seboj povezani in tako tvorijo model cevovodnega sistema.

Elementi v modelu, ki jih predstavimo kot vozlišča:

- spoj cevi, vozlišče,
- rezervoar,
- vodohran,
- črpalka in
- kontrolni ventil.

Elementi v modelu, ki jih predstavimo kot povezave:

- cevi, ki povezujejo vozlišča,
- črpalka in
- kontrolni ventil.

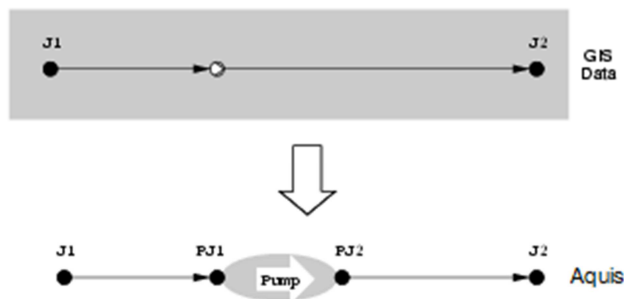
Črpalke in kontrolne ventile lahko v hidravličnih modelih cevovodnih omrežij predstavimo ali kot vozlišča ali kot povezave (odvisno od vrste matematične formulacije modela). Vsak od naštetih elementov ima v hidravličnem modelu svoj osnovni namen, ki je prikazan v preglednici 4.

Preglednica 4: Elementi cevovodnega sistema v hidravličnem modelu

Element	Tip	Osnovni namen v modeliranju
Spoj cevi, vozlišče	Vozlišče	Točka, kjer se stikajo cevi ter kjer se voda odvzema in/ali dodaja sistemu.
Rezervoar	Vozlišče	Vir vode, iz katerega se oskrbuje sistem.
Vodohran	Vozlišče	Hrani višek vode v sistemu, da je na voljo v času povečane porabe.
Cevi	Povezava	Po njih voda potuje od vozlišča do vozlišča.
Črpalka	Vozlišče ali povezava	Dvigne hidravlično črto z namenom, da se premagajo razlike v višini in izgube v cevovodu.
Kontrolni ventil	Vozlišče ali povezava	Nadzoruje pretok ali tlak v sistemu glede na določen kriterij.

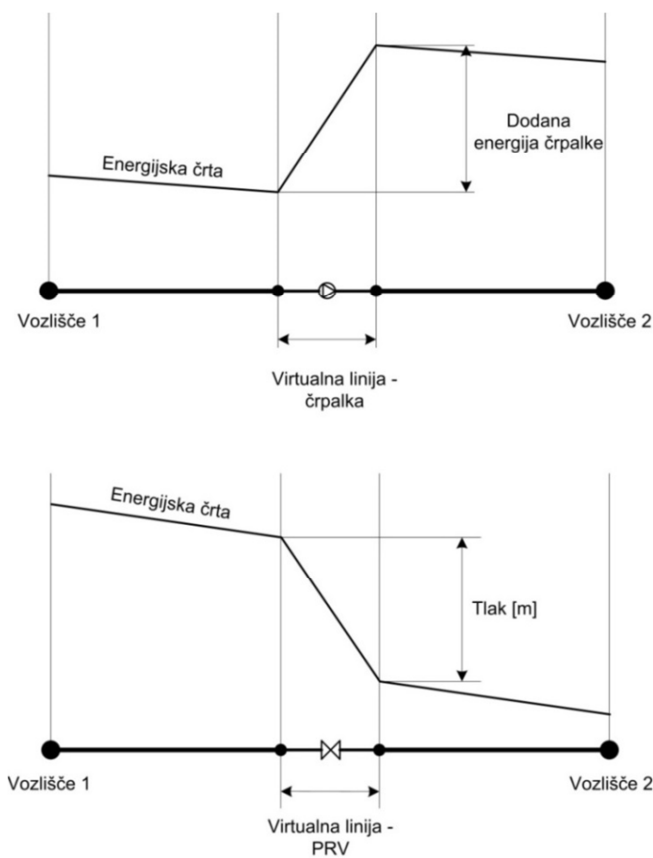
V nadaljevanju bo opisan program za hidravlično modeliranje cevovodov Aquis. Aquis je programska oprema, ki nam omogoča hidravlične izračune in izračune kvalitete vode znotraj cevovodnega sistema.

V programu Aquis so črpalke in ventili predstavljeni kot povezave oz. virtualne linije, kljub temu da so v GIS podatkih predstavljeni kot točkovni elementi, kar je iz vidika hidravličnega modeliranja smiselno, saj se tako definira smer delovanja črpalk in ventilov, medtem ko nam točkovni element te informacije ne nudi (Macke, 2001).



Slika 11: Virtualna linija
(Povzeto po Macke, 2001: str. 8)

Spodnji dve sliki prikazujeta potek energijske črte v programu Aquis za primer črpalke in ventila za zmanjšanje tlakov. Ker so v programu Aquis črpalke in kontrolni ventili predstavljeni kot povezave oz. virtualne linije, se sprememba višine energijske črte ne zgodi v točki, ampak se ta spremeni enakomerno po dolžini virtualne linije.



Slika 12: Potek energijske črte za primer črpalke in ventila v programu Aquis

V naslednjih podpoglavjih bodo opisani sestavni deli računalniškega modela cevovodnega sistema v programu Aquis. Vhodni podatki, ki se navezujejo na modeliranje kvalitete vode, ne bodo opisani, ker se ta ne bo modelirala.

2.2.1.1 Spoj cevi, vozlišče

Vozlišča oz. spoji cevi imajo v modelu dve vlogi. Predstavljajo točko, kjer se dve ali več cevi spoji skupaj. Vendar pa za vozlišča ni nujno, da predstavljajo samo križišča. Z vozliščem ponazorimo tudi konec t. i. slepe cevi. Druga vloga pa je ta, da predstavljajo lokacijo za odvzem in/ali vnos vode v sistem.

V programu Aquis se z uporabo vozlišč predstavljajo:

- porabniki,
- stičišča cevi brez porabe,
- viri in
- točke, kjer se tlak ohranja na določeni ravni.

V programu Aquis se kot robni pogoj vozlišča poda pretok ali tlak, vendar velja omeniti, da lahko za eno vozlišče definiramo samo enega od obeh robnih pogojev. Torej ali kot robni pogoj vstavimo v vozlišče pretok ali tlak. Običajno se za večino vozlišč kot robni pogoj poda pretok, tlaki so nato rezultat modela. Tako začetni pretok kot začetni tlak lahko v model podamo kot fiksno vrednost, časovno vrsto ali formulo.

Začetni pretok se v model poda v kg/s, torej gre za masni pretok. Pozitivna vrednost začetnega pretoka predstavlja porabo iz vozlišča, medtem ko negativna vrednost predstavlja vtok v vozlišče.

Program Aquis omogoča ohranjanje tlaka v vozlišču na izbrani ravni (angl. Pressure dependent demand). To pomeni, da lahko uporabnik programa določi tlak, katerega želi ohranjati, program pa potem prilagaja porabo iz vozlišča tako, da se tlak v vozlišču ne spreminja (Schneider Electric, 2013a). Opisana opcija se uporablja za zagotavljanje določenega, običajno minimalnega tlaka pri porabniku na najbolj neugodni lokaciji na vodovodnem sistemu. Ta lokacija običajno sovпада z lokacijo najvišjega porabnika na sistemu.

V preglednici 5 so prikazani parametri, s katerimi se v programu Aquis definira vozlišče.

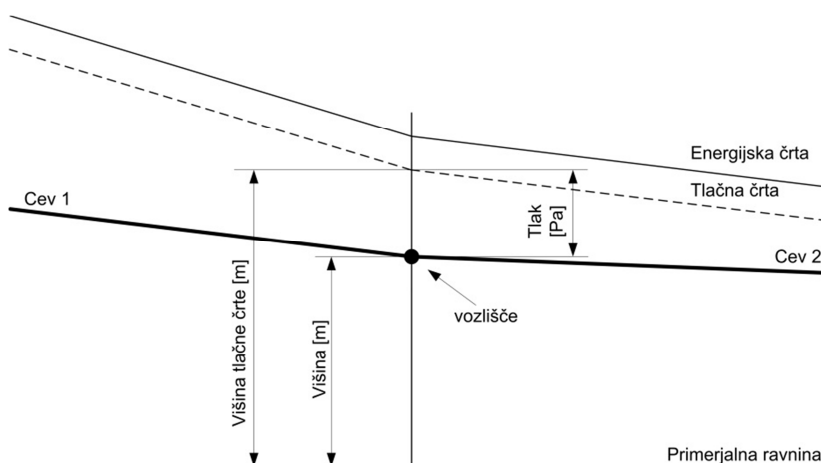
Preglednica 5: Vhodni parametri za objekt vozlišče v programu Aquis

Parameter tipa objekta	Opis	SI enote
ID vozlišča	Edinstvena oznaka, s katero definiramo vsako vozlišče.	
Višina	Višina vozlišča Z nad izbrano primerjalno ravnino.	[m]
Lokacija	Vozlišču se pripišejo X in Y koordinate, ki so generirane iz izbrane točke na delovni površini.	[m]
Začetni pretok (angl. Initial flow)	Omogoča definiranje začetnega pretoka v vozlišču.	[kg/s]
Začetni tlak (angl. Initial pressure)	Omogoča definiranje začetnega tlaka v vozlišču.	[Pa]

Parametri, ki jih model za objekt vozlišče izračuna, so podani v preglednici 6. Velja omeniti, da Aquis kot rezultat za tlak (angl. Pressure) prikazuje absolutni tlak.

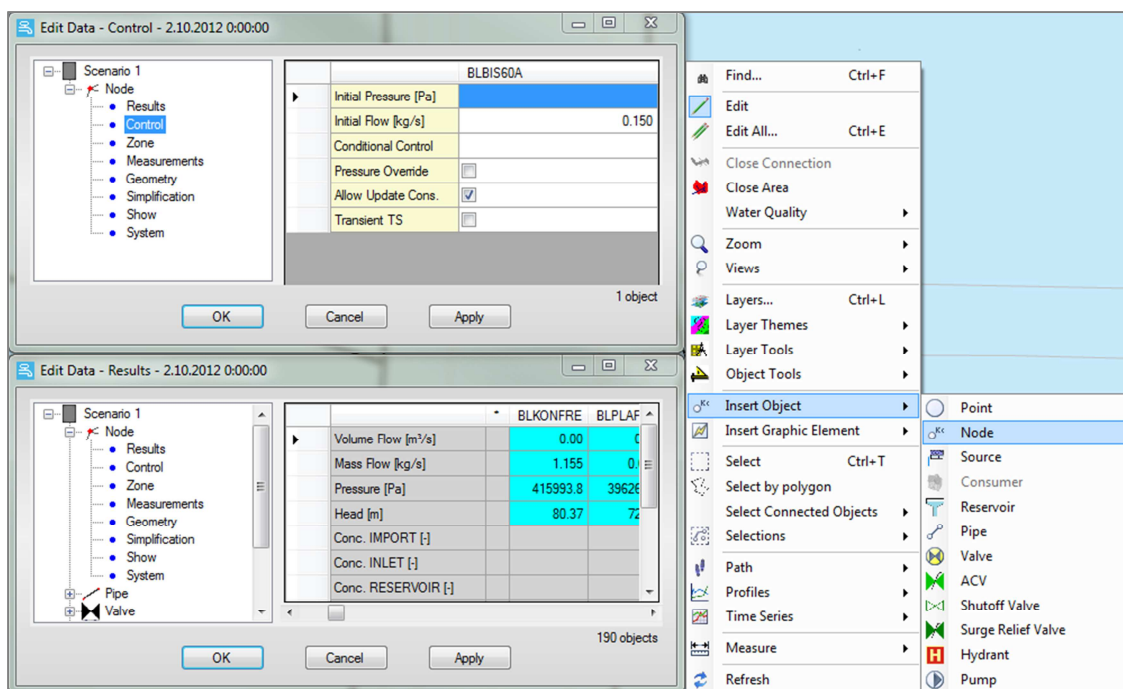
Preglednica 6: Rezultati modela za objekt vozlišče v programu Aquis

Rezultat modela za objekt	Opis	SI enote
Prostorninski pretok (angl. Volume flow)	Prostornina tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. vozlišče.	[m ³ /s]
Masni pretok (angl. Mass flow)	Masa tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. vozlišče.	[kg/s]
Tlak (angl. Pressure)	Tlak v programu Aquis predstavlja višino tlačne črte, kateri odštejemo višino vozlišča nad primerjalno ravnino.	[Pa]
Višina tlačne črte (angl. Head)	Višina tlačne črte, gledano od primerjalne ravnine.	[m]



Slika 13: Vozlišče

Vhodne podatke posameznega vozlišča se ureja v okencu, ki ga priključimo s klikom na izbrano vozlišče. Omogočeno je tudi urejanje več vozlišč hkrati. Opisana okenska in meniji so prikazani na sliki 14.



Slika 14: Okenca in meniji za objekt vozlišče v programu Aquis

2.2.1.2 Cevi

V modelu so cevi predstavljene kot povezave, po katerih potuje voda od ene do druge točke v sistemu. Tok vode poteka od točke v sistemu z višjo do točke z nižjo piezometrično višino. V modelu se od enega do drugega vozlišča cev prikaže kot ena celota, ne glede na dolžino cevi. V realnosti pa temu ni tako, saj moramo v primeru nezadostne dolžine cevi le-te med seboj spajati, da dosežemo potrebno dolžino. S tem dobimo na odseku spojenih cevi določeno število spojev, katere ne vnesemo v model, saj se v smislu modeliranja ta odsek cevi predstavi kot celota od enega do drugega vozlišča.

V programu Aquis je mogoče v model vstaviti cev potem, ko smo vstavili dva vozlišča. Vstavljeni cevi se avtomatsko pripiše edinstvena oznaka ter se, v primeru, da dolžine cevi nismo definirali, le-ta izračuna na podlagi koordinat vozlišč. Vhodni podatki za cev, ki so še potrebni za zagon simulacije, so notranji premer in hrapavost cevi ter koeficient lokalnih izgub.

V model lahko vnesemo še druge vhodne podatke, kot so npr. leto vgradnje cevi, material cevi, nazivni premer cevi itd. Ti podatki za simulacijo niso potrebni, se pa izkažejo za uporabne pri skupinskem urejanju atributov cevi, npr. hrapavosti.

Program Aquis omogoča vzpostavitev kataloga vseh tipov vgrajenih cevi v cevovodnem sistemu. V katalogu določimo tip cevi in vnesemo npr. podatke o notranjem premeru in hrapavosti. Pri vstavitvi nove cevi v model se nato samo izbere tip cevi, definirani vhodni podatki pa se za novo cev izpolnijo sami. Če je potrebno, se lahko vrednosti za posamezno cev ročno nastavijo na željeno vrednost. To se običajno uporabi za spreminjanje hrapavosti cevi, saj je le-ta lahko različna glede na starost cevi in druge dejavnike.

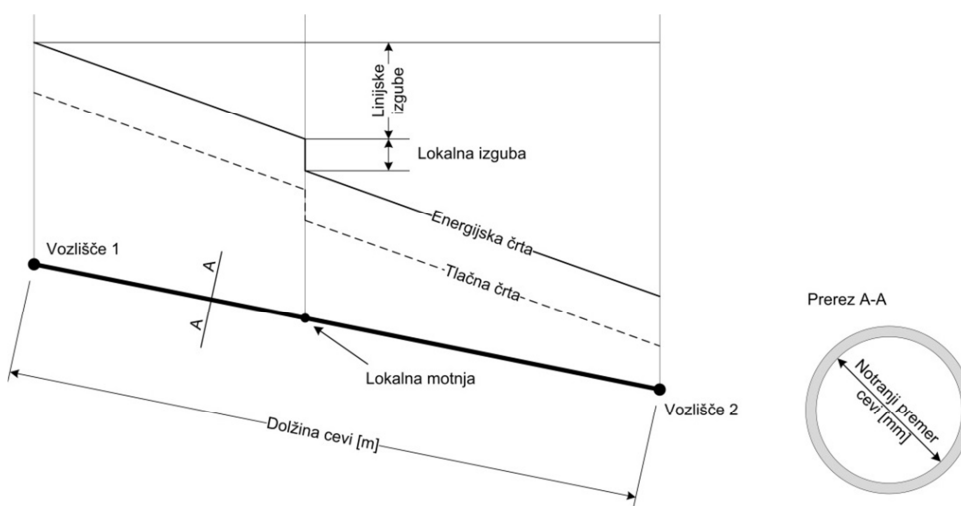
Program Aquis omogoča izbiro metode računa linijskih izgub. Lahko se odločimo za račun linijskih izgub z uporabo Darcy-Weisbachove in Colebrook-Whitove enačbe ali z uporabo Hazen-Williamsove enačbe. Lastnosti in razlike med obema metodama ter njihovi členi so opisani v poglavju 2.1.3.1. Če se odločimo, da bomo linijske izgube računali po Darcy-Weissbachovi in Colebrook-Whitovi enačbi, je vhodni podatek v model višina hrap na ostenju cevi ϵ oz. hrapavost cevi. V primeru uporabe Hazen-Williamsove enačbe pa je vhodni podatek, ki definira linijske izgube, Hazen-Williamsov koeficient C . Okvirne vrednosti, s katerimi se definirajo linijske izgube, so za oba vhodna podatka za nekatere materiale cevi navedene v poglavju 2.1.3.1. Sicer pa običajno za nove cevi te vrednosti sporoči proizvajalec le-teh.

Vhodni podatek v modelu za izračun lokalnih izgub je koeficient lokalnih izgub K . Enačba, po kateri se računajo lokalne izgube in obrazložitev njenih členov, je podana v poglavju 2.1.3.2, tako kot tudi okvirne vrednosti koeficienta K za posamezne naprave na cevovodu, ki povzročajo lokalne motnje v toku vode v cevovodu. Za posamezno cev se kot vhodni podatek v model vnese seštevek koeficientov vseh naprav, ki se nahajajo na tej cevi oz. odseku. Ker so izkušnje pokazale, da je težko ugotoviti, koliko izgub povzroči trenje in koliko lokalne motnje, se koeficient lokalnih izgub uporabi samo za cevi, kjer je znano, da bo lokalna motnja imela učinek (Schneider Electric, 2013b).

Vhodni parametri za cev v programu Aquis so prikazani v preglednici 7.

Preglednica 7: Vhodni parametri cevi v programu Aquis

Lastnost tipa objekta	Opis	SI enote
ID cevi	Edinstvena oznaka, s katero definiramo vsako cev.	
Začetno/končno vozlišče (angl. Upstream/downstream node)	ID vozlišča, v katerem se cev začne/konča.	
Dolžina (angl. Length)	Dejanska dolžina cevi.	[m]
Notranji premer (angl. Internal diameter)	Dejanski notranji premer cevi.	[m]
Hrapavost (angl. Roughness)	Uporabi se za izračun linijskih izgub z uporabo Darcy-Weissbachove enačbe. Hrapavost definira višino hrap na ostenju cevi.	[mm]
Hazen-Williamsov koeficient C	Hazen-Williamsov koeficient C predstavlja sposobnost prevajanja vode skozi cev.	[/]
Koeficient lokalnih izgub K (angl. Local pressure drop)	Koeficient, ki se uporabi za izračun lokalnih izgub.	[/]



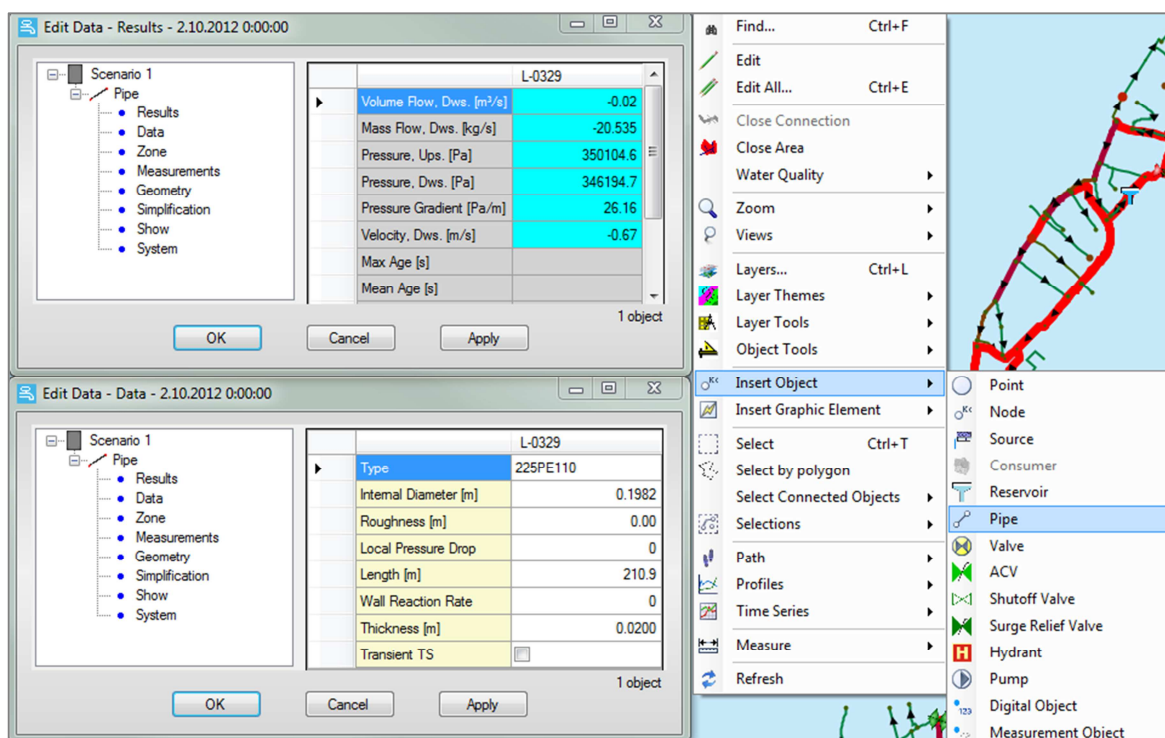
Slika 15: Cev

Po uspešno zagnani simulaciji se nam za cev prikažejo rezultati, ki so podani v preglednici 8.

Preglednica 8: Rezultati modela za cev v programu Aquis

Rezultat modela za objekt	Opis	SI enote
Prostorninski pretok, dolvodno (angl. Volume flow, downstream)	Prostornina tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. prostorninski pretok skozi dolvodni konec cevi.	[m ³ /s]
Masni pretok, dolvodno (angl. Mass flow, downstream)	Masa tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. masni pretok skozi dolvodni konec cevi.	[kg/s]
Tlak gorvodno/dolvodno (angl. Pressure up-/downstream)	Tlak v gor- oz dolvodnem koncu cevi, ki predstavlja višino tlačne črte, kateri odštejemo višino vozlišča nad primerjalno ravnino.	[Pa]
Gradient tlaka (angl. Pressure gradient)	Gradient tlaka pove, za koliko se zniža tlak na določeni razdalji.	[Pa/m]
Hitrost toka dolvodno (angl. Velocity downstream)	Hitrost toka vode na dolvodnem koncu cevi.	[m/s]

Na sliki 16 so prikazani okenca in meniji, v katerih urejamo lastnosti objekta in pregledujemo rezultate.



Slika 16: Okenca in meniji za cevi v programu Aquis

2.2.1.3 Vir

Vir (angl. Source) je v programski opremi Aquis objekt, ki predstavlja točko vtoka v cevovodni sistem. Namen tega objekta je razlikovanje med običajnim in vstopnim vozliščem (Schneider Electric, 2013a).

Objekt vir v programu Aquis predstavlja zalogo oz. vir vode. V modelu se vir definira podobno kot vozlišča, torej ali s pretokom ali s tlakom. Tudi ostali vhodni podatki za vir in njihove lastnosti so identični tistim za vozlišča. Začetni pretok za vir je v programu Aquis predstavljen z negativnim predznakom. Začetni tlak in začetni pretok se v model lahko poda kot fiksno vrednost, časovno vrsto ali formulo.

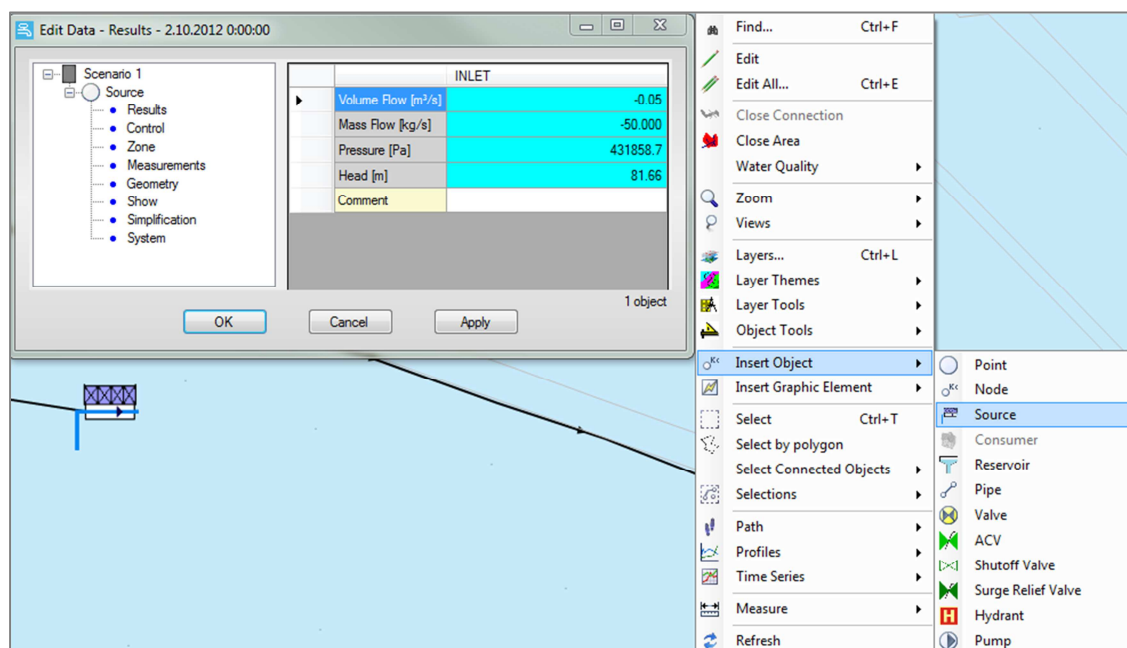
Vhodni parametri in rezultati modela za vir so prikazani v preglednicah 9 in 10.

Preglednica 9: Vhodni parametri za vir v programu Aquis

Parameter tipa objekta	Opis	SI enote
ID vira	Edinstvena oznaka, s katero definiramo vsak vir.	
Višina	Višina vira Z nad izbrano primerjalno ravnino.	[m]
Lokacija	Viru se pripišejo X in Y koordinate, ki so generirane iz izbrane točke na delovni površini.	[m]
Začetni pretok (angl. Initial flow)	Omogoča definiranje začetnega pretoka iz vira. Poda se z negativnim predznakom, ki pove, da gre za vtok v sistem.	[kg/s]
Začetni tlak (angl. Initial pressure)	Omogoča definiranje začetnega tlaka v viru.	[Pa]

Preglednica 10: Rezultati modela za vir v programu Aquis

Rezultat modela za objekt	Opis	SI enote
Prostorninski pretok (angl. Volume flow)	Prostornina tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. vir.	[m ³ /s]
Masni pretok (angl. Mass flow)	Masa tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. vir.	[kg/s]
Tlak (angl. Pressure)	Tlak v programu Aquis predstavlja višino tlačne črte, kateri odštejemo višino vozlišča nad primerjalno ravnino.	[Pa]
Višina tlačne črte (angl. Head)	Višina tlačne črte, gledano od primerjalne ravnine.	[m]

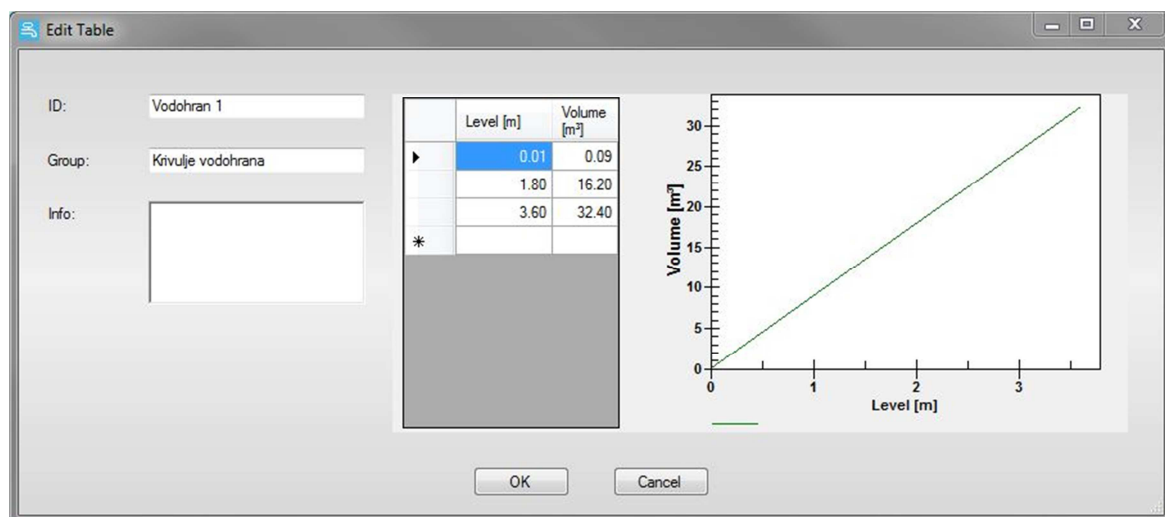


Slika 17: Okenca in meniji za vir v programu Aquis

2.2.1.4 Vodohran

Vodohran v programu Aquis predstavlja vozlišče, ki je zmožno shranjevanja vode. Zaradi zmožnosti shranjevanja vode vodohran krije dnevna nihanja porabe vode. Čez dan se namreč poraba vode spreminja, pri čemer gladina vode niha glede na to porabo. To pomeni, da se vodohran v času, ko je poraba vode večja od pritoka, prazni, polni pa se, kadar je poraba manjša od pritoka v vodohran. Vodohran ima določeno prostornino in se lahko popolnoma izprazni ali napolni, vendar se z ustreznim modeliranjem temu izognemo in poskrbimo, da vodostaj niha med določenim maksimalnim in minimalnim vodostajem. Je objekt z neznanim pretokom in znanim tlakom.

Vodohranu se v programu Aquis določijo lastnosti, in sicer se določita lokacija in višina, tj. višina dna vodohrana od primerjalne ravnine. Definirajo se najvišji in najnižji dovoljeni nivoji vode v vodohranu, ki za samo delovanje modela niso obvezni, so pa uporabni za pogojne kontrole drugih objektov v modelu kot npr. črpalke in ventili. Vodohranu lahko pripišemo tudi krivuljo napolnjenosti vodohrana, s katero se poda relacija med višino vodostaja v rezervoarju in volumnom vode v vodohranu. Za višino dna vodohrana se šteje višina priključnega vozlišča.



Slika 18: Okno za urejanje krivulje naplnenosti vodohrana v programu Aquis

Potrebno je določiti tudi začetni nivo vode, ki je obvezen podatek za uspešen zagon simulacije. Vrednost začetnega nivoja vode se lahko tudi nadzoruje s časom. To se naredi s časovno vrsto ali pa z vstavljenimi meritvami. V preglednici 11 so prikazani vhodni parametri, s katerimi v programu Aquis definiramo vodohran.

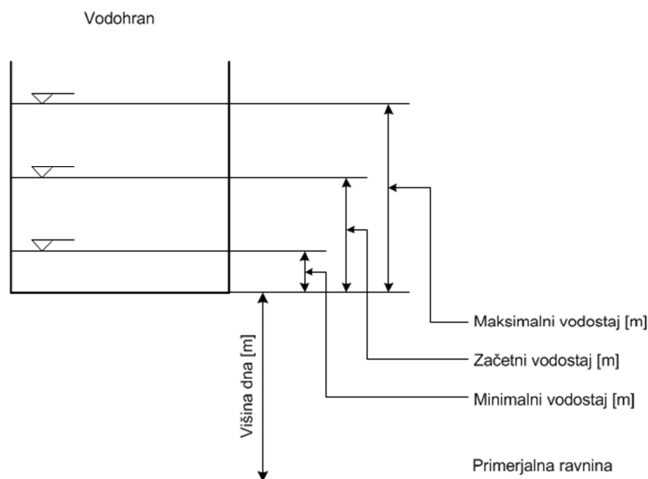
Preglednica 11: Vhodni parametri za vodohran v programu Aquis

Parameter tipa objekta	Opis	SI enote
ID vodohrana	Edinstvena oznaka, s katero definiramo vsak vodohran.	
Višina	Višina od primerjalne ravnine, na kateri se nahaja priključno vozlišče vodohrana.	[m]
Lokacija	Vodohranu se pripišejo X in Y koordinate, ki so generirane iz izbrane točke na delovni površini.	[m]
Začetni vodostaj	Višina gladine vode nad priključnim vozliščem vodohrana na začetku simulacije.	[m]
Minimalni vodostaj	Najnižja višina gladine vode nad priključnim vozliščem vodohrana do katere bo v simulaciji prišlo.	[m]
Maksimalni vodostaj	Najvišja višina gladine vode nad priključnim vozliščem vodohrana, do katere bo v simulaciji prišlo.	[m]
Krivulja naplnenosti vodohrana	Je ID oznaka krivulje, ki opisuje relacijo med naplnenostjo vodohrana in višino vodostaja.	

Preglednica 12 prikazuje rezultate modela za vodohran.

Preglednica 12: Rezultati modela za vodohran v programu Aquis

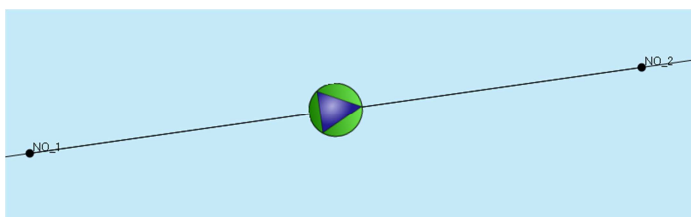
Rezultat modela za objekt	Opis	SI enote
Prostorninski pretok (angl. Actual volume flow)	Prostornina tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. iz vodohrana.	[m ³ /s]
Masni pretok (angl. Actual mass flow)	Masa tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. iz vodohrana.	[kg/s]
Tlak (angl. Actual pressure)	Višina tlačne črte v vodohranu s prištetim zračnim tlakom glede na dno vodohrana.	[Pa]
Nivo vode (angl. Level)	Nivo vode predstavlja višino tlačne črte, merjeno od dna vodohrana.	[m]



Slika 19: Vodohran oz. rezervoar

2.2.1.5 Črpalke

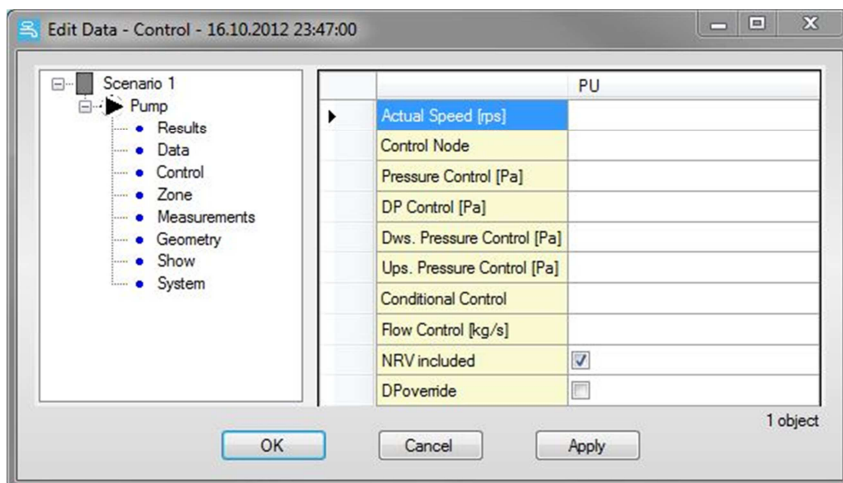
V programu Aquis so črpalke predstavljene kot virtualne linije. Njihova vloga je, da v sistem dodajo energijo in s tem dvignejo energijsko črto. Črpalka se v model vstavi med dve vozlišči, če pa jo vstavimo na cev, se ta razdeli na dva dela, vmes pa pride črpalka. V tem primeru se ustvarita tudi dve novi vozlišči, na gor- in dolvodni strani črpalke.



Slika 20: Črpalka

Delovanje črpalke v modelu definiramo s črpalno krivuljo, ki predstavlja razmerje med tlaki in pretoki, ki jih je črpalka sposobna proizvesti.

Delovanje črpalke je možno tudi nadzorovati preko različnih tipov konfiguracij. V programu Aquis parametre teh konfiguracij spreminjamo oz. določamo v okencu za urejanje črpalk pod zavihkom *kontrolne* (angl. Controls).



Slika 21: Okence za urejanje kontrolnih parametrov za črpalke v programu Aquis

Tipi konfiguracij za nadzor delovanja črpalk so (Schneider Electric, 2013a):

Nadzor delovanja na podlagi tlaka

Delovanje črpalke se nadzoruje na podlagi tlaka ali v gorvodnem ali v dolvodnem vozlišču, ki ga vnesemo v ustrezno okence za nadzor tlaka (angl. Downstream/Upstream Pressure control). V primeru, da želimo nadzorovati delovanje črpalke preko tlaka v vozlišču, ki se ne nahaja neposredno gor- ali dolvodno od črpalke, to storimo z definiranjem kontrolnega vozlišča (angl. Control node). Želeni tlak v kontrolnem vozlišču nato zapišemo v okence za nadzor tlaka (angl. Pressure control). Program Aquis omogoča, da se vrednosti tlaka, poleg fiksne vrednosti, podajo tudi kot časovna vrsta ali meritev.

Nadzor delovanja na podlagi tlačne razlike

To konfiguracijo nadzora delovanja črpalke izberemo, če poznamo črpalno višino, ki jo mora črpalka premagati. Želena vrednost v ustreznih enotah vpišemo v ustrezno okence (angl. DP Control).

Nadzor delovanja na podlagi hitrosti delovanja črpalke

To konfiguracijo uporabimo pri črpalkah z variabilno hitrostjo, saj lahko frekvenco delovanja črpalke uporabimo za nadzor delovanja črpalke. Potrebno je podati karakteristiko črpalke in hitrost črpalke (angl. Definition speed), pri kateri je bila karakteristika zasnovana in seveda tudi hitrost, pri kateri želimo, da bo črpalka delovala (angl. Actual speed).

Nadzor delovanja na podlagi nadzornih pogojev

Ta konfiguracija nam omogoča naprednejši nadzor delovanja črpalke, saj lahko definiramo časovno odvisne nadzorne pogoje oz. kontrole na podlagi dejanskih hidravličnih parametrov, ki so rezultat simulacije.

V preglednici 13 so navedeni vhodni podatki, ki v programu Aquis definirajo delovanje črpalke.

Preglednica 13: Vhodni parametri za črpalke v programu Aquis

Lastnost tipa objekta	Opis	SI enote
ID črpalke	Edinstvena oznaka, s katero definiramo vsako črpalke.	
Začetno vozlišče	ID vozlišča na sesalni strani črpalke.	
Končno vozlišče	ID vozlišča na tlačni strani črpalke.	
Črpalna krivulja (angl. Pump curve)	ID oznaka črpalne krivulje, ki predstavlja razmerje med tlaki in pretoki, ki jih je črpalka sposobna proizvesti.	
Hitrost črpalke (angl. Definition speed)	Hitrost črpalke, pri kateri je definirana črpalna krivulja.	[s ⁻¹]
Dejanska hitrost črpalke (angl. Actual speed)	Hitrost črpalke, pri kateri želimo, da črpalka obratuje.	[s ⁻¹]
Nadzor tlaka (angl. Pressure control)	Tlak v izbranem vozlišču (angl. Control node), s katerim nadzorujemo delovanje črpalke.	[Pa]

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 13

Nadzor tlaka gor/dolvodno (angl. Down/Upstream pressure control)	Tlak v gor- oz. dolvodnem vozlišču, s katerim nadzorujemo delovanje črpalke.	[Pa]
Črpalna višina (angl. DP control)	Za nadzor delovanja črpalke se vnese črpalna višina, katero mora črpalka zagotoviti.	[Pa]

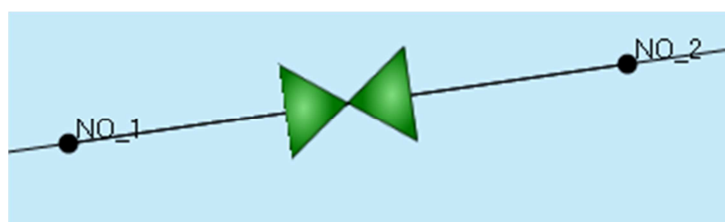
Rezultati, ki jih dobimo po uspešni simulaciji, so podani v preglednici 14.

Preglednica 14: Rezultati modela za črpalke v programu Aquis

Rezultat modela za objekt	Opis	SI enote
Prostorninski pretok (angl. Volume flow)	Prostornina tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. prostorninski pretok skozi črpalke.	[m ³ /s]
Masni pretok (angl. Mass flow)	Masa tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. masni pretok skozi črpalke.	[kg/s]
Tlak gorvodno/dolvodno (angl. Pressure upstream/downstream)	Tlak v programu Aquis predstavlja seštevek statičnega in dinamičnega tlaka, kateremu odštejemo višino nad primerjalno ravnino. Model kot rezultat prikaže tlak v gorvodnem oz. dolvodnem vozlišču črpalke.	[Pa]
Sprememba tlaka (angl. Pressure change)	Sprememba tlaka, ki ga prispeva črpalke.	[Pa]
Hitrost črpalke (angl. Speed)	Hitrost črpalke, pri kateri ta obratuje.	[s ⁻¹]

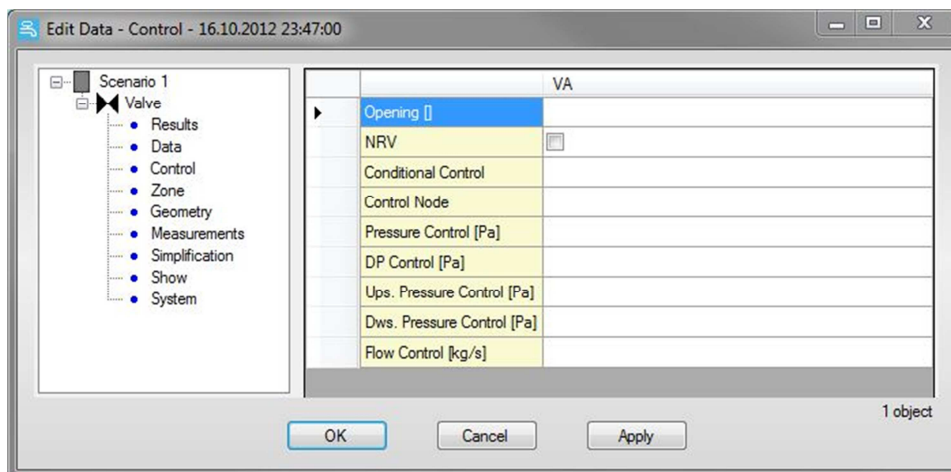
2.2.1.6 Ventili

V programu Aquis so ventili predstavljeni kot virtualne linije. Njihova naloga je, da omejujejo tlake ali pretoke v določeni točki cevovodnega sistema. Ventil se v model vstavi na obstoječo cev, na kateri se ustvarita dve novi vozlišči. Med tema vozliščema se ustvari povezava, ki predstavlja ventil.



Slika 22: Ventil

Obstaja več vrst ventilov, ki se med seboj razlikujejo po vrsti nadzora nad delovanjem ventila oz. po parametrih, na podlagi katerih se nadzira delovanje ventila. Med temi vrstami ventilov v programu Aquis izbiramo tako, da vnesemo želene vrednosti ustreznih parametrov na ustrezna mesta v okencu za urejanje podatkov ventila.



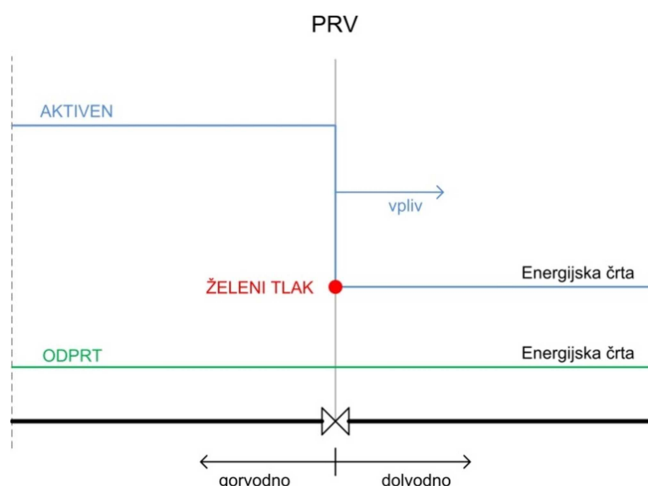
Slika 23: Okence za urejanje vrste nadzora nad delovanjem ventila v programu Aquis

Vrste ventilov na voljo programu Aquis so naslednji:

Ventil za reduciranje tlakov (PRV)

Ventil za reduciranje tlakov (»PRV« - angl. Pressure Reducing Valve) omeji tlak dolvodno od postavitve ventila v cevovodnem omrežju. Torej z ventilom PRV določimo, kakšen tlak želimo imeti na dolvodni strani ventila. Želeno vrednost tlaka, ki ga želimo imeti dolvodno od ventila, se v ustreznih enotah zapiše v okno za dolvodni nadzor tlaka (angl. Downstream pressure control).

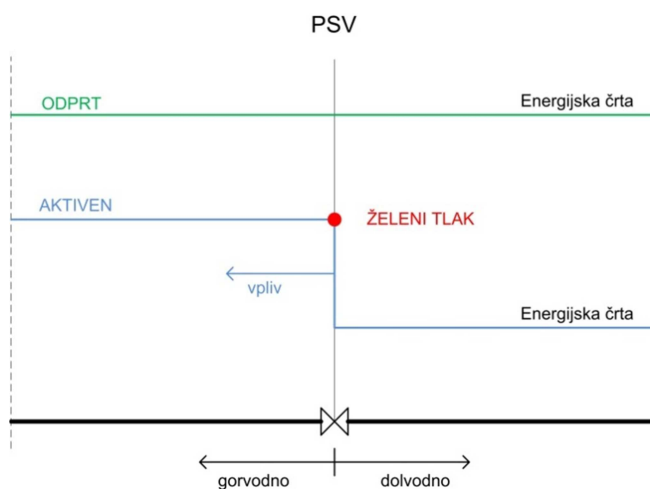
Omogočeno je tudi, da za nadzor delovanja ventila uporabnik sam določi vozlišče, ki ni neposredno dolvodno od ventila. V tem primeru izberemo vozlišče (angl. Control node) in v ustrezno okence (angl. Pressure control) zapišemo vrednost tlaka, ki ga želimo v izbranem vozlišču ohraniti. Ventil za reduciranje tlakov uporabimo, kadar želimo zaščititi nižje ležeče točke pred previsokimi tlaki (Walski in sod., 2003).



Slika 24: Ventil za reduciranje tlakov (PRV)

Ventil za ohranjanje tlakov (PSV)

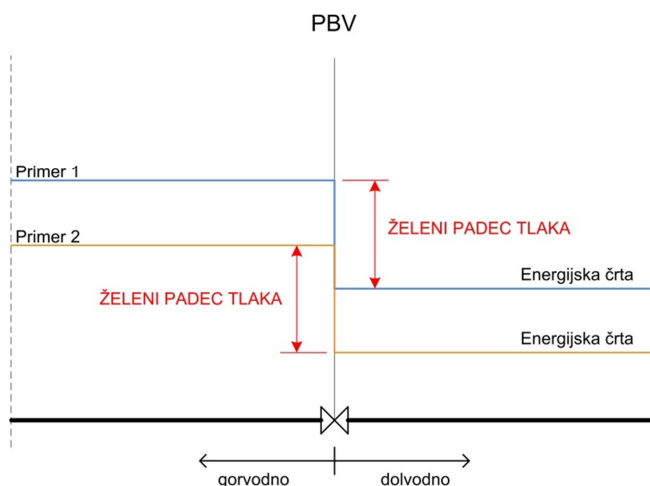
Ventil za ohranjanje tlakov (»PSV« - angl. Pressure Sustaining Valve) ohranja nastavljen tlak na gorvodni strani omenjenega ventila. Z ventilom za ohranjanje tlakov določimo, kakšen tlak želimo imeti na gorvodni strani ventila. V programu Aquis se ta tlak, v ustreznih enotah, zapiše v okno za gorvodni nadzor tlaka (angl. Upstream pressure control). Pri uporabi tega ventila je potrebno tudi označiti, da želimo, da ventil dovoljuje pretok samo v eni smeri - proti povratni ventil (NRV). Namreč v primeru, da se zelenega tlaka na gorvodni strani ventila ne da ohraniti, ta funkcija poskrbi, da se ventil zapre in s tem ne dovoli pretoka v smer gorvodno od ventila. Ventil za ohranjanje tlakov uporabimo, kadar lahko prevelika poraba dolvodno od ventila povzroča nezadostne in neenakomerne tlake na gorvodni strani ventila (Walski in sod., 2003).



Slika 25: Ventil za ohranjanje tlakov (PSV)

Ventil za znižanje tlakov (PBV)

Ventil za znižanje tlakov (»PBV« - angl. Pressure breaker valve) zniža tlak za določeno vrednost. Ventil za znižanje tlakov kot fizična naprava ne obstaja, ampak se uporabi za modeliranje na mestih, kjer vemo, da pride do znižanja tlakov. V ustrezno okence (angl. DP control) zapišemo vrednost tlaka, za kolikor želimo, da se tlak zniža. Pri tem je treba biti pozoren, da se tej vrednosti doda negativen predznak.



Slika 26: Ventil za znižanje tlakov (PBV)

Ventil za nadzor pretoka (FCV)

Ventil za nadzor pretoka (»FCV« - angl. Flow Control Valve) omeji pretok na določeno vrednost. V okence za nadzor pretoka (angl. Flow control) zapišemo vrednost pretoka v ustreznih enotah, katerega želimo, da ga ta ventil prepušča. Z njim ne zagotovimo, da pretok ne bo nižji od nastavljenega, ampak samo, da pretok skozi ventil ne bo presegel nastavljene vrednosti (Walski in sod., 2003).

Ventil za nadzor priprtosti (TCV)

Ventil za nadzor priprtosti (»TCV« - angl. Throttle reducing Valve) simulira delno zaprt ventil s spreminjanjem koeficienta lokalnih izgub ventila. V ustreznem okencu (angl. Opening) definiramo delež odprtosti ventila, program pa sam določi koeficient lokalne izgube pri tej stopnji odprtosti ventila iz vrednosti koeficienta lokalnih izgub popolnoma odprtega ventila.

Ventil za splošne namene (GPV)

Pri ventilu za splošne namene (»GPV« - angl. General Purpose Valve) program določi relacijo med pretokom in tlačnimi izgubami pri toku skozi ta ventil. Ta relacija se opiše s krivuljo lokalnih izgub, ki jo program Aquis določi iz koeficienta lokalnih izgub odprtega ventila.

Preglednica 15: Vhodni parametri ventilov v programu Aquis

Lastnost tipa objekta	Opis	SI enote
ID ventila	Edinstvena oznaka, s katero definiramo vsak ventil.	
Delež odprtosti (angl. Opening)	Vnese se delež odprtosti v rangu od 0 do 1, kadar želimo uporabiti ventil TCV.	[/]
Proti povratni ventil (NRV)	Obkljukamo, kadar želimo, da ventil dopušča tok vode samo v eni smeri.	
Nadzor tlaka dolvodno (angl. Downstream pressure control)	Tlak v dolvodnem vozlišču, s katerim se nadzoruje delovanje ventila PRV.	[Pa]
Nadzor tlaka (angl. Pressure control)	Tlak v izbranem dolvodnem vozlišču (angl. Control node), s katerim se nadzoruje delovanje ventila PRV.	[Pa]
Nadzor tlaka gorvodno (angl. Upstream pressure control)	Tlak v gorvodnem vozlišču, s katerim se nadzoruje delovanje ventila PSV.	[Pa]
Znižanje tlaka (angl. DP control)	Vnese se vrednost tlaka, za kolikor želimo, da se tlak pri toku skozi ventil PBV zniža.	[Pa]
Nadzor pretoka (angl. Flow control)	Masni pretok, ki naj teče skozi ventil FCV.	[kg/s]
Koeficient lokalnih izgub	Koeficient lokalnih izgub pri popolnoma odprtem ventilu.	[kg/s/(Pa) ^{1/2}]

Preglednica 16: Rezultat modela za ventil v programu Aquis

Rezultat modela za objekt	Opis	SI enote
Sprememba tlaka (angl. Pressure change)	Sprememba tlaka pri toku skozi ventil.	[Pa]
Tlak gorvodno/dolvodno (angl. Pressure upstream/downstream)	Tlak v programu Aquis predstavlja seštevek statičnega in dinamičnega tlaka, kateremu odštejemo višino nad primerjalno ravnino. Model kot rezultat prikaže tlak v gorvodnem oz. dolvodnem vozlišču ventila.	[Pa]
Masni pretok (angl. Mass flow)	Masa tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. masni pretok skozi črpalko.	[kg/s]
Prostorninski pretok (angl. Volume flow)	Prostornina tekočine, ki v časovni enoti steče skozi izbrani presek oz. prostorninski pretok skozi črpalko.	[m ³ /s]
Delež odprtosti	Delež odprtosti ventila.	[/]

2.2.1.7 Tipi simulacij

Ko imamo definirane osnovne elemente cevovodnega sistema, lahko v programski opremi Aquis izbiramo med dvema vrstama simulacij.

Statične simulacije – angl. »Single period simulation« oz. angl. »Steady state simulation«

V tej vrsti simulacije se za izračun stanja sistema predpostavi, da se hidravlične zahteve in robni pogoji sistema ne spreminjajo s časom (Walski in sod., 2003). Kot rezultat statične simulacije dobimo pretoke, tlake in druge spremenljivke sistema, ki pri določenih nespremenljivih hidravličnih zahtevah in robnih pogojih zagotavljajo ravnotežje v sistemu (Walski in sod., 2003). Ta vrsta simulacije se v splošnem uporablja za analizo sistema v nekaterih kritičnih pogojih kot npr. delovanje sistema v času maksimalne potrošnje, v primeru požara itd. in je osnovni gradnik za druge vrste simulacij, kot je simulacija z razširjeno periodo.

Simulacija z razširjeno periodo – angl. »Extended period simulation« (EPS)

Simulacija z razširjeno periodo sestoji iz serije simulacij z enojno periodo, ki se izvršijo na določen časovni korak. Pri tem se hidravlične zahteve in robni pogoji za vsak korak, v skladu s stanjem v sistemu, spremenijo (Walski in sod., 2003). Iz serije simulacij z enojno periodo se določi kvazi-dinamično obnašanje sistema (Boulos in sod., 2006). Čas trajanja simulacije z razširjeno periodo je poljuben in se ga izbere glede na namen analize.

2.2.2 Modeliranje iztoka iz sistema v programu Aquis

Obstaja več načinov za modeliranje iztoka iz sistema, ki se lahko uporabijo za potrebe izpiranja cevovodov. Najenostavnejši način za simuliranje iztoka vode pri izpiranju cevovodov predstavlja vstavljanje porabe v vozlišča (Walski in sod., 2003). V tem primeru je poraba pretok, ki se vzpostavi ob odprtju določenega hidranta oz. izpusta. Ta pretok je treba oceniti, kar pa zaradi medsebojne odvisnosti tlaka in pretoka ni enostavno. Obstaja tudi možnost, da je vrednost pretoka iz določenega hidranta znana iz izvajanih meritev na sistemu. Za primer te diplomske naloge ta način ni najbolj primeren, saj v času nastajanja diplomske naloge ti podatki niso bili na voljo.

Drug način modeliranja iztoka iz sistema predstavlja uporaba »emitterjev«. »Emitter« je funkcija vozlišča, ki povezuje iztok iz obravnavanega vozlišča z razpoložljivim tlakom gorvodno od tega vozlišča z enačbo (Walski in sod., 2003):

$$Q = k\sqrt{P} \quad (23)$$

kjer je:

- Q pretok skozi »emitter« (l/s),
- k koeficient pretoka skozi »emitter« (l/s/m^{0,5}) in
- P padec tlaka pri toku skozi »emitter« (m).

Program Aquis nima direktno vgrajene funkcije »emitter«, zato za modeliranje iztoka pri izpiranju cevodov ne bom uporabljal opisanega pristopa.

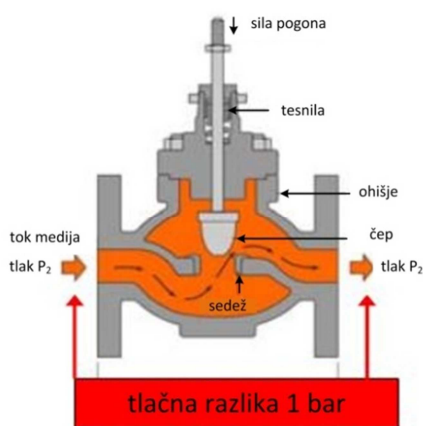
Odločil sem se, da bom v okviru diplomske naloge iztok iz odprtih pri izpiranju cevodov modeliral z uporabo ventila za nadzor priprtosti (TCV) in vodnega vira (angl. Source). Vhodni podatek za omenjeni ventil je koeficient lokalne izgube ventila C_v oz. K_v . Za kapljevine, kjer je gostota konstantna, velja enačba (UL FS, 2011):

$$Q = K_v\sqrt{\Delta p} \quad (24)$$

kjer je:

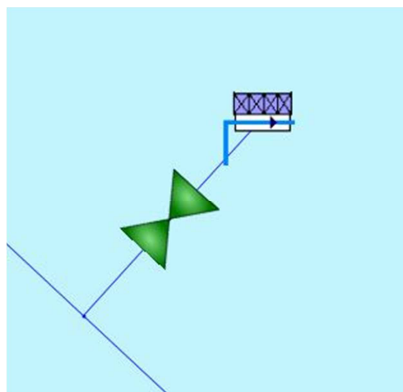
- Q pretok skozi ventil (m³/h),
- K_v pretok, ki povzroča tlačno razliko 1 bar (m³/h/bar^{0,5}) in
- Δp tlačna razlika med vtočno in iztočno stranjo ventila (bar).

Pretočno število K_v je torej pretok skozi ventil, ki se vzpostavi, kadar je razlika v tlakih na vtočni in iztočni strani ventila enaka 1 bar.



Slika 27: Pretočno število K_v (UL FS, 2011)

Hidranti so običajno postavljeni na konce krajših odcepov cevi, ki ne vodijo drugam kot do hidrantov. Cev bo istega premera kot tista, ki sicer vodi do hidranta, običajno je to 80 mm. Za modeliranje izpustov pri izpiranju cevodov bom na te cevi vstavil ventil za nadzor priprtosti, v končno vozlišče pa postavil vodni vir, ki bo imel gladino 25 m nad hidrantom. Vodni vir predstavlja konstantno višino energijske črte, pod katero tlaki v okolici ne bodo padli. V tem primeru to pomeni, da tlaki v okolici ne bodo padli pod cca. 2,5 bara, s čimer smo porabnikom zagotovili dovolj tlaka za normalno uporabo omrežja.



Slika 28: Modeliranje iztoka iz odprtine pri izpiranju cevovodov

Vrednost pretočnega števila K_v sem pridobil pri slovenskem proizvajalcu armatur IMP Armature, d. o. o. Vrednost pretočnega števila K_v za podzemni hidrant DN 80 znaša $101 \text{ m}^3/\text{h}/\text{bar}^{0,5}$ (IMP Armature, 2013a), v preglednici 17 pa so navedene vrednosti pretočnega števila nadzemnega hidranta DN 80 za različne izhode oz. spojke na hidrantu.

Preglednica 17: Vrednost izmerjenega pretočnega števila za nadzemni hidrant DN 80 (IMP Armature, 2013b)

Spojka	Izmerjen K_v ($\text{m}^3/\text{h}/\text{bar}^{0,5}$)
1xA	176
1xB	100
1xC	58
2xB	162
2xC	104

3 IZPIRANJE CEVOVODOV

Izpiranje cevovodov je dejavnost vodovodnih podjetij, s katero se odstrani material iz cevovodov, ki se skozi čas zaradi različnih razlogov in dejavnikov nabira v ceveh. Eden od razlogov za nabiranje materiala v ceveh je npr. kakovost oz. lastnosti vodnega vira. V primeru, da se cevovodov ne izpira dovolj pogosto, lahko akumuliran material povzroči motnost vode. Izpiranje cevovodov se izvaja tudi po izgradnji novih cevovodov ter ob morebitnih popravilih na poškodovanih cevovodih. V tem poglavju bom opisal pojav motnosti vode, mehanizme za njihov pojav ter orodja, s katerimi ga preprečimo.

3.1 Motnost vode

Motnost vode je pojav, ki ga povzroči sprememba hidravličnih pogojev v sistemu, kar se odrazi v aktivaciji akumuliranih delcev znotraj cevovodnega sistema (Vreeburg in Boxall, 2007). Kot sprememba hidravličnih pogojev so mišljene različne hidravlične motnje znotraj sistema, kot so npr. povečanje največje porabe, poškodba cevi, odprtje hidranta ipd. (Boxall in Saul, 2005). Posledica omenjenih hidravličnih motenj je povečanje pretoka oz. hitrosti skozi cevovod, ki mobilizirajo delce, ki so se akumulirali v času nizkih pretokov, kar privede do pojava motnosti vode (Boxall in Saul, 2005).

Iz tuje literature se lahko ta pojav prevede kot obarvanost vode, ki ni fizikalno pravilen za ta primer uporabe. Po definiciji je barva absorbirana v kemijsko sestavo vode (Boxall in Saul, 2005), pri tem pojavu pa gre za suspenzijo, lahko tudi koloidno zmes, kar pomeni, da ne gre za obstojen sistem (delci se sčasoma usedejo). Suspenzija in koloidna zmes sta heterogene zmesi, pri čemer so v koloidni zmesi prisotni majhni trdni delci, ki niso vidni s prostim očesom. Preiskava lastnosti vzorcev vode pridobljenih med izpiranjem različnih cevovodnih v Veliki Britaniji, ki jo je leta 2001 izvedel Boxall s svojimi sodelavci, je pokazala, da so delci, ki povzročajo motnost, povprečno veliki 10 μm , največji delec je bil velik 100 μm (Boxall in Saul, 2005).

Motnost primarno za vodo predstavlja estetski problem, vendar je Gaultier leta 2001 s svojimi sodelavci izvedel raziskavo, kjer so ugotovili, da je lahko kar do 76 % suspendiranih trdnih snovi pridobljenih iz distribucijskega sistema organskega izvora, kar vključuje tudi patogene organizme. Torej lahko pojav motnosti predstavlja tudi potencialno tveganje za zdravje uporabnikov (Husband in Boxall, 2010).

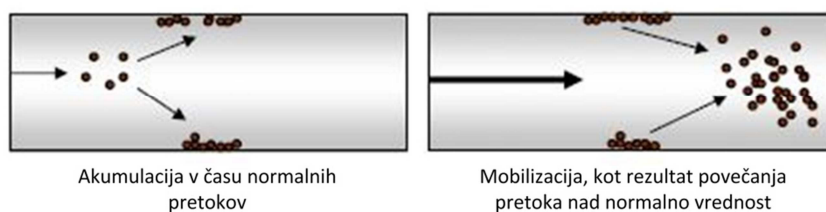
Motnost merimo z istoimenskim parametrom in se izraža v nefelometričnih turbidimetričnih enotah (NTU) ter se meri na osnovi odboja svetlobe.

3.2 Mehanizmi za pojav motnosti vode

Mehanizmi akumulacije materiala, karakteristike slojev akumuliranega materiala in pogojev za aktivacijo teh slojev, ki vodijo v pojav motnosti vode, so odvisni od veliko dejavnikov cevovodnega

sistema in materiala v njem. Ti dejavniki so velikost delcev, njihova gostota in koncentracija, vrsta materiala delcev, biološka aktivnost znotraj cevovoda, zeta potencial¹, korozijski procesi in elektrokemijske interakcije (Boxall in Saul, 2005).

Za potrebe razumevanja mehanizmov, ki privedejo do pojava motnosti vode, se bom naslonil na delo avtorjev Vreeburg in Boxall (2007), ki sta v svoji raziskavi ugotovila, da so mehanizmi, ki vodijo v pojav motnosti vode, kompleksni, slabo razumljeni in interaktivni, vendar se lahko ti procesi razložijo skozi enostaven koncept. Ta pravi, da so razlog pojava motnosti vode delci, ki so na različne načine pritrjeni na ostenje cevi. V času normalnih pretokov se delci akumulirajo na ostenju cevi, se tam skozi čas nabirajo in ne vplivajo na estetsko vrednost vode. Če se pretoki povečajo nad neko običajno vrednost, se s tem povečajo strižne napetosti vode, ki delujejo na ostenje cevi. Če so te strižne napetosti večje od sil, ki držijo akumuliran material na ostenju cevi, ga le-te mobilizirajo, aktivirajo, kar lahko privede do povečane motnosti vode.



Slika 29: Koncept mehanizma za pojav motnosti vode
(Vreeburg in Boxall, 2007: str. 523)

Zgoraj omenjeno delo Vreeburga in Boxalla povzema delo Boxalla, ki je leta 2001 s svojimi sodelavci predlagal pristop za opis procesa mobilizacije materiala, pri katerem želijo avtorji računalniško modelirati procese, ki vodijo do pojava motnosti vode. To želijo doseči s kohezivnim transportnim modelom, znanim pod okrajšavo PODDS (Boxall in Saul, 2005). Ta model je osnovan na ideji, da se material, ki povzroči motnost vode, nabira v stabilnih kohezivnih slojih na ostenjih cevi vodooskrbnega sistema in da je odpornost teh slojev proti porušitvi pogojena z običajnim dnevnim hidravličnim režimom v sistemu (Cook in Boxall, 2011). To pomeni, da so plasti materiala v ceveh z večinoma stalnim visokim pretokom izpostavljene visokim obremenitvam in so zato bolj odporne ter predstavljajo nižje tveganje za pojav motnosti. Velja tudi obratno, da se v ceveh z nižjimi pretoki nabirajo plasti materiala, ki so manj odporne in predstavljajo večje tveganje, da bodo ob povečanih pretokih vstopile v tok in povzročile motnost (Boxall in Saul, 2005). Kohezivne sloje poleg gravitacije držijo na ostenju cevi še druge sile (Cook in Boxall, 2011).

3.3 Izpiranje cevovodov in druge metode reševanj težav povezanih z motnostjo vode

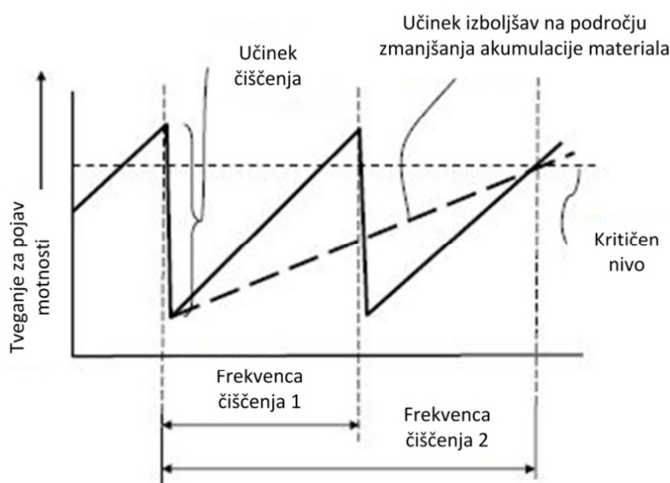
Kljub v poglavju 3.2 opisanem konceptualnem razumevanju pojava, je na voljo zelo malo objavljenih praktičnih orodij in tehnik, ki bi vodovodnim podjetjem pomagala pri načrtovanem upravljanju in načrtovanem reševanju težav s pojavom motnosti vode v cevovodih (Vreeburg in Boxall, 2007).

¹ »Stanje površinskega naboja na mejni strižni površini trdnega telesa in tekočine.« (Bukšek, 2008: str. 17)

Do pojava motnosti vode pride, ko se nevezani sedimenti, ki se iz različnih razlogov nabirajo na ostenja cevovodov, aktivirajo in skupaj s tokom vode potujejo po cevi. Če je koncentracija delcev v toku vode dovolj velika, ta postane motna, kar lahko vodi do pritožb s strani uporabnikov. Problem pojava motnosti vode lahko rešimo z rednim odstranjevanjem delcev, ki so se nabrali na ostenju. Obstaja več tehnik oz. načinov za odstranjevanje akumuliranih delcev iz cevovodov, kot so npr. izpiranje cevovodov z vodo, izpiranje cevovodov z mešanico vode in zraka ter »pigging« (Vreeburg, 2007).

Na splošno velja izpiranje cevovodov z vodo za najpreprostejšo in najbolj stroškovno učinkovito metodo čiščenja cevovodov (Vreeburg in Boxall, 2007). Bolj celovito odstranjevanje materiala z ostenja je možno le z bolj abrazivnimi metodami, kamor spadata metodi izpiranja z mešanico vode in zraka ter pigging, ki pa v primerjavi z izpiranjem cevovodov potencialno povzročata škodo na cevodih in sta poleg tega še dražji (Vreeburg in Boxall, 2007).

Velja omeniti, da s čiščenjem omrežja ne odpravimo razlogov, zaradi katerih je prišlo do akumuliranja materiala znotraj cevodov. Če se parametri, ki vplivajo na količino delcev v vodi, ne spremenijo, se bo čez določen čas material ponovno akumuliral na ostenje cevi. Čas med dvema čiščenjema definira frekvenco čiščenja. Frekvenco čiščenja lahko z določenimi ukrepi zmanjšamo. Ti ukrepi predstavljajo izboljšave na področju zmanjšanja akumuliranja materiala v cevi, kamor spadajo izboljšave na področju priprave pitne vode, zamenjava dotrajanih cevi, izboljšava dezinfekcije za nadzor rasti biofilma in sprememba hidravlike sistema, s čimer dosežemo višje hitrosti, ki preprečujejo akumuliranje materiala (Vreeburg in Boxall, 2007).



Slika 30: Frekvenca čiščenja omrežja (povzeto po Vreeburg, 2007: str. 89)

Čiščenje omrežja na kakršen koli način je ukrep, ki se ga izvede, ko je material že akumuliran in predstavlja tveganje za pojav motnosti. Obstaja pa tudi preventivni ukrep, ki so ga razvili na Nizozemskem. Ideja tega ukrepa je, da se z ustrezno konfiguracijo omrežja že ob normalnih pogojih obratovanja vzdržuje hitrosti v omrežju, ki preprečujejo akumulacijo materiala.

3.3.1 Izpiranje cevovodov z vodo

Izpiranje cevovodov z vodo je ena izmed najučinkovitejših metod, ki so na razpolago za ohranjanje ustrezne kvalitete vode v cevodih (Antoun in sod., 1999). Z odprtjem hidranta ali blatnega izpusta se poveča hitrost vode v cevodu in s tem povečajo strižne obremenitve, ki odstranijo material z ostenja. Povečane strižne obremenitve aktivirajo akumuliran material, ki skupaj s tokom vode

zapustijo cevovod na hidrantu oz. blatnem izpustu. Obstajajo trije načini izpiranja cevovodov z vodo (Antoun in sod., 1999):

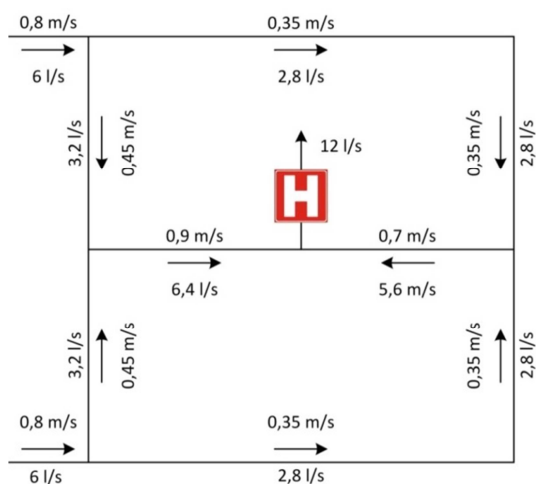
- konvencionalno izpiranje,
- neprekinjeno puščanje vode in
- enosmerno izpiranje oz. metoda UDF (angl. unidirectional flushing).

Vsak izmed naštetih pristopov ima svoj določen namen uporabe in vsak pristop se lahko izvaja za celovito čiščenje celotnega omrežja ali pa za reševanje težav na določenih točkah sistema (Friedman in sod., 2002). Te določene točke so npr. odseki cevi s stalnimi nizkimi pretoki.

3.3.1.1 Konvencionalno izpiranje

Konvencionalno izpiranje se običajno izvaja z malo ali nič vnaprejšnjega načrtovanja (Friedman in sod., 2002) in je definirano kot odpiranje hidrantov oz. blatnih izpustov na določenem območju, dokler ni zadovoljeno izbranim kriterijem za kvaliteto vode. Med te kriterije spada motnost, izražena v enotah NTU. Kljub na videz jasni definiciji konvencionalnega izpiranja se ta v praksi izvaja na različne načine, zaradi česar to metodo težko definiramo kot standardno (Vreeburg, 2007).

Pri konvencionalnem izpiranju se lahko hidranti odpirajo po določenem zaporedju tako, da poteka izpiranje od vira oz. rezervoarja do obrobja cevovodnega sistema (Antoun in sod., 1999). Pri konvencionalnem izpiranju, kot ga opisuje Antoun in sod. (1999), se z uporabo ventilov ne izolira območij ali posameznih vodov. Brez izolacije z uporabo ventilov se lahko zgodi, da priteče do hidranta voda z več vodov v bližini odprtega hidranta. To pomeni, da je hitrost v posameznih vodih nižja, kot če bi se z uporabo ventilov posamezne vode izoliralo, kar slabi učinek izpiranja (Antoun in sod., 1999).



Slika 31: Hitrosti in pretoki po ceveh pri konvencionalnem izpiranju

Če k temu dodamo še neupoštevanje nasveta, da se odpiranje hidrantov izvaja po določenem zaporedju, se lahko pojavi nova težava. Lahko se zgodi, da voda, s katero izpiramo del cevovoda, prihaja iz segmentov, ki še niso bili očiščeni, s čimer premikamo material po sistemu, ne da bi ga odstranili (Friedman in sod., 2002). Vreeburg (2007) je izpostavil, da je pri izpiranju cevovodnega sistema pomembno uporabljati čisto vodo, saj se v nasprotnem primeru lahko zgodi, da motnost na iztoku zaradi stalnega dovajanja delcev nikoli ne pade pod zahtevano vrednost. Uporaba čistega zaledja cevovoda spada med pomembne smernice za njihovo učinkovito izpiranje (Vreeburg, 2007).

Ključna parametra za uspešnost izpiranja sta še hitrost vode v cevi in volumen zamenske vode. Oba parametra, ki veljata tudi za metodo UDF, bom definiral v poglavju 3.4.

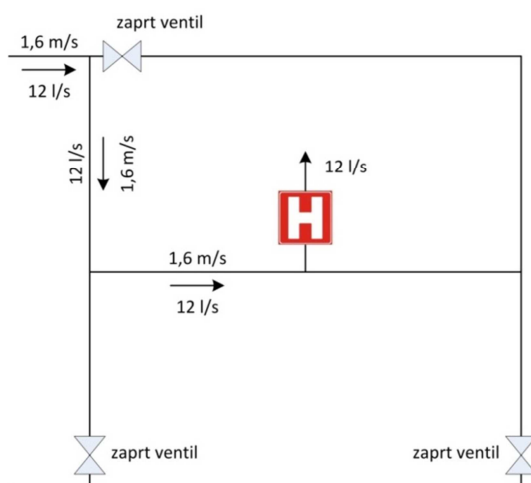
3.3.1.2 *Neprekinjeno puščanje vode*

Ukrep se lahko uporabi na slepih ceveh in na območjih, kjer voda zastaja, se ne menja dovolj pogosto (Friedman in sod., 2002). Na takšnih točkah se uvede puščanje vode, s čimer se ustvari pretok skozi majhen del sistema. Običajno se s takšnim ukrepom vzpostavijo hitrosti manjše od 0,3 m/s, kar pa ni dovolj za odstranjevanje akumuliranega materiala (Friedman in sod., 2002). Ta metoda povzroča velike izgube vode in ni primerna kot trajna rešitev (Antoun in sod., 1999).

3.3.1.3 *Enosmerno izpiranje - metoda UDF*

Kratica UDF predstavlja angleški izraz unidirectional flushing in se lahko v slovenski jezik prevede kot enosmerno izpiranje. Metoda se je razvila v 90. letih prejšnjega stoletja in predstavlja izboljšavo konvencionalnega pristopa k izpiranju (Vreeburg, 2007).

Metoda UDF je zasnovana tako, da se cevovod izpira z nadzorovanim, usmerjenim tokom vode in s hitrostmi, ki so zadostne za odstranjevanje akumuliranega materiala z ostenja (Antoun in sod., 1999). Usmerjenost toka vode se doseže z zapiranjem ventilov, s čimer se izolirajo območja izpiranja ali posamezne cevovode na način, ki zagotavlja ustrezne pretoke oz. hitrosti v obravnavanem območju.



Slika 32: Hitrosti in pretoki po ceveh pri enosmernem izpiranju

Zaradi razlogov, ki so bili utemeljeni pri opisu konvencionalnega izpiranja, je po metodi UDF potrebno izpirati od virov do obrobja cevovodnih sistemov, od cevi z večjim proti cevem z manjšim premerom in od izpranih proti še neočiščenim delom cevovoda. Uporaba čistega zaledja je pomemben del te metode (Vreeburg, 2007).

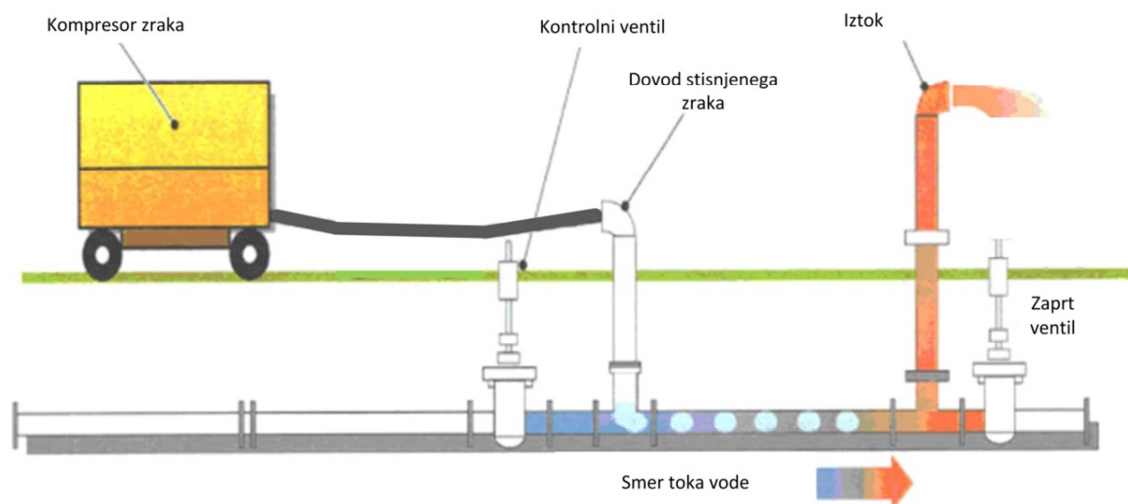
Izvajanje metode UDF zahteva natančno načrtovanje, s čimer zagotovimo zahtevan tok v eni smeri (Vreeburg, 2007). Pri tem so nam v elektronski dobi v pomoč GIS orodja (geografski informacijski sistemi) in orodja, s katerimi simuliramo hidravlične razmere znotraj cevovodnih sistemov. Dobro zasnovan program enosmernega ali tudi konvencionalnega izpiranja lahko izboljša tako kvaliteto vode kot hidravlične lastnosti omrežja (Antoun in sod., 1999). Za čiščenje omrežja se pri metodi UDF v

primerjavi s konvencionalnim izpiranjem po ocenah porabi celo do 40 odstotkov manj vode (Antoun in sod., 1999).

Smernice in navodila za pripravo učinkovitega programa enosmernega izpiranja so opisani v poglavju 3.5.

3.3.2 Izpiranje cevovodov z mešanico vode in zraka

Metoda temelji na vpihovanju stisnjenega zraka v tok vode s ciljem ustvarjanja večje turbulence in s tem večjih obremenitev, ki aktivirajo akumuliran material (Vreeburg, 2007). Potrebno je omeniti, da pri tej metodi ni ključna strižna obremenitev vode, kot to velja pri izpiranju cevovodov z vodo. Aktivacijo akumuliranega materiala povzročijo področja visoke turbulence med večjimi zračnimi žepi v toku (Vreeburg, 2007). Metoda je bila razvita delno zaradi navidezne neučinkovitosti konvencionalnega izpiranja in delno zaradi želje po zmožnosti odstranjevanja ne samo nevezanih ampak tudi sedimentov, ki so že bolj čvrsto pritrjeni na ostenje cevi (Vreeburg, 2007). Torej se lahko s to metodo izboljša tudi hidravlična kapaciteta obravnavane cevi.



Slika 33: Princip čiščenja cevovodov z uporabo mešanice vode in zraka
(povzeto po Kitney in sod., 2001: str. 51)

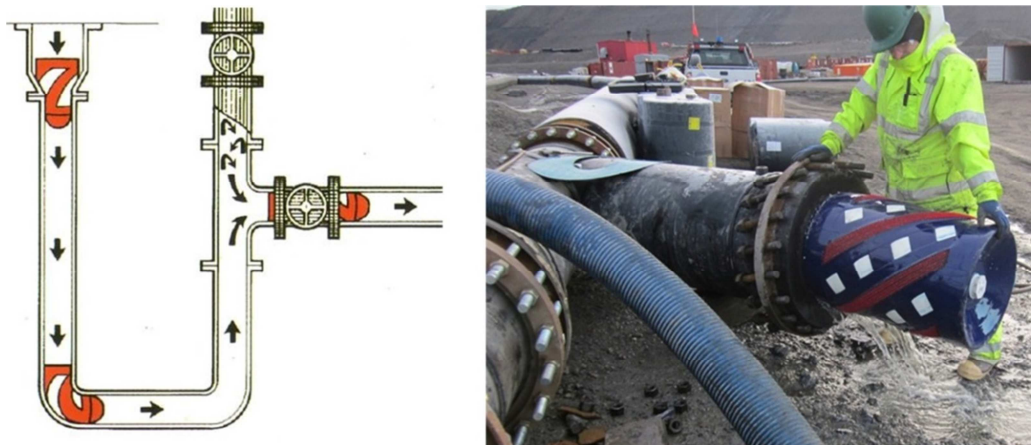
Prednosti te metode v primerjavi z izpiranjem cevovoda z vodo sta manjša poraba vode in večja učinkovitost odstranjevanja akumuliranega materiala (Vreeburg, 2007). Poraba vode pa vseeno ni tako majhna, saj je količina vode, ki se porabi pri takšnem izpiranju, vsaj dvakratnik volumna obravnavane cevi (Vreeburg, 2007).

Pri izvajanju te metode je potrebno biti pozoren na razmerje vode in zraka, najmanjši pretok vode ter na režim vpihovanja stisnjenega zraka. Neustrezen režim vpihovanja stisnjene zraka lahko namreč povzroči zaporo pretoka vode (Vreeburg, 2007). Uporaba čistega zaledja je priporočljiva, ni pa tako pomembna predvsem zaradi nižjih hitrosti vode v cevi, ki gorvodno ne povzročajo motenj v tolikšni meri (Vreeburg, 2007).

3.3.3 Pigging

Pri metodi pigging se cevi čisti z objektom valjaste oblike narejenim iz plastike oz. iz peni podobnih materialov. Tako imenovani pig oz. čep se vstavi v cev, kjer ga pritisk vode rine naprej po cevi. Med

potovanjem po cevi čep odstranjuje akumuliran material z ostenja cevi in ga skupaj s čepom zapusti na iztoku (Vreeburg, 2007). Premer čepa je večji od obravnavane cevi, s čimer se tvorijo velike obremenitve na ostenje cevi, ki z ostenja odstranjujejo tako nevezan kot vezan akumuliran material (Vreeburg, 2007).



Slika 34: Prikaz izvajanja metode čiščenja pigging

(<http://www.vecom-group.com/en/services/on-site-services/pipe-pigging> [22.2.2014];

<http://www.sfglobal.com/?p=426> [22.2.2014])

Metoda je bila razvita kot alternativa izpiranju cevovodov s ciljem prihranka pri porabi vode in povečanja učinka pri odstranjevanju delno pritrjenih slojev akumuliranega materiala z ostenja cevi (Vreeburg, 2007). Metodo se lahko uporabi za čiščenje cevi premerov nad 300 mm (Vreeburg, 2007). Za čiščenje odseka cevi se porabi količina vode enaka dvakratni prostornini obravnavanega odseka (Vreeburg, 2007).

Metoda se ni izkazala za najbolj učinkovito pri odstranjevanju nevezanega materiala, saj se le-ta lahko zaradi svojih majhnih dimenzij umika v spoje in druge razpoložljive prostore (Vreeburg, 2007). Predstavlja pa alternativo izpiranju v primeru večjih vodov, kjer se ne morejo doseči dovolj velike hitrosti toka za uspešno izpiranje (Vreeburg, 2007).

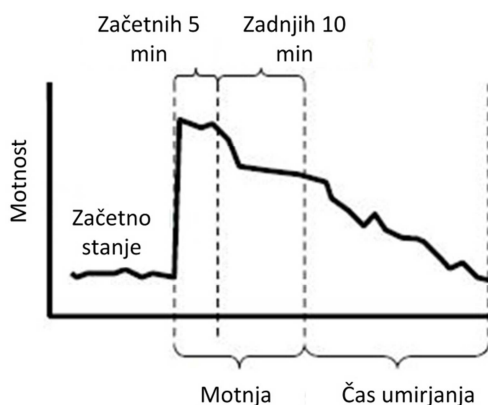
3.3.4 Metoda RPM

Kratica RPM predstavlja angleški izraz resuspension potential method, ki se lahko v slovenski jezik prevede kot metoda potenciala ponovnega dviga. Metoda temelji na merjenju mobilnosti materiala znotraj omrežja (Vreeburg in Boxall, 2007). Princip metode je osnovan na aktivaciji akumuliranih delcev, ki jo povzroči hidravlična sprememba v omrežju (Vreeburg, 2007). Je primerjalna metoda, ki se uporablja za ocenitev prisotnosti in mobilnosti materiala v ceveh pred in po čiščenju (Vreeburg, 2007). Metoda RPM je bila razvita za uporabo v omrežjih s premeri cevi od 50 do 200 mm (Vreeburg, 2007).

Metoda se izvaja po sledečem postopku (Vreeburg, 2007). Najprej se cev oz. del omrežja, katerega želimo preizkusiti, izolira tako, kot se to stori pri metodi izpiranja cevovodov UDF. Avtor poudari, da mora biti minimalna dolžina odseka preizkušene cevi enaka vsaj 315 metrom. Nato se odpre ustrezen hidrant do te mere, da se hitrost toka poveča za 0,35 m/s nad običajno hitrostjo v obravnavanem odseku omrežju. To hitrost se vzdržuje 15 minut in potem zniža nazaj na običajno hitrost. Motnost se meri v cevovodu skozi celoten preizkus, dokler motnost ne pade na stanje pred preizkusom. Rezultat,

ki ga dobimo iz preizkusa RPM, nam podaja odzivnost aktivacije akumuliranega materiala, ki povzroči pojav motnosti. Obnašanje motnosti med preizkusom RPM lahko razdelimo na 4 dele:

- začetno stanje motnosti,
- povečanje motnosti na začetku povečanja hitrosti,
- razvoj motnosti med hidravlično motnjo in
- čas in vzorec vračanja motnosti na začetno stanje.



Slika 35: Tipičen primer obnašanja motnosti pri preizkusu RPM
(povzeto po Vreeburg in Boxall, 2007: str. 523)

Začetno stanje motnosti je nivo motnosti, ki je prisoten pred hidravlično motnjo in se uporabi pri oceni časa umirjanja (Vreeburg in Boxall, 2007). Povečanje motnosti v začetnih petih minutah trajanja hidravlične motnje kvantificira zgornji sloj akumuliranega materiala, ki takoj vstopi v vodni tok in povzroči najvišjo vrednost motnosti (Vreeburg in Boxall, 2007). Razvoj motnosti se gleda zadnjih 10 minut trajanja povišane hitrosti, čas, ki je potreben, da motnost pade na začetno vrednost, pa je pomemben z vidika tveganja, da uporabniki po hidravlični motnji opazijo motnost (Vreeburg in Boxall, 2007). Dlje časa kot se motnost vrača na začetno stanje, večja je možnost, da bodo uporabniki po neki hidravlični motnji na odjemnem mestu opazili motnost.

Največja in povprečna motnost v začetnih 5 minutah ter zadnjih 10 minutah povišane hitrosti in čas umirjanja so kriteriji, s katerimi se določi tveganje za pojav motnosti. Vsak od teh kriterijev se oceni na lestvici od 0 do 3, kar nam da oceno celotnega preizkusa na lestvici od 0 do 15. Ocena 0 pomeni, da ni potenciala za aktivacijo materiala, ocena 15 pa pomeni najvišji potencial za aktivacijo in največje tveganje za pojav motnosti ob hidravlični motnji (Vreeburg, 2007).

Z metodo RPM se oceni potreba po čiščenju in uspešnost ter učinkovitost že izvedenega čiščenja (Vreeburg in Boxall, 2007).

3.3.5 Samočistilna omrežja

Bistvo samočistilnih omrežij je izgradnja takšnega omrežja, kjer voda ob normalnih dnevni porabah po cevovodu teče s hitrostmi, ki preprečujejo akumulacijo materiala na ostenje cevi. Za hitrost, ki preprečuje oz. omejuje akumuliranje materiala v ceveh, je bila s strani več avtorjev spoznana vrednost 0,4 m/s (Husband et. al., 2008). Ta vrednost se na Nizozemskem uporablja kot sestavni del t. i. samočistilnih omrežij. Ključen del tega pristopa na Nizozemskem je znižanje zahtevanega pretoka ob požarih, kar omogoči vgradnjo manjših cevi (Vreeburg in Boxall, 2007). Samočistilna omrežja so vejičasta, premeri cevi se od primarnih vodov proti odjemalcem manjšajo (Vreeburg in Boxall, 2007).

3.4 Mejne vrednosti parametrov pri izpiranju cevovodov z vodo

Poleg uporabe čistega zaledja sta za učinkovito izpiranje cevovodnih sistemov z vodo pomembna še hitrost toka vode oz. generirana strižna napetost in količina vode, porabljene za izpiranje.

3.4.1 Poraba vode pri izpiranju cevovodov z vodo

Eksperimenti, izvedeni na Nizozemskem, so pokazali, da je za učinkovito izpiranje akumuliranega materiala iz cevovoda potrebna količina vode, ki je enaka dva do trikratnemu volumnu cevovoda, ki se izpira (Vreeburg in Boxall, 2007).

3.4.2 Hitrost toka oz. generirana strižna napetost

Če želimo odstraniti akumuliran material, ki ga poleg gravitacije na ostenju cevi držijo še druge sile (Cook in Boxall, 2011), moramo v cevovodu povečati pretok. S tem se povečajo hitrost vode ter posledično tudi strižne sile vode, ki delujejo v smeri vzporedni s tokom vode. V literaturi, ki obravnava izpiranje cevovodov z vodo, so za hitrosti toka, potrebne za učinkovito izpiranje, navedene različne vrednosti. Poleg hitrosti toka se kot kriterij za učinkovitost izpiranja uporablja tudi strižna napetost.

3.4.2.1 Hitrost toka

Antoun in sod. (1999) kot učinkovito hitrost navajajo vrednost 1,8 m/s, katero je leta 1998 teoretično določil Brashear. Friedman in sod. (2002) navajajo hitrost 1,5 m/s. Hitrost 1,5 m/s izhaja iz praktičnih izkušenj in je osnovana na predpostavki, da je ta občutno višja od običajnih hitrosti v omrežjih (Vreeburg, 2007), kar pomeni, da bi tok vode v cevovodu s takšno hitrostjo moral aktivirati in izprati akumuliran material.

V raziskavi, ki sta jo izvedla Husband in Boxall (2010), avtorja ugotovita, da je hitrost 0,6 m/s zadostna za učinkovito odstranitev akumuliranega materiala iz gladkih plastičnih cevi.

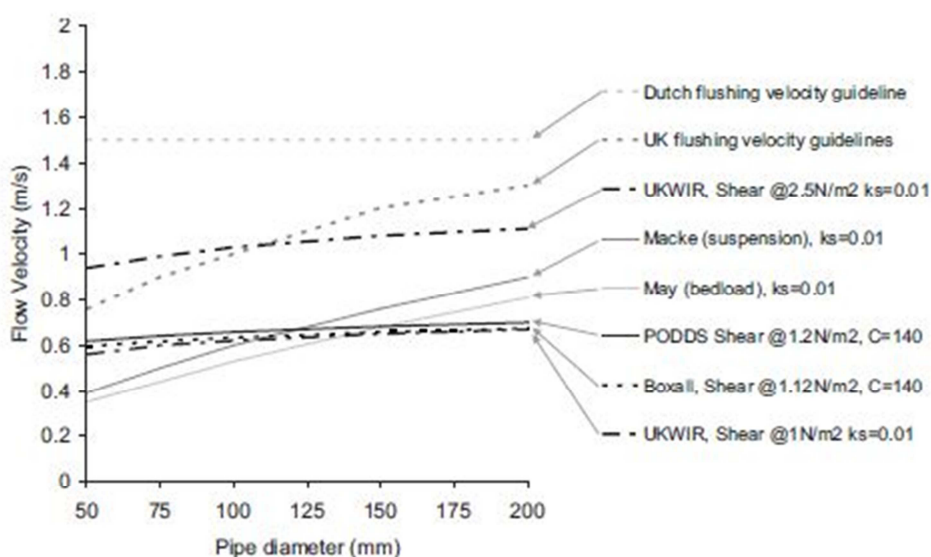
Za preprečevanje oz. omejevanje akumuliranja materiala v ceveh je bila s strani več avtorjev spoznana vrednost 0,4 m/s (Husband et. al., 2008).

3.4.2.2 Strižna napetost

Leta 2001 je Ackers s svojimi sodelavci spoznal pomembnost vpliva strižne napetosti na mobilizacijo materiala in kot strižno napetost, ki bi jo naj generirali za učinkovito izpiranje cevovoda, navedel vrednost 2,5 N/m² (Vreeburg in Boxall, 2007). Navedena vrednost pa ni popolnoma primerna za vodooskrbna omrežja, saj je bila povzeta iz raziskav narejenih za kanalizacijske sisteme (Vreeburg in Boxall, 2007).

Husband in Boxall (2010) kot učinkovito strižno napetost za izpiranje v gladkih plastičnih ceveh navajata vrednost 1,2 N/m². Ugotovila sta tudi, da hitrost, ki sta jo v tej raziskavi predlagala, v gladkih plastičnih ceveh različnega premera generira strižne napetosti od 1 do 1,2 N/m². V raziskavi na vodooskrbnem omrežju v avstralskem Melbournu sta Boxall in Prince (2006) ugotovila, da je za cevi iz azbestnega cementa učinkovita strižna napetost 1,12 N/m²

Husband in Boxall (2010) sta v svoji raziskavi predstavila pregled objavljenih hitrosti toka in hitrosti toka potrebnih za doseg objavljenih strižnih napetosti za gladke plastične cevi različnih premerov. Iz slike 36 vidimo, da se priporočene strižne napetosti nahajajo nekje med 1 in 2,5 N/m². Hitrosti za doseg strižnih napetosti se z večanjem premera cevi večajo, vendar ti prirastki hitrosti niso veliki. Strižna napetost 1 N/m², objavljena s strani UKWIR, naj bi odstranila nedavno akumuliran material, vrednost 2,5 N/m² pa bi naj odstranila starejše obloge, vendar utemeljitve za takšne vrednosti niso podali. Iz slike se vidi, da je za doseg strižne napetosti 1,2 N/m² zadostna hitrost okoli 0,6 m/s, vrednosti veljajo za gladke plastične cevi. Na sliki je izrisana tudi krivulja hitrosti pri izpiranju objavljenih s strani angleških standardov, ki znašajo od približno 0,8 do približno 1,3 m/s. V isti raziskavi (Husband in Boxall, 2010) avtorja nista mogla ugotoviti mejne strižne napetosti za litoželezne cevi. Za izpiranje takšnih cevi priporočata hitrosti, ki so višje od najvišjih hitrosti, ki se običajno pojavljajo v obravnavani cevi.



Slika 36: Pregled objavljenih hitrosti in strižnih napetosti za učinkovito izpiranje gladkih plastičnih cevi (Husband in Boxall, 2010: str. 93)

3.5 Načrtovanje programa enosmernega izpiranja

Od vseh, v poglavju 3.3, naštetih metod za čiščenje cevovodnega omrežja, se je redno izvajana in ustrezno načrtovana metoda enosmernega izpiranja izkazala za najbolj stroškovno učinkovito metodo za reševanje težav povezanih z akumulacijo delcev znotraj cevovodov (Vreeburg, 2007). Bistvo za uspešnost programa izpiranja je torej v njegovem celostnem načrtovanju. V podpoglavjih, ki sledijo, bo opisan postopek za načrtovanje uspešnega programa enosmernega izpiranja.

3.5.1 Možnost aplikacije metode

Friedman in sod. (2002) kot prvi korak pri načrtovanju programa enosmernega izpiranja določajo ugotovitev, ali je aplikacija metode enosmernega izpiranja primerna kot del vzdrževalnega programa upravljavca vodovodnega sistema. Potrebno je torej ugotoviti, ali omenjena metoda predstavlja rešitev za težave, s katerimi se upravljavec vodovodnega sistema sooča. Med tehtne razloge za vpeljavo metode enosmernega izpiranja cevovodov vsekakor spadajo težave povezane z akumulacijo materiala znotraj cevovodnega sistema.

V tem koraku upravljavec določi tudi obseg programa izpiranja. Kot že omenjeno v poglavju 3.3.1, se lahko izpiranje cevovodov izvaja po celotnem sistemu ali le po problematičnih odsekih (Friedman in sod., 2002). Medtem ko izpiranje samo problematičnih odsekov predstavlja večinoma kratkotrajno preventivo ali pa odzive na pritožbe uporabnikov, gre pri izpiranju celotnega sistema za preventivo, ki na dolgi rok ohranja kvaliteto vode in cevovodov. Iz različnih obstoječih zapisnikov že opravljenih izpiranj ter drugih dokumentov, ali po kakšni drugačni poti, lahko upravljavec določi problematična območja v vodovodnem sistemu.

Na podlagi poznavanja obravnavanega vodovodnega sistema se upravljavec odloči za obseg izpiranja. Upravljavec se lahko npr. najprej odloči za izpiranje najbolj problematičnih delov omrežja, nato pa uvede program izpiranja celotnega omrežja. Na ta način se iz omrežja najprej odstrani material, ki že povzroča, ali pa ima velik potencial za povzročanje težav s pojavom motnosti, nato pa sledi izpiranje celotnega omrežja, s katerim se dolgoročno ohranja zahtevana kvaliteta vode v cevovodu.

3.5.2 Načrtovanje programa

Po ugotovitvi upravljavca vodovoda, da je metoda enosmernega izpiranja cevovodov aplikativna in ustrezna za reševanje oz. preprečevanje težav, povezanih z akumulacijo delcev znotraj cevovodov ter določitvi obsega izpiranja, sledi dejansko načrtovanje programa izpiranja (Friedman in sod., 2001).

V nadaljevanju bo opisan postopek za pripravo ustreznega programa enosmernega izpiranja za celotno omrežje, kakor ga opisujejo Friedman in sod. (2002), katerega smernice pa se lahko ob določenih predpostavkah uporabijo tudi za načrtovanje manj obsežnih izpiranj.

3.5.2.1 Priprava in pregled potrebnih podatkov

Preden se začne delati na dejanskem načrtu enosmernega izpiranja, je za obravnavano omrežje treba pregledati relevantne razpoložljive podatke, ki jih potrebujemo za celovito izvedbo izpiranja omrežja.

Pregled načrtov omrežja in hidravličnega modela

Poznavanje obravnavanega vodooskrbnega sistema je ključnega pomena pri snovanju kvalitetnega programa enosmernega izpiranja. Zato je potrebno najprej pregledati načrte vodooskrbnega sistema in njegov hidravlični model (Friedman in sod., 2002). Namen tega je preučitev hidravličnih razmer v vodooskrbnem sistemu in s tem seznanitev s pretoki po sistemu v normalnih obratovalnih pogojih (Antoun in sod., 1999), pri čemer nam je uporaba umerjenega hidravličnega modela obravnavanega omrežja v veliko pomoč. S pregledom načrtov vodovodnega sistema ugotovimo tudi lokacije in število objektov na sistemu, ki bodo v pomoč pri definiranju odsekov izpiranj ter bodo uporabljeni pri samem izvajanju izpiranja. Ti objekti so ventili, hidranti, blatni izpusti ipd.

Pomemben člen uspešnega enosmernega izpiranja je uporaba čistega zaledja (Vreeburg, 2007). Zato je pomembno, da v tej fazi planiranja identificiramo vire čiste vode. To nam še posebej pomaga pri izpiranju samo dela omrežja. V nasprotnem primeru lahko namreč z izpiranjem dovedemo akumuliran material iz neizpranih problematičnih odsekov na območje izpiranja.

Na tej točki je potrebno tudi preveriti, če sistem omogoča vzpostavitev potrebnih hitrosti za uspešno izpiranje cevovoda in če je v sistemu na voljo dovolj vode za normalno obratovanje omrežja med izpiranjem (Friedman in sod., 2002). Ta parametra preverimo s simulacijami izpiranja z umerjenim hidravličnim modelom obravnavanega omrežja.

Pregled možnosti za odvodnjavanje vode

Z vodo, ki pri izpiranju zapusti cevovod, je potrebno ustrezno ravnati, saj lahko v nasprotnem primeru pride do neželenih težav. Zato se na tej stopnji planiranja pregledajo možnosti za rešitev vprašanja, kam z vodo. Možnost odtoka vode z območja predstavlja uporaba obstoječe infrastrukture za odvodnjavanje vode. Informacije o lokacijah infrastrukture za odvodnjavanje najdemo na zemljevidih, ki prikazujejo kanalizacijo in infrastrukturo za odvajanje meteorne vode. Če takšne infrastrukture na območju izpiranja ni na voljo, se voda spušča na območja, ki omogočajo infiltracijo vode. Pri tem je treba biti pozoren na erozijo vode in na lastništvo zemljišč, saj se lahko s tega naslova pojavijo neželeni učinki vode na zemljišču in s tem pritožba s strani lastnikov. Obstaja tudi možnost odvajanja vode v vodotoke, vendar lahko klor iz pitne vode predstavlja težavo (Friedman in sod., 2002). Vse možnosti za odvajanje vode in potencialne težave, ki jih takšno početje lahko prinese, je treba preveriti pri pooblaščenih ustanovah (Friedman in sod., 2002).

Pregled možnosti združitve programa izpiranja z že obstoječimi dejavnostmi na omrežju

Pomembna zadeva pri snovanju učinkovitega programa izpiranja je tudi pregled obstoječih aktivnosti, ki jih upravljavec izvaja na vodooskrbnem sistemu (Friedman in sod., 2002). Namreč izpiranje cevovoda ne rabi biti samostojna dejavnost, ampak se lahko opravlja skupaj z dejavnostmi, ki jih upravljavec že izvaja. Na ta način se lahko prihrani veliko delovnih ur ter zagotovi celovitejši pregled opravljenih del in stanja omrežja (Friedman in sod., 2002). Takšne dejavnosti so npr. pregled hidrantnega omrežja, pregled in preizkus blatnikov in izpustov, pregled zapornih elementov na omrežju itd. Z združevanjem vzdrževalnih del na sistemu upravljavec lažje doseže cilje glede kvalitete vode ter vzdrževanja omrežja (Friedman in sod., 2002).

Obveščanje javnosti

Naslednja pomembna zadeva za uspešen program je obveščanje porabnikov o izvajanju izpiranja na njihovem območju in seznanitev z možnimi težavami, ki jih lahko pričakujejo med izpiranjem omrežja. Porabnikom je treba razložiti namen izpiranja, saj se drugače zdi, kot da se voda samo spušča po cesti ter s tem povzroča potrata vode in ostalih sredstev. Če so porabniki seznanjeni, da se z izpiranjem omrežja povečuje kvaliteta vode, zmanjšuje potreba po kemični obdelavi vode in omrežja, izboljšajo hidravlične karakteristike omrežja, bodo na vso zadevo gledali z dobro mero razumevanja (Friedman in sod., 2002). Na ta način se lahko izboljša splošen odnos porabnikov do upravljavca.

Za obveščanje porabnikov se uporabi enega ali več sredstev sporočanja. Sredstva sporočanja, ki se lahko uporabijo, so:

- obvestilo preko časopisa,
- obvestilo preko pošte,
- obvestilo preko telefona,
- obvestilo preko radijskih postaj,
- obvestilo preko spletnih strani upravljavca itd.

Sredstva sporočanja se izberejo smiselno glede na velikost območja in število porabnikov, ki jih želimo obvestiti. V obzir je treba vzeti tudi navade porabnikov glede spremljanja informacijskih tokov ter tako skušamo poskrbeti, da obvestilo doseže čim širši krog ciljnih porabnikov.

Upravljavca lahko porabnikom omogoči tudi sporočanje povratnih informacij v zvezi z morebitnimi učinki na kvaliteto oskrbe, ki so jih opazili med ali po izvajanem izpiranju (Friedman in sod., 2002). Takšne informacije so npr. opažanja spremembe kvalitete vode, odkar se izvaja program izpiranja (Friedman in sod., 2002). Na ta način lahko upravljavec dobi informacije o uspešnosti oz. neuspešnosti programa izpiranja in tako lažje oceni ustreznost in učinke programa izpiranja.

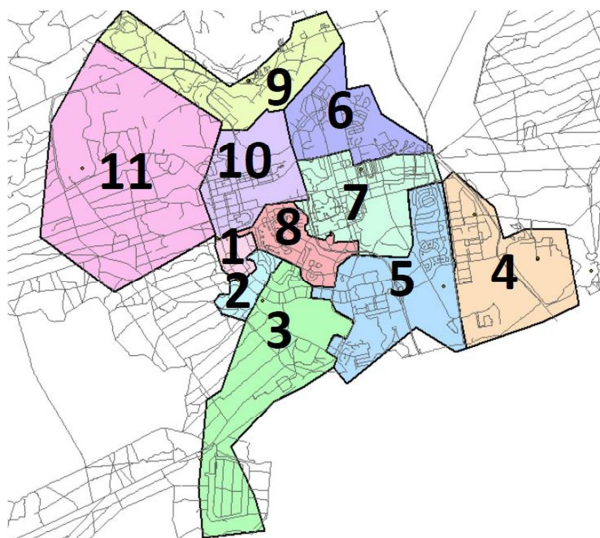
Upravljavca mora poznati tudi občutljive porabnike na sistemu (Friedman in sod., 2002). Takšni porabniki so npr. bolnišnice in industrija, ki v svojih tehnoloških procesih uporablja vodo iz omrežja. Program izpiranja oz. termin se z dogovarjanjem med upravljavcem in občutljivim porabnikom prilagodi tako, da sta obe stranki zadovoljni.

3.5.2.2 *Snovanje načrta enosmernega izpiranja*

Po tem ko upravljavec vodooskrbnega omrežja definira zadeve, opisane v poglavju 3.5.2.1, se začne snovati dejanski načrt enosmernega izpiranja.

Razdelitev sistema

Prva zadeva, ki se je moramo lotiti pri snovanju načrta enosmernega izpiranja, je razdelitev vodovodnega sistema na cone izpiranja. Te cone se določijo tako, da se izpiranje začne pri vodnem viru oz. viru čistega zaledja in nato nadaljujejo proti obrobju sistema (Friedman in sod., 2002). Razdelitev na cone je podrejeno vrsti vodovodnega sistema, hidravličnim karakteristikam sistema, razporeditvi naprav po sistemu, kvalitativnim parametrom itd.



Slika 37: Primer razdelitve vodovodnega sistema na cone (Langston, 2013)

Ko imamo določene cone izpiranj, se lotimo razdelitve teh con na odseke. Velikost odsekov se določi glede na velikost ekipe na terenu, trajanje izpiranja in vrsto opreme (Friedman in sod., 2002). Pomembno je, da so odseki zasnovani tako, da jih je razpoložljivo osebje zmožno izprati znotraj delovne izmene. Tako se izognemo, da bi bili zaporni elementi, uporabljeni za izolacijo odseka, zaprti dlje časa (Friedman in sod., 2002). Friedman in sod. (2002) navajajo, da je izkušena ekipa dveh oseb, po metodi enosmernega izpiranja, v eni izmeni sposobna izprati okrog 1,6 km cevovoda.

Langston (2013) priporoča, da so dolžine odsekov cevovoda pri enem izpiranju med 350 in 750 m. Poulin in sod. (2010) v svojem raziskovalnem delu navajajo, da se za omejitev tlačnih izgub med izpiranjem, predvsem v ceveh manjšega premera, izpirajo odseki dolžine med 500 in 1500 m. Med izpiranjem omrežja je treba paziti, da tlak v omrežju ne pade pod vrednost 140 kPa (Friedman in sod., 2002).

Odseki se izpirajo po zaporedju, in sicer se začne izpirati pri vodnem viru oz. točki, ki zagotavlja čisto zaledje in nato nadaljuje proti obrobju vodovodnega sistema. Izpiranje naj poteka od cevovodov večjega proti cevovodom manjšega premera (Friedman in sod., 2002).

Pomemben dejavnik pri razdelitvi vodovodnega sistema je tudi hitrost toka vode, ki jo lahko dosežemo v določenem odseku cevovoda. Smer in hitrost toka vode lahko nadzorujemo z zapornimi elementi na vodovodnem sistemu. Cilj je ustvariti usmerjen tok vode, ki ima zadostno hitrost, da se doseže učinek čiščenja. Hitrost in smer toka lahko pod različnimi pogoji in kombinacijami nastavitve naprav na sistemu preverjamo z uporabo umerjenega hidravličnega modela obravnavanega vodovodnega sistema in tako najdemo najboljši način za razdelitev omrežja. Več o mejnih pogojih za uspešno izpiranje cevovodov je zapisano v poglavju 3.4.

Veliko pomoč pri snovanju načrta enosmernega izpiranja nudi poznavanje izhodiščnega stanja kvalitetnih parametrov v obravnavanem vodovodnem sistemu, ki se ga dobi z zbiranjem podatkov pred izpiranjem. Ti podatki se lahko dobijo iz morebitnih obstoječih programov upravljavca za nadzor nad stanjem teh parametrov v vodovodnem sistemu ali iz obstoječih zapisov v posedovanju upravljavca (Friedman in sod., 2002). Poznavanje izhodiščnega stanja v vodovodnem sistemu je v veliko pomoč pri določanju obsega izpiranja, ki je del snovanja programa enosmernega izpiranja. Ko poznamo problematična območja in vrsto težav, lahko lažje določimo odseke izpiranj in hitrosti toka vode, ki bodo prinesla želene rezultate (Friedman in sod., 2002).

Potek postopka izpiranja

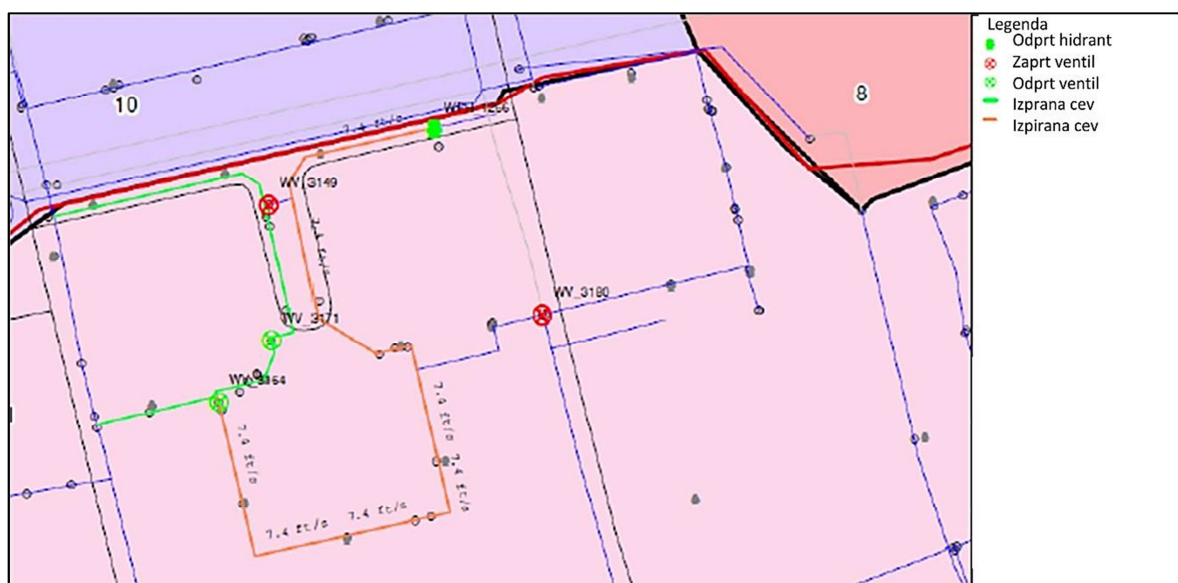
Ko imamo vodovodni sistem ustrezno razdeljen, se lahko lotimo razvijanja postopka izpiranja cevovoda, ki bo definiral vse korake, ki jih mora osebje na terenu opraviti. Postopek se definira za določen odsek sistema v pripadajoči coni. Postopek mora nuditi natančen pregled zaporedja dejanj v smislu, katere ventile zapreti, katere pustiti odprte, kateri hidrant odpreti, kako dolgo izpirati itd. Celoten postopek enosmernega izpiranja odseka cevovoda običajno sledi naslednjem vzorcu (Poulin in sod., 2010):

- zaprtje ventilov, s čimer ustvarimo odsek,
- odprtje hidrantov oz. drugih naprav za izpiranje obravnavanega odseka,
- zaprtje hidrantov po končanem izpiranju,
- preverjanje, ali morajo ventili ostati še zaprti za izpiranje odseka, ki sledi,
- zaprtje ventilov, ki niso potrebni za izpiranje odseka, ki sledi in
- ponovitev postopka na naslednjem odseku.

Navodila oz. obrazci naj bodo jasni in pregledni. Dobro zasnovani obrazci lahko predstavljajo vso potrebno evidenco in vse potrebne zapise, ki se morajo opraviti pri izvajanju izpiranja.

Navodilu se lahko doda grafična priloga, na kateri se postopek za vsak korak prikaže še shematsko. Z uporabo barv in preglednih simbolov se za vsak korak prikaže odprtost oz. zaprtost ventilov in

hidrantov, cevi, ki so že izprane, se lahko označijo z drugo barvo itd. Primer takšne grafične priloge je prikazan na sliki 38.



Slika 38: Primer grafične priloge iz navodil za enosmerno izpiranje (Langston, 2013)

Osebjem na terenu je potrebno zagotoviti tudi tabelo, kamor bodo vpisali parametre, ki se merijo med izpiranjem. Meritve, ki se izvajajo med izpiranjem, so meritve tlaka, meritve motnosti vode, meritve časa izpiranja, meritve pretoka idr.

3.5.3 Izvajanje programa enosmernega izpiranja

Ko so vse, v poglavju 3.5.2.2, navedene zahteve urejene, se lahko začne izvajanje izpiranja po programu. Osebjem, ki izvaja izpiranje, mora biti ustrezno izurjeno in ustrezno opremljeno. Pred začetkom izpiranja je treba preveriti delovanje hidrantov in ventilov. S tem se opravi pregled in zagotovi, da med izpiranjem ne bo prišlo do težav. Ventile in hidrante se odpira oz. zapira počasi, da se ne povzroči vodni udar.

Pri izpiranju osebje na terenu sledi natančnim navodilom, ki so jih prejeli. Izpiranje traja tako dolgo, kot je to definirano v navodilih oz. dokler merjeni parametri ne dosežejo zelenih vrednosti. Parametri, ki se med izpiranjem merijo, se zabeležijo, kot to velevala navodila.

Meritve parametrov kvalitete vode se naj izvedejo pred, med in po izpiranju (Friedman in sod., 2002). Med izpiranjem se na iztoku meri tudi pretok in tlak, za katerega moramo paziti, da ne pade pod vrednost, določeno v navodilih.

Pri izvedbi izpiranja mora biti osebje pozorno na svojo varnost in na varnost okolice. Voda, ki je rezultat izpiranja, se naj usmeri stran od prometa, pešcev, jaškov in privatnih zemljišč. Osebje naj preveri, da so naprave, ki bodo služile za odtok vode, sposobne odvesti vodo iz območja.

3.5.4 Ocena uspešnosti programa

Za oceno uspešnosti programa enosmernega izpiranja je ključno zbiranje relevantnih podatkov pred, med in po izpiranju (Friedman in sod., 2002). Za oceno uspešnosti si pomagamo z uporabo računalniških orodij, s katerimi dobimo pregled nad vsemi parametri ter njihovim spreminjanjem skozi čas. Tako lahko ocenimo uspešnost programa izpiranja ter po potrebi prilagajamo program izpiranja za izboljšavo rezultatov.

S spremljanjem parametrov skozi čas se lahko določijo tudi intervali čiščenja omrežja. Seveda je pri pogostosti izpiranja treba gledati še na kadrovske in stroškovne zmožnosti upravljavca. Tu se izkaže možnost spremljanja podatkov, saj lahko ocenimo, katera območja so bolj podvržena težavam povezanim z akumulacijo delcev v cevovodih. Problematična območja se izpirajo pogosteje, pri manj problematičnih oz. neproblematičnih območjih je zadostno manj pogosto izpiranje. Tako lahko upravljavec sredstva namenjena izpiranju omrežja izkoristi bolj preudarno.

Obstaja tudi metoda, s katero lahko hitreje ocenimo potrebo po izpiranju in uspešnost opravljenega izpiranja. Gre za metodo RPM, ki je natančneje opisana v poglavju 3.3.4.

3.6 Modeliranje izpiranja cevovodov

Osebe, ki izvaja izpiranje cevovodov, ne more vedeti, kaj se dogaja med izpiranjem v cevovodu. Parametra, kot sta hitrosti in pretoki po ceveh, se lahko namreč uporabita kot pokazatelja uspešnosti izpiranja, a predstavljata osebu na terenu neznanke. Težava se lahko reši z uporabo orodij za hidravlično modeliranje cevovodnih sistemov, s katerim ugotovimo hidravlične razmere znotraj cevovoda. Ko poznamo hitrosti toka vode oz. pretoke v obravnavanih ceveh, lahko na podlagi le-teh ocenimo uspešnost izpiranja. V primeru zankastega omrežja lahko s hidravličnim modelom preverjamo oz. ugotavljamo tudi vpliv izkoriščanja ventilov na pretočne razmere znotraj cevovodov na obravnavanem območju. Z modelom lahko torej preučimo hidravlične razmere znotraj obravnavanega odseka cevovodnega sistema pri različnih kombinacijah zaprtih oz. odprtih ventilov in najdemo kombinacijo, ki omogoča najbolj učinkovito izpiranje.

Uporaba hidravličnega modela ni potrebna pri izpiranju cevi, ki se napajajo samo z ene strani, saj se lahko hitrosti v takšnih ceveh določijo na terenu. Se pa lahko hidravlični model v tem primeru uporabi za preverjanje vplivov izpiranja cevovoda na hidravlične razmere po sistemu, torej za ugotavljanje neželenih učinkov na nivo oskrbe.

4 VODOVODNI SISTEM ŠMARTNO OB PAKI

To poglavje je namenjeno opisu vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. Opisano je območje, ki ga omrežje oskrbuje, topologija omrežja in način njegovega delovanja. Obravnavane so tudi lastnosti cevovodov, kot so npr. njihova starost, material ipd. Velja tudi omeniti, da se bo nekje do jeseni leta 2014 vzpostavila navezava, ki bo obravnavano omrežje povezala s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj. S tem se bodo spremenile določene lastnosti omrežja. Najprej bo opisan vodovodni sistem v stanju pred navezavo na centralni vodovodni sistem, nato pa še podane spremembe na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki, ki bodo prišle skupaj z vzpostavitvijo navezave.

4.1 Območje oskrbe

Obravnavan vodovodni sistem oskrbuje s pitno vodo območje občine Šmartno ob Paki, ki spada med manjše slovenske občine s površino 18,2 km². Po podatkih iz leta 2012 šteje približno 3300 prebivalcev², ki sestavljajo okoli 1000 gospodinjstev. Občina Šmartno ob Paki je del Savinjske statistične regije in meji z občino Šoštanj, Polzela, Braslovče in Mozirje. Občino tvori deset naselij:

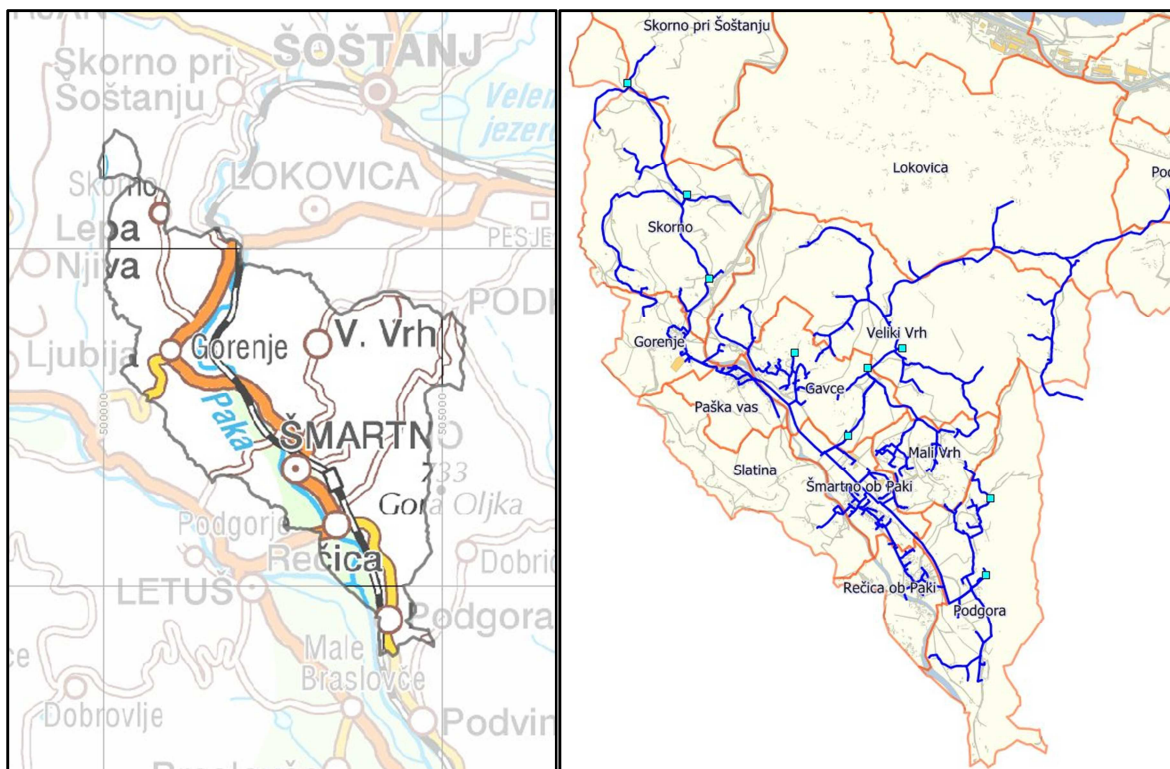
- Gavce,
- Gorenje,
- Mali Vrh,
- Paška vas,
- Podgora,
- Rečica ob Paki,
- Skorno,
- Slatina,
- Šmartno ob Paki in
- Veliki Vrh.

Vodovodni sistem Šmartno ob Paki s pitno vodo oskrbuje približno 2700 porabnikov oz. nekje okoli 600 gospodinjstev znotraj meja občine Šmartno ob Paki.

Del vodovodnega sistema Šmartno ob Paki sega preko meja občine in tako oskrbuje del porabnikov iz občin Mozirje, Polzela, Šoštanj in Velenje. Tako vodovodni sistem Šmartno ob Paki preko meja občine oskrbuje okoli 180 porabnikov pitne vode oz. 45 gospodinjstev.

Območje oskrbe s pitno vodo je precej razgibano ter hribovito z izjemo naselij Šmartno ob Paki, Paška vas in Rečica ob Paki, kjer je svet ravninski. Najnižji porabnik se nahaja na jugu občine in sicer na 301 m n. m., najvišji porabnik pa se nahaja na severu občine na 593 m n. m. Torej znaša višinska razlika med najnižjim in najvišjim porabnikom skoraj 300 m.

² Tj. prebivalcev s stalnim prebivališčem v občini Šmartno ob Paki po podatkih iz centralnega registra prebivalcev december 2012.



Slika 39: Občina Šmartno ob Paki (levo) in vodovodni sistem Šmartno ob Paki (desno)
(<http://www.geoprostor.net/> [3.3.2014] in KP Velenje, 2014)

4.2 Opis vodovodnega sistema

Naslednja podpoglavja opisujejo delovanje in karakteristike obstoječega vodovodnega sistema Šmartno ob Paki.

4.2.1 Delovanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki

Vodovodni sistem Šmartno ob Paki se oskrbuje z vodo, ki se zajema v vodarni Šmartno ob Paki, vodarni Rečica in iz vrtine Podgora. V vodarni Šmartno ob Paki se voda črpa iz vodnjaka, katerega izdatnost niha med 3,1 in 10 l/s. V vodarni Rečica se voda črpa iz dveh vodnjakov in ene vrtine. Izdatnost tega vira je nekje med 3,3 in 21 l/s. Vrtina Podgora je manj izdaten vir. Ime črpališča na vrtini Podgora se glasi Rečica 2. Največja izdatnost znaša 1,2 l/s, najmanjša pa 0,75 l/s. Vsi trije viri skupaj na letni ravni zagotavljajo okrog 204600 m³ pitne vode.

Iz vodarne Rečica in vrtine Podgora oz. črpališča Rečica 2 se voda črpa neposredno v vodohran Rečica, od koder se nato oskrbuje sistem. Iz vodarne Šmartno ob Paki se voda črpa v vodooskrbni sistem, višek vode se shranjuje v vodohranu Šmartno ob Paki. Vodohran Šmartno ob Paki v sistemu deluje kot protiležni vodohran vodohranu Rečica. Vodohran Šmartno ob Paki služi večinoma kot akumulacija za oskrbo s pitno vodo večjega dela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. Torej vodohran Rečica in vodohran Šmartno ob Paki skupaj gravitacijsko oskrbujeta območje, do koder tlačne in pretočne razmere v cevovodu oskrbo omogočajo, nato se do ostalih območij voda ponovno črpa in shranjuje v vodohranih.

Za oskrbo s pitno vodo višje ležečih porabnikov v naselju Podgora je v bližini vodohrana Rečica neposredno na vodovodno omrežje priključena črpalna postaja Podgora, ki črpa vodo v vodohran Podgora.

Na vodohranu Šmartno ob Paki je vgrajena črpalna postaja Veliki Vrh 1, ki črpa vodo v vodohran Bačovnik. Na vodohranu Bačovnik je vgrajena črpalna postaja Veliki Vrh 2, ki iz omenjenega vodohrana črpa vodo v vodohran Veliki Vrh. Ta veja omrežja oskrbuje s pitno vodo dele naselij Mali Vrh, Veliki Vrh, Gavce in del naselij Lokovica, Podgorje ter Dobrič, ki se nahajajo zunaj meja občine Šmartno ob Paki.

Za oskrbo večjega dela naselja Gavce je neposredno na vodovodno omrežje priključeno črpališče Gavce, ki črpa vodo v vodohran Gavce. Do črpališča Gavce prihaja voda iz vodohranov Rečica in Šmartno ob Paki. S te veje sistema se oskrbuje tudi manjši del naselja Veliki Vrh.

V naselju Skorno stoji vodohran Gorenje Skorno 1, ki služi kot akumulacija za prečrpavanje vode do višje ležečih porabnikov. Na omenjenem vodohranu je vgrajeno isto imenovano črpališče, ki črpa vodo do vodohrana in črpališča Gorenje Skorno 2. Od tod se voda še enkrat prečrpa v vodohran Gorenje Skorno 3. Na ta način se s pitno vodo oskrbuje porabnike z naselij Gorenje in Skorno.

Delovanje celotnega sistema je shematsko prikazano v prilogi A.

4.2.2 Lastnosti vodnih virov, vodohranov in črpališč

4.2.2.1 Vodni viri

Vodarna Šmartno ob Paki se nahaja na levem bregu Pake severozahodno od naselja Šmartno ob Paki. Preko vodnjaka se črpa naplavinska podtalnica. Vodonosnik je sestavljen iz starejšega 3 do 6 metrov debelega peščeno-prodnatega nasipa reke Savinje, ki se nahaja na podlagi iz sivega laporja z vložki tufa. Nad vodonosnim slojem se nahaja glinast in glinasto-peščeni pokrov, katerega debelini nista znani. Glavna smer toka podtalnice je v smeri od severozahoda do jugovzhoda. Iz tega vodnjaka je možno črpati do 10 litrov vode na sekundo. S tega vira se je v letu 2012 načrpalo okoli 78800 m³ pitne vode.

Vodarna Rečica se nahaja na levem bregu Pake vzhodno od naselja Rečica ob Paki. Voda se zajema iz dveh vodnjakov, ki zbirata vodo iz naplavinskega vodonosnika. Gre za starejši peščeno-prodnati vodonosnik istega izvora kot zgoraj omenjeni vodonosnik, debeline od 3,5 do 5,8 metrov, ki se nahaja na podlagi iz sivega laporja z vložki tufa. Nad vodonosnim slojem se nahaja glinast in glinasto-peščeni pokrov debeline od 0,6 do 2,2 m, njegova debelina se veča proti vzhodu. Glavna smer toka podtalnice je v smeri severozahod proti jugovzhodu. Študija, izdelana v letu 1986, je pokazala, da je iz tega vodnjaka možno črpati do 15 litrov vode na sekundo. V letu 2012 se je s tega vira načrpalo okrog 110400 m³ pitne vode.

Vrtina Podgora se nahaja severozahodno od naselja Rečica ob Paki pod vznožjem Gore Oljke. V vrtino je vgrajena jeklena cev z notranjim premerom v izmeri 104 mm, ki sega 113 m v globino. Do globine 49 m je vgrajena polna cev, od 49 m naprej je vgrajena slotirana cev. Preko vrtine se črpa razpoklinska podtalnica. Vodonosni sloj predstavlja porušen apnenec, katerega zgornji rob se nahaja na globini 49 m. V letu 2012 je količina načrpane pitne vode s tega vira znašala 15500 m³.

Splošne lastnosti navedenih zajetij so podane v preglednici 18.

Preglednica 18: Splošne lastnosti zajetij

Lastnosti	Vodarna Šmartno ob Paki	Vodarna Rečica	Vrtina Podgora
Leto ureditve zajetja	1964	1988	2003
Leto preureditve	2004	/	/
Minimalna izdatnost (l/s)	3,1	3,3	0,75
Maksimalna izdatnost (l/s)	10	21	1,2
Srednja izdatnost (l/s)	7,9	13,9	0,9
Količina načrpane vode ³ (m ³ /leto)	78804	110375	15346
Vrsta vodnega vira	Naplavinska podtalnica	Naplavinska podtalnica	Razpoklinska podtalnica
Globina črpanja (m)	4	4	49-113
Vodonosni sloj	Peščeno prodnati	Peščeno-prodnati	Razpokan apnenec
Dezinfekcija vode	Kloriranje s plinskim klorom	Kloriranje s plinskim klorom	/
Število napajanih vodohranov	5	4	1 ⁴

Vodovarstvena območja virov pitne vode v občini Šmartno ob Paki so določena z Uredbo o vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območja občin Šmartno ob Paki, Polzela in Braslovče. Na splošno pa vodovarstvena območja sestavljajo (UL RS št. 98/2011):

- območja zajetij in
- tri notranja območja:
 - najožja vodovarstvena območja z najstrožjim vodovarstvenim režimom z oznako VVO I,
 - ožja vodovarstvena območja s strožjim vodovarstvenim režimom z oznako VVO II ter
 - širša vodovarstvena območja z milejšim vodovarstvenim režimom z oznako VVO III.

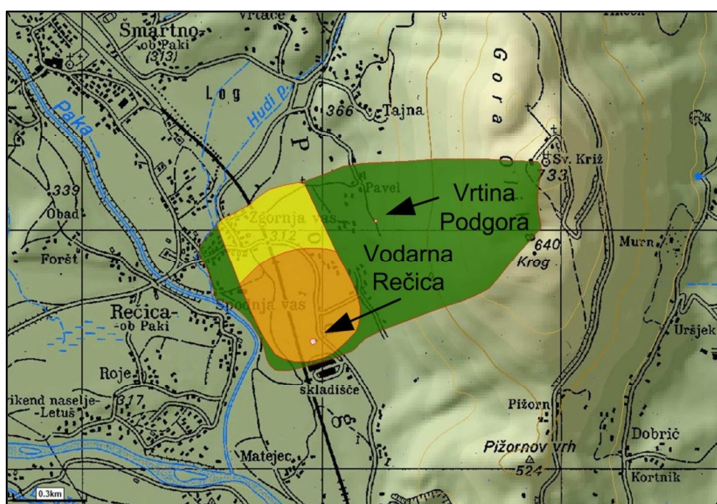
Na območju zajetja je gradnja dovoljena le v primeru, da je ta namenjena javni oskrbi s pitno vodo. Prepovedano je tudi opravljanje dejavnosti, ki bi lahko vplivale na lastnosti ali kakovost pitne vode (UL RS št. 98/2011). Najožje vodovarstveno območje je območje blizu zajetja, kjer onesnaževala hitro dosežejo zajetje. Za medzrnski vodonosnik je najožje vodovarstveno območje določeno tako, da ta zajema neposredno zaledje zajetja, iz katerega priteče voda do zajetja v najmanj 50 dneh (UL RS št. 64/2004). Ožje vodovarstveno območje je območje, ki v primeru onesnaženja zagotavlja dovolj dolg zadrževalni čas, dovolj veliko razredčenje in omogoča ustrezen čas za ukrepanje. Za medzrnski vodonosnik je meja ožjega vodovarstvenega območja določena tako, da voda s tega območja potuje

³ Količina načrpane vode v letu 2012.

⁴ Vrtina Podgora napaja vodohran Rečica skupaj z vodarno Rečica.

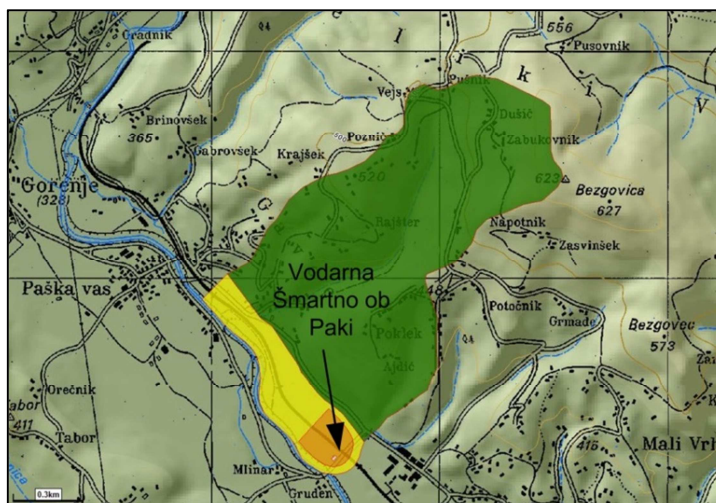
najmanj 400 dni do zajetja (UL RS št. 64/2004). Širše vodovarstveno območje pa zajema celotno napajalno območje vodonosnika, s katerega se podtalnica izteka v smeri zajetja ali črpališča, in območja, s katerih se lahko onesnažene površinske vode iztekajo na napajalno območje vodonosnika (UL RS št. 64/2004).

Za vodni vir Rečica je določeno območje zajetja v izmeri okoli 450 m², za vodni vir Podgora pa okoli 100 m². Za vodni vir Podgora vodovarstvena območja sicer niso posebej določena, ampak se vir Podgora nahaja v širšem vodovarstvenem območju vira Rečica. Notranja območja tega vodovarstvenega območja na zahodu omejujeta vodotoka Hudi potok in Paka na vzhodu pa sega širše vodovarstveno območje do vrha Gore Oljke. Skupna površina vodovarstvenega območja za vodni vir Rečica znaša okoli 0,85 km².



Slika 40: Vodovarstveno območje vodnih virov Rečica in Podgora
(<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/> [18.3.2014])

Za vodni vir Šmartno ob Paki je določeno območje zajetja v izmeri okoli 250 m². Na zahodu je vodovarstveno območje omejeno z reko Pako. Širše vodovarstveno območje sega proti severovzhodu do vrhov okoliških hribov. Skupna površina vseh pasov vodovarstvenega območja za vodni vir Šmartno ob Paki je približno 1,3 km².



Slika 41: Vodovarstveno območje vodnega vira Šmartno ob Paki
(<http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/> [18.3.2014])

4.2.2.2 Vodohrani

Na cevovodnem sistemu za oskrbo s pitno vodo občine Šmartno ob Paki je devet vodohranov, njihove osnovne lastnosti so podane v preglednici.

Preglednica 19: Osnovne lastnosti vodohranov

Naziv vodohrana	Volumen (m ³)	Leto izgradnje	Kota dotoka (m n.m.)	Kota iztoka (m n.m.)	Kota preliva (m n.m.)
V. Rečica	250	1995	367	365	368,5
V. Podgora	70	1996	409,7	406,3	408,1
V. Šmartno ob Paki	90	1964	363	360	362,8
V. Veliki vrh	20	1989	474,2	472,4	474,1
V. Bačovnik	200	1986	581	578,6	580,6
V. Gavce	100	1983	399,2	397,1	399
V. Gorenje-Skorno I	11	1994	355	353	355,2
V. Gorenje-Skorno II	35	1994	481,5	478,9	481,5
V. Gorenje-Skorno III	35	1994	600	597	599,6

Večina vodohranov na obravnavanem sistemu je zasnovanih kot prehodni oz. pretočni vodohran. To pomeni, da se, kadar gladina vode v določenem vodohranu pade pod nastavljeno vrednost, v pripadajočem črpališču vklopijo črpalke, ki v vodohranu dvignejo nivo vode. Ko se ta dvigne do nastavljene maksimalne dovoljene gladine, se črpalke avtomatsko izklopijo. Voda nato gravitacijsko teče do porabnikov.

4.2.2.3 Črpališča

Vodovodni sistem Šmartno ob Paki oskrbuje območje, ki se nahaja tako na ravninskem kot na hribovitem svetu. Ker so vodni viri, iz katerih se omrežje napaja, locirani v nižinah, je potrebno vodo do višje ležečih porabnikov prečrpavati. Višinska razlika med vodnimi viri in najvišje ležečim vodohranom znaša okrog 300 m.

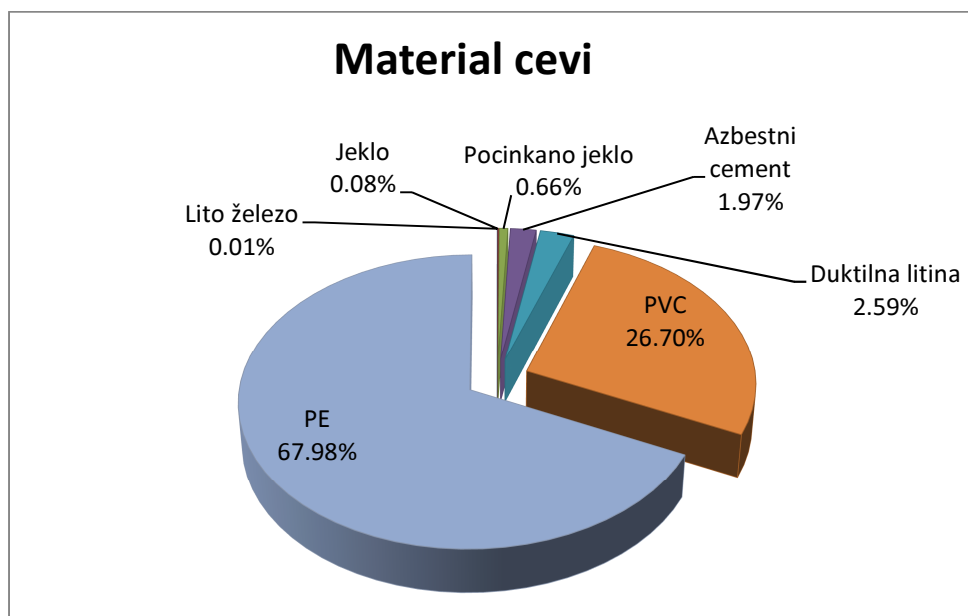
Na obravnavanem vodovodnem sistemu je 9 črpališč, ki se delijo na 4 tipe. Prvi tip črpališč sta črpališči, ki sta del vodarn Rečica in Šmartno ob Paki. V vodarni Rečica se voda črpa iz vodnjaka direktno v vodohran Rečica, v vodarni Šmartno ob Paki pa se voda iz vodnjaka črpa v vodohran Šmartno ob Paki s to razliko, da so med vodarno in vodohranom še porabniki. Drugi tip črpališča je črpališče Rečica 2, ki črpa vodo iz vrtine Podgora direktno v vodohran Rečica. Tretji tip črpališč predstavljata črpališči Gavce in Podgora, ki sta priključeni neposredno na vodovodno omrežje. Voda se od priključnega mesta črpa do višje ležečih vodohranov (vodohran Gavce in vodohran Podgora), med potjo se tlak poviša tudi porabnikom. Četrty tip črpališč pa so črpališča, ki se nahajajo pri vodohranih. Ti vodohrani služijo kot nekakšne akumulacija za ta črpališča, voda se črpa iz zbirnih komor. Ta črpališča črpajo vodo iz pripadajočih vodohranov v višje ležeče vodohrane, med potjo so oskrbovani tudi porabniki. Na obravnavanem vodovodnem sistemu so 4 takšna črpališča, in sicer črpališči Veliki vrh 1 in 2 ter črpališči Gorenje–Skorno 1 in 2. V preglednici 20 so prikazane glavne karakteristike omenjenih črpališč.

Preglednica 20: Osnovne karakteristike črpališč

Tip črpališča	Ime črpališča	Leto izgradnje	Število črpalk	Skupna moč (kW)	Kapaciteta (l/s)	Višinska razlika ⁵ (m)
1. tip	Rečica	1999	3	18,5	13,8	63,5
	Šmartno ob Paki	1964	2	13	12,2	47,6
2. tip	Rečica 2	1989	1	3	1	5,7
3. tip	Gavce	1983	2	4,4	3,2	65,5
	Podgora	1998	2	2,2	2	72,7
4. tip	Veliki vrh 1	1989	2	22	8,1	113,7
	Veliki vrh 2	1989	1	5,5	2,8	108,6
	Gorenje-Skorno I	1990	1	4	1,8	131,5
	Gorenje-Skorno II	1990	1	5,5	0,6	118

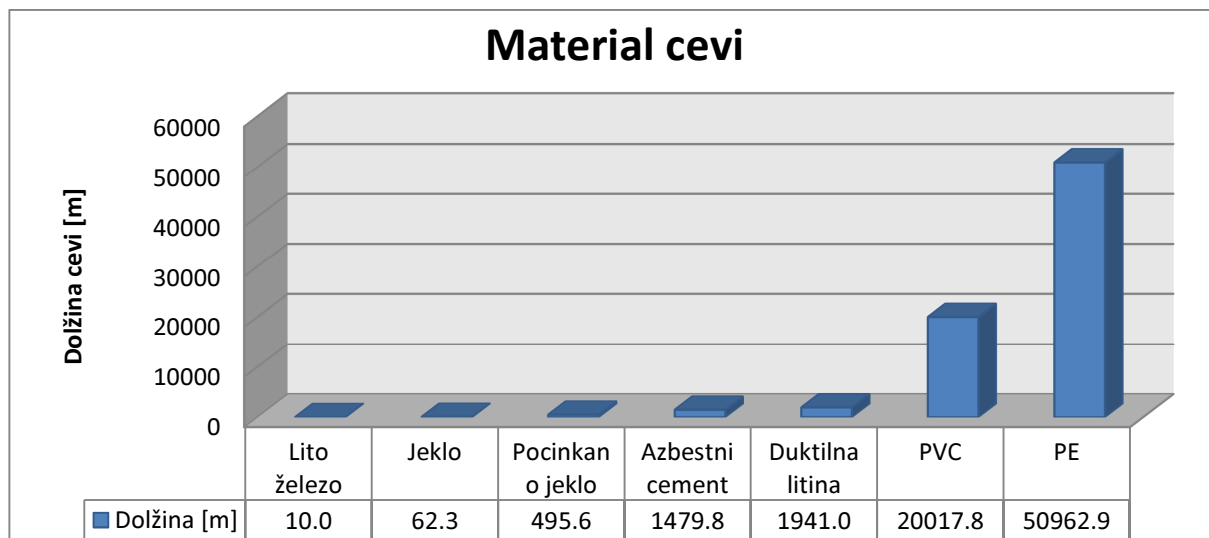
4.2.3 Lastnosti cevovodov

Voda se od zajetij do porabnikov transportira po ceveh različnih dimenzij, materialov in starosti. Skupna dolžina vgrajenih cevi v vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki je okoli 75 km. Lastnosti cevovodov obravnavanega vodovodnega sistema, ki dovajajo pitno vodo do porabnikov, so prikazane grafično in tabelarično.



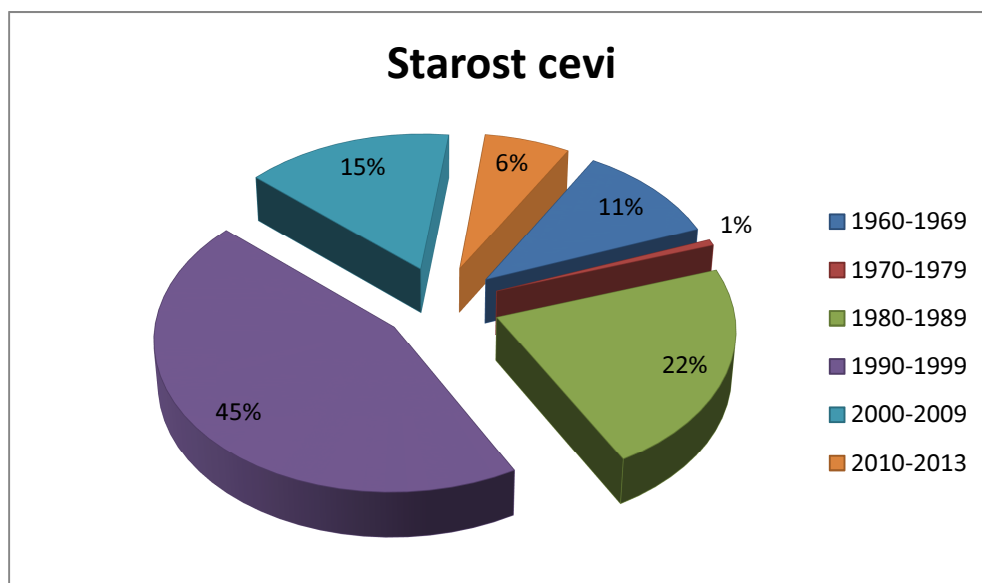
Grafikon 1: Delež posameznih materialov cevi v omrežju

⁵ Višinska razlika med koto vtoka v pripadajoč vodohran in koto odtoka obravnavane črpalke.

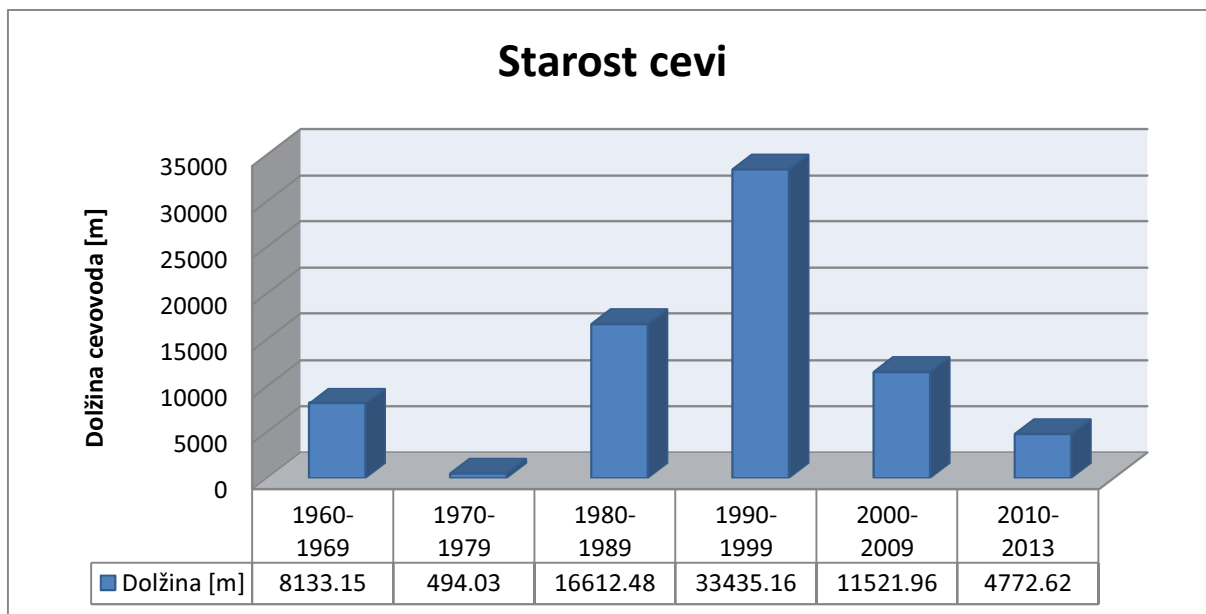


Grafikon 2: Dolžina cevi iz posameznih materialov

Iz grafikonov 1 in 2 je razvidno, da so cevi iz polietilena (PE) in polivinilklorida (PVC) prevladujoče v vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki. Material cevi je z vidika hidravličnega modeliranja pomemben podatek, saj nudi izhodiščno vrednost hrapavosti cevi. Vrednost hrapavosti cevi pa se s starostjo cevi lahko spreminja. Znano je dejstvo, da se s časom na ostenje cevi akumulira material, ki povečuje hrapavost cevi in tako vpliva na pretočnost. Grafikona 3 in 4 prikazujeta starost vgrajenih cevi v vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki.



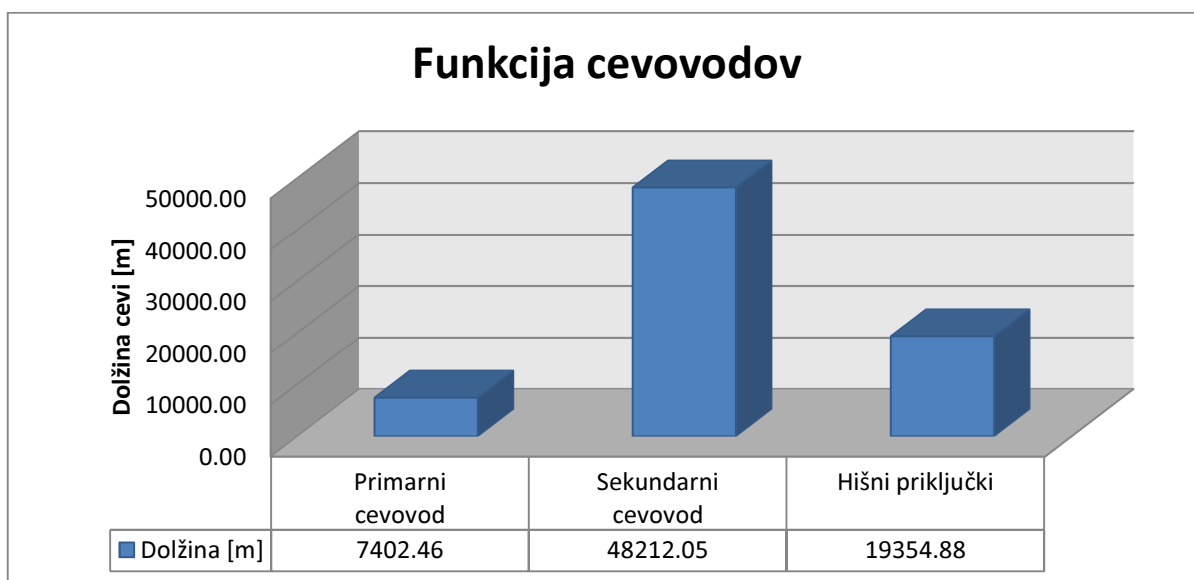
Grafikon 3: Delež cevi v omrežju glede na leto vgradnje



Grafikon 4: Dolžina cevi v omrežju glede na leto vgradnje

Iz grafikonov 3 in 4 vidimo, da je skoraj polovica cevi v omrežju vgrajenih med letoma 1990 in 1999. Nezanemarljiv delež cevi je bil vgrajen v 60. letih prejšnjega stoletja, pri čemer je najstarejša cev iz leta 1961.

Iz grafikona 5 je razvidno, da v obravnavanem omrežju prevladujejo cevovodi s sekundarno funkcijo, kamor so všteti tudi hidrantni in izpustni vodi. Nazivni premeri glavnine cevovodov primarnega omrežja v tem omrežju znašajo od 80 do 145 mm. Ista količina za glavnino cevovodov sekundarnega omrežja znaša od 26 do 100 mm, za hišne priključke oz. terciarno omrežje pa od 16 do 33 mm.



Grafikon 5: Dolžina cevi v omrežju glede na funkcijo

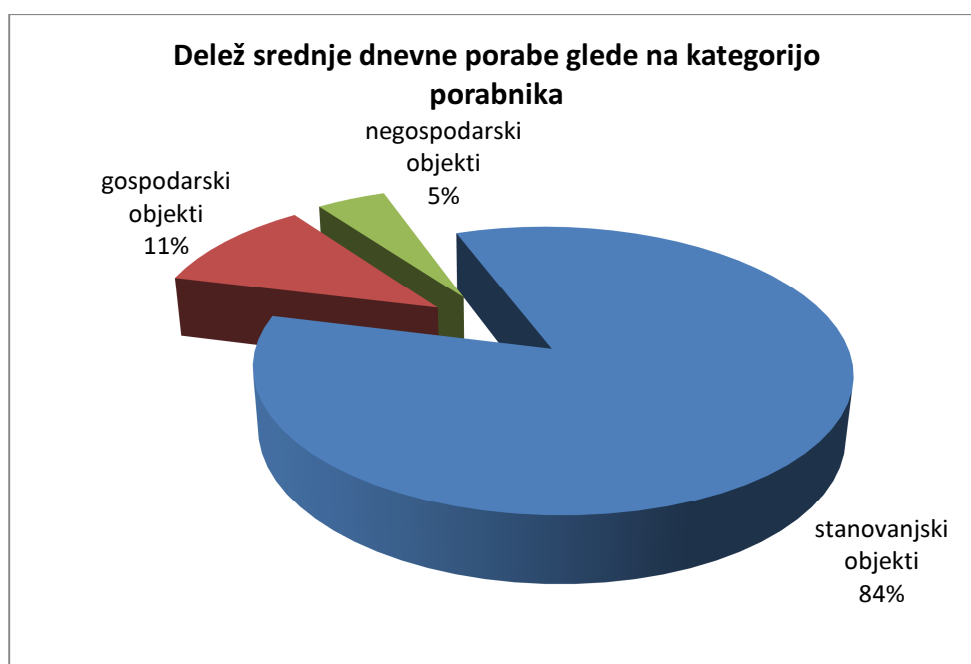
4.2.4 Poraba vode

Poraba pitne vode iz vodovodnega omrežja je odvisna od mnogih dejavnikov, kot so npr. tip naselja, vrsta in navade porabnikov, prisotnost dejavnosti oz. industrije, ki v svojih tehnoloških procesih porablja vodo itd. V spodnji preglednici je za vodovodni sistem Šmartno ob Paki podana srednja dnevna poraba v letu 2013 za različne kategorije porabnikov. Srednja dnevna poraba se določi na podlagi podatka o letni porabi, katerega delimo s številom dni v letu. Podatek o letni porabi posameznega porabnika se pridobi z odčitavanjem števca vode na odjemnem mestu. Podatki v preglednici 21 predstavljajo vsoto letne porabe vseh odjemalcev znotraj posamezne vrste porabnikov na obravnavanem območju.

Preglednica 21: Podatki o srednji dnevni porabi za različne porabnike vode vodovodnega sistema Šmartno ob Paki za leto 2013

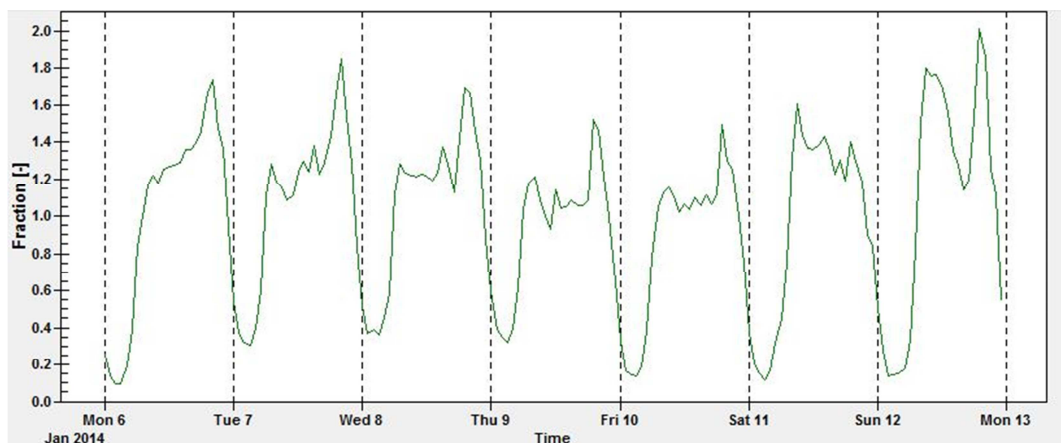
Porabnik vode	Poraba na letni ravni (m ³)	Srednja dnevna poraba (m ³ /dan)	Srednja dnevna poraba (l/s)
Individualna hiša	98366.40	269.50	3.12
Večstanovanjski objekti	13306.10	36.46	0.42
Industrija	1772.00	4.85	0.06
Obrt	2857.60	7.83	0.09
Kmetijstvo	9951.00	27.26	0.32
Šola, vrtec, ustanove	5612.20	15.38	0.18
Ostale negospodarske organizacije	406.70	1.11	0.01
Skupna vsota	132272.00	362.39	4.19

Če strnemo podatke o srednji dnevni porabi za različne kategorije porabnikov na spodnjem grafikonu, vidimo, da veliko večino porabnikov vode na obravnavanem vodovodnem sistemu predstavljajo stanovanjski objekti.



Grafikon 6: Delež srednje dnevne porabe glede na kategorijo porabnika

Poraba vode pa ni konstantna, temveč se spreminja s časom. Za vodovodni sistem Šmartno ob Paki so za različne vrste porabnikov vode določeni tedenski vzorci porabe, ki opisujejo trende porabe skozi teden. Ti tedenski vzorci porabe so se pridobili tako, da so se na odjemnih mestih določenih reprezentativnih porabnikov vode namestili merilniki pretoka, ki so beležili porabo na določen časovni interval. Iz teh podatkov so se nato generirali vzorci porabe za različne tipe porabnikov z urnim časovnim korakom. Na spodnji sliki je podan tedenski vzorec porabe za individualno hišo. Pri generiranju vzorcev je bila uporabljena predpostavka, da je poraba individualnih hiš in večstanovanjskih objektov enaka, kar pomeni da sta vzorca porabe za ta dva objekta identična.



Slika 42: Vzorec porabe za kategorijo porabnika "individualna hiša" in "večstanovanjski objekt" (Eltec Petrol, 2014)

Iz zgornjega vzorca porabe je moč razbrati tudi dnevno nihanje porabe vode, ki se bolj ali manj ponovi vsak dan, očitna razlika v vzorcu porabe vode je med delovnimi dnevi in med vikendom.

4.3 Opis planiranega omrežja

Predvidoma do jeseni leta 2014 se bo delovanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki spremenilo, saj se bo vzpostavila navezava, ki bo obravnavano omrežje povezala s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj. S tem se bodo obstoječi vodni viri na območju občine Šmartno ob Paki ukinili oz. ohranili kot rezervni, omrežje pa se bo po novem napajalo iz vodnega vira Ljubija oz. iz nove čistilne naprave Grmov vrh.

Razlogov, ki smotrnost takšne navezave potrjujejo, je več. Z medsebojno povezavo obstoječih vodovodnih sistemov v en sam integrirani sistem se bo namreč dosegla večja učinkovitost delovanja omrežja, kar pa pomeni tudi nižje stroške obratovanja le-tega. Drugi razlog, ki govori v prid navezavi na centralni vodovodni sistem, je ta, da so se obstoječi vodni viri na območju občine Šmartno ob Paki izkazali za problematične tako s količinskega kot z vidika kakovosti vode.

Problem z vidika kakovosti obstoječih vodnih virov je zmeroma visoka vsebnost nitratov, kar je pogojeno s kmetijsko dejavnostjo na vodovarstvenih območjih obstoječih virov na območju občine Šmartno ob Paki in s samimi karakteristikami terena oz. tal. Pod karakteristiko terena so mišljene lastnosti vodonosnika in lastnosti zemeljskih plasti nad oz. pod njim.

Kot že v tem poglavju omenjeno, je težava obstoječih vodnih virov tudi izdatnost, saj so v poletnih mesecih v času suše količine načrpane vode komaj zadostovale porabi. V teh primerih je bilo potrebno pozvati uporabnike k racionalni rabi pitne vode in tudi izvajati redukcije na sistemu.

Z navezavo se bo torej spremenilo delovanje omrežja, to omrežje pa se bo napajalo z novega vodnega vira. Druge karakteristike obstoječega omrežja, kot so lastnosti cevovodov in vodohranov, se s tem ne bodo bistveno spremenile, več o tem pa je povedanega v naslednjih podpoglavjih.

4.3.1 Lastnosti novozgrajenih elementov

Poleg povezovalnega cevovoda, katerega namen je opisan v poglavju 4.3, bosta na novo zgrajena še dva cevovoda, katerih namen je dobava zadostnih količin pitne vode na račun predvidenih širitev vodovodnega omrežja do novih porabnikov in na račun predvidenega povečanja gostote prebivalstva.

Povezovalni cevovod se priključi na cev centralnega sistema Velenje-Šoštanj premera 500 mm v bližini križišča regionalne ceste Šoštanj–Pesje v Družmirjah in lokalne ceste Lokovica. Povezovalni cevovod od tod poteka po trasi lokalne ceste do naselja Lokovica, nato pa bolj ali manj sledi trasi regionalne ceste Pesje–Rečica. V jašku Gorenje se povezovalni cevovod poveže z obstoječim omrežjem, nato nadaljuje pot do naselja Gavce, kjer se od povezovalnega cevovoda odcepi priključni vod dolžine okoli 100 m in premera 100 mm, ki obstoječe vodovodno omrežje Šmartno ob Paki poveže s povezovalnim cevovodom. Od omenjenega odcepa povezovalni cevovod nadaljuje pot po trasi iste regionalne ceste, dokler ne prispe do bližine vodarne Šmartno ob Paki. Na tem mestu se povezovalni cevovod zaključi in spet poveže z obstoječim omrežjem.

Opisani povezovalni cevovod je premera 200 mm, v dolžino pa meri 8141 m. Zgrajen je iz duktilnih cevi z notranjo cementno prevleko.

Kot že omenjeno, se poleg povezovalnega cevovoda zgradita še dva nova cevovoda. Prvi cevovod se začne pri vodarni Šmartno ob Paki, kjer je priključen na povezovalni cevovod in nato poteka proti vodarni Rečica. Cevovod sestoji iz duktilnih cevi z notranjo cementno prevleko premera 150 mm in meri v dolžino 2204 m. Prvih 813 m novega cevovoda predstavlja zamenjavo obstoječega voda istih dimenzij, ostalih 1391 m cevovoda pa poteka vzporedno ob obstoječem vodu, ki bo prav tako ukinjen, do bližine vodarne Rečica, kjer se nov cevovod priključi na obstoječi vod. Nov cevovod se po svoji celotni dolžini priključi na obstoječe cevovode na šestih mestih. Ta cevovod predstavlja rešitev za širitev vodovodnega sistema v smeri Polzela in rešitev za predvideno povečanje gostote prebivalstva ter za zagotavljanje požarne varnosti.

Drugi novozgrajen cevovod poteka od centra naselja Šmartno ob Paki, kjer se priključi na obstoječ vod dimenzije 150 mm, do mostu čez reko Pako. Zgrajen je iz duktilnih cevi z notranjo cementno prevleko premera 150 mm in meri v dolžino 1010 m. Cevovod predstavlja rešitev za predvideno širitev vodovodnega sistema in v smeri Letuša in Braslovč. V okviru izgradnje obravnavanega cevovoda se bo na tem območju še izvedla zamenjava nekaterih dotrajanih vodov. Odstranjeni bodo sekundarni vodi in hišni priključki iz polietilena dimenzij od 25 do 110 mm, v skupni dolžini okoli 1400 m, od katerih je velika večina bila vgrajena leta 1964. Kot zamenjava bodo vgrajene cevi iz duktilne litine in polietilena visoke gostote, dimenzij od 32 do 100 mm, v skupni dolžini okoli 1100 m.

4.3.2 Delovanje sistema

Z izgradnjo povezovalnega cevovoda se bo delovanje obstoječega vodovodnega sistema Šmartno ob Paki nekoliko spremenilo. Na območju naselja Gavce je bilo pred navezavo potrebno črpališče, ki je direktno iz omrežja črpalo vodo v vodohran Gavce. Povezovalni cevovod, ki je na tem območju priključen na obstoječe omrežje, bo vzpostavil dovolj visoke tlake, ki bodo omogočali oskrbo tega

dela omrežja in vodohrana Gavce brez uporabe omenjenega črpališča. Ostali sistem Šmartnega ob Paki pa se na novi cevovod priključi tako, da obstoječi vodohrani ohranijo svojo funkcijo. Delovanje planiranega omrežja je shematično prikazano v prilogi B.

4.3.3 Lastnosti vodnih virov

Po novem se bo vodovodni sistem Šmartno ob Paki napajal iz vodnega vira Ljubija. Vodni vir Ljubija je izvir istoimenske rečice Ljubija. Izvir je kraškega oz. natančneje vokliškega⁶ tipa in se nahaja na strmem osojnem pobočju na nadmorski višini okoli 720 m. Vir se napaja s podzemnimi vodami s severnega dela Golt in iz manjših potokov, ki pritekajo z neprepustnih kamnin Smrekovca ter ob stiku z zakraselimi tlemi ponikajo. Kraški tip vodonosnika z močno zakraselim zaledjem pogojuje obsežna vodovarstvena območja. 100 m nižje od izvira se voda zajema z zajetjem Ljubija, ki je bilo zgrajeno leta 1983. Izvir Ljubija je najizdatnejši vir v upravljanju Komunalnega podjetja Velenja, in sicer niha med 60 do tudi preko 1000 litri vode na sekundo (Stropnik, 2004).

Ker kraške vode nimajo velike samočistilne sposobnosti, se voda iz zajetja Ljubija ustrezno pripravi v čistilni napravi Grmov vrh, ki ima kapaciteto 180 litrov vode na sekundo. V letu 2012 se je iz obravnavanega vira zajelo 1545285 m³ vode (Stropnik, 2013). Okvirno do konca leta 2014 bo končana izgradnja nove čistilne naprave, na kateri se bo voda z omenjenega vira pripravljala s postopkom ultrafiltracije.

Vodovarstvena območja vodnega vira Ljubija so določena in so zaradi kraškega tipa vodonosnika dokaj obsežna. Neposredno zaščito zajetja vira predstavlja ograjen prostor v izmeri koli 150 m². Najožje vodovarstveno območje zajema območje Ljubijskega grabna med Brložskimi in Konečkimi pečinami in seže proti zahodu do ravnice pod Leskovškovo kmetijo. Med najožje vodovarstveno območje spada tudi območje Zaloke. Ožje vodovarstveno območje se širi jugozahodno od izvira in seže na Golško planoto do Smrekovca. Del ožjega vodovarstvenega območja je tudi severno od izvira. Širše vodovarstveno območje se širi zahodno od izvira in seže do Mršnega, Črnega in Vranjega vrha ter do Kalskega grebena (Stropnik, 2004). Celotno vodovarstveno območje za vodni vir Ljubija meri okoli 12,5 km² in je prikazano v prilogi C.

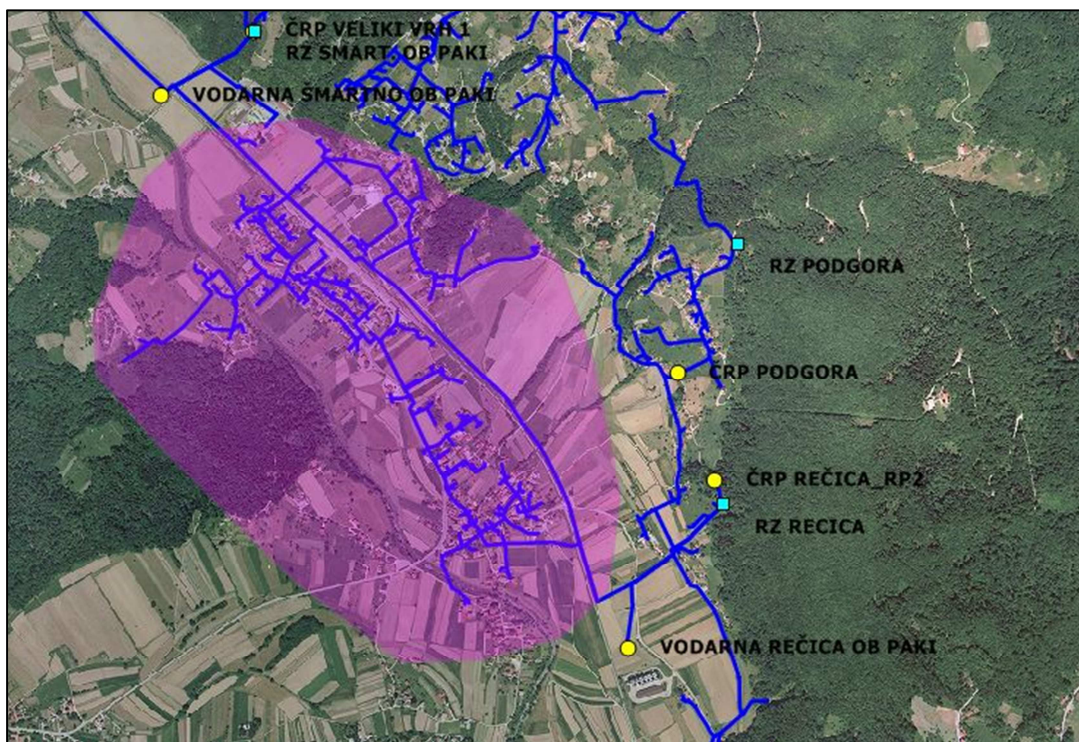
4.4 Opis problematike

Težave, povezane z akumulacijo materiala znotraj cevovodov, se na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki pojavljajo predvsem v dolini Šmartnega in Rečice ob Paki.

Težava izhaja iz dejstva, da se dolini Šmartno ob Paki in Rečica ob Paki napajata iz dveh vodohranov, in sicer iz vodohrana Šmartno ob Paki in vodohrana Rečica. Na tem območju se voda zagotavlja iz treh vodnih virov. Prvi vodni vir je vodarna Šmartno ob Paki, ki je neposredno priključena na cevovodni sistem, ki oskrbuje obravnavano območje, druga dva vira sta pa vodarna Rečica in vrtina

⁶ Za izvire tega tipa je značilno, da voda iz velikih globin priteka po strmih kanalih navzgor na površje (Wikipedia)

Podgora, ki sta na cevovodni sistem, ki oskrbuje obravnavano območje, priključena posredno preko vodohrana Rečica.



Slika 43: Območje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki oskrbovano iz dveh smeri

Torej ko v vodarni Šmartno ob Paki črpalke delujejo, teče voda iz vodarne Šmartno ob Paki proti obema vodohranoma. Ko pa se črpalke v vodarni Šmartno ob Paki izključijo, se obravnavano območje napaja iz obeh vodohranov. Ker se del območja napaja iz vodohrana Šmartno ob Paki, del območja pa iz vodohrana Rečica, prihaja nekje na tem območju do sistemskih vododelnic. Na mestu, kjer se nahaja sistemska vododelnica, velja, da je hitrost toka vode enaka nič oz., da na tem mestu ni pretoka vode.

Kot že opisano v poglavju 3.2, se material znotraj cevovodov akumulira v času oz. na območju nizkih pretokov, ker so strižne sile vode, ki med drugim držijo material v suspenzu, manjše od sil, ki stremijo sedimentaciji oz. akumulaciji delcev. To pomeni, da se zaradi nizkih hitrosti, ki so prisotne v območju sistemskih vododelnic, akumulira material, ki predstavlja tveganje za pojav motnosti. Območja povečane akumulacije materiala znotraj cevi se med drugimi nahajajo tudi na območjih depresij sistema.

4.5 Izpiranje cevodov na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki

Odstranjevanje akumuliranega in ostalega materiala iz cevodov je v domeni upravljavca vodovodnega sistema, ki je v tem primeru Komunalno podjetje Velenje. V Komunalnem podjetju Velenje se za odstranjevanje materiala iz cevodov poslužujejo konvencionalne⁷ tehnike izpiranja cevodov z vodo. Izpiranje cevodov delijo na plansko in izredno izpiranje.

4.5.1 Plansko izpiranje cevodov

V Komunalnem podjetju Velenje se kot plansko izpiranje cevodov obravnava:

- redno izpiranje cevodov,
- izpiranje cevodov med pregledom hidrantnega omrežja in
- izpiranje priključkov uporabnikov ob menjavi števca porabe vode.

Redna izpiranja cevodov so predpisana v načrtu sistema HACCP. Prevod kratice je analiza tveganja in ugotavljanja kritičnih točk (angl. Hazard Analysis Critical Control Point). Sistem HACCP je sistematičen in preventiven sistem kakovosti za zagotavljanje varnosti in zdravstvene ustreznosti pitne vode in ostalih živil.

Časovni intervali med rednimi izpiranji cevodov se v KP Velenje določajo na podlagi izkušenj oz. glede na zmožnost terenskih ekip. Če je za določen odsek znano, da se težave z motnostjo vode pojavljajo pogosteje, je interval med izpiranji tega odseka krajši. In obratno, če se na nekem odseku težave z motnostjo ne pojavljajo, je interval med izpiranji tega odseka lahko daljši. Splošno velja, da se mora redno izpiranje cevodov opraviti enkrat na leto na celotnem vodovodnem sistemu.

Izpiranje cevodov poteka na izpustih, blatnih izpustih, jaških z možnostjo odtekanja vode in hidrantih. Glede na narejen plan izpiranja cevodov se delavec loti izpiranja določenega odseka cevodov na pripadajoči napravi za izpust. Postopek poteka tako, da delavec na napravi odpre ventil, s čimer se dvignejo hitrosti vode v ceveh. Namen oz. ideja tega je, da se z dvigom hitrosti povišajo obremenitve na akumuliran material v ceveh, zaradi česar ta skupaj s tokom vode zapusti cev na mestu izpusta. Med iztekanjem jemlje delavec vzorce vode na izpustu, katerim meri motnost in količino klora. Izpiranje traja tako dolgo, dokler motnost izprane vode ne pade pod 1 NTU, preveri se tudi koncentracija klora v vodi. Nato delavec zapre ventil in izpiranje je končano. Trajanje izpiranja je odvisno od posameznega primera, lahko je končano v 10 minutah, lahko pa traja tudi do pol ali celo do ene ure.

Pri opravi izpiranja se tudi pregleda in preizkusi delovanje zapornega elementa, ki služi za izpuščanje vode iz cevodov. Pregledati se mora sama izpustna cev, stanje izpustne glave, delovanje žabjega pokrova, odvisno od vrste naprave, na kateri poteka izpiranje.

⁷ Za opis tehnik odstranjevanja neželenega materiala iz cevodov glej poglavje 3.3

Evidenca pregleda in izpiranja se vodi v gradbenem dnevniku, vodi se tudi delovna dokumentacija o zdravstveni ustreznosti pitne vode.

Pod plansko izpiranje cevovodov v Komunalnem podjetju Velenje spada tudi izpiranje cevovodov ob obveznem letnem pregledu hidrantnega omrežja. Pregleda se vsak hidrant na omrežju, potek pregleda hidrantnega omrežja določa Pravilnik o preizkušanju hidrantnih omrežij (UL RS, št. 22/1995). Pri izpiranju cevovodov ob pregledu hidrantnega omrežja se poleg motnosti merita tudi statični in dinamični tlak, koncentracija klora se ne meri. Postopek, ki zadeva izpiranje cevovoda, je identičen postopku dela, izvajanjem pri rednem izpiranju cevovodov. Za preglede hidrantnega omrežja vodi Komunalno podjetje Velenje ločeno evidenco.

Za razliko od zgoraj opisanih planskih izpiranj cevovodov, se pri izpiranju cevovodov ob menjavi števca porabe vode izpere le priključek, pri tem se motnost in količina klora ne merita. Trajanje izpiranja se giblje med 5 in 10 minutami. Izpiranje priključkov se ob menjavi posameznega števca porabe vode izvaja na 5 let.

4.5.2 Izredno izpiranje

Izredno izpiranje cevovoda se opravi v primeru:

- okvare ali poškodbe cevovoda,
- novozgrajenih ali saniranih cevovodov in
- reklamacije, pritožbe strank.

Celoten postopek izrednega izpiranja kot tudi naprave, na katerih se izpira, so enake kot pri že opisanemu postopku rednega izpiranja cevovodov. V primeru okvare ali poškodbe cevovoda se izpere cel odsek, ki je bil pod vplivom okvare. Pri poškodbah cevi se namreč lahko zgodi, da v njeno notranjost pride material, katerega lahko tok vode transportira naprej po cevi. Izpiranje cevovodov je pomembno tudi v primeru novozgrajenih ali saniranih cevovodov, saj obstaja velika možnost, da med gradbenimi deli v cev zaide nezaželen material, katerega je treba pred začetkom obratovanja izprati iz cevovoda.

V primeru reklamacije oz. pritožbe glede kakovosti vode s strani uporabnika se kot vzrok težave najprej preveri interna instalacija uporabnika. Če se izkaže, da interna instalacija ni vzrok težave, se reševanje zadeve prestavi na javni vodovod. Da se določi problematičen odsek, se na najbližjih hidrantih pregleda kvaliteta vode, nato se problematičen odsek izpere. Po končanem izpiranju cevovoda se izpere še uporabnikov priključek. S tem se posredovanje upravljavca zaključí.

5 NAČRTOVANJE PROGRAMA IZPIRANJA CEVOVODOV ZA VODOVODNI SISTEM ŠMARTNO OB PAKI

Sledeča podpoglavja so namenjena načrtovanju učinkovitega programa za izpiranje cevodov na primeru vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. Za pomoč pri načrtovanju programa izpiranja bodo služili hidravlični model Aquis vodovodnega sistema Šmartno ob Paki in ostala programska orodja.

5.1 Metodologija in obseg dela

Za potrebe načrtovanja učinkovitega programa izpiranja cevodov na primeru vodovodnega sistema Šmartno ob Paki se bo najprej zgradil hidravlični model planiranega stanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, ki bo med drugim služil za ugotavljanje hitrosti toka vode, ki jo lahko dosežemo na določenem odseku cevododa.

Za potrebe diplomske naloge bo obravnavan stacionarni⁸ model toka vode. Izdelava hidravličnega modela bo v celoti izvršena v programu Aquis. Program izpiranja se bo v okviru diplomske naloge navezoval na del cevododa na območju naselij Šmartno ob Paki in Rečica, ki se oskrbuje iz dveh strani, zaradi česar pride nekje na tem območju do sistemskih vododelnic.

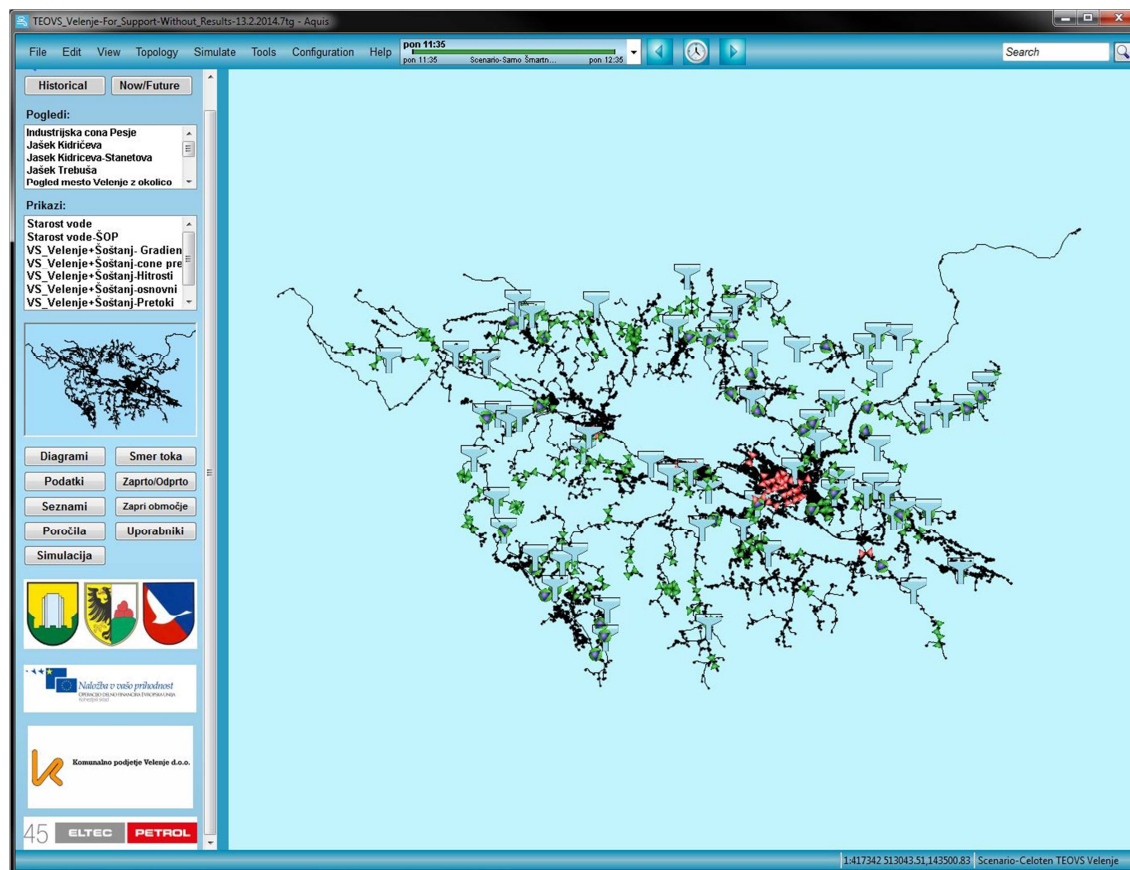
Ker je projekt navezave vodovodnega sistema Šmartno ob Paki na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj bil v času nastajanja diplomske naloge v teku, bom v okviru diplomske naloge preučeval samo planirano stanje, ki bo s seboj prineslo novo hidravlično sliko na obravnavanem območju. Nato se bo za to območje izdelal učinkovit program izpiranja po navodilih in smernicah enosmernega izpiranja cevododnih sistemov, opisanih v poglavju 3.5.

5.2 Priprava hidravličnega modela

Hidravlični model, ki bo uporabljen pri načrtovanju programa izpiranja cevodov, je osnovan na že predhodno vzpostavljenem in umerjenem modelu, ki predstavlja vodovodni sistem Šmartno ob Paki pred navezavo na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj.

Model, ki predstavlja osnovo modelu, uporabljenem za potrebe diplomske naloge, so v programu Aquis izdelali in umerili v podjetju Eltec Petrol, d. o. o. (Eltec Petrol, 2014). Poleg vodovodnega sistema Šmartno ob Paki ta hidravlični model predstavlja oz. vsebuje še vse ostale cevovode, ki so v upravljanju Komunalnega podjetja Velenje.

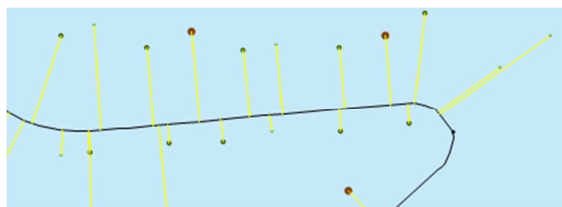
⁸ Pri stacionarnem toku se hitrost in tlak spreminjata samo po prostoru, ne pa po času (Steinman, 2010)



Slika 44: Hidravlični model vseh cevovodov v upravljanju KP Velenje (Eltec Petrol, 2014)

5.2.1 Razporejanje porabe po sistemu

Poraba na omenjenem modelu je že vnesena in razporejena po principu najbližje cevi⁹. Poraba posameznih odjemalcev je dobljena iz odčitkov števcov na obravnavanem območju na letni ravni, ki je nato pretvorjena v ustrezno enoto. Odjemalcem se pripiše še tedenski vzorec odjema oz. porabe glede na tip odjemalca. Vzorec porabe za posamezen tip odjemalca je določen na podlagi meritev 147 vodomerov, ki so sistematično razporejeni glede na različni tip odjemalcev po celotnem sistemu, ki je v upravljanju Komunalnega podjetja Velenje.



Slika 45: Razporeditev porabe v programu Aquis

⁹ Poraba se veže pravokotno na najbližjo cev in se od tam pripiše najbližjemu vozlišču te cevi (Schneider Electric, 2013b).

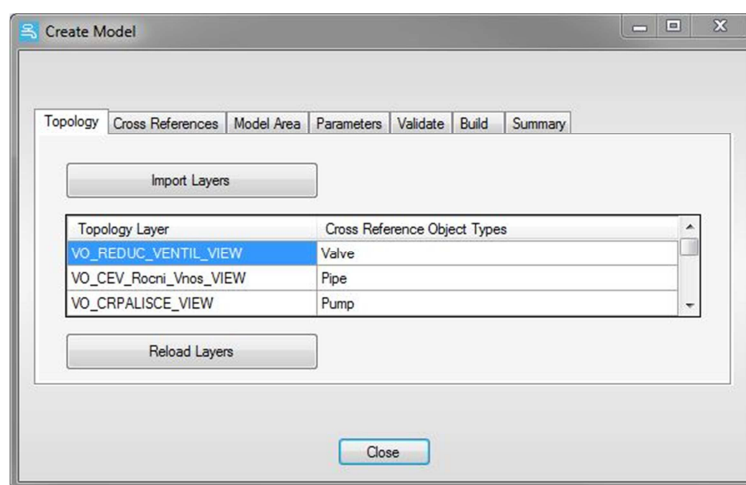
5.2.2 Zmanjšanje obsega osnovnega hidravličnega modela

Prva naloga pri vzpostavitvi hidravličnega modela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, ki predstavlja stanje po vzpostavitvi navezave na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj, je bila zmanjšati obstoječ model. Kot že rečeno, obstoječi hidravlični model vsebuje še podatke ostalih cevovodov, ki za potrebe diplomske naloge niso relevantni. Iz obstoječega modela sem odstranil vse topološke podatke, podatke o porabnikih in vse obstoječe scenarije, ki niso bili v povezavi z vodovodnim sistemom Šmartno ob Paki. Tako se je model občutno zmanjšal, kar pripomore k večji preglednosti in predvsem bolj učinkoviti uporabniški izkušnji pri delu z modelom in izvajanju hidravličnih izračunov.

5.2.3 Urejanje topologije

Sledil je vnos novih cevovodov in izbris cevovodov, ki bodo po končanem projektu opuščeni. Podatke o novih cevovodih sem pridobil iz projektov za izvedbo obravnavanih cevovodov (KP Velenje, 2007 in 2010). Najprej sem iz risb projekta za izvedbo, ki so v formatu *.dwg, izoliral linijske elemente, ki predstavljajo nove cevi in jih tako pripravil za uvoz v program Aquis. V program Aquis sem jih nato uvozil preko ukaza *ustvari model* (angl. Create model), s katerim se topološke podatke pretvori v ustrezne elemente cevovodnega sistema, v tem primeru cevi. V tem postopku se novim cevem dodajo tudi vozlišča.

Naslednji korak pri definiranju novih cevovodov je bil pripis nadmorskih višin novim vozliščem, za kar ima program Aquis svoj ukaz (angl. Assign elevations to nodes). Kot osnova za določitev višin je uporabljen digitalni model višin z ločljivostjo 25 m (DMV 25), ki je bil že vnesen v obstoječi model. Novim cevem je bilo potrebno definirati tudi vhodne podatke kot npr. notranji premer cevi in Hazen-Williamsov koeficient. Tako sem ustvaril model sestojec samo iz novih cevi. Nato sem te podatke prenesel oz. kopiral v scenarij, ki predstavlja obstoječe stanje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki. S tem načinom uvažanja novih podatkov v obstoječ, že umerjen scenarij, sem se izognil morebitnim težavam povezanim z umerjanjem modela in izgubo podatkov, ki bi se lahko pripetila ob kakšnem drugačnem načinu uvažanja podatkov. Na opisan način je bilo v model dodanih 129 cevi.



Slika 46: Okno za ustvarjanje modela v programu Aquis

Ko sem imel ustrezno vnesene nove cevovode v obstoječ model oz. scenarij vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, je sledilo povezovanje novih cevi na obstoječ sistem. Ker je samo iz topoloških

podatkov težko razvidno, kje so cevi združene, spojene in kje se križajo, sem si pri definiranju povezav med novim cevovodom in obstoječim sistemom pomagal s projekti za izvedbo novih cevovodov (KP Velenje, 2007 in 2010) in z nasveti projektanta, ki je pri nastajanju teh projektov sodeloval.

5.2.4 Ukinitvev obstoječih vodnih virov in vzpostavitev kvazi povezave s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj

Kot že omenjeno, se viri, iz katerih se je vodovodni sistem Šmartno ob Paki oskrboval pred navezavo na centralni sistem Velenje-Šoštanj, ne bodo več uporabljali. V hidravličnem modelu sem ukinitvev virov predstavil z vstavitvijo zasunov na cevi, ki vodijo do le-teh in jih zaprl. Tako se obravnavan sistem v modelu ne more več napajati iz virov, ki so bili v uporabi pred opravljeno navezavo.

Povezavo vodovodnega sistema Šmartno ob Paki s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj sem v modelu predstavil z vstavitvijo novega vira (angl. Source). Objekt vir sem vstavil v bližino jaška Gorenje. Vir bi lahko tudi vstavil v točko, kjer se povezovalni cevovod poveže s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj tj. na začetku povezovalnega cevovoda, vendar se za to lokacijo nisem odločil. V zaključnih fazah nastajanja diplomske naloge je namreč že bila opravljena preizkusna povezava obeh sistemov ter izvedene nastavitve izstopnih tlakov na novo vgrajenih reducirnih ventilih.

Iz Komunalnega podjetja Velenje sem poleg izstopnih tlakov na reducirnih ventilih dobil še podatke o vstopnih tlakih. Omenjeni lokaciji za postavitvev vira v modelu sta v tej fazi enakovredni, saj je v bližini obeh nameščen reducirni ventil in je posledično poznan gor- in dolvodni tlak. Dodaten razlog za postavitvev vira v modelu v bližino jaška Gorenje je še ta, da sta na povezovalni cevovod pred priključitvijo na vodovodni sistem Šmartno ob Paki povezana še dva zaselka z okoli 40 gospodinjstvi, ki niso del obravnavanega vodovodnega sistema.

5.2.5 Določitev robnih pogojev delovanja sistema

Obstoječ hidravlični model vodovodnega sistema Šmartno ob Paki je dinamičen model. V dinamičnem modelu se kot vhodni podatki oz. robni pogoji v tem primeru uporabljajo meritve, ki se izvajajo na sistemu na določen časovni interval. Te meritve se sproti zapisujejo v bazo, kjer so na voljo programu Aquis, ki potem izračuna hidravlične parametre po sistemu na podlagi trenutnega stanja, določenega z meritvami na vodooskrbnem sistemu.

V okviru diplomske naloge dinamičen model omrežja ni potreben, zato sem obstoječ hidravlični model vodovodnega sistema Šmartno ob Paki spremenil v statični model. To sem storil tako, da sem iz obstoječega hidravličnega modela odstranil meritve robnih pogojev oz. povezavo do le-teh ter namesto njih vstavil statične vrednosti.

Statične vrednosti robnih pogojev sem pridobil iz statičnega modela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, ki je bil narejen s strani podjetja Eltec Petrol, d. o. o. (Eltec Petrol, 2014). Robni pogoji, katere sem namesto z meritvami določil s statično vrednostjo, so začetni nivoji gladine vode vseh 9 vodohranov in robni pogoj za nadzor delovanja vseh črpalk. Lahko bi še spremenil začetne tlake v viru, vendar to ni potrebno, ker se obstoječi viri po navezavi na centralni vodovodni sistem ne bodo uporabljali in jih zato v modelu, ki bo prikazoval vodovodni sistem po vzpostavljeni navezavi, ne potrebujem.

Statične vrednosti robnega pogoja za nadzor delovanja črpalk so v podjetju Eltec Petrol, d. o. o. določili glede na razliko geografskih višin terena črpalke in najvišje ležeče točke, vodohrana ali odjemalca. Tako je bil dobljen tlak, ki je še zadosten, da vodo prečrpa do višje ležečih vodohranov oz. odjemalcev. K temu tlaku se prišteje še zračni tlak in dobljena vrednost predstavlja statični robni pogoj za nadzor delovanja črpalke v dolvodnem vozlišču črpalke.

Po opravljeni navezavi je bilo potrebno zgoraj omenjene robne pogoje nekoliko korigirati, da je model vodovodnega sistema prikazoval pričakovane hidravlične razmere v sistemu. V času nastajanja diplomske naloge še ni bilo na voljo meritev, s katerimi bi lahko primerjal hidravlične parametre.

Obstoječ model, na katerem je osnovan model stanja po opravljeni navezavi, je že vseboval nekaj reducirnih ventilov. Z vzpostavitvijo navezave med vodovodnim sistemom Šmartno ob Paki in centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj bodo na novo vgrajenih ceveh dodani dodatni reducirni ventili, ki bodo nadzirali tlačne razmere po sistemu. V model sem na novo vstavil 11 reducirnih ventilov in vsakem določil tip kontrole. V tem primeru vsi ventili nadzorujejo tlak dolvodno (PRV). Vrednosti za nastavitev reducirnih ventilov sem dobil s strani Komunalnega podjetja Velenje, kjer so te vrednosti pridobili pri preizkusu delovanja sistema ob opravljeni navezavi v času nastajanja diplomske naloge.

5.2.6 Vstavljanje armatur, pomembnih za izvajanje metode enosmernega izpiranja

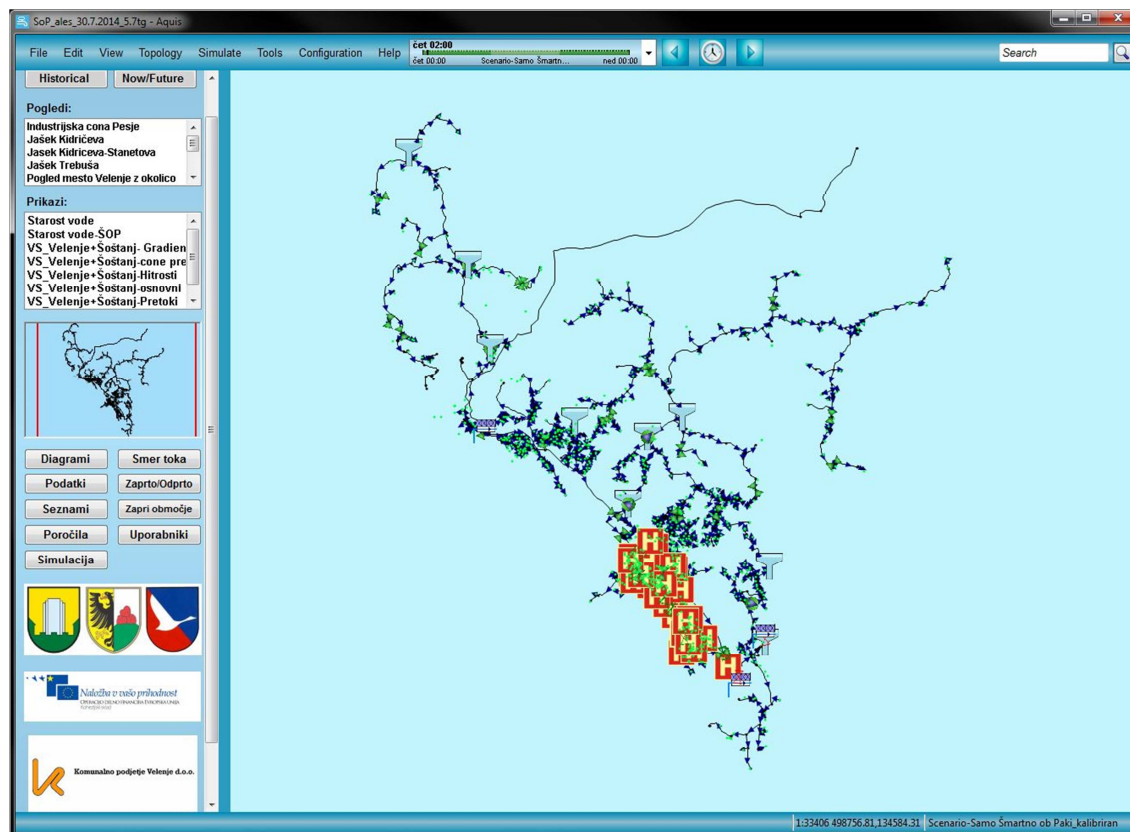
Pomemben del metode enosmernega izpiranja cevovodnih sistemov je nadziranje smeri toka vode, kar dosežemo z odpiranjem oz. zapiranjem zasunov. V model sem vstavil 44 zasunov, katerih lokacije sem ugotovil s pregledom kart obstoječega sistema ter s pregledom načrtov planiranih oz. novozgrajenih cevovodov.

Poleg zasunov so za izvajanje metode enosmernega izpiranja pomembni tudi hidranti in izpusti. V samem modelu se ti objekti med seboj ne ločijo, saj se modelirajo na enak način. Običajno so hidranti nameščeni na konce krajših odcepov, ki so namenjeni samo za namestitev hidrantov. Na te odcepe sem v modelu vstavil ventile, katerim sem določil koeficient lokalnih izgub C_v .

Sprejeta je bila predpostavka, da se bo izpiralo na B spojki hidranta DN 80. Iz preglednice 17 sem nato izbral ustrezno vrednost koeficienta lokalnih izgub C_v oz. pretočnega števila hidranta K_v , ki znaša $100 \text{ m}^3/\text{h}/\text{bar}^{0,5}$. Dolvodno od ventila se postavi še vodni vir, katerega gladina se določi 25m nad višino hidranta. Več o načinu modeliranja hidrantov oz. izpustov je zapisanega v poglavju 2.2.2.

5.2.7 Karakteristike ustvarjenega modela

Model planiranega stanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki je sestavljen iz 1828 cevi in 1829 vozlišč. V model je vstavljenih 29 reducirnih ventilov in 44 zasunov. Število naprav oz. armatur, ki bodo služile za modeliranje iztoka iz sistema z naslova izpiranja cevovodov je 32.



Slika 47: Model planiranega stanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki

5.3 Načrtovanje učinkovitega programa izpiranja

Pri načrtovanju programa izpiranja dela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki bom uporabil navodila in smernice za učinkovito načrtovanje izpiranj opisana v poglavju 3.5. Postopek načrtovanja izpiranja bo razdeljen na 2 dela, in sicer: dejavnosti pred načrtovanjem programa izpiranja in načrtovanje programa izpiranja.

Lahko bi dodali še oceno uspešnosti izpiranj, vendar je ta brez uporabe drugih metod mogoča šele po večkratnem izvajanju programa izpiranja, kot je to opisano v poglavju 3.5.4.

5.3.1 Dejavnosti pred načrtovanjem programa izpiranja

Prva naloga pri pripravi pred načrtovanjem programa izpiranj je ocenitev ustreznosti predlagane metode izpiranj. Ker so na obravnavanem območju prisotne težave, povezane z akumulacijo materiala v ceveh, je metoda enosmernega izpiranja cevovodov na obravnavanem območju aplikativna in predstavlja možno rešitev za omejevanje težav, povezanih z akumulacijo materiala.

Sledi določitev obsega območja, na katerem se bo izpiranje izvajalo. V okviru diplomske naloge se bo program izpiranja načrtoval za ravninski del vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, ki se oskrbuje iz dveh strani. Podrobnejši opis območja in težav, ki se pojavljajo na obravnavanem območju vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, je podan v poglavju 4.4.

5.3.2 Načrtovanje programa izpiranja

To poglavje nudi pregled dejavnosti načrtovanja programa izpiranja dela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki po metodi enosmernega izpiranja.

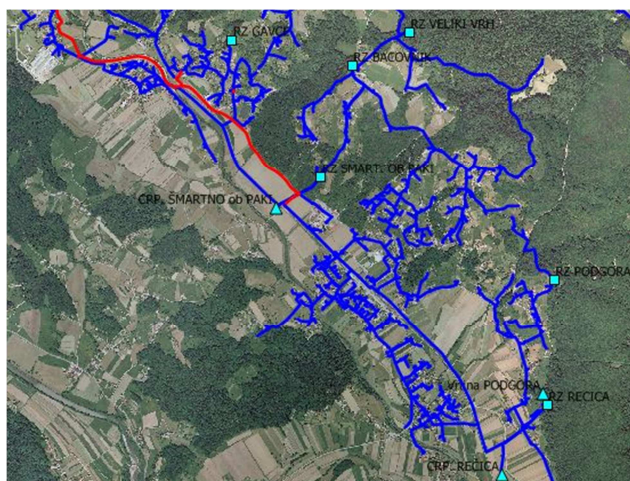
5.3.2.1 Priprava in pregled podatkov za vodovodni sistem Šmartno ob Paki

Pregled načrtov omrežja in hidravličnega modela vodovodnega sistema Šmartno ob Paki

Med načrtovanjem programa izpiranja sem z uporabo GIS orodij in podatkov dobljenih s strani KP Velenje pregledal topologijo vodovodnega sistema Šmartno ob Paki ter pregledal lokacije objektov na cevovodu, ki so pomembne za izvajanje izpiranj (zasuni, hidranti, blatni izpusti). Hidravlične razmere na obravnavanem območju vodovodnega sistema Šmartno ob Paki sem med načrtovanjem programa pregledal in preučil z uporabo hidravličnega modela, katerega nastanek je opisan v poglavju 5.2.

Definiranje čistega zaledja

Definiranje čistega zaledja je pomemben člen načrtovanja uspešnega programa izpiranja. V tem primeru sem si kot točko, ki predstavlja čisto zaledje, izbral mesto, kjer se povezovalni cevovod konča in priključi na novozgrajen cevovod v bližini vodarne Šmartno ob Paki. Opis novozgrajenih elementov je podan v poglavju 4.3.1. Bistvo definiranja čistega zaledja je, da se na območje, ki ga želimo izpirati, dovaja voda po cevovodih, ki niso problematični z vidika akumuliranega materiala, ki se lahko ob povišanih hitrostih prenaša po sistemu. Povezovalni cevovod, ki povezuje vodovodni sistem Šmartno ob Paki s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj, z vidika akumuliranega materiala ni problematičen in predstavlja čisto zaledje, saj je na novo zgrajen ter bo pred začetkom obratovanja izpran¹⁰. Tako se na območje izpiranja ne bo dovajal material iz drugih območij, ob predpostavki, da se bo načrtovan program izpiranja začel izvajati kmalu po opravljeni navezavi na centralni vodovodni sistem.



Slika 48: Definiranje čistega zaledja (rdeča cev)

¹⁰ Novozgrajeni cevovodi se pred začetkom obratovanja izperejo in dezinficirajo (Stropnik, 2013)

Pregled obstoječih dejavnosti za združitev z načrtovanim programom izpiranja

Komunalno podjetje Velenje redno izvaja več dejavnosti vzdrževanja in pregledov vodovodnega omrežja. Dejavnosti, ki bi se lahko združile z načrtovanim programom izpiranja, so:

- redno izpiranje cevovodov,
- pregled blatnikov in izpustov,
- pregled hidrantnega omrežja,
- pregled reducirnih ventilov in
- pregled jaškov.

Dejavnosti rednega izpiranja cevovodov in izpiranja cevovodov ob pregledu hidrantnega omrežja sta že podrobneje opisani v poglavju 4.5.1. Ob izvajanju rednega izpiranja se pregleda stanje in delovanje blatnikov in izpustov. V okviru pregleda hidrantnega omrežja se na letni ravni v skladu s Pravilnikom o preizkušanju hidrantnih omrežij (UL RS, št. 22/1995) pregleda in preizkusi vsak hidrant na omrežju. Kot rezultat preizkusa se zabeležijo podatki o statičnem in dinamičnem tlaku ter premeru ročnika.

Redni pregled in preizkus posameznega reducirnega ventila se izvede enkrat letno, če je potrebno, pa se reducirni ventili pregledajo tudi večkrat.

Pregled jaškov obsega pregled armature v jašku, pregled naprav za odvodnjavanje ter pregled splošnega stanja jaška kot npr. stanje lestve, pokrova ipd.

Odvodnjavanje izprane vode

Na obravnavanem območju ni posebnih omejitev glede odvodnjavanja izprane vode. Izprana voda se običajno spušča po travnatih površinah, ponekod v meteorno kanalizacijo in ponekod v vodotoke. Ker so koncentracije klora v vodi razmeroma nizke, omejitev za izpuščanje vode v potok ali reko ni. V primeru opravljanja dezinfekcije cevovoda se vodi na izpustu za nevtralizacijo klora dodaja natrijev tiosulfat.

Obveščanje javnosti

Komunalno podjetje Velenje je kot upravljavec javnega vodovoda dolžno na svojem oskrbovalnem območju zagotoviti redno obveščanje in seznanjanje uporabnikov storitev javne službe o pogojih oskrbe s pitno vodo (Stropnik, 2013). Za primer vnaprej predvidene nekaj urne prekinitve dobave pitne vode v posamezni ulici ali delu naselja, kamor spadajo dejavnosti načrtovanega enosmernega izpiranja, se tamkajšnje prebivalce o tem obvesti nekaj dni prej, in sicer z razdelitvijo pisnih obvestil ali ustno po posameznih stanovanjskih hišah ter z obvestilom na oglasni deski.

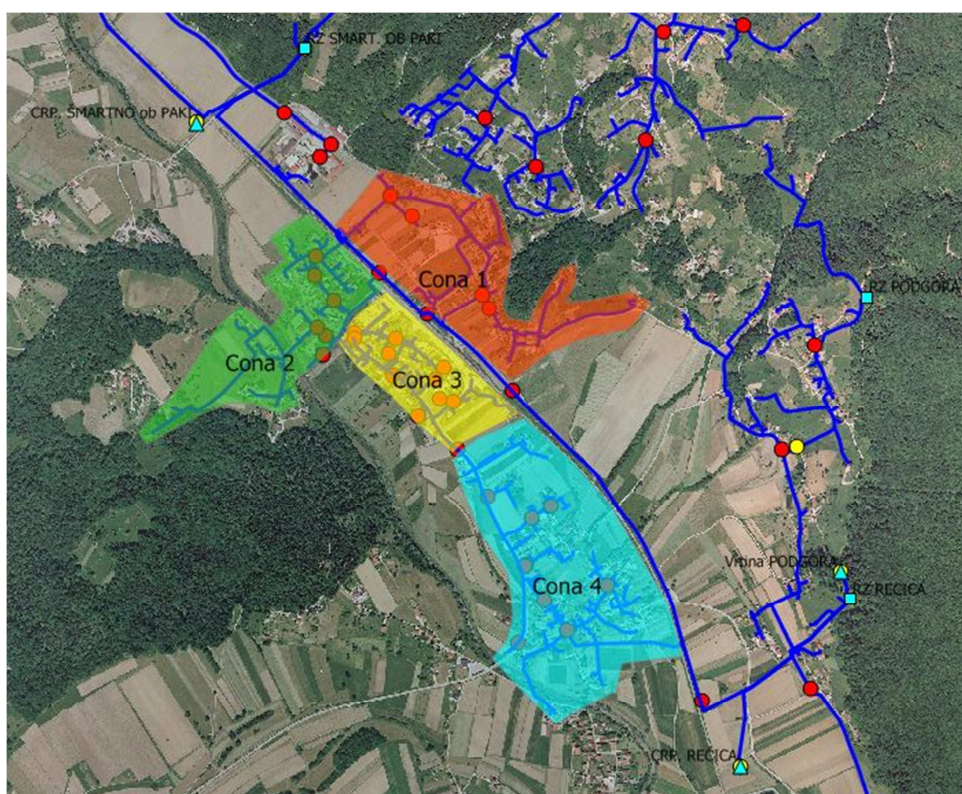
Porabnikom je dobro tudi zagotoviti razlago namena izpiranja, katera se jim lahko poda preko člankov v lokalnem časopisu, prispevkov na lokalni radijski ali televizijski postaji, preko brošur, ki se razdelijo porabnikom ipd.

Na območju, za katerega se v okviru te diplomske naloge načrtuje učinkovit program izpiranja, ni posebnih porabnikov, kot so npr. bolnišnice, industrije s tehnološkimi procesi, kjer v tehnoloških procesih uporabljajo vodo iz javnega omrežja, s katerimi bi bilo potrebno usklajevati termin izpiranj.

5.3.2.2 Načrt enosmernega izpiranja za obravnavano območje vodovodnega sistema Šmartno ob Paki

Razdelitev sistema

Izbrano območje, za katero se načrtuje program enosmernega izpiranja, sem razdelil na 4 cone. Pri razdelitvi sem upošteval načelo izpiranja cevododov od virov vode proti obrobju sistema. Razdelitev je pogojena tudi z lokacijami zasunov, s katerimi se določajo odseki izpiranj. Vse cone so definirane tako, da pri zaporednem izvajanju programa voda ne bo prihajala z neочиščenih delov na območje izpiranja.



Slika 49: Razdelitev območja izpiranja na cone

Po razdelitvi območja na cone sledi razdelitev posameznih con na odseke izpiranj. Ker je program izpiranja združen še z drugimi vzdrževalnimi in preglednimi dejavnostmi, se bo izpiralo na vseh hidrantih oz. izpustih, ki se nahajajo na območju izpiranja. Dolžine posameznih odsekov so pogojene z razdaljo med hidranti oz. izpusti. Na definiranje odsekov vpliva tudi premer izpiranih cevi, in sicer se cevi izpira v smeri od cevi večjega proti cevem manjšega premera.

Načrt izpiranja za cono 1

V cono 1 je 6 naprav, na katerih se bo izvajalo izpiranje, od teh so 3 nadzemni hidranti DN 80 in 3 podzemni hidranti DN 80. Za izpiranje cone 1 se ta razdeli na 7 odsekov. Voda lahko na to območje prihaja z dveh strani, zato je treba biti pozoren na smer toka vode ob izpiranju.

Odsek 1

Za izpiranje prvega odseka je potrebno najprej zapreti zasune z identifikacijsko oznako *SV_1*, *SV_2* in *SV_20*, s čimer ustvarimo odsek, ki ne dopušča toka vode na območje izpiranja z več smeri. Voda, s katero se izpira, prihaja iz novega povezovalnega cevovoda premera 200 mm. Nato odpremo podzemni hidrant DN 80 z oznako 3602.

Skupna dolžina izpiranih cevi v tem odseku znaša 631,1 m. Pri popolnoma odprtem hidrantu se skozi hidrant vzpostavi pretok 24,65 l/s. Volumen izpiranih cevi je 9,44 m³. Za volumen vode, ki ga je potrebno izprati za učinkovito čiščenje cevovoda, se bom naslonil na delo Vrebburga in Boxalla (2007), ki priporočata dva do trikratnik volumna izpiranih cevi. Izbral sem vmesno vrednost, torej se bo izpiralo tako dolgo, dokler se ne bo izprala količina vode, ki je enaka volumnu izpiranih cevi pomnožena z 2,5.

Z uporabo enačbe za prostorninski pretok lahko izračunamo potreben čas za izpiranje enega odseka:

$$t = V/Q \quad (25)$$

kjer je:

- t* čas (s),
V volumen oz. prostornina tekočine (m³) in
Q prostorninski pretok (m³/s).

Če vstavimo podatke v enačbo dobimo:

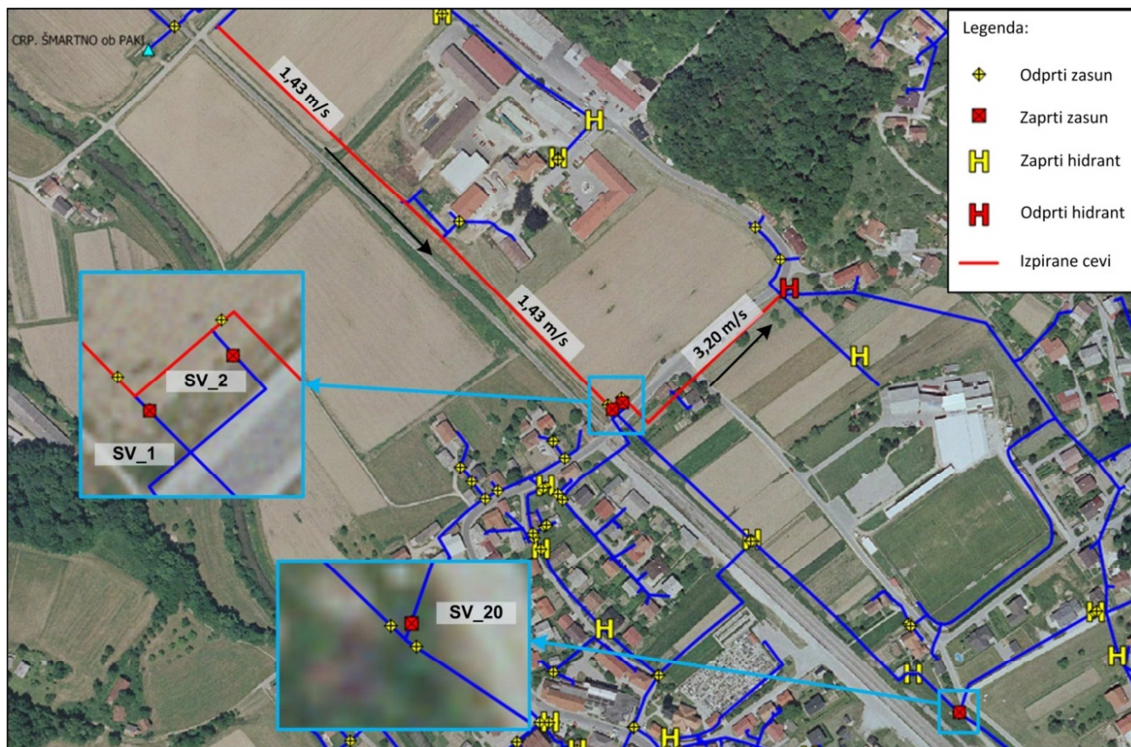
$$\begin{aligned} V &= 2,5 * 9,44 \text{ m}^3 \\ Q &= 0,02465 \text{ m}^3/\text{s} \\ t &= 2,5 * 9,44 \text{ m}^3 / 0,02465 \text{ m}^3/\text{s} \\ t &= 958 \text{ s} \end{aligned}$$

Račun pokaže, da moramo za izpiranje prvega odseka hidrant pustiti odprt 16 minut.

Preglednica 22: Osnovni podatki izpiranja za prvi odsek

Zaprta zasuni	Odprta armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_1, SV_2, SV_20	3602	631,1	9,444	0,02465	15,97

Slika 50 grafično prikazuje situacijo prvega odseka v coni 1. Z rdečo barvo so označene cevi, ki se izpirajo v trenutnem odseku izpiranja. Poleg cevi so pripisane hitrosti, ki se vzpostavijo ob izpiranju. S simboli je označeno, kateri zasuni se zaprejo in kateri hidrant se zapre. Za lažjo predstavo smeri toka vode ob izpiranju prvega odseka prve cone služi slika 51. Vidimo, da je z zapiranjem zasunom dosežen tok vode v zeleno smer. Če se z zasuni ne bi ustvarilo odseka, bi lahko voda na območje izpiranja prihajala z več smeri, kar pa pri tej tehniki izpiranja ni zaželeno. Na tej sliki so z rdečo barvo označene cevi, v katerih hitrost toka presega 1,3 m/s.



Slika 50: Prvi odsek izpiranja v con 1



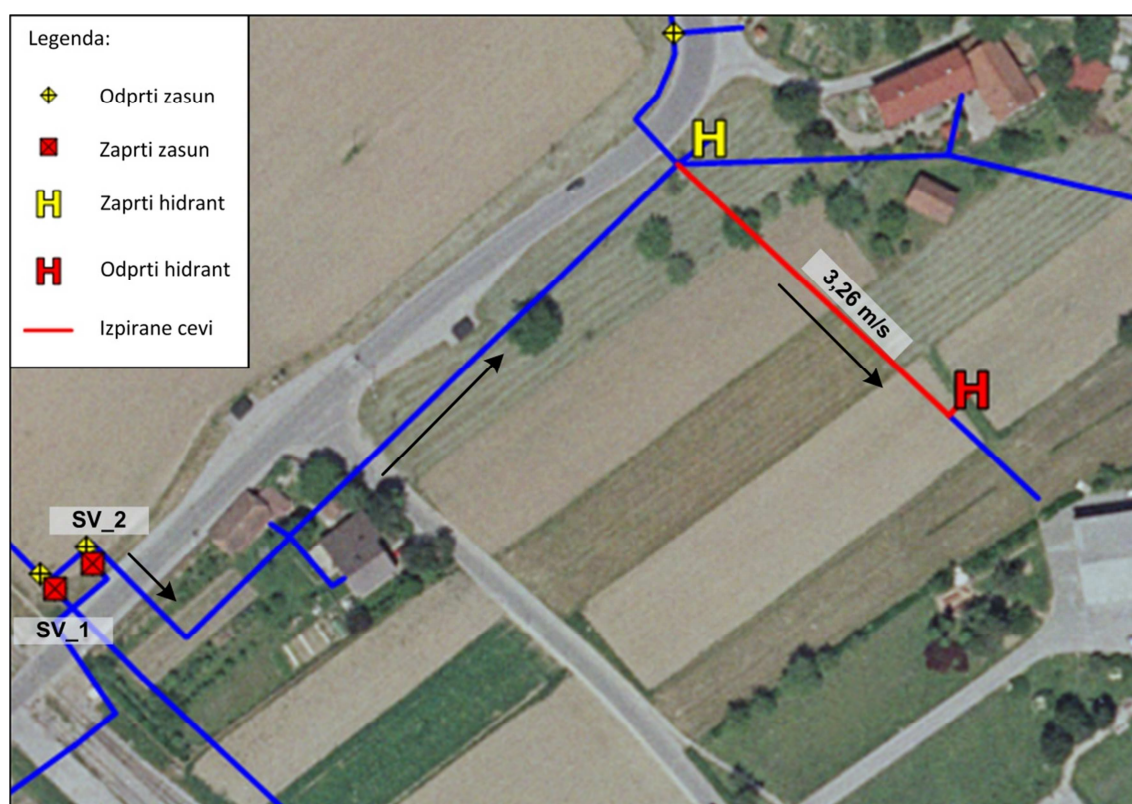
Slika 51: Smer toka vode pri izpiranju prvega odseka v con 1

Odsek 2

Pri izpiranju drugega odseka ostanejo zasuni v istem stanju, kot so bili v prvem odseku, odpremo pa nadzemni hidrant DN 80 z identifikacijsko oznako 3599. Ostali podatki o izpiranju drugega odseka so zapisani v preglednici 23 in prikazani na sliki 52. Za lažjo predstavo smeri toka vode v ceveh so na omenjeni sliki dodane puščice, ki kažejo glavno smer toka vode med izpiranjem.

Preglednica 23: Osnovni podatki izpiranja za drugi odsek

Zaprti zasuni	Odperta armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_1, SV_2, SV_20	3599	86,6	0,435	0,01616	1,12



Slika 52: Drugi odsek izpiranja v coni 1

Opazimo lahko, da je trajanje izpiranja drugega odseka precej krajše od tistega za prvi odsek. Razlog za to razliko je v dolžini izpiranih cevi oz. v njihovi prostornini, kar je pogojeno s premeri cevi.

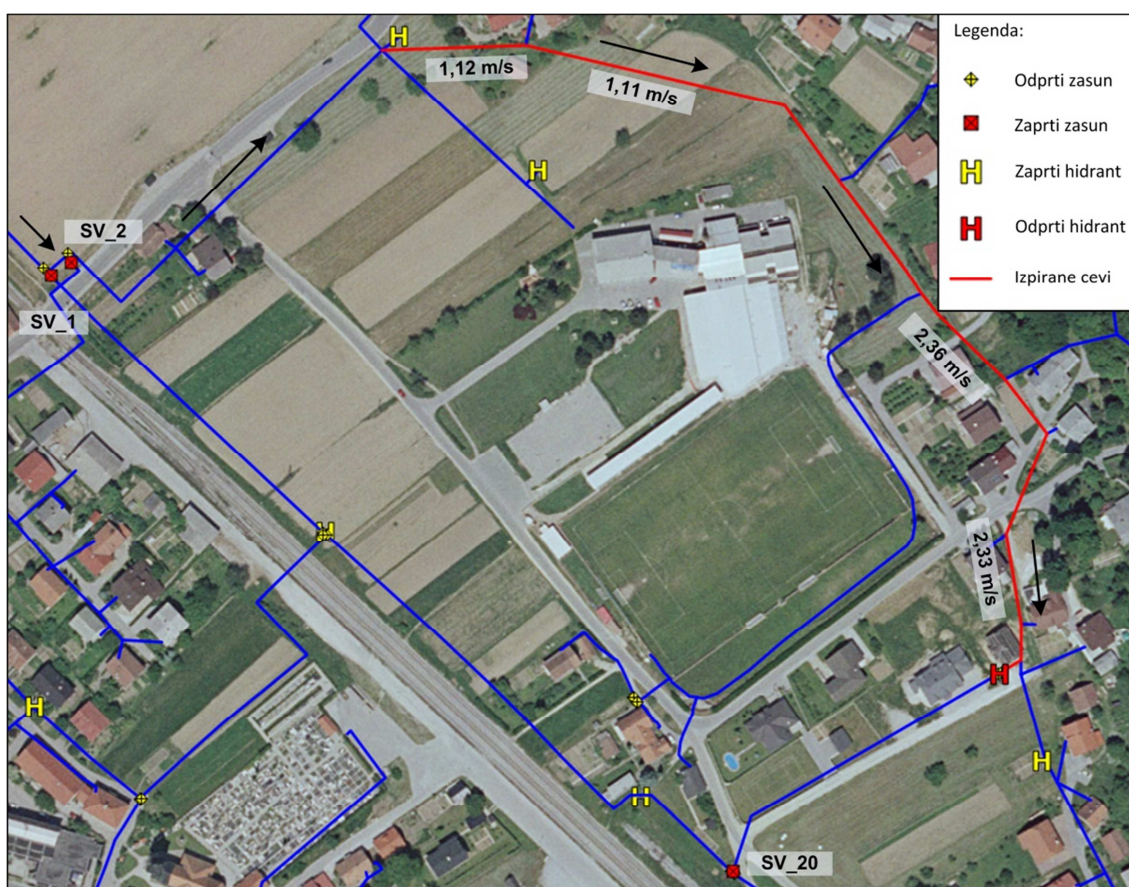
Odsek 3

Za izpiranje tretjega odseka morajo biti zopet zaprti zasuni z identifikacijsko oznako *SV_1*, *SV_2* in *SV_20* in tako dovajamo vodo do neočiščenih cevi po že izpranih ceveh. Odpreti je potrebno nadzemni hidrant DN 80 z identifikacijsko oznako 3788.

Vzpostavljene hitrosti po začetnem delu tretjega odseka niso idealne, vendar hidravlične razmere v sistemu ne dopuščajo višjih hitrosti. Vzrok za nižje hitrosti na tem delu odseka pripisujem cevem starejše izdelave po celotnem odseku, ki povzročajo večje tlačne izgube. Razlog za nižje hitrosti v ceveh na začetku tretjega odseka je tudi v dejstvu, da se premeri cevi v tretjem odseku manjšajo v smeri od začetka odseka proti koncu. Tako je ustvarjeno ozko grlo, ki prevaja določen pretok, ki pa ni dovolj velik, da bi hitrosti na začetnem delu odseka, kjer so cevi večjega premera, bile višje. Pretok skozi hidrant ni velik, kar se pozna tudi pri času izpiranja, ki znaša nekaj več kot 14 minut.

Preglednica 24: Osnovni podatki izpiranja za tretji odsek

Zaprta zasuni	Odpri armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_1, SV_2, SV_20	3788	442,9	1,597	0,0046	14,34



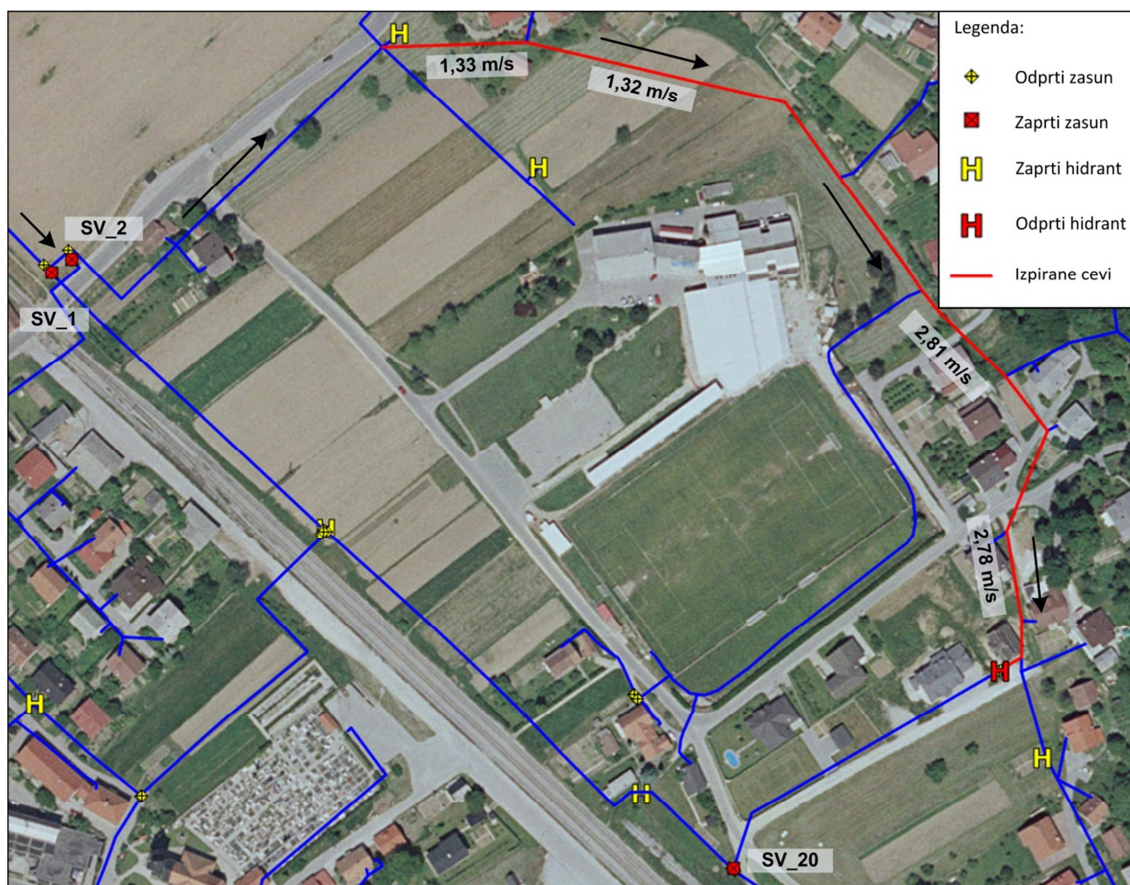
Slika 53: Tretji odsek izpiranja v coni I

Če se izkaže, da so hitrosti pri izpiranju tretjega odseka prenizke za uspešno odstranitev akumuliranega materiala, lahko te povečamo s spremembo kriterija izpiranja. Kot omenjeno v poglavju 2.2.2, ne dovolimo, da bi tlaki med izpiranjem padli pod 25 m. V literaturi se kot najnižji

dovoljen tlak omenja vrednost 140 kPa (Friedman in sod. 2002). Torej če ta kriterij znižam na 140 kPa oz. 14,3 m, se hitrosti v ceveh povečajo, vendar so zato tlaki v okolici nižji. Tako v tem primeru, kjer hitrosti niso idealne, dosežemo nekoliko boljši učinek izpiranja na račun porabnikov v okolici, katerim se za čas izpiranja nekoliko omeji uporaba vodooskrbnega omrežja. Zmanjša se tudi čas izpiranja.

Preglednica 25: Osnovni podatki izpiranja za tretji odsek pri spremenjenem kriteriju izpiranja

Zaprta zasuni	Odpri armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_1, SV_2, SV_20	3788	442,9	1,597	0,0056	11,97



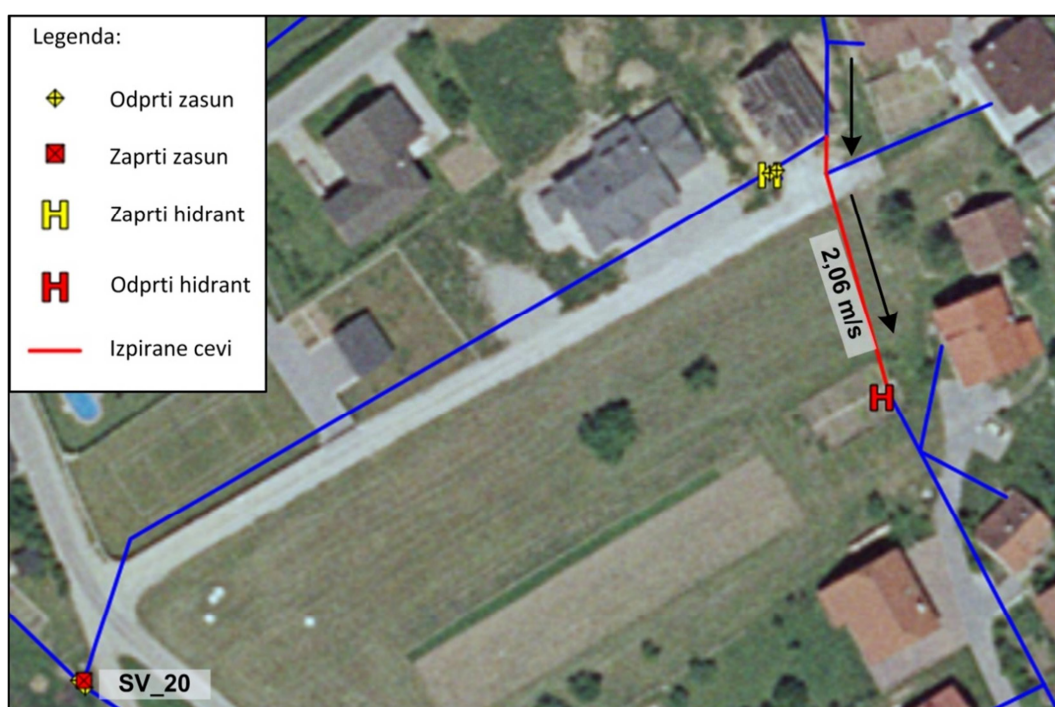
Slika 54: Tretji odsek izpiranja v coni I pri spremenjenem kriteriju izpiranja

Odsek 4

Četrty odsek je precej kratek, saj se bo izpralo le nekaj več kot 43 m cevi. Tudi v četrtem odseku ostanejo zasuni z identifikacijskimi oznakami *SV_1*, *SV_2* in *SV_20* zaprti. Odpre se podzemni hidrant DN 80 z identifikacijsko oznako 3628. Ker je obravnavan odsek precej kratek, ga je potrebno izpirati le 1 minuto.

Preglednica 26: Osnovni podatki izpiranja za četrty odsek

Zaprty zasuni	Odprta armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_1, SV_2, SV_20	3628	43,2	0,089	0,0041	0,95



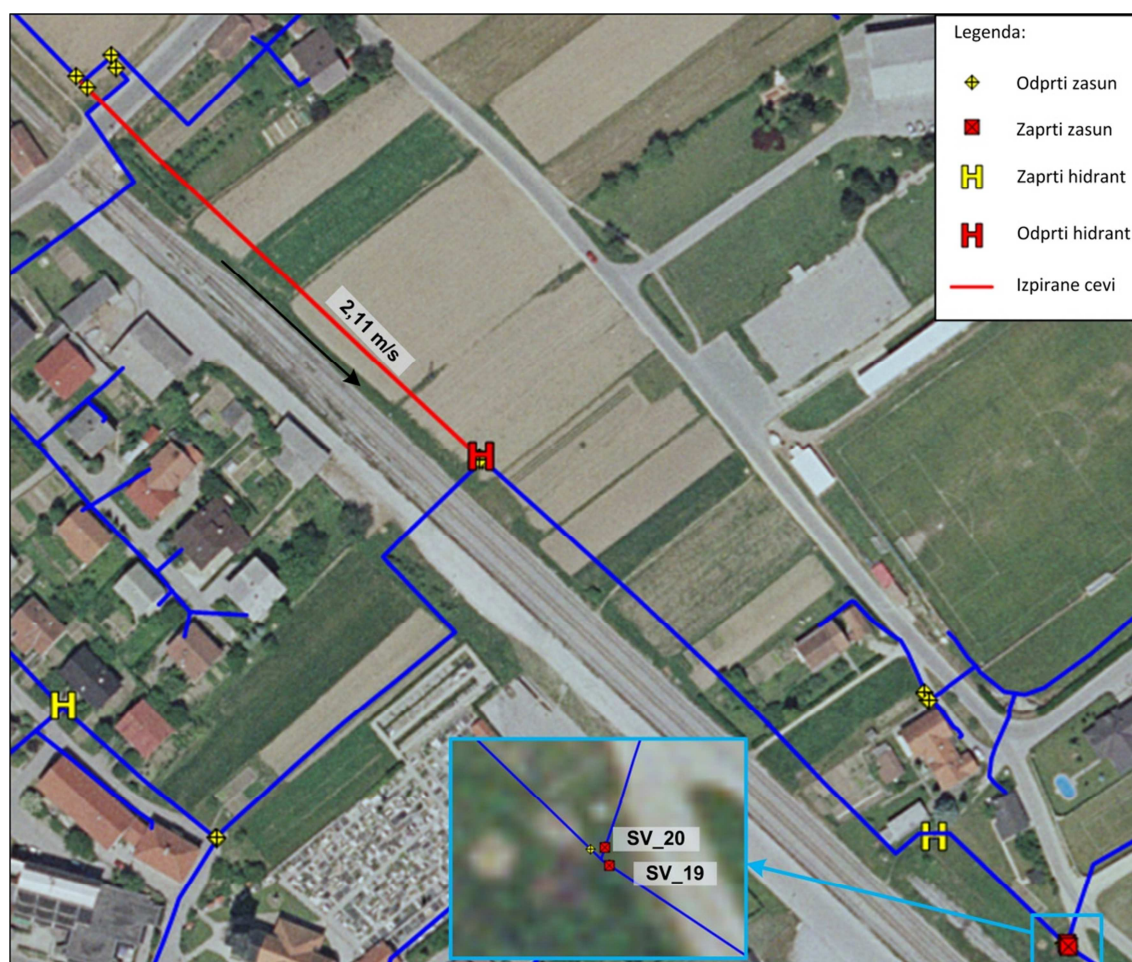
Slika 55: Četrty odsek izpiranja v coni 1

Odsek 5

Za izpiranje petega odseka najprej odpremo zasuna z identifikacijskima oznakama *SV_1* in *SV_2*. Zasun z identifikacijsko oznako *SV_20* pustimo zaprt, zapremo pa še zasun z identifikacijsko oznako *SV_19*. Tako smo spet zagotovili, da voda ne bo prihajala na območje izpiranja iz neželenih smeri. Nato odpremo podzemni hidrant DN 80 z identifikacijsko oznako *HY_19*. Odsek izpiramo malo manj kot 3 minute.

Preglednica 27: Osnovni podatki izpiranja za peti odsek

Zaprta zasuni	Odpri armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_19, SV_20	HY_19	130,5	2,230	0,0355	2,70



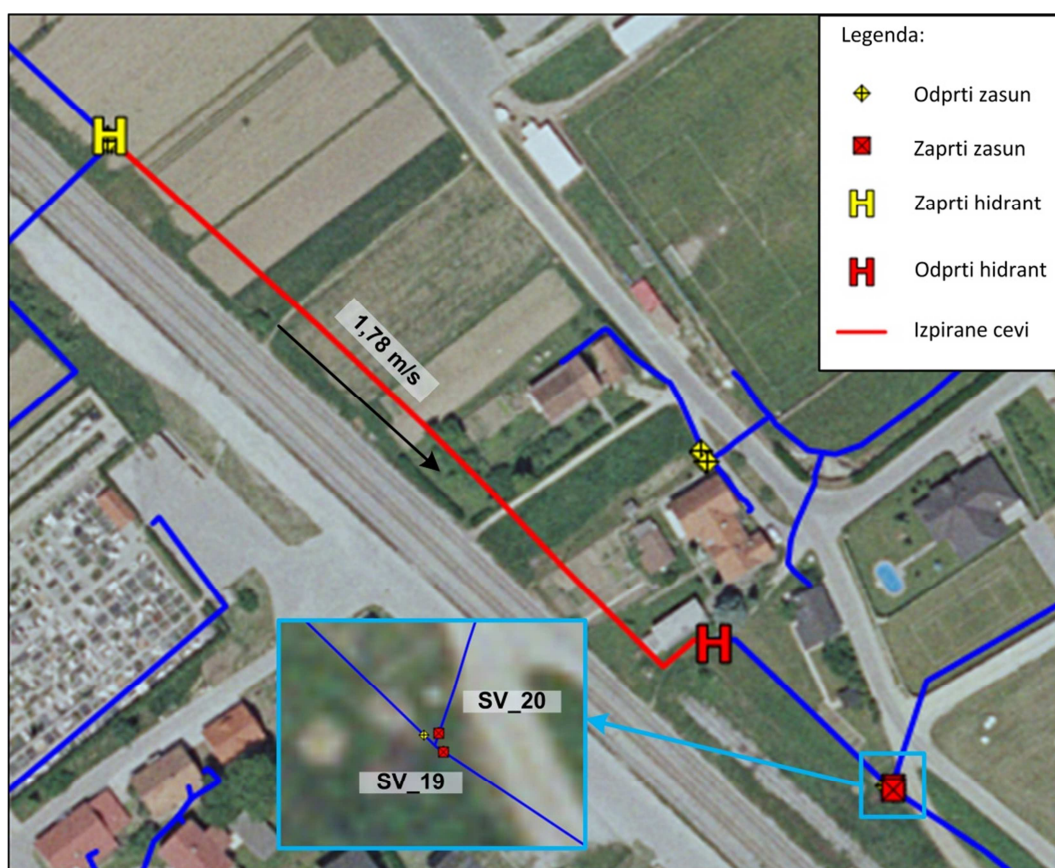
Slika 56: Peti odsek izpiranja v coni 1

Odsek 6

Za izpiranje šestega odseka ostanejo zasuni v istem položaju kot pri izpiranju petega odseka. To pomeni, da morata biti zaprta zasuna z identifikacijsko oznako *SV_19* in *SV_20*. Nato odpremo nadzemni hidrant DN 80 z identifikacijsko oznako *HY_19*. Pri takšni nastavitvi zasunov izračuni modela kažejo tok v zeleni smeri. Voda prihaja na območje izpiranja samo po že izpranih odsekih oz. ceveh. Za uspešno izpiranje obravnavanega odseka mora biti hidrant odprt nekaj več kot 4 minute.

Preglednica 28: Osnovni podatki izpiranja za šesti odsek

Zaprta zasuni	Odprta armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_19, SV_20	HY_20	167,7	3,086	0,0314	4,10



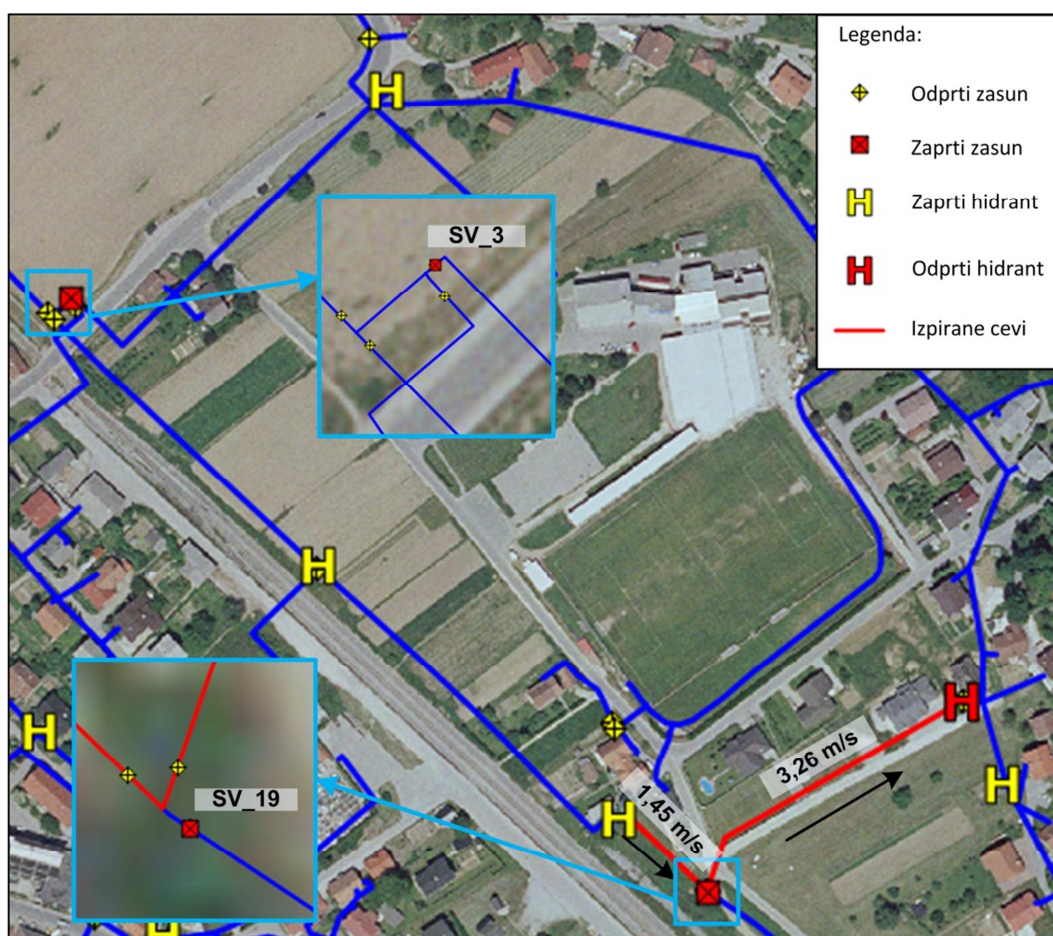
Slika 57: Šesti odsek izpiranja v coni 1

Odsek 7

Sedmi odsek je zadnji odsek izpiranja v coni 1. Zaprta morata biti zasuna z identifikacijskima oznakama *SV_3* in *SV_19*. Odpreti je potrebno nadzemni hidrant DN 80 z identifikacijsko oznako 3788 in ga pustiti odprtega malo dlje kot 3 minute. S tem je izpiranje cone 1 končano.

Preglednica 29: Osnovni podatki izpiranja za sedmi odsek

Zaprta zasuni	Odprta armatura	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izpiranih cevi (m ³)	Pretok skozi armaturo (m ³ /s)	Trajanje izpiranja (min)
SV_3, SV_19	3788	189,6	1,982	0,0256	3,22



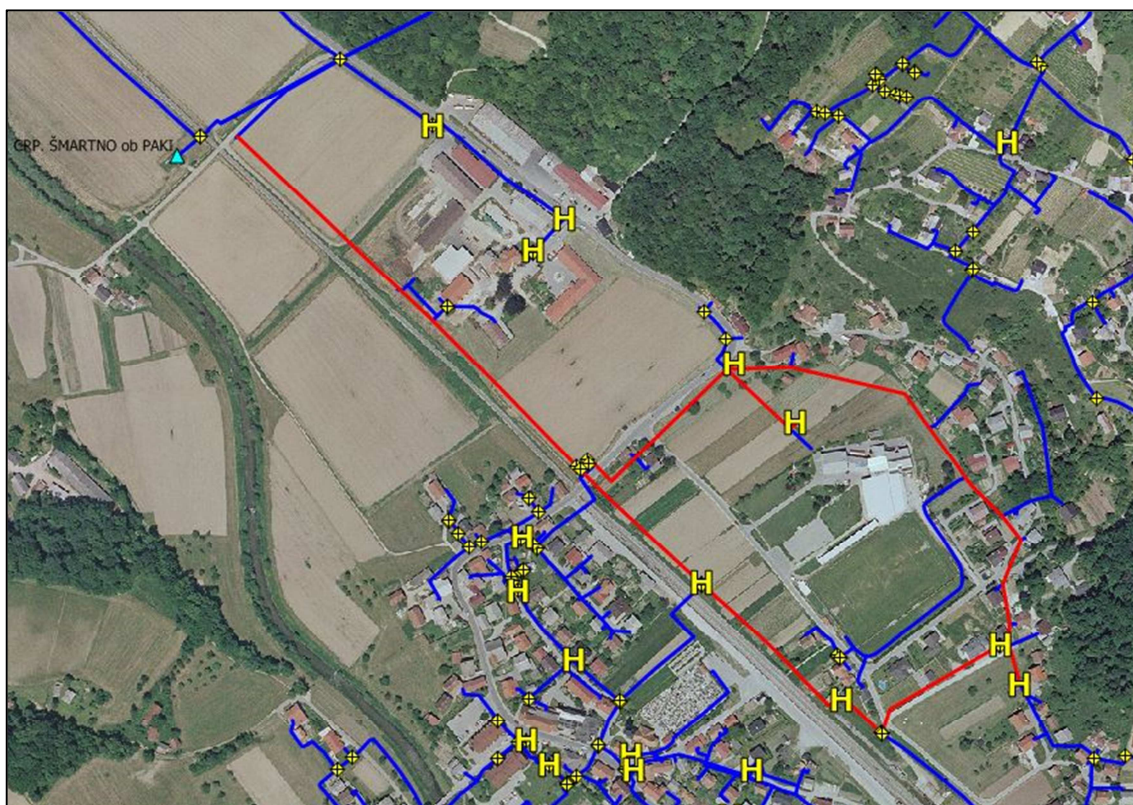
Slika 58: Sedmi odsek izpiranja v coni 1

Povzetek izpiranja cone 1

Če povzamemo izpiranje cone 1, ugotovimo, da se je izpralo 1700 metrov cevododa, za kar se je porabilo okoli 37 kubičnih metrov vode. Friedman in sod. (2002) navajajo, da lahko ekipa dveh izkušenih oseb v eni izmeni izpere okrog 1600 m cevododa. Torej bi morali, sodeč po izkušnjah omenjenega avtorja, cono 1 uspeti izprati v eni delovni izmeni. Ob izpiranju cone 1 se hkrati lahko pregleda in preizkusi 6 hidrantov ter 5 zasunov.

Preglednica 30: Povzetek izpiranja cone 1

Pregledani hidranti	Pregledani zasuni	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izprane vode (m ³)
3602	SV_1	1700,6	47,346
3599	SV_2		
3788	SV_3		
3628	SV_19		
HY_19	SV_20		
HY_20			



Slika 59: Povzetek izpiranja cone 1

Izpiranje con 2, 3 in 4

Pri načrtovanju izpiranja ostalih con se upošteva iste principe kot pri načrtovanju izpiranja cone 1. Treba je biti pozoren, da z izpiranjem določenega odseka ne vplivamo negativno na že prej izprane odseke.

Preglednica 31: Povzetek izpiranj con 2, 3 in 4

	Število odsekov	Dolžina izpiranih cevi (m)	Volumen izprane vode (m³)
Cona 2	7	663,4	20,163
Cona 3	9	812,7	16,158
Cona 4	11	2503,3	76,518

5.3.3 Navodila za izvajalce izpiranj

Kot že opisano v poglavju 3.5.2.2, so del učinkovitega programa izpiranja tudi jasna in pregledna navodila za osebe na terenu, ki bo izpiranje izvajalo. Primer navodil za določen odsek izpiranja prikazuje priloga D.

Osebe, ki bo izpiranje izvajalo, mora biti ustrezno izurjeno in opremljeno. Zelo pomemben je način ravnanja z zasuni ter s hidranti oz. izpusti. Ob sunkovitem odpiranju in zapiranju naprav obstaja namreč veliko tveganje za pojav vodnega udara. S pojavom vodnega udara je omrežje pod vplivom velikih sil, ki lahko potencialno poškodujejo omrežja in naprave na njem.

Ob izpiranju se meri tudi motnost vode. Motnost vode je glavni kriterij za trajanje izpiranja odseka. Če se z meritvijo motnosti ugotovi, da ta v načrtovanem času še ni padla pod 1 NTU, se čas izpiranja podaljša. Velja, da je treba izpirati odsek, dokler motnost ne pade pod 1 NTU. Na terenu se zabeleži vrednost motnosti pred izpiranjem in končno vrednost, pri kateri se je nehalo izpirati.

Ob pregledu hidrantnega omrežja, ki se opravlja hkrati z rednim izpiranjem cevovodov, se zabeleži še statični in dinamični tlak. Priložen obrazec za izpiranje je v osnovi namenjen samo za zabeleženje podatkov, ki so relevantni za izpiranje in ni nadomestilo za evidenco pregleda in preizkusa hidrantnega omrežja določene s Pravilnikom o preizkušanju hidrantnih omrežij (UL RS št. 22/1995).

Evidenco o pregledu ventilov, zasunov, izpustov, jaškov ter o ostalih napravah, ki se lahko pregledajo ob izvajanju izpiranja, se vodi ločeno.

Več o navodilih za izvajalce izpiranj je še zapisanega v poglavju 3.5.3.

6 ZAKLJUČEK

Osnovni namen diplomske naloge je bil ustvariti učinkovit program izpiranja za del vodovodnega sistema Šmartno ob Paki in njegove učinke preizkušati na hidravličnem modelu obravnavanega sistema. Ob tem sem se seznanil s teorijo toka v cevovodih in računalniškim modeliranjem le-tega. Preučil sem delo mednarodnih strokovnjakov na področju izpiranja cevovodov ter tako dobil pregled nad problematiko motnosti vode ter različnimi metodami za njeno reševanje. Ob nastajanju diplomske naloge sem se poglobljeno seznanil tudi s samim vodovodnim sistemom Šmartno ob Paki in njegovim delovanjem.

V času nastajanja diplomske naloge je na vodovodnem sistemu Šmartno ob Paki prihajalo do sprememb, katerih rezultat je ukinitvev obstoječih virov na območju in vzpostavljena navezava s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj. Hidravlični model, ki mi je kasneje služil za preverjanje hidravlični razmer med izvajanjem izpiranja, sem ustvaril na podlagi že obstoječega modela. Obstoječi model je predstavljal vodovodni sistem Šmartno ob Paki pred vzpostavljeno navezavo s centralnim vodovodnim sistemom Velenje-Šoštanj, moja naloga pa je bila narediti model, ki bo predstavljal stanje po opravljeni navezavi. Ker projekt navezave v času ustvarjanja modela še ni bil dokončan, ni zagotovila, da so vsi podatki uporabljeni v diplomski nalogi dokončni. Določene stvari so se namreč spreminjale ob gradnji, jaz pa sem podatke črpal iz projekta za izvedbo. Pomembnejše spremembe, do katerih je prišlo v času nastajanja diplomske naloge, sem vključil, verjetno bo pa do kakšne spremembe na sistemu tekom časa še prišlo. V času nastajanja diplomske naloge tudi še žal ni bilo na voljo meritev na sistemu, s katerimi bi lahko ustvarjen model umeril, zato sem moral model grobo umeriti s podatki o tlakih, pridobljenih na podlagi testne navezave omrežja. Tak model ni idealen, vendar s svojimi izračuni zadostuje za potrebe tega diplomskega dela, katerega glavni namen je bil ustvariti učinkovit program izpiranja.

Izmed preučenih metod izpiranja cevovodnih sistemov sem za najbolj primerno, z vidika razpoložljive opreme na Komunalnem podjetju Velenje, porabe sredstev itd., izbral metodo enosmernega izpiranja. Metodo sem celostno apliciral na delu vodovodnega sistema Šmartno ob Paki, kjer je v preteklosti prihajalo do težav, povezanih z akumulacijo materiala znotraj cevi in posledično pojava motnosti. Za potrebe načrtovanja programa izpiranja sem preučil metode, ki jih je Komunalno podjetje Velenje do sedaj uporabljalo za reševanje težav, povezanih z akumulacijo materiala v ceveh. Pregledal sem še ostale vzdrževalne in pregledne dejavnosti, ki bi se lahko v Komunalnem podjetju Velenje izvajale hkrati ob izvajanju načrtovanega izpiranja, s čimer se potencialno prihrani čas in sredstva.

Uporabljeno metodo enosmernega izpiranja cevovodnih sistemov vidim kot dobro metodo za čiščenje cevovodov ter posledično zmanjševanje tveganja za pojav motnosti vode pri uporabnikih.

VIRI

Antoun, E.N., Dyksen, J.E., Hildebrand, D.J. 1999. Unidirectional flushing: a powerful tool. American Water Works Association Journal 91, 7: 62-73.

Atlas okolja. 2014.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso/ (Pridobljeno 18. 03. 2014.)

Boulos, P.F., Lansey, K.E., Karney, B.W. 2006. Comprehensive water distribution systems analysis handbook for engineers and planners. Druga izdaja. Pasadena, MWH Soft: 455 str.

Boxall, J.B., Prince, R.A. 2006. Modelling discolouration in a Melbourne potable water distribution system. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA 55, 3:207-219.

Boxall, J.B., Saul, A.J. 2005. Modeling Discoloration in potable Water Distribution Systems. Journal of Environmental Engineering 131, 5: 716-725.

Bukšek, H. 2008. Določanje in statistično ovrednotenje zeta potenciala polimernih materialov z uporabo dveh merilnih celic. Diplomsko naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (samozaložba H. Bukšek): 111 str.

Cook, D.M., Boxall, J.B. 2011. Discoloration Material Accumulation in Water Distribution Systems. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice 2, 4: 113-122.

Četina, M. 2009/2010. Zapiski s predavanj predmeta Hidromehanika.

Čiščenje cevovodov po metodi pigging. 2014.

<http://www.vecom-group.com/en/services/on-site-services/pipe-pigging> (Pridobljeno 22. 02. 2014.)

Eltec Petrol. 2014. Hidravlični model vodooskrbnih sistemov v upravljanju KP Velenje.

Friedman, M., Kirmeyer, G.J., Antoun, E. 2002. Developing and Implementing a Distribution System Flushing Program. American Water Works Association Journal 94, 7: 48-58.

Husband, P.S., Boxall, J.B., Saul, A.J. 2008. Laboratory studies investigating the processes leading to discolouration in water distribution networks. Water Research 42, 16: 4309-4319.

Husband, S., Boxall, J.B. 2010. Field Studies of Discoloration in Water Distribution Systems: Model Verification and Practical Implications. Journal of Environmental Engineering 136, 1: 86-94.

IMP Armature. 2013a. Tehnični list za nadzemni hidrant. Ivančna Gorica, IMP Armature: 2 str.

http://www.imp-ta.si/images/SLO/dokumenti/tehnichni-listi/Tehnicni_list__NZH_Art._2005__Dec_2013.pdf/ (Pridobljeno 16. 06. 2014.)

IMP Armature. 2013b. Tehnični list za podzemni hidrant. Ivančna Gorica, IMP Armature: 2 str.

http://www.imp-ta.si/images/SLO/dokumenti/tehnichni-listi/Tehnicni_list__PZH_Art._2006__Dec_2013.pdf/ (Pridobljeno 16. 06. 2014.)

Kitney, P., Woulfe, R., Codd, S. 2001. Air scouring of water mains-An asset management approach. 64th Annual Water Industry Engineers and Operators Conference, Bendigo, Australia, 5-6 September, 2001: p. 48-56.

http://www.wioa.org.au/conference_papers/01/paper7.htm (Pridobljeno 22.02.2014.)

Kompare, B. 2010/2011. Zapiski s predavanj predmeta Vodovod.

Kontinuitetna enačba. 2013.

<http://www.itacanet.org/fluid-mechanics-for-gravity-flow-water-systems-and-pumps/part-3-derivation-of-the-continuity-equation-3/> (Pridobljeno 15. 03. 2013.)

Kozelj, D. 2013. Hidravlično modeliranje cevovodnih sistemov. Osebna komunikacija. (4.9.2013.)

KP Velenje. 2007. PZI Povezovalni vodovod Velenje – Šmartno ob Paki. Velenje, Komunalno podjetje Velenje.

KP Velenje. 2010. PZI Izgradnja primarnega cevovoda Šmartno ob Paki - Rečica. Velenje, Komunalno podjetje Velenje.

KP Velenje. 2014. Podatki geografskega informacijskega sistema.

Langston, J. 2013. Operational benefits of developing an unidirectional flushing model. Fairfax, Dewberry: 28 str.

http://info.ncsafewater.org/Shared%20Documents/Web%20Site%20Documents/Spring%20Conference/SC13_Presentations/ST_M_PM_03.45_Langston.pdf/ (Pridobljeno 28. 01. 2014.)

Larock, B.E., Jeppson, R.W., Watters, G.Z. 2000. Hydraulics of Pipeline Systems. Boca Raton, CRC Press LLC: 533 str.

Poulin, A., Mailhot, A., Periche, N., in sod. 2010. Planning unidirectional flushing operations as a response to drinking water distribution system contamination. Journal of water resources planning and management 136, 6: 647-657.

Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja. Uradni list RS št. 64/2004: str. 8111.

Pravilnik o preizkušanju hidrantnih omrežij. Uradni list RS št. 22/1995: str. 1651.

Prostorski informacijski sistem občin. 2014.

http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=SMARTNO_OB_PAKI (Pridobljeno 3.3.2014.)

Rossman, L.A. 2000. Epanet 2 Users Manual. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency: 200 str.

Schneider Electric, 2013a. Aquis. User Guide Version 5.0. Birkerød, Schneider Electric: 823 str.

Schneider Electric, 2013b. Aquis Training. Birkerød, Schneider Electric: 248 str.

Shematski prikaz principa metode čiščenja cevovodov pigging. 2014.
<http://www.sfeglobal.com/?p=426> (Pridobljeno 22. 02. 2014.)

Steinman, F. 2010. Hidravlika. Drugi ponatis. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 294 str.

Streeter, V.L. 1962. Fluid Mechanics. Tretja izdaja. New York, McGraw-Hill: 555 str.

Stropnik, B. 2004. Sistem kakovosti HACCP v procesu oskrbe s pitno vodo. Velenje, Komunalno podjetje Velenje: 12 str.

Stropnik, P. 2013. Program oskrbe s pitno vodo za obdobje 2014-2017. Velenje, Komunalno podjetje Velenje: 51 str.

UL FS. 2011. Predavanja predmeta Raba energije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Katedra za energetska strojništvo: 35 str.
http://lab.fs.uni-lj.si/kes/raba_energije/re-predavanje-06.pdf/ (Pridobljeno 18. 07. 2014.)

Uredba o vodovarstvenem območju za vodna telesa vodonosnikov za območja občin Šmartno ob Paki, Polzela in Braslovče. Uradni list RS št. 98/2011: 13044-13064.

Vokliški izvir. 2014.
http://sl.wikipedia.org/wiki/Vokli%C5%A1ki_izvir/ (Pridobljeno 02. 04. 2014.)

Vreeburg, J.H.G. 2007. Discolouration in drinking water systems: a particular approach. Doktorska disertacija. Delft, Technische Universiteit Delft (samozaložba J. Vreeburg): 183 str.

Vreeburg, J.H.G., Boxall, J.B. 2007. Discolouration in potable water distribution systems: A review. Water Research, Volume 41: 519-529.

Walski, T.M., Chase, D.V., Savic, D.A. in sod. 2003. Advanced Water Distribution Modelling and Management. Prva izdaja. Waterbury, Haestad Methods: 800 str.

SEZNAM PRILOG

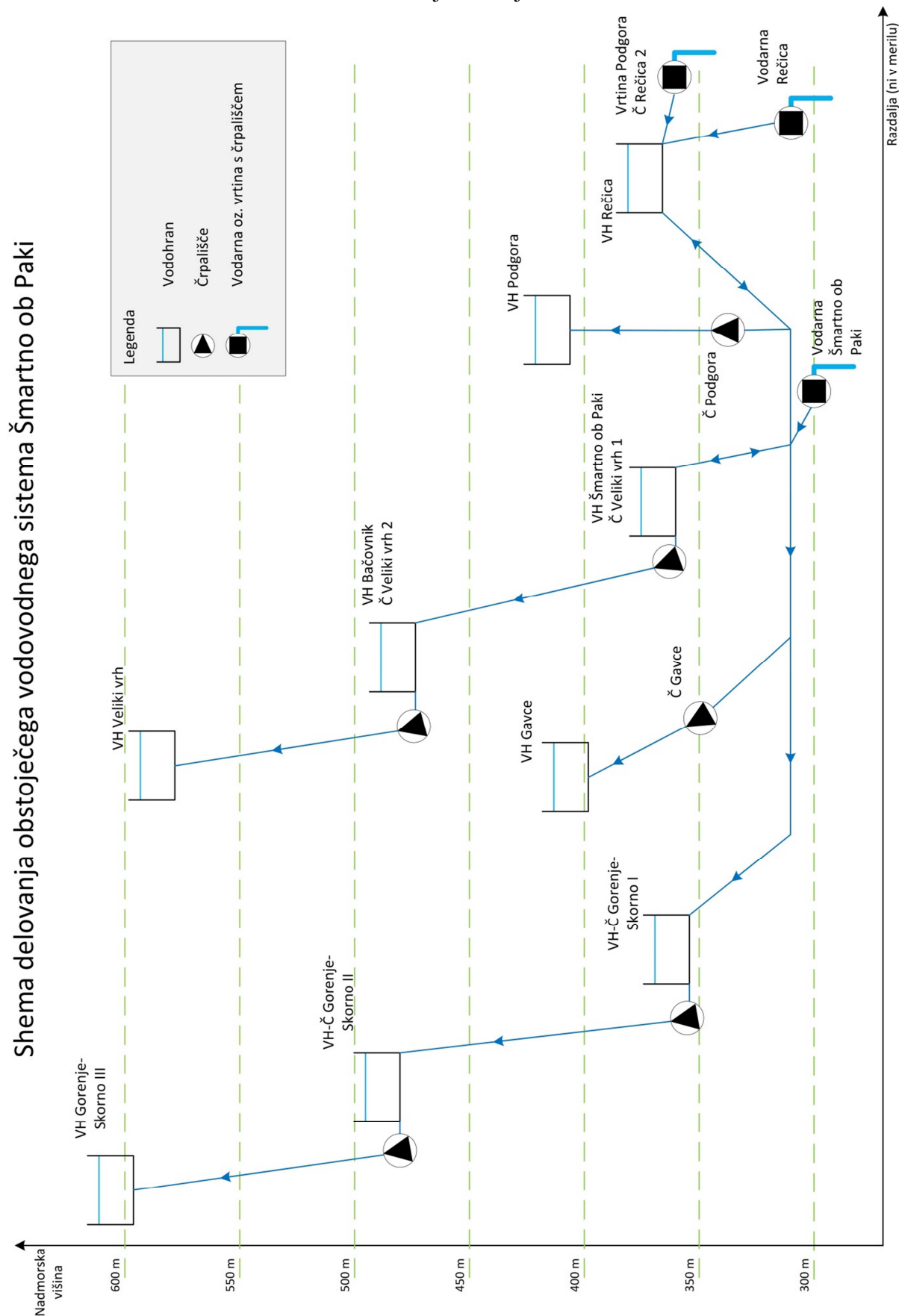
PRILOGA A: Shematski prikaz delovanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki pred navezavo na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj

PRILOGA B: Shematski prikaz delovanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki po opravljeni navezavi na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj

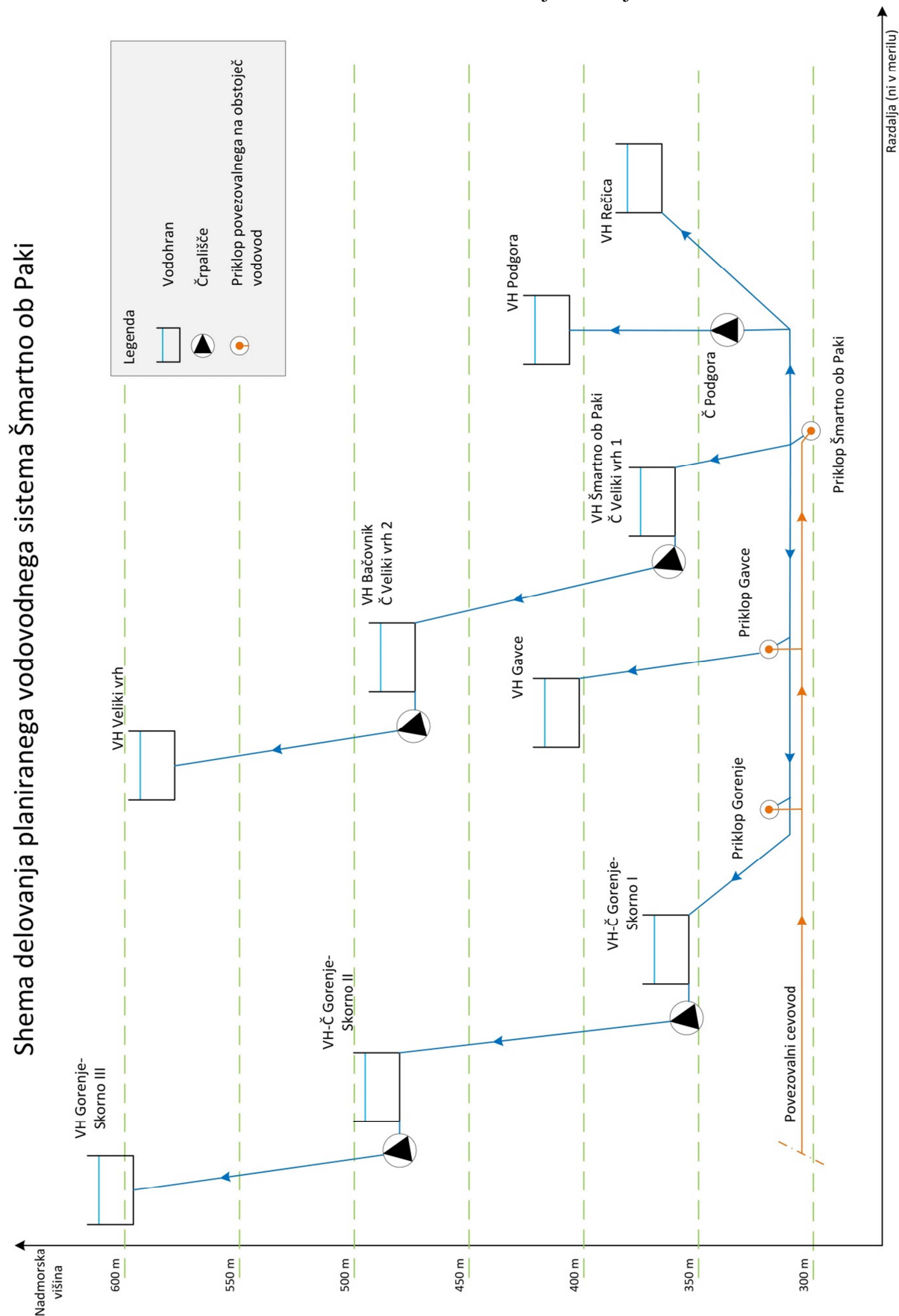
PRILOGA C: Prikaz vodovarstvenega območja vodnega vira Ljubija

PRILOGA D: Primer obrazca za izpiranje odseka cevovoda

PRILOGA A: Shematski prikaz delovanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki pred navezavo na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj



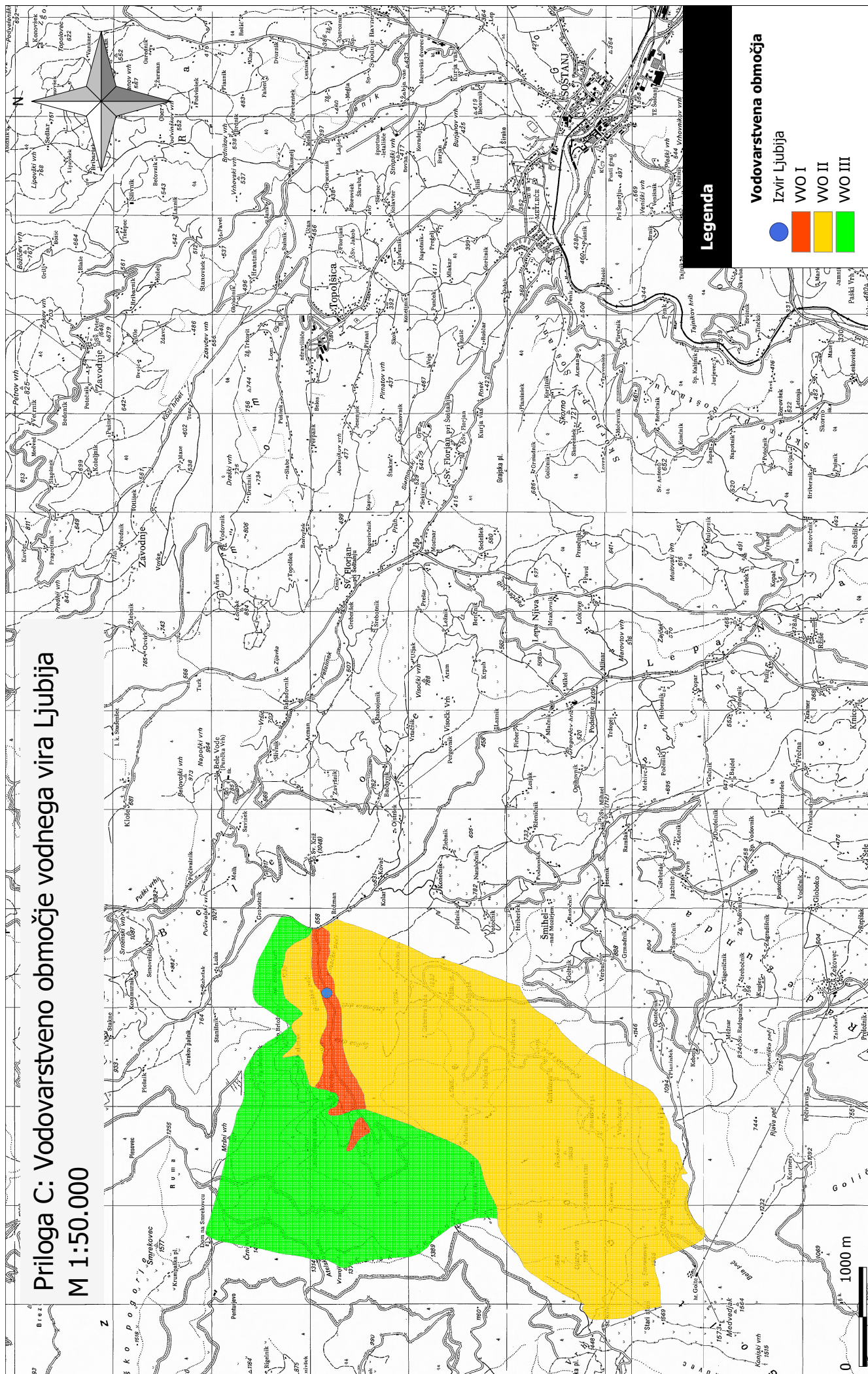
PRILOGA B: Shematski prikaz delovanja vodovodnega sistema Šmartno ob Paki po opravljeni navezavi na centralni vodovodni sistem Velenje-Šoštanj









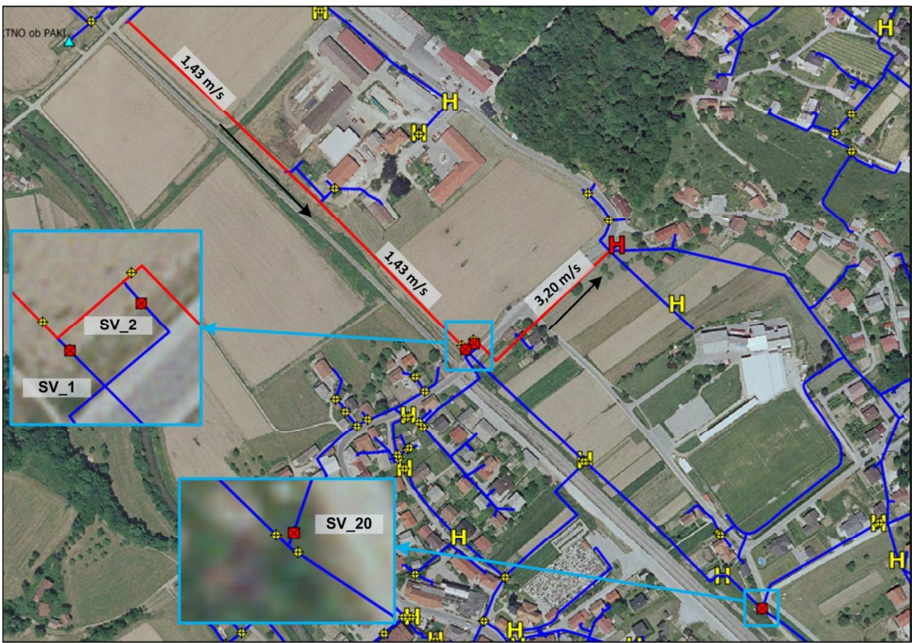
PRILOGA C: Prikaz vodovarstvenega območja vodnega vira Ljubija

Priloga C: Vodovarstveno območje vodnega vira Ljubija

M 1:50.000



PRILOGA D: Primer obrazca za izpiranje odseka cevovoda

Cona: 1		Odsek: 1		PROGRAM ENOSMERNEGA IZPIRANJA CEVOVODOV  Legenda:  Odprti zasun  Zaprti zasun  Zaprti hidrant  Odprti hidrant  Izpirane cevi			
							
Odprti zasune		Parametri	Model				
Zaprti zasune	SV_1, SV_2, SV_20	Statični tlak [bar]	4,987 bar				
Odprti napravo	3602	Dinamični tlak [bar]	3,387 bar				
Podatki o napravi	PH DN80	Pretok [l/s]	24,66 l/s				
Izpirane cevi	PI_253936.78002868_1, PI_253936.78002868_2, PI_253936.78002868_3, PI_22, PI_23, 12948, 12951, 12944	Trajanje izpiranja [min]	16 min				
Dolžina izpiranih cevi [m]	631,1 m	Volumen izprane vode min [m³]	9,44 m ³				

	Datum	Trajanje izpiranja [min]	Pretok [l/s]	Začetna motnost [NTU]	Končna motnost [NTU]	Statični tlak [bar] ¹	Dinamični tlak [bar] ¹	Podpis izvajalca
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								

¹ Izpolniti v primeru izpiranja na hidrantih