

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Domagoj Baričić

OPTIMIZALIZACIJA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA

KUTINA - POPOVAČA

Zagreb, 2014.

Ovaj rad je izrađen na Građevinskom fakultetu u Zagrebu, Zavod za hidrotehniku uz mentorstvo doc. dr. sc. Dražena Vouka i uz korištenje terenskih mjerenja protoka i tlakova u sklopu nadzorno-upravljačkog sustava (NUS) komunalnog poduzeća „*Moslavina d.o.o.*“ Kutina, koje je autoru ovog rada ustupila tvrtka „*Duplico d.o.o.*“, Gornji Stupnik, kao tvrtka koja je izradila i koja održava NUS vodoopskrbnog sustava Kutina-Popovača. Ovaj rad je predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2013/2014.

POPIS MJERNIH JEDINICA:

m – metar

bar – mjerna jedinica za tlak

m v.s. – metara vodnog stupa, 1 bar – 10,19 m v.s.

km² – kvadratni kilometar, mjera za površinu

ha – hektar, mjera za površinu

l/stanovnik/d – specifična potrošnja stanovništva u litrama po stanovniku u danu

m³ – metar kubni, mjerna jedinica za volumen

mm – milimetar, mjerna jedinica za dužinu

m n.m. – metara nad morem, nadmorska visina

l/s – litara sekundi, mjerna jedinica za protok

m³/d – metara kubnih na dan, mjerna jedinica za protok

POPIS KRATICA:

AC – azbest cement

CARL – eng. Current Annual Real Losses

DN – nazivni promjer cjevovoda

FAVAD – eng. Fixed and Variable Area of Discharge Paths

ILI – eng. Infrastructure Leakage Index

IWA – eng. International Water Association

LŽ – lijevano željezo

NL – nodularni lijev

PEHD – polietilen visoke gustoće

UARL – eng. Unavoidable Annual Real Losses

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. ANALIZA UTJECAJNIH ČIMBENIKA	1
2.1. Stanovništvo	1
2.1.1. Grad Kutina	1
2.1.2. Grad Popovača	3
2.1.3. Općina Velika Ludina.....	5
2.2. Potrošnja vode	7
2.3. Dugoročna prognoza potreba.....	11
3. ANALIZA POSTOJEĆEG SUSTAVA.....	12
3.1. Općenito	12
3.2. Vodoopskrba na području Moslavačke Posavine	12
3.2.1. Izvorište	13
3.2.2. Cjevovodi.....	15
3.2.3. Vodospreme	16
3.2.4. Crpne stanice	18
3.3. Matematički model postojećeg stanja.....	22
3.3.1. Općenito.....	22
3.3.2. Struktura modela postojećeg stanja.....	26
3.3.3. Terenska mjerenja.....	31
3.3.4. Kalibracija modela	32
3.3.5. Hidrauličko-pogonski uvjeti tečenja u postojećim uvjetima	33
3.3.5.1. Zona Popovača.....	34
3.3.5.2. Zona Repušnica	38
3.3.5.3. Zona Šartovac.....	41
3.3.5.4. Zona Kutina	44
3.3.5.5. Zona Husain.....	47
3.3.5.6. Zona Banova Jaruga.....	50
3.3.6. Zaključno o postojećem stanju.....	53

4. ANALIZA GUBITAKA	57
4.1. IWA metodologija.....	57
4.2. ILI pokazatelj.....	59
4.3. Ekonomska analiza gubitaka.....	62
5. OPTIMALIZACIJA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA KUTINA – POPOVAČA	64
5.1. Općenito	64
5.2. Smanjenje tlakova unutar sustava.....	64
5.2.1. FAVAD metoda	64
5.2.2. Ventili za redukciju tlaka	66
5.2.3. Mjere za smanjenje tlaka u zoni Popovača	67
5.2.4. Mjere za smanjenje tlaka u zoni Repušnica	71
5.2.5. Mjere za smanjenje tlaka u zoni Kutina.....	72
5.2.6. Završni obračun.....	77
5.3. Tehnički detalji odabranih mjera optimalizacije.....	78
5.3.1. Općenito	78
5.3.2. Troškovnik	79
7. Zaključak	80
8. Popis literature	82
9. Grafički prilozi.....	84
9.1. Rezultati kalibracije	84
9.2. Karte, monterski i građevinski plan.....	94

1. UVOD

Za potrebe vodoopskrbnog sustava Kutina – Popovača je u 2011. godini zahvaćeno oko 2.000.000 m³ vode. Od toga 600.000 m³ nije prošlo kroz vodomjere potrošača vode i nije naplaćeno od strane komunalnog poduzeća, nego je negdje na mreži nestalo i predstavlja vodne gubitke. Nestati može kroz curenja na vodovodnim amaturama i cjevovima zbog puknuća uslijed dotrajalosti cjevovoda ili zbog popuštanja spoja dviju cijevi. Drugi način nestanka (nenaplaćvanja) vode su ilegalni priključci na vodoopskrbni sustav i korištenje vode za gašenje požara, pranje ulica, ispiranje pojedinih dionica cjevovoda i sl. Međutim, najveći se dio vodnih gubitaka generira kroz curenja na vodovodnim armaturama i cjevovima.

Rješavanje ovog problema zahtijeva detaljnu analizu utjecajnih čimbenika i postojećeg stanja tj. prikupljanje detaljnih podloga, izradu matematičkog modela i njegovo kalibriranje pomoću terenskih mjerenja. Pomoću kalibriranog matematičkog modela se može dobiti realna slika stanja hidrauličko – pogonskih uvjeta tečenja predmetnog vodoopskrbnog sustava i nestacionarnost istih unutar cjelodnevnog režima. Na temelju hidrauličko pogonskih uvjeta tečenja se provodi detaljna analiza gubitaka gdje se utvrđuje točna količina gubitaka (curenja) i približna lokacija na razini pojedine zone vodoopskrbnog sustava. Analizom gubitaka se dobiva slika o kvaliteti upravljanja sustavom i o potrebnim mjerama optimalizacije sustava.

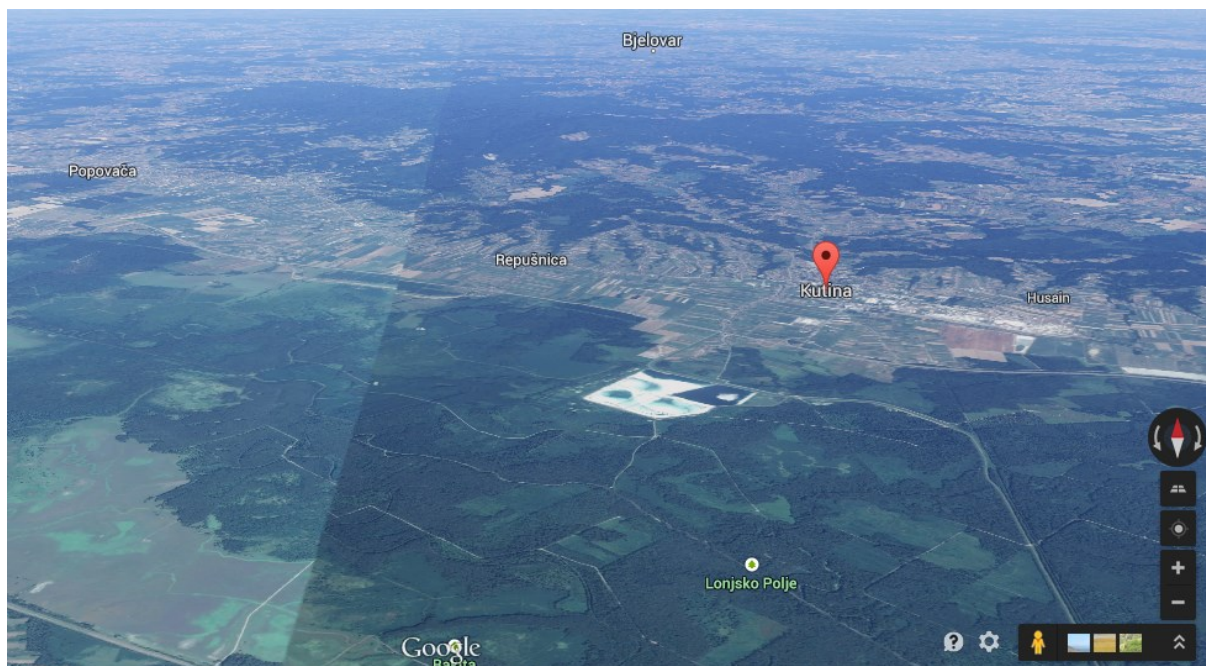
Smanjivanje vodnih gubitaka je bitno za komunalno poduzeće zbog toga što svaki zahvaćeni metar kubni vode ima cijenu. Vodu je potrebno, kondicionirati i tlačiti u distributivnu mrežu. Od 1.1.2015. će komunalno poduzeće plaćati i naknadu Hrvatskim vodama za svaki zahvaćeni metar kubni vode. Jasno je da se vodni gubici ne mogu smanjivati bez ikakvih poduzetih mjera, čak suprotno, stalno se povećavaju. Dodatna financijska opterećenja su problem prije svega komunalnim poduzećima. Postavlja se pitanje, trpiti iz godine u godinu gubitke ili investirati u optimalizaciju sustava i smanjiti vodne gubitke?! Problem vodnih gubitaka zahvaća i krajnje korisnike s ekonomskog aspekta. Ako je dobava vode skuplja komunalnom poduzeću, skuplja je i potrošačima.

Jedan od načina smanjenja vodnih gubitaka je pomoću smanjenja tlaka unutar vodoopskrbne mreže. Cilj ovoga rada je dokazati ekonomsku isplativost optimalizacije vodoopskrbnog sustava Kutina – Popovača pomoću smanjenja tlaka.

2. ANALIZA UTJECAJNIH ČIMBENIKA

2.1. Stanovništvo

2.1.1. Grad Kutina



Slika 1 Grad Kutina

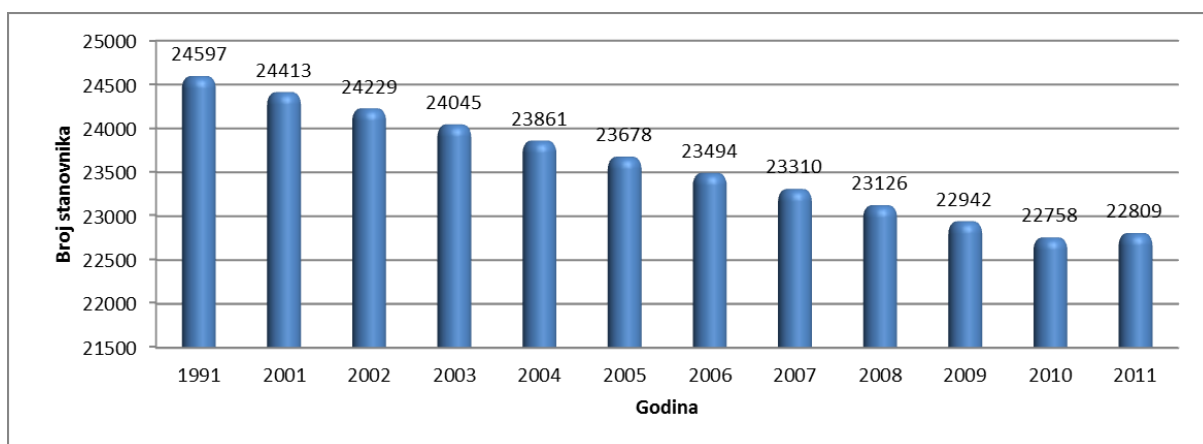
Kutina je industrijsko, trgovačko i administrativno središte cjelokupne regije Moslavine gdje se posebno izdvaja industrijski kompleks tvornice umjetnih gnojiva PETROKEMIJA d.d., SELK (elektronička industrija), razvijeno obtništvo, malo i srednje poduzetništvo. Na nizinskom dijelu prevladava poljoprivredna proizvodnja i stočarstvo, a na obroncima Moslavačke gore pogodni su uvjeti za razvoj vinogradarstva, voćarstva, te stočarstva. Na području Grada Kutina od većih vodotoka je rijeka Pakra i rijeka Ilova. Povoljnu prirodnu poziciju naselja poboljšava neposredna blizina prometne infrastrukture (autocesta, magistralna glavna željeznička pruga, županijska cesta).

Današnji Grad Kutina obuhvaća područje koje čini grad Kutina i naselja Banova Jaruga, Repušnica, Batina, Brinjani, Čaire, Gojlo, Husain, Ilova, Jamarice, Janja Lipa, Kletišće, Katoličke Čaire, Kutinska Slatina, Medurić, Mišinka, Stupovača, Šartovac, Zbjegovača, Krajiška Kutinica, Mikleuška, Kutinica i Selište [1.].

Tablica 1 Broj stanovnika grada Kutine

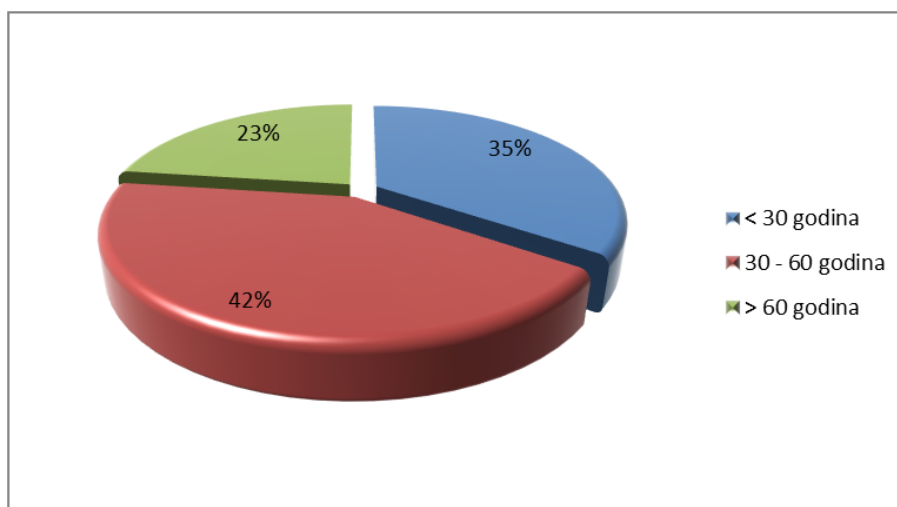
Grad Kutina	Naselje	Broj stanovnika	Broj stanovnika
		1991.	2001.
	Banova Jaruga	748	669
	Batina	215	199
	Brinjani	273	254
	Čaire	40	33
	Gojlo	449	375
	Husain	1002	965
	Ilova	860	818
	Jamarica	452	402
	Janja Lipa	275	200
	Katoličke Čaire	248	229
	Kletište	120	117
	Krajiška Kutinica	85	73
	Kutina	14814	13773
	Kutinica	68	52
	Kutinska Slatina	617	580
	Međurić	542	484
	Mikleuška	155	140
	Mišinka	107	114
	Repušnica	1946	1827
	Selište	297	281
	Stupovača	472	443
	Šartovac	433	383
	Zbjegovača	379	347

Grad Kutina, prema popisu stanovništva iz 2011. godine ima s 22 809 stanovnika. U usporedbi 24 597 stanovnika (1991.god.) može se uočiti trend pada broja stanovnika. Područje Grada Kutine zauzima površinu od 294,34 km². Prosječna gustoća naseljenosti je 77 st/km², dok je prosječna gustoća naseljenosti u Hrvatskoj 85 st./km².



Slika 2 Kretanje broja stanovnika

Prema grafu na slici 3 se vidi da prevladava mlado i radno sposobno stanovništvo. Koeficijent starosti¹ iznosi 22,6 %, a indeks starenja² je 104,4. Što predstavlja i prosječnu starost stanovništva Hrvatske.



Slika 3 Dobna struktura stanovništva

2.1.2. Grad Popovača

Položaj općine je izrazito povoljan - nalazi se relativno blizu županijskog središta te većeg broja drugih gradova i većih naselja, a ostvarena je i dobra povezanost sa Zagrebom. Naime, središtem općine prolazi hrvatska autocesta Zagreb - Lipovac (autocesta A3 odnosno E-70) međunarodnog karaktera, a uz nju se pruža i glavni državni željeznički pravac, magistralna pruga MG 2.1. Također, vrlo je važna prometnica na sjeveroistoku općine županijska cesta Ž-3131, koja područje općine Popovača, odnosno autocestu A3, povezuje s prometnicom D-26 na potezu Čazma - Garešnica.

Područje općine Popovača zauzima površinu od 215,61 km². Općinu čini trinaest naselja: Ciglenica, Donja Gračenica, Donja Jelenska, Donja Vlahinička, Gornja Gračenica, Gornja Jelenska, Moslavačka Slatina, Osekovo, Podbrđe, Popovača, Potok, Stružec i Voloder, u kojima prema zadnjem popisu iz 2001. godine živi 12 701 stanovnik. Prosječna godišnja stopa rasta je 0,72% a prosječna gustoća naseljenosti 59 st/km². Popisano je stanovništvo u 3 955 domaćinstava sa 49,8% žena i 50,2% muškaraca.

¹ Koeficijent starosti - udio starijih od 65 god. i više godina prema ukupnom broju stanovnika umanjenom za broj stanovnika nepoznate starosti; granica koja se uzima kao referentna prilikom karakteriziranja neke populacije starom je 10%.

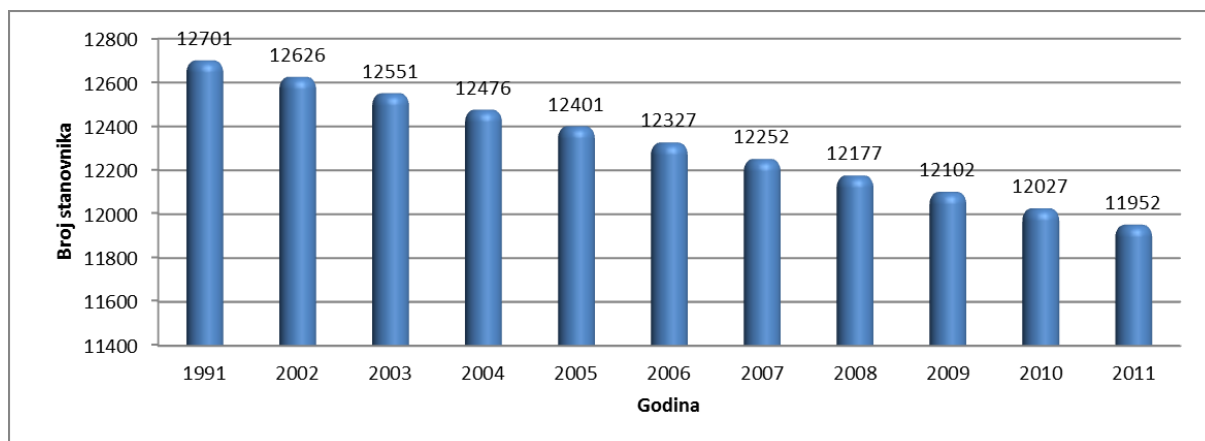
² Indeks starenja - omjer broja starijih od 65 godina i broja djece od 0-19 godina, kritična vrijednost indeksa starenja iznosi 30,0

Tablica 2 Broj stanovnika grada Popovača

Grad Popovača	Naselje	Broj stanovnika 1991.	Broj stanovnika 2001.
	Ciglenica	165	134
Donja Gračenica	827	807	
Donja Jelenska	93	77	
Donja Vlahinička	569	557	
Gornja Gračenica	971	956	
Gornja Jelenska	887	753	
Moslavačka			
Slatina	106	72	
Osekovo	1018	852	
Podbrđe	189	181	
Popovača	4312	4238	
Potok	835	755	
Stružec	795	676	
Voloder	1934	1894	

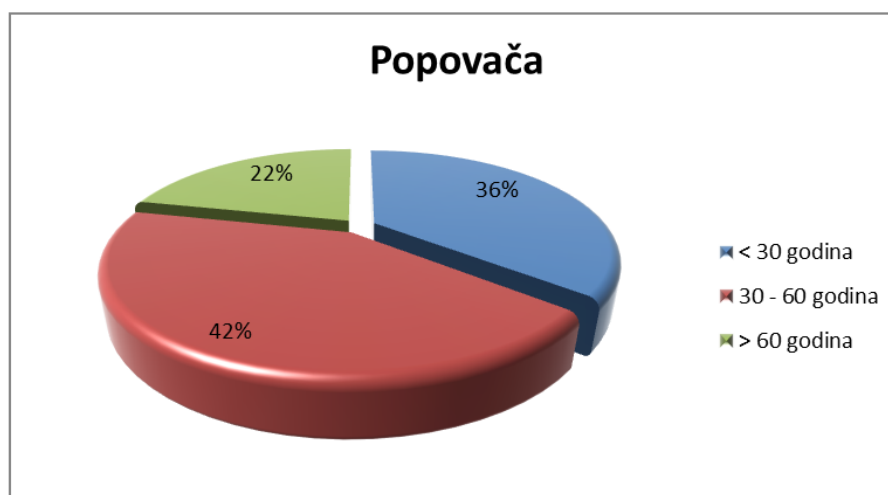
Duž cijelog longitudinalnog prometnog pravca autoceste A3, od sjeverozapada prema jugoistoku, izgrađene su trase magistralnih plinovoda i naftovoda te energetske trase dalekovoda, što ukazuje na poseban značaj središnjeg područja općine za Županiju i RH, upravo radi prolaza tih magistralnih infrastrukturnih pravaca kao dijelova županijskih, odnosno državnih sustava. Također, na području općine postoje kvalitetni prirodni resursi - prvenstveno nafta i plin (Stružec, Voloder, Ciglenica), koji su zastupljeni kroz plansku eksploataciju, ali i bogata nalazišta podzemne pitke vode na području Ravnika i Osekova. Iz toga proizlazi da je s aspekta prirodnih resursa općina Popovača vrlo značajna u državnim razmjerima (plin, nafta), a isto tako i županijskim, tj. regionalnim razmjerima, s obzirom na korištenje postojećih rezervi pitke vode za opskrbu šireg područja.

I Park prirode Lonjsko polje je sa 5 808 ha (10% ukupne površine Parka) sastavni dio općine Popovača. Svojim prirodnim, krajobraznim i ostalim kvalitetama ima daleko širi značaj koji prelazi lokalne okvire. Lonjsko polje ima već izražen europski, pa i svjetski, značaj i samim je time još jedan čimbenik u gospodarskom smislu koji je spreman za valorizaciju i s područja općine Popovača. Tu se, dakako, misli na ekološke, poljoprivredne i posebice turističke potencijale.



Slika 4 Kretanje broja stanovnika

Koeficijent starosti iznosi 21,5 %, a indeks starenja je 93,6. Što je slično kao i u Kutini.



Slika 5 Dobna struktura stanovništva

2.1.3. Općina Velika Ludina

Povoljan položaj i dobra prometna povezanost, relativno niska gustoća naseljenosti, te kvalitetan i očuvan okoliš predstavljaju glavne prostorne i razvojne resurse općine.

Na području općine u 12 naselja, prema popisu iz 2001. godine, živi 2.832 stanovnika, odnosno 1,50 % od ukupnog stanovništva županije (183.531 stanovnika). Prema broju stanovnika općina je među manjima u županiji.

Tablica 3 Broj stanovnika Općine Velika Ludina

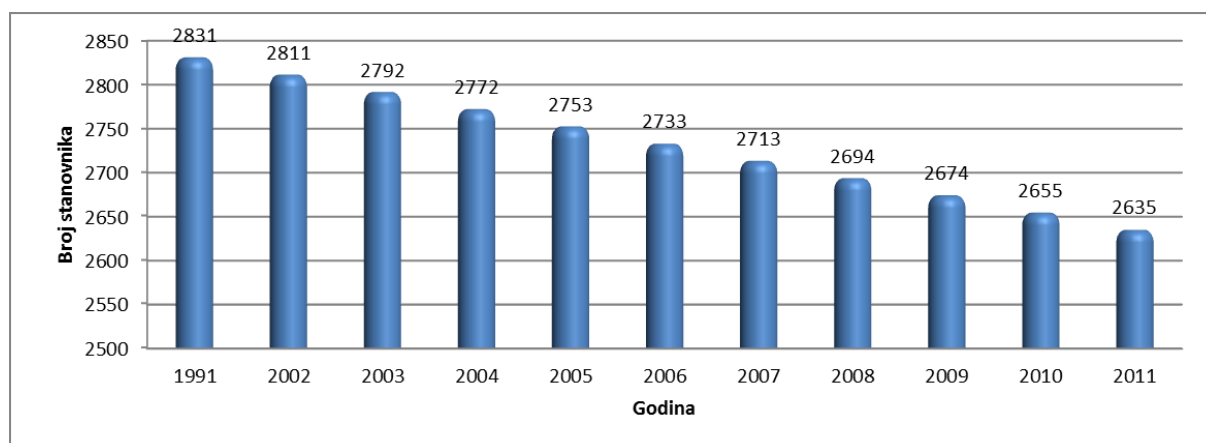
Općina Velika Ludina	Naselje	Broj stanovnika 1991.	Broj stanovnika 2001.
	Gornja Vlahinička	327	271
Grabričina	41	40	
Grabrov Potok	135	103	
Katoličko Selišće	177	159	
Kompator	109	78	
Ludinica	18	14	
Mala Ludina	181	159	
Mustafina Klada	180	161	
Okoli	323	282	
Ruškovica	62	56	
Velika Ludina	724	760	
Vidrenjak	554	552	

Područje općine zauzima površinu od 103,6 km² odnosno 2,3 % ukupne površine županije koja iznosi 4463,1 km². Prema površini općina je među manjima u županiji.

Prosječna gustoća naseljenosti na području općine iznosi 27,69 st./km². Gustoća naseljenosti na području županije je 56,26 st./km².

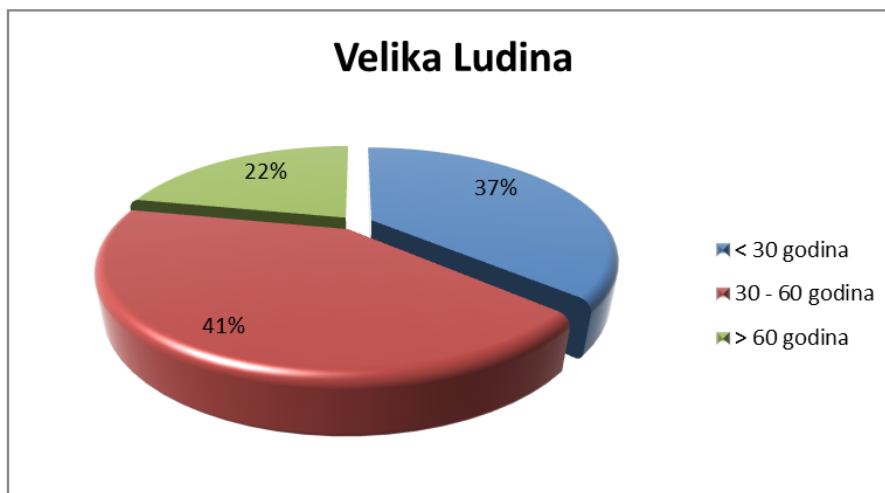
Južni dio područja općine, u površini od cca 16 km², zauzima poplavno područje Lonjskog polja.

Prostor općine jasno je diferenciran na dva karakteristična zemljopisna područja. Sjeverni dio općine zauzimaju brežuljci i obronci niske Moslavačke gore. Karakteristični brežuljkasti reljef obilježavaju izmjene šumskih i poljoprivrednih područja. Naselja su smještena u udolinama. Krajolik je na taj način sačuvan u svom izvornom izgledu. Ta je odlika ujedno i najveća vrijednost prostora općine.



Slika 6 Kretanja broja stanovnika

Koeficijent starosti iznosi 21,7 %, a indeks starenja je 92,1. Što je slično kao i u ostalim naseljima županije i predstavlja staro stanovništvo.

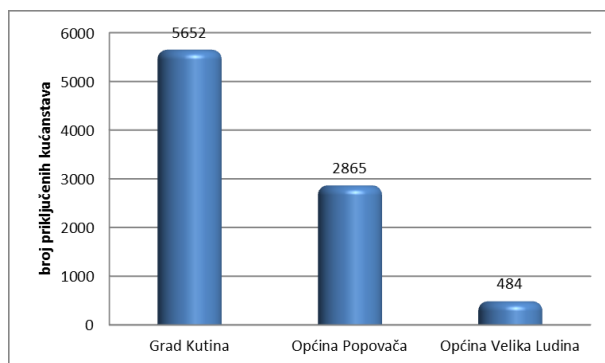


Slika 7 Dobna struktura stanovništva

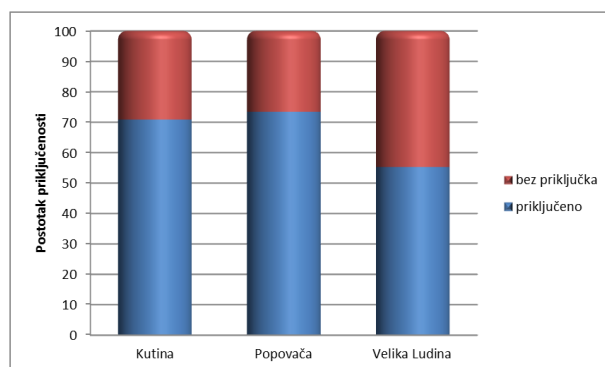
Rezultati pokazuju ono što vrijedi i za većinu Hrvatske. Danas se oko 3/4 teritorija Hrvatske depopulira. Glavni uzrok prirodne depopulacije (pada broja stanovnika prirodnim putem) u Hrvatskoj je pad stope živorođenih (nataliteta) ispod stope umrlih (mortaliteta) a domovinski rat je samo još ubrzao proces demografskog pražnjenja dijelova Hrvatske koji su već depopulirali. Najviše depopuliraju najslabije razvijeni dijelovi Hrvatske – uglavnom se poklapaju s ruralnim prostorom udaljenijim od većih gradova i važnijih prometnica, te brdsko-planinskim područjima.

2.2. Potrošnja vode

Ukupan broj priključenih kućanstava na sustav vodoopskrbe je prikazan na sljedećoj slici. Grad Kutina i Popovača imaju izuzetno velik postotak priključenosti, dok naselja općine Velika Ludina imaju nizak postotak priključenosti. Razlog tomu je što ljudi na seoskim domaćinstvima imaju vlastite bunare i stoga nemaju potrebu priključivati se na vodoopskrbni sustav i plaćati vodu.

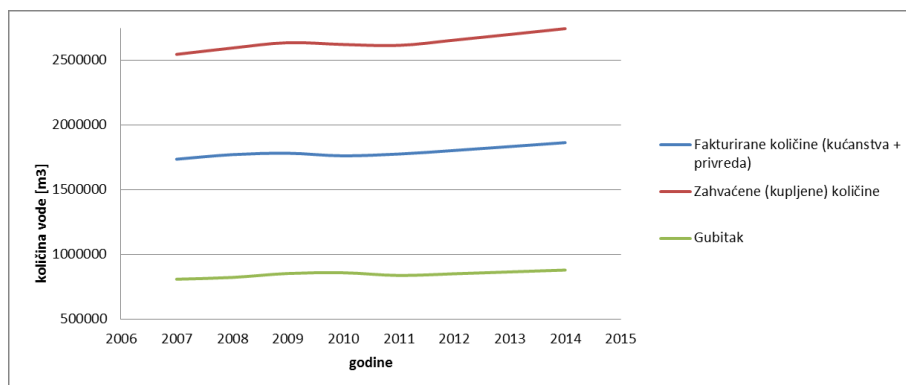


Slika 8 Broj priključenih kućanstava

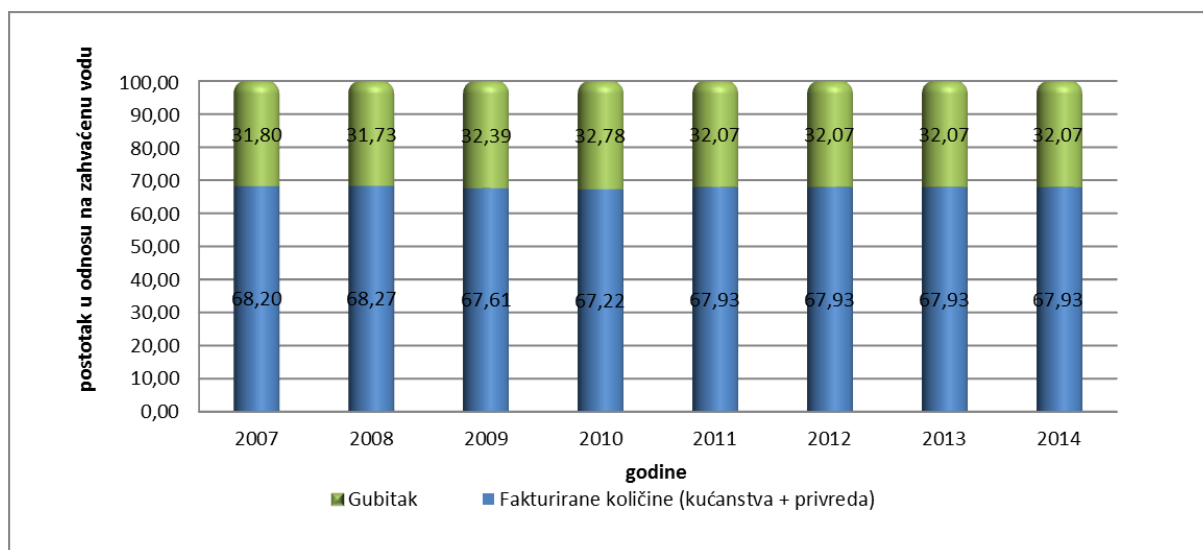


Slika 9 Priključenost na vodoopskrbni sustav

Prema podacima komunalnog poduzeća, iz razlike zahvaćene i fakturirane (naplaćene) vode se može dobiti prvi dojam o stanju vodoopskrbnog sustava, iako to nije mjerodavan kriterij u ocjenjivanju stanja sustava. Podatak o zahvaćenoj vodi, na vodoopskrbnom sustavu Kutine i Popovače, se dobije s vodocrpilišta u Ravniku. Fakturirana mjerena voda je količina vode koja je zabilježena na vodomjerima kućanstava, dok je fakturirana nemjerena voda ona koja je paušalno naplaćena (uglavnom sadržava i vodne gubitke). Na idućoj slici se vidi podatak o veličini zahvaćene i fakturirane vode te o gubicima (koji će se detaljno definirati i razmotriti u idućim poglavljima).



Slika 10 Bilanca vode



Slika 11 Bilanca vode

U zadnjih nekoliko godina se može uočiti blagi porast gubitaka u odnosu na fakturiranu količinu vode. Ne može se računati na smanjenje gubitaka, ukoliko se ne poduzmu tehničke mjere, koje bi unaprijedile sustav.

Specifična potrošnja stanovništva je računata za svako naselje posebno. Zahvaćena voda je raspodijeljena na priključeno stanovništvo i dobivene su vrijednosti maksimalne satne potrošnje. Predmetni vodoopskrbni sustav se sastoji od gradova i malih naselja. Maksimalna satna potrošnja se računa, prema standardnoj praksi, pomoću koeficijenta dnevne i satne neravnomjernosti na sljedeći način:

$$q_{\max,h} = \frac{q_{\text{spec}} \cdot N_k \cdot K_d \cdot K_h}{86400} \text{ [l/s]}$$

gdje je q_{spec} – specifična potrošnja [l/stanovnik/d]

N_k – broj stanovnika

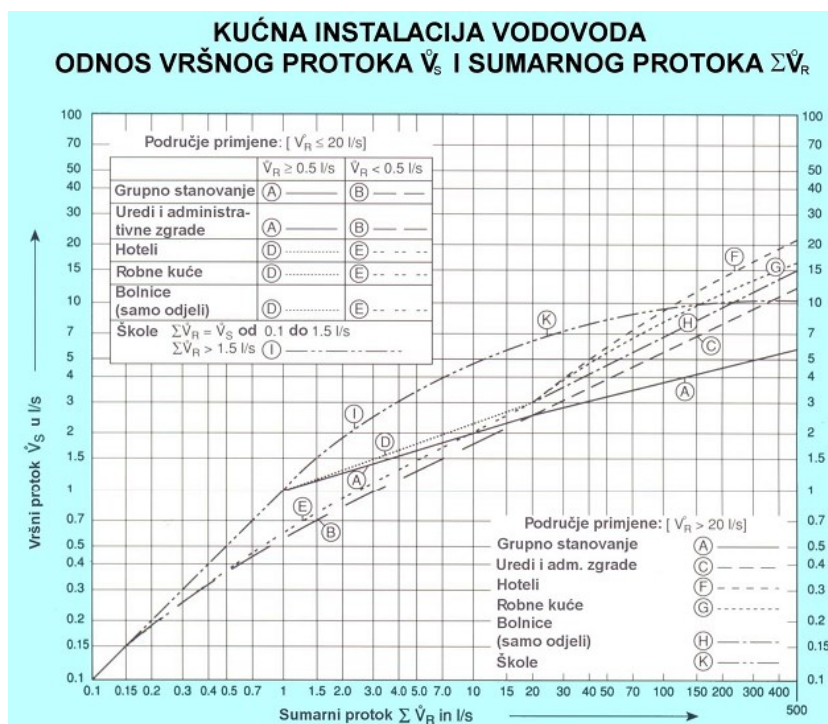
K_d, K_h - koeficijenti dnevne i satne neravnomjernosti

Za projektiranje malih sustava (do nekoliko desetaka domaćinstava) ovakav način proračuna daje nerealno male vrijednosti maksimalne satne potrošnje. Za takve sustave se koristi proračun pomoću jediničnih opterećenja. Maksimalni protok se dobiva sumiranjem svih jediničnih opterećenja.

$$q = 0,25 \cdot \sqrt{\sum JO} \quad [l/s]$$

gdje je JO – jedinično opterećenje [l/s]

Suma svih jediničnih opterećenja se korigira pomoću grafa na idućoj slici da bismo dobili mjerodavnu maksimalnu potrošnju (V_s)



Slika 12 Graf vršnog protoka

Izračun je napravljen po obje metode proračuna maksimalnog satnog protoka. Mjerodavna je veća vrijednost. Rezultat je prikazan po naseljima u slijedećim tablicama:

Tablica 4 Maksimalni satni protok za Kutinu i obližnja naselja

	Naselje	Broj stanovnika priključeni h	Fakturiran o vode [m ³ /god]	Specifična potrošnja [l/stanovnik/dan]	Qsr,dnevno [m ³ /d]	Kd	Qmax, dnevno [m ³ /h]	Kh	q,max,h [l/s]	Prosječan broj osoba u kućanstvu	Broj priključeni h kućanstava	Jedinično opterećenje po kućanstvu	Suma VR [l/s]	q,max,h [l/s]	mjerodavni qmax,h [l/s]
Grad Kutina	Batina	83,38	3088	101	8,46	1,4	0,49	2	0,27	2,7	31	9,25	4,23	2,04	2,04
	Gojlo	199,57	6716	92	18,40	1,4	1,07	2	0,60	2,5	80	9,25	6,79	2,39	2,39
	Husain	725,35	24841	94	68,06	1,4	3,97	2	2,21	2,9	250	9,25	12,03	2,80	2,80
	Kletište	70,87	1749	68	4,79	1,4	0,28	2	0,16	2,9	24	9,25	3,76	1,96	1,96
	Kutina	13755,86	482463	96	1321,82	1,4	77,11	1,6	34,27	2,8	4913	9,25	53,29	3,88	34,27
	Kutinska Slatina	170,03	5009	81	13,72	1,4	0,80	2	0,44	3,2	53	9,25	5,54	2,24	2,24
	Repušnica	1095,51	39028	98	106,93	1,4	6,24	2	3,47	2,9	378	9,25	14,78	2,95	3,47
	Selište	9,82	561	157	1,54	1,4	0,09	2	0,05	3	3	9,25	1,38	1,23	1,23
	Šartovac	35,40	979	76	2,68	1,4	0,16	2	0,09	3,3	11	9,25	2,49	1,66	1,66

Tablica 5 Maksimalni satni protok za Popovaču i obližnja naselja

	Naselje	Broj stanovnika priključeni h	Fakturiran o vode [m ³ /god]	Specifična potrošnja [l/stanovnik/dan]	Qsr,dnevno [m ³ /d]	Kd	Qmax, dnevno [m ³ /h]	Kh	q,max,h [l/s]	Prosječan broj osoba u kućanstvu	Broj priključeni h kućanstava	Jedinično opterećenje po kućanstvu	Suma VR [l/s]	q,max,h [l/s]	mjerodavni qmax,h [l/s]	
Općina Popovača	Ciglenica	116	3696	87	10,13	1,4	0,59	2	0,33	2,6	45	9,25	5,09	2,18	2,18	
	Donja Gračenica	430	16130	103	44,19	1,4	2,58	2	1,43	3,4	126	9,25	8,55	2,55	2,55	
	Donja Jelenska	40	2550	174	6,99	1,4	0,41	2	0,23	3	13	9,25	2,78	1,74	1,74	
	Donja Vlahinička	321	8424	72	23,08	1,4	1,35	2	0,75	4,4	73	9,25	6,49	2,35	2,35	
	Gornja Gračenica	600	23297	106	63,83	1,4	3,72	2	2,07	2,8	214	9,25	11,13	2,74	2,74	
	Gornja Jelenska	143	3997	77	10,95	1,4	0,64	2	0,35	3,2	45	9,25	5,08	2,18	2,18	
	Osekovo	846	31231	101	85,56	1,4	4,99	2	2,77	3,1	273	9,25	12,56	2,83	2,83	
	Podbrđe	124	4636	103	12,70	1,4	0,74	2	0,41	2,9	43	9,25	4,96	2,16	2,16	
	Popovača	3656	133431	100	365,57	1,4	21,32	2	11,85	3,1	1179	9,25	26,11	3,36	11,85	
	Potok	591	25570	119	70,05	1,4	4,09	2	2,27	2,7	219	9,25	11,25	2,75	2,75	
	Štružec	539	24492	124	67,10	1,4	3,91	2	2,17	2,8	193	9,25	10,55	2,71	2,71	
	Voloder	1423	50900	98	139,45	1,4	8,13	2	4,52	3,1	459	9,25	16,29	3,02	4,52	
																40,57

Tablica 6 Maksimalni satni protok za općinu Velika Ludina

	Naselje	Broj stanovnika priključeni h	Fakturiran o vode [m ³ /god]	Specifična potrošnja [l/stanovnik/dan]	Qsr,dnevno [m ³ /d]	Kd	Qmax, dnevno [m ³ /h]	Kh	q,max,h [l/s]	Prosječan broj osoba u kućanstvu	Broj priključeni h kućanstava	Jedinično opterećenje po kućanstvu	Suma VR [l/s]	q,max,h [l/s]	mjerodavni qmax,h [l/s]	
Općina Velika Ludina	Gornja Vlahinička	187	4944	72	13,54	1,4	0,79	2	0,44	2,9	65	9,25	6,11	2,31	2,31	
	Grabričina	22	725	91	1,99	1,4	0,12	2	0,06	2,4	9	9,25	2,29	1,60	1,60	
	Grabrov Potok	47	2070	121	5,67	1,4	0,33	2	0,18	2,9	16	9,25	3,06	1,81	1,81	
	Katoličko Selišće	44	2121	133	5,81	1,4	0,34	2	0,19	2,4	18	9,25	3,25	1,85	1,85	
	Kompator	23	723	87	1,98	1,4	0,12	2	0,06	2,5	9	9,25	2,30	1,60	1,60	
	Mala Ludina	39	1456	103	3,99	1,4	0,23	2	0,13	3,2	12	9,25	2,65	1,71	1,71	
	Mustafina Klada	40	1537	105	4,21	1,4	0,25	2	0,14	2,8	14	9,25	2,88	1,77	1,77	
	Okoli	269	10873	111	29,79	1,4	1,74	2	0,97	3,1	87	9,25	7,08	2,42	2,42	
	Ruškovica	25	541	59	1,48	1,4	0,09	2	0,05	3,7	7	9,25	1,98	1,49	1,49	
	Velika Ludina	448	19956	122	54,67	1,4	3,19	2	1,77	3	149	9,25	9,29	2,61	2,61	
	Vidrenjak	331	12345	102	33,82	1,4	1,97	2	1,10	3,2	103	9,25	7,73	2,48	2,48	
																21,65

U prethodnim tablicama su dobiveni maksimalni protoci za dimenzioniranje sustava. Važno je napomenuti da su mjerenja na terenu pokazala puno manje vrijednosti.

2.3. Dugoročna prognoza potreba

Sadašnje stanje bi se trebalo očekivati i u budućnosti. Teško je očekivati povećanje veličine specifične potrošnje vode, ako se u obzir uzmu potrebe za budućim povećanjem cijena vode koje pak proizlaze iz potrebe za širenjem ukupnih kapaciteta sustava, rekonstrukcijama mreže (zamjenom cijevnog materijala), povećanja jedinične cijene energije i radne snage i dr., što će rezultirati povećanim mjerama štednje vode i njezinim racionalnijim korištenjem.

3. ANALIZA POSTOJEĆEG SUSTAVA

3.1. Općenito

Opis postojećeg stanja i prikaz osnovnih karakteristika sustava izuzetno je bitan ukoliko se žele definirati preduvjeti za daljnju kvalitetnu provedbu optimizacije predmetnog sustava javne vodoopskrbe.

U prvom dijelu daju se opisne karakteristike sustava zamijećenog postojećeg stanja koji je utvrđen analizom geodetskih podloga, te obradom svih relevantnih podataka iz postojeće raspoložive projektne i razvojne dokumentacije.

U drugom dijelu je prikazan matematički model, koji je napravljen prema prethodnim podlogama i kalibriran prema terenskim ispitivanjima. Važnost provođenja terenskih ispitivanja proizlazi iz potrebe za utvrđivanjem realne potrošnje vode u sustavu, određivanjem iznosa gubitaka vode, kao i kalibracijom numeričkog modela cjelokupnog sustava.

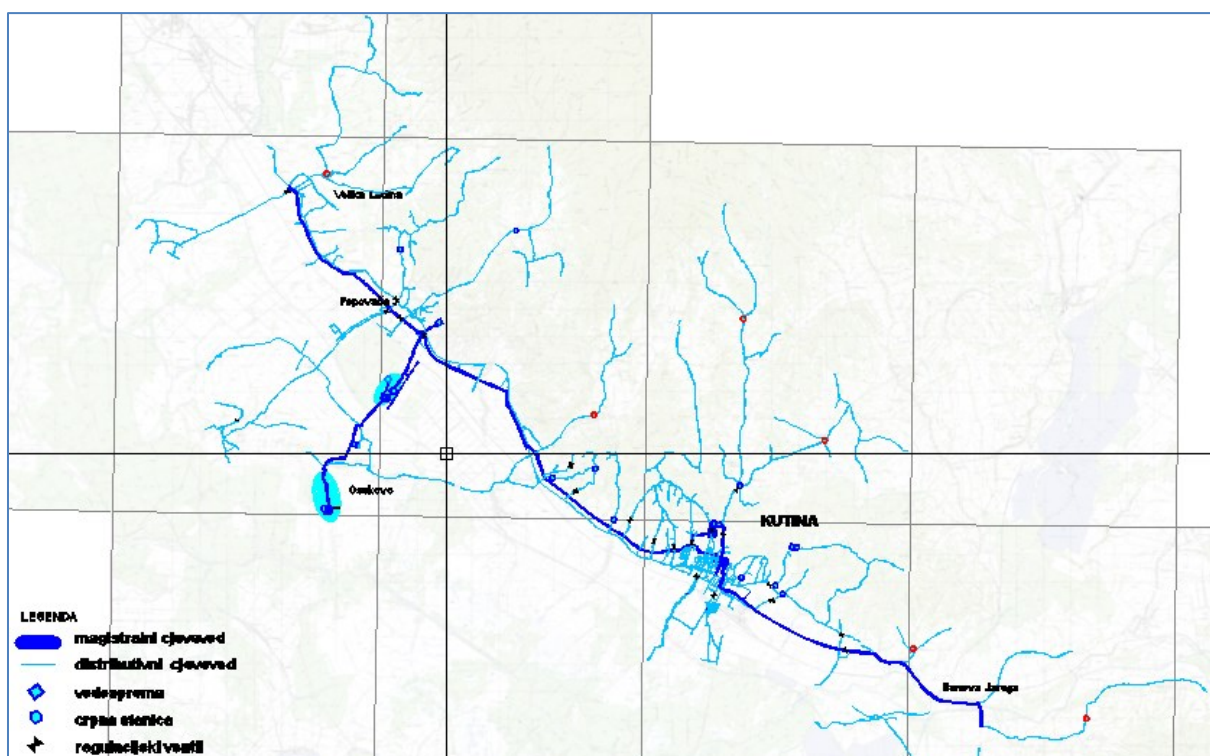
3.2. Vodoopskrba na području Moslavačke Posavine

Vodoopskrbni sustav Moslavačke Posavine nalazi se na sjeveroistočnom dijelu Sisačko-moslavačke županije, a dijelom i u Zagrebačkoj županiji. Na području toga sustava za sada postoje tri odvojena vodoopskrbna podsustava:

- Vodoopskrbni podsustav Popovača-Kutina,
- Vodoopskrbni podsustav Novska-Lipovljani,
- Vodoopskrbni podsustav Jasenovac.

Na području Moslavačke Posavine, distribuciju vrše 4 komunalna poduzeća (Moslavina d.o.o. Kutina za vodoopskrbni sustav na području grada Kutine i općina Velika Ludina i Popovača, Novokom d.o.o. Novska za vodoopskrbni sustav na području grada Novske, Lipkom d.o.o. Lipovljani za vodoopskrbni sustav na području općine Lipovljani, te JKP Jasenovačka voda d.o.o. za vodoopskrbni sustav na području općine Jasenovac).

Ovaj broj komunalnih poduzeća može biti ograničavajući faktor pri daljnjem razvoju komunalnog sektora i vodoopskrbe, naročito kada se uzme u obzir potreba za kvalitetnim upravljanjem, nadzorom i praćenjem stanja pogona.



Slika 13 Vodoopskrbni sustav Kutina - Popovača

3.2.1. Izvorište

Vodoopskrbni sustav „Popovača - Kutina“ temelji se na vodocrpilištu i uređaju za kondicioniranje vode Ravnik i Osekovo. Ravnik se sastoji od 10 zdenaca od kojih je 9 građeno između 1983. i 1988. godine, a tek jedan (RNB 3A) je novijeg datuma (2008. godine). Zdenci su bušeni na dubinama od 100 do 113 m promjera 800 mm do dubine 30 m (izuzev najnovijeg koji je promjera 400 mm), a od 30 m na dublje svi su promjera 400 mm [2].



Slika 14 Bušenje RNB3-A



Slika 15 - Ugradnja crpke

Promjer bušenja je $\Phi 780$ mm, a konačna dubina zdenca je 116,0 m. Ugrađena je prokrom konstrukcija zdenca promjera $\Phi 406$ mm.

Crpkom kapaciteta 20 l/s izvedeno je pokusno crpljenje uz mjerenje povrata razine. Radi stabilnosti vodonosnog sloja i dužeg radnog vijeka zdenca, preporučeno je maksimalno crpiti 11,0 l/s na dubinu usisne košare oko 40 m.



Slika 16 Pogon Ravnik

Vodocrpilište Osekovo se trenutno sastoji od jednog zdenca (LoPoz-2), kapaciteta 36 l/s, koji se nalazi u Parku prirode Lonjsko polje, a planira se još izbušiti 4 zdenaca LoPoz-1, LoPoz-3, LoPoz-4, LoPoz-5, za potrebe planiranog sustava u kojemu će biti spojeni Popovača, Kutina i Novska.



Slika 17 Vodocrpilište Osekovo

Na lokalitetu postojećih zdenaca crpilišta "Ravnik" je relativno plitak zaštitni pokrov iznad vodonosnika te je moguć prodor zagađenja do vodonosnika. Prema prikupljenim podacima mikrobiološko onečišćenje sirove vode povećava se s godinama, te se vrši kontinuirano povećanje dodavanja dezinfekcijskog sredstva kako bi se voda dovela u pitko stanje. Kemijske i mikrobiološke analize uzoraka crpljene podzemne vode ukazuju na osjetno povećanu koncentraciju željeza, povećan sadržaj slobodnog amonijaka te na mutnost.

3.2.2. Cjevovodi

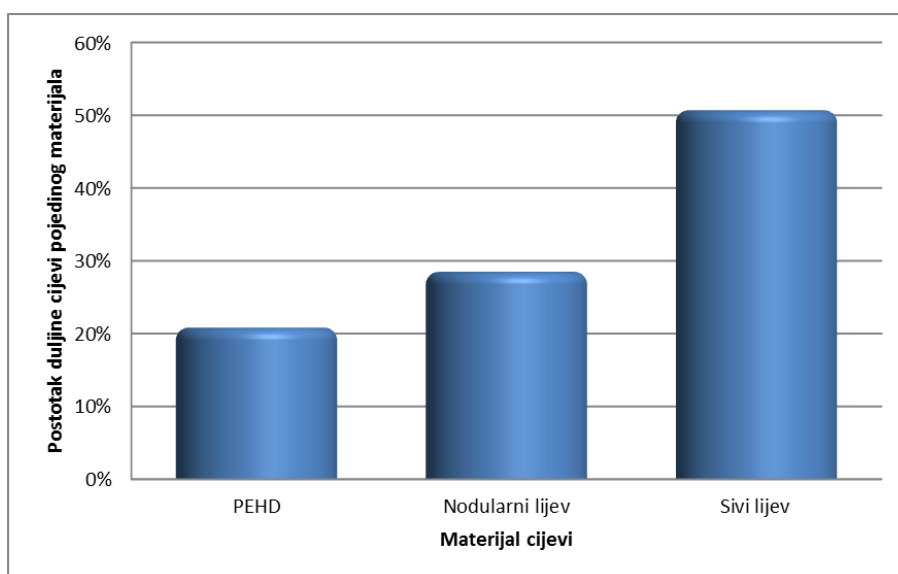
Magistralni cjevovodi sustava Kutina – Popovača su dimenzija od DN 280 do DN 500 [2.]. Od ugrađenog materijala prevladava lijevano željezo (nodularni lijev), a na pojedinim dionicama su PEHD cijevi. Distributivni cjevovodi su dimenzija DN 90 do DN 160 i prevladavaju lijevano željezne cijevi (sivi lijev). Cijevi od sivog lijeva su stare i općenito lošijih mehaničkih svojstava u odnosu na PEHD (češći kvarovi) [2.]. Prilikom ugradnje novih dionica u pravilu se ugrađuje PEHD ili nodularni lijev, koji je također kvalitetniji od sivog lijeva. Položaj magistralnog i distributivnih cjevovoda se može vidjeti na Slika 13.



Slika 18 Primjer kućnog priključka vodoopskrbne mreže Kuitna - Popovača



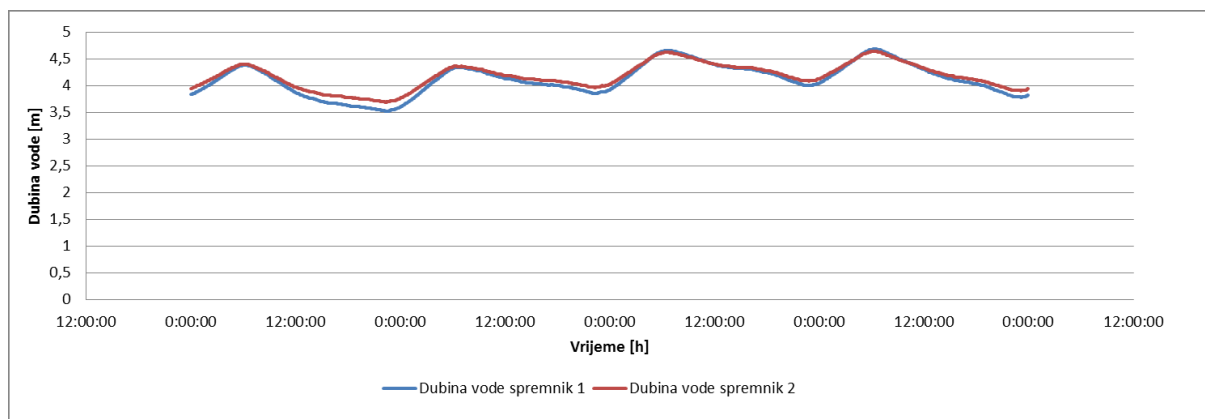
Slika 19 Primjer sekcijskog zasuna vodoopskrbne mreže Kutina - Popovača



Slika 20 Udio duljina postojećih materijala cijevi

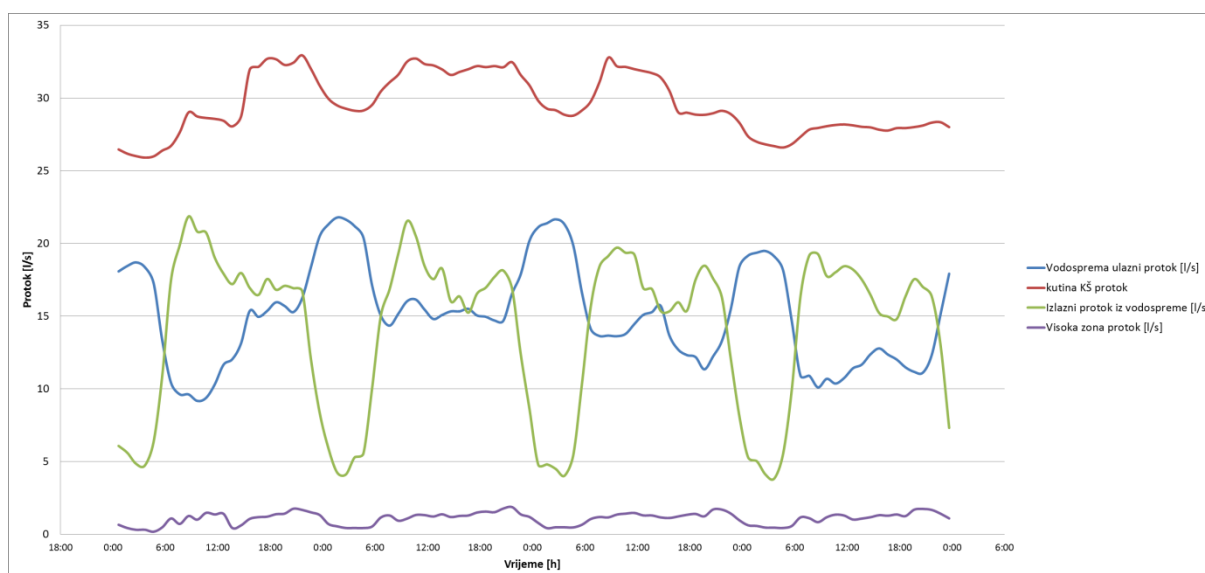
3.2.3. Vodospreme

Vodoopskrbni sustav Kutina – Popovača se sastoji od dvije vodospreme. Jedna se nalazi u nedaleko od Popovače, u Velikom Brdu, po čemu i nosi naziv. Volumen vodospreme je $2 \times 2000 \text{ m}^3$. Kota dna vodospreme je na 189 m n.m. Maksimalna razina vode je 5 m. Vodosprema se puni u noćnom periodu, kada crpka iz Ravnika tlači vodu cjevovodom DN 500, a prazni se tokom dana. Razlog ovog režima punjenja vodospreme je niža tarifa električne struje u noćnim satima i mala vrijednost potrošnje vode. Režim punjenja i pražnjenja vodospreme je prikazan na slijedećem grafu.

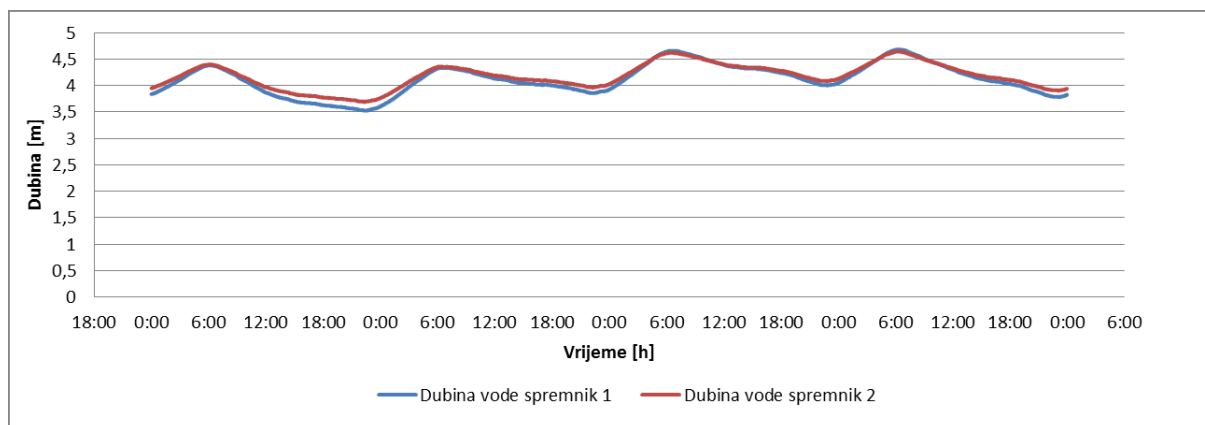


Slika 21 Režim punjenja i pražnjenja vodospreme Veliko Brdo

Iz vodospreme Veliko Brdo, voda se transportira preko „križne šahte“ magistralnim cjevovodom do vodospreme Kutina. Vodosprema Kutina je volumena $2 \times 1250 \text{ m}^3$. Oblik je vodosprema je cilindričan. Kota dna vodospreme je 154 m n.m., a maksimalna razina vode je 5 m. Iz vodospreme Kutina voda se transportira u dva smjera. Jedan je cjevovodom DN 300 na istočnu stranu Kutine, a drugi je preko crpne stanice prema Visokoj zoni. Dakle, vodosprema Kutina funkcionira tako da se iz smjera vodospreme Veliko Brdo stalno puni, nejednolikim protokom, a prema istoku Kutine i Visokoj zoni prazni. Na grafu je prikazan režim punjenja i pražnjenja vodospreme. U noćnom periodu, kada je protok iz vodospreme prema stanovništvu male vrijednosti, vodosprema se puni. Po danu je veća potrošnja vode i time je izlazni protok iz vodospreme veće vrijednosti ali i ulazni protok iz vodospreme Veliko Brdo je manji.



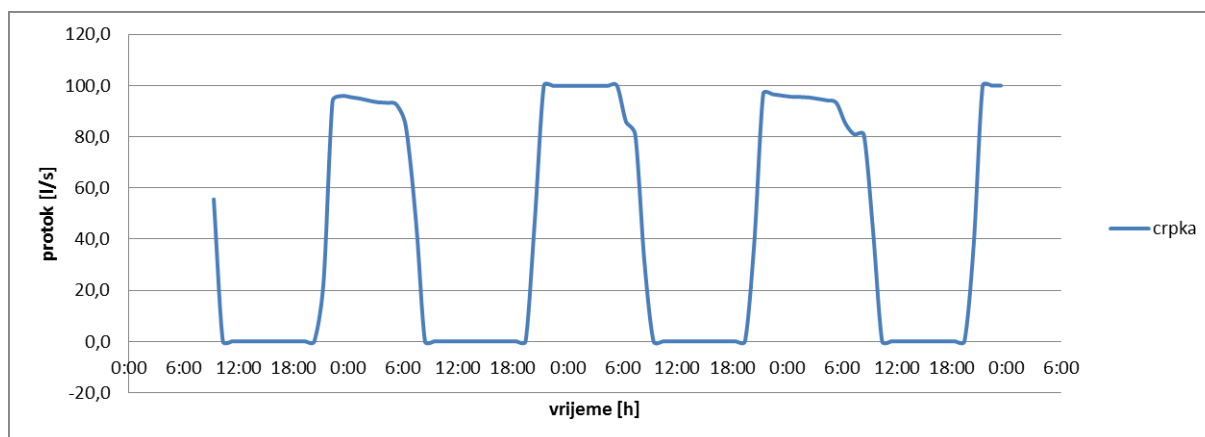
Slika 22 Režim protoka prema vodospremi



Slika 23 Režim punjenja i pražnjenja vodospreme Kutina

3.2.4. Crpne stanice

U sklopu vodoopskrbnog sustava Kutina – Popovača se nalazi 18 crpnih stanica [2.]. Prva i najvećeg maksimalnog protoka 102 [l/s] je u Ravniku. Nakon kondicioniranja vode zahvaćene iz zdenaca u Osekovu i Ravniku, crpna stanica Ravnik šalje vodu magistralnim cjevovodom $\Phi 500$ prema vodospremi Veliko Brdo. Režim rada crpke je prikazan na slijedećem grafu. Crpka radi u noćnom vremenu od 21:00 do 8:00, kada je električna struja jeftinija.



Slika 24 Režim rada crpne stanice Ravnik

Ostale crpne stanice su postavljene zbog nedostatka tlaka, koji vodospreme svojim gravitacijskim tlačenjem distribuiraju po sustavu. Naime, konfiguracija terena je dosta nepogodna, budući da se radi o kombinaciji ravničarskog i brdovitog područja.

Crpna stanica Visoka zona se nalazi neposredno nakon vodospreme Kutina i distribuira vodu prema potrošačima Visoke zone - zapad koji su smješteni iznad 134 m geodetske visine, za otprilike 423 domaćinstva i oko 157 kuća za odmor. U crpnoj stanici se nalaze: hidroblok s tri

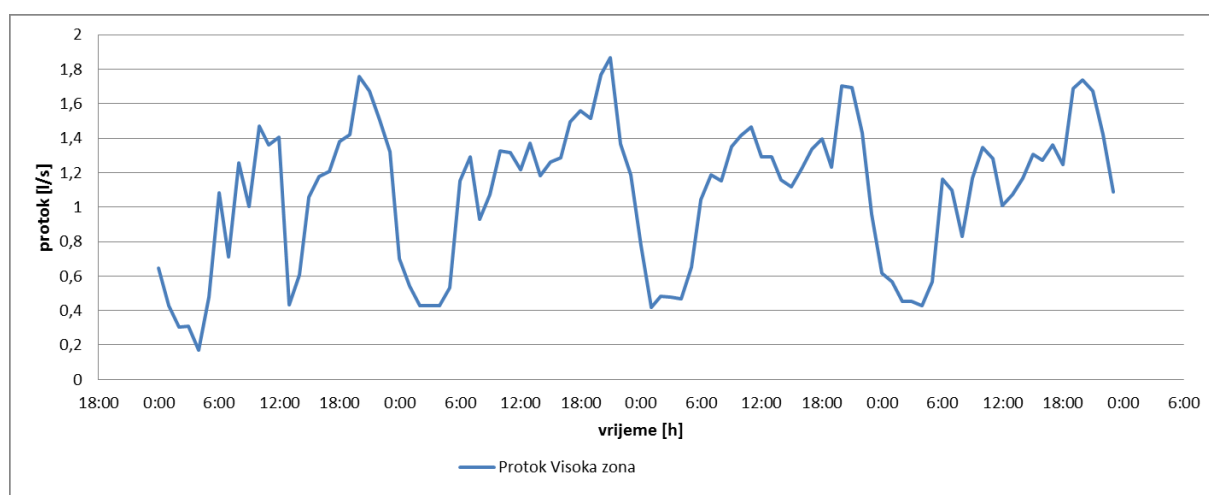
vertikalne centrifugalne crpke, upravljački ormar za automatsku regulaciju i podešavanje režima rada crpki. Crpke su spojene u paralelan rad.



Slika 25 Crpna stanica Visoka zona

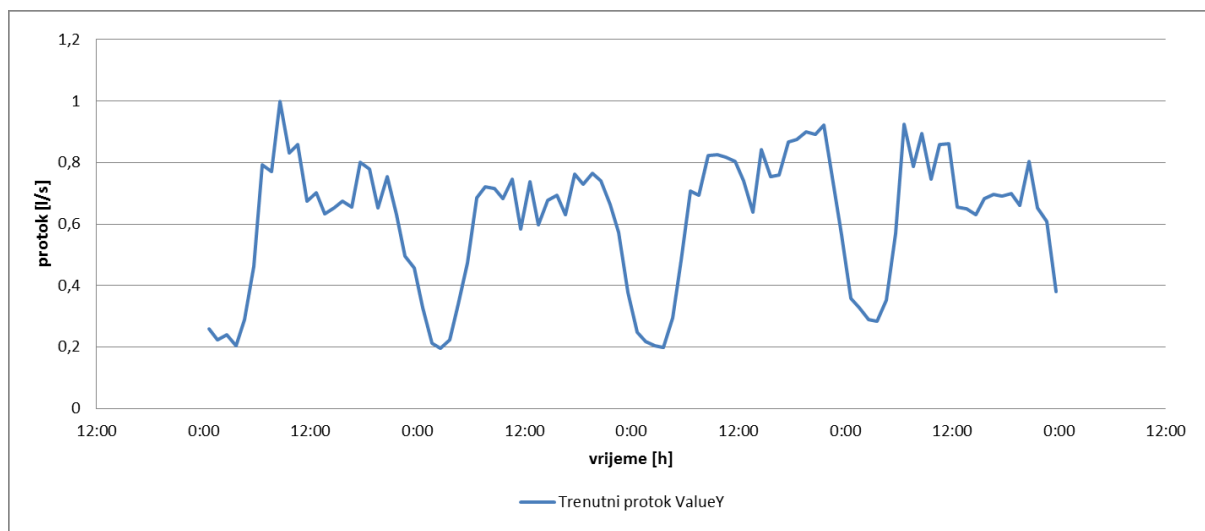


Slika 26 Hidroblok crpne stanice



Slika 27 Režim rada crpne stanice Visoka zona

Crpna stanica Goilska ima hidro-blok s četiri centrifugalne crpke spojene u paralelni rad i povezane direktno na ulični cjevovod u Goilskoj ulici. Kapacitet hidrobloka kod količine od 12 l/s zadovoljava uvjete dobave vode i sa protupožarnog i sanitarnog stajališta vodoopskrbe.



Slika 28 Režim rada crpne stanice Goilska

Precrpnna stanica Vinogradska - Repušnica je izvedena 1998. godine i ima dvije vertikalne crpke (jedna radna, 1 rezerva), hirodoforsku posudu 1,5 m³ koje osigurava protok 14 m³/h i tlak 6 bara.

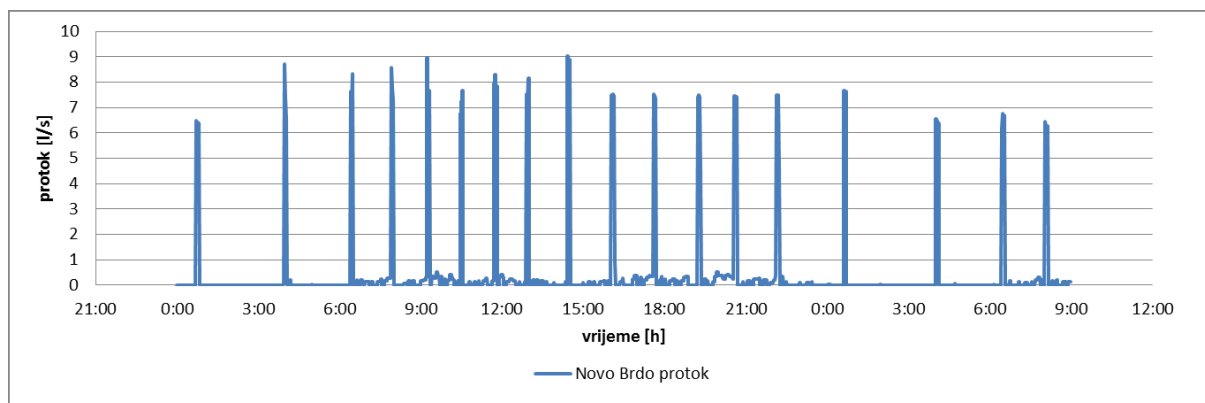


Slika 29 Crpna stanica Vinogradska



Slika 30 Hidroblok crpne stanice

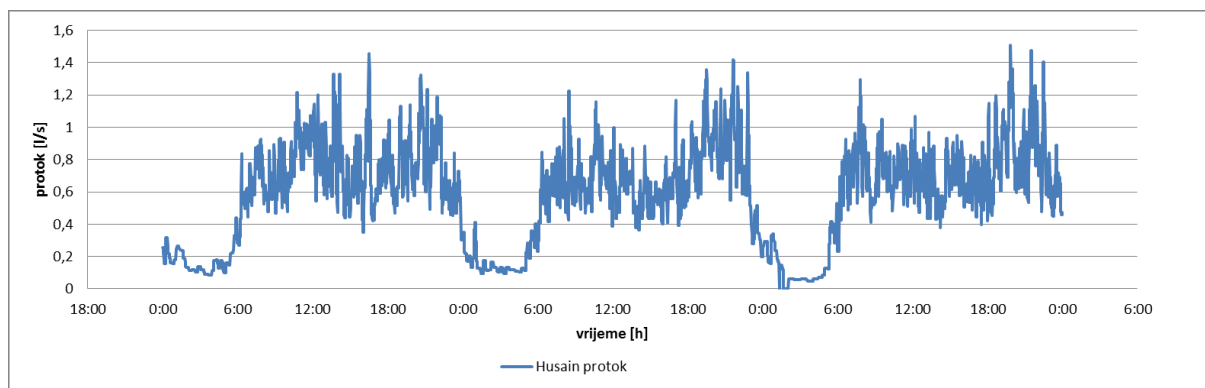
Precrpnna stanica Novo Brdo je izvedena za potrebe vodoopskrbe naselja Mišinka i Gojlo kao i dijela naselja Kutinska Ciglenica. Precrpnna stanica „Novo Brdo“ opskrbljivat će vodom podzemnu vodospremu „Mišinka“ na vrhu ulice Novo brdo, iz koje će se novom precrpnom stanicom (hidroblokom) voda pumpati u vodovod naselja Mišinka, Gojlo i dio naselja Kutinska Ciglenica. Do sada je naselje Gojlo opskrbljivano pitkom vodom koja se dovozi autocisternom. Ista se istakala u vodospremu na Gojlu, iz koje je gravitacijskim vodovodom naselje Gojlo dobivalo vodu.



Slika 31 Režim rada crpke Novo Brdo

Ova crpka se pali kad u vodospremi Mišinka padne razina vode. Može se vidjeti na prethodnome grafu kako se crpka tokom dana češće pali zbog veće potrošnje.

Precrpnna stanica Staro brdo (Husain) je izgrađena 2005, a uporabnu dozvolu je dobila 7.6.2006. godine. Ima hidroblok s tri centrifugalne crpke spojene u paralelni rad i povezane direktno na ulični vodovod. Za normalnu opskrbu najviših dijelova ulice crpna stanica osigurava tlakove od 12 bara i količine od 12,86 l/s.



Slika 32 Režim rada crpke Husain



Slika 33 Crpna stanica Husain



Slika 34 Hidroblok crpne stanice

Precrpna stanica za opskrbu naselja Šartovac, Šartovačko brdo, Slatinu, ul. Mate Lovraka i Čaira, nalazi se uz asfaltnu prometnicu u ulici Stjepana Kefelje u Kutinskoj Slatini. Precrpna stanica je zidani objekt u kojem je smješten hidroblok, razvodni ormar i električni grijač s obzirom da se unutrašnjost prostora zimi mora zagrijavati na temperaturu 15°C.



Slika 35 Precrpna stanica Šartovac

Precrpna stanica „Mišinka“ ima hidroblok s tri centrifugalne crpke koje su spojene u paralelan rad i povezane direktno na podzemni čelični spremnik od 80 m³ koji se puni iz postojećeg vodovoda $\Phi 110$ mm u ulici Novo brdo.



Slika 36 Precrpna stanica Mišinka



Slika 37 Hidroblok precrpne stanice

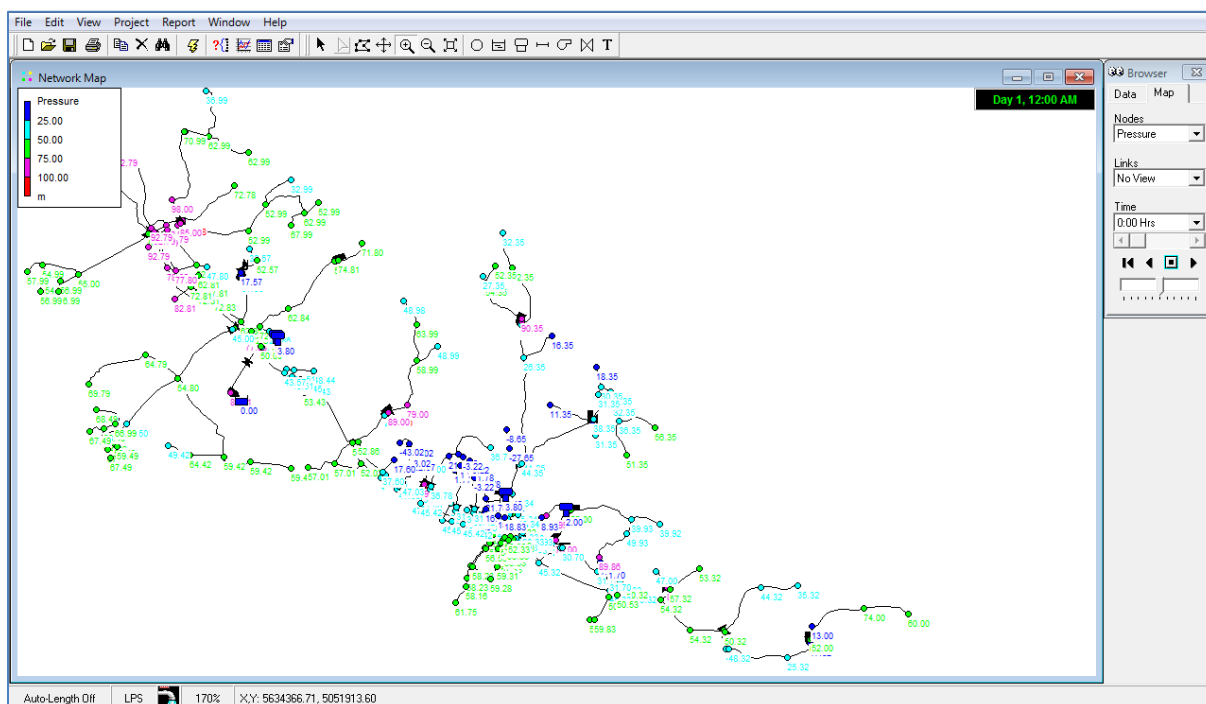
3.3. Matematički model postojećeg stanja

3.3.1. Općenito

Matematičkim modeliranjem vodoopskrbnih sustava omogućen je prikaz hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja, odnosno prikaz realnih stanja protoka i tlakova unutar vodoopskrbne mreže [3.]. U današnje vrijeme raspoloživosti matematičkih modela i njihove

lake dostupnosti te jednostavnosti primjene, svaki drugačiji oblik analize i utvrđivanja postojećeg stanja na temelju kojega bi se trebale definirati mjere optimalizacije sustava smatra se neprihvatljivim, osobito pri analizi sustava složenijeg karaktera (veći broj u prstene povezanih dionica, veći broj vodosprema, crpnih stanica, regulacijskih elemenata i dr.) [4.].

Odabran je matematički model EPANET kojeg je razvila američka Agencija za zaštitu okoliša (EPA – Environmental Protection Agency) [5.]. Model je u slobodnom obliku dostupan užoj i široj javnosti te ne zahtjeva posebnu licencu. EPANET pruža mogućnost provođenja simulacija različitih stacionarnih i dinamičkih stanja unutar tlačnih sustava vodoopskrbne mreže. U samom modelu također je omogućeno definiranje i pratećih sadržaja – crpnih stanica, vodosprema, zasuna, regulacijskih armatura i sl. Također je omogućen prikaz nestacionarnosti, odnosno vremenskih promjenjivosti osnovnih ulaznih veličina (potrošnja vode i sl.) čime je omogućeno praćenje promjena tečenja i tlakova unutar same mreže. Na idućoj slici se može vidjeti matematički model vodoopskrbnog sustava Kutina – Popovača, gdje su prikazane sve cijevi, čvorovi, vodospreme i crpke.



Slika 38 Sučelje programa EPANET 2.0

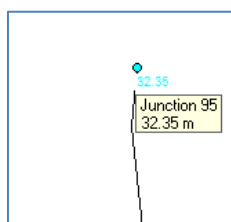
Sučelje EPANET-a maksimalno je prilagođeno korisnicima te je znatno pojednostavljen unos podataka i ubrzan proračun hidrauličke simulacije. Isto tako, program pruža pregledniji prikaz rezultata u različitim oblicima (tablice, grafovi, slikovit prikaz mreže) i ne postavlja ograničenja u analiziranju veličine. Matematički algoritam omogućuje proračun linijskih (hidrauličkih) gubitaka uz korištenje Darcy – Weisbachove jednadžbe. Osim linijskih gubitaka program uzima u obzir i lokalne gubitke (fasonski komadi i vodovodne armature).

Osnovni elementi kojima se definira model (vodoopskrbna mreža) su:

Čvorovi (eng. Junctions)

Određuju mjesta potrošnje unutar sustava. Definiraju ih sljedeći parametri:

- Redni broj
- Kota terena (apsolutna visina)
- Vrijednost potrošnje vode korisnika definiranih za čvor
- Dijagram koji određuje raspodjelu potrošnje po satima (Demand pattern)



Slika 39 Čvor u EPANET-u

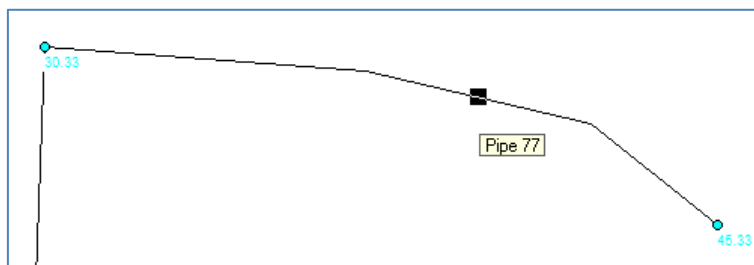
Vrijednosti potrošnje vode u pripadnom čvoru najčešće se određuje metodom linearnog uprosječivanja, na način da se mjerodavni računski protok (dobiven na temelju procjena ili utvrđen mjerenjima) razdijeli na ukupnu duljinu mreže na kojoj se vrši potrošnja vode, čime se definira vrijednost specifičnog protoka.

Množenjem vrijednosti specifičnog protoka i polovine vrijednosti duljina dionica koje pripadaju određenom čvoru, definira se potrošnja vode u pripadnom čvoru.

Cijevi (eng. Pipes)

Cijevi spajaju dva čvora mreže. Definiraju ih sljedeći parametri:

- Redni broj
- Dužina cijevi [m]
- Promjer cijevi [mm]
- Koeficijent hrapavosti [mm]

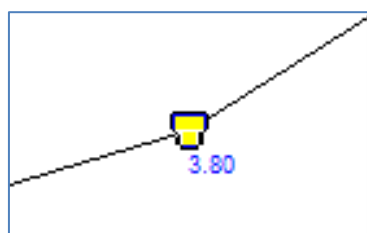


Slika 40 Cijev u EPANET-u

Vodospreme (eng. Tanks)

Definiraju ih sljedeći parametri:

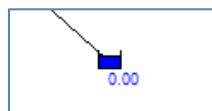
- Kota terena (apsolutna visina)
- Minimalna razina vode u vodospremi (relativna visina)
- Maksimalna razina vode u vodospremi (relativna visina)
- Početna razina vode u vodospremi (relativna visina)
- Promjer vodospreme (preko njega se definira površina vodospreme bez obzira na tlocrtni oblik)
- krivulja volumena (ukoliko oblik vodospreme nije jednostavan)



Slika 41 Vodosprema u EPANET-u

Izvorište (eng. Reservoirs)

Definira se energetska visinom i dijagramom koji određuje promjenu tlačne visine u vremenu.



Slika 42 Izvor u EPANET-u

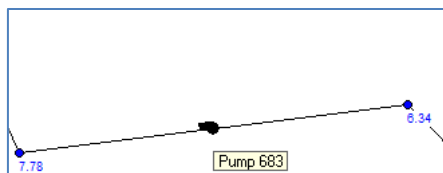
Crpke (eng. Pumps)

Definiraju ih sljedeći parametri:

- Početni i krajnji čvor

- Q-H krivulja crpke

Rezultati proračuna mogu se prikazati tabelarno i grafički. Moguće je odabir izlaznih veličina koje se žele prikazati.



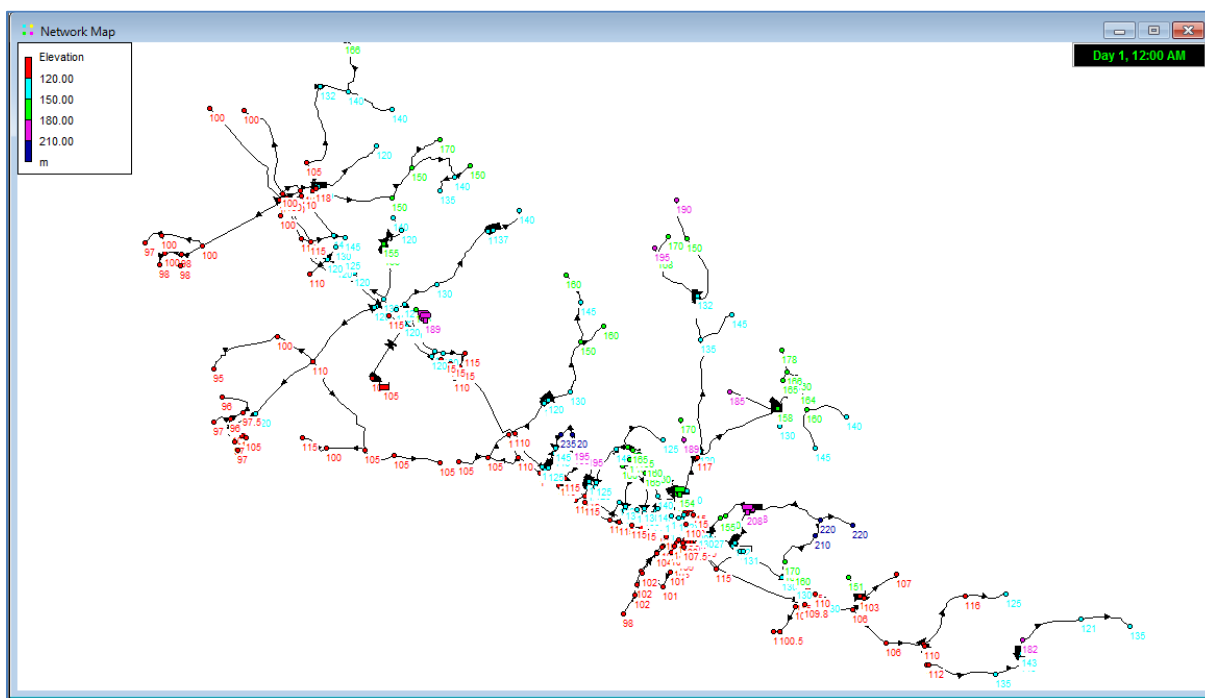
Slika 43 Crpka u EPANET-u

3.3.2. Struktura modela postojećeg stanja

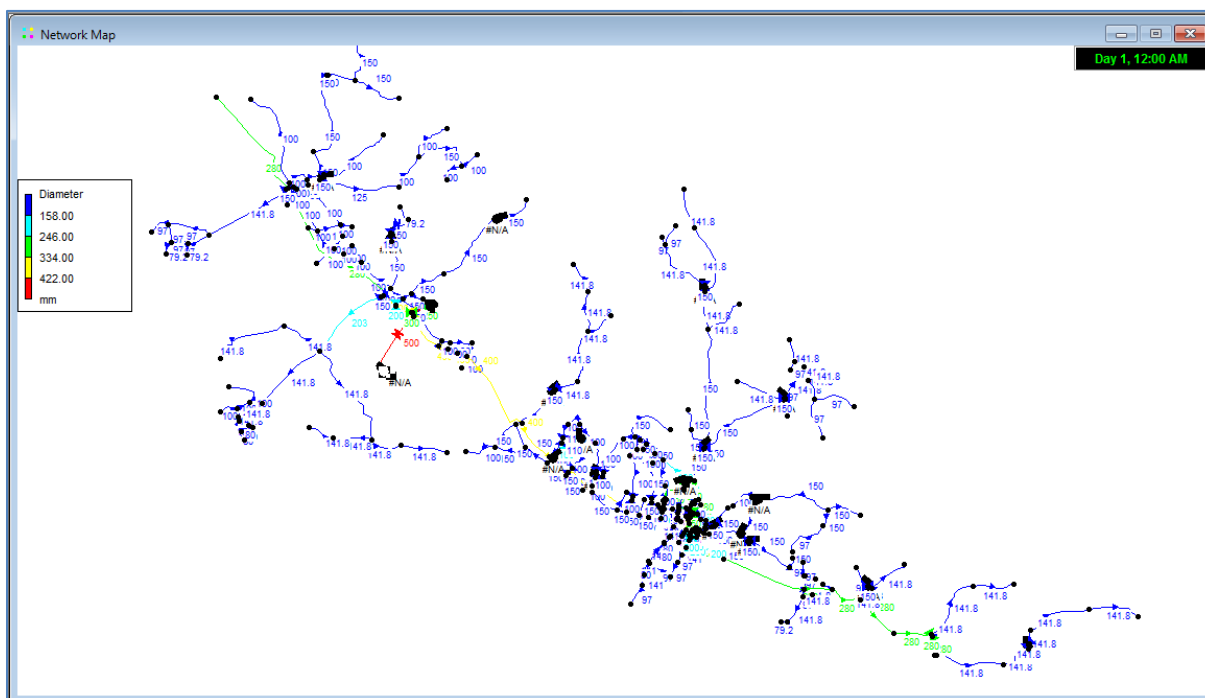
Model sadrži cjelokupnu vodoopskrbnu mrežu sustava Kutina – Popovača, sa svim ugrađenim regulacijskim ventilima, crpkama, cijevima i vodospremama. Svaka cijev ima definiranu duljinu, promjer i hrapavost, koja i jest u stvarnosti. Vodospremama je definirana kota dna i razine vode te volumen. Crpkama su definirane Q-H krivulje. U čvorove su unesene nadmorske visine i izračunata potrošnja (prema Tablica 4, Tablica 5, Tablica 6).

Matematičkim modelom postojećeg stanja obuhvaćen je veliki broj čvorova, dionica, vodosprema i crpnih stanica. Cjelokupna cjevovodna mreža je u velikoj mjeri detaljizirana, osobito područje grada Kutine i Popovače. Ukupno su modelom obuhvaćeni sljedeći elementi:

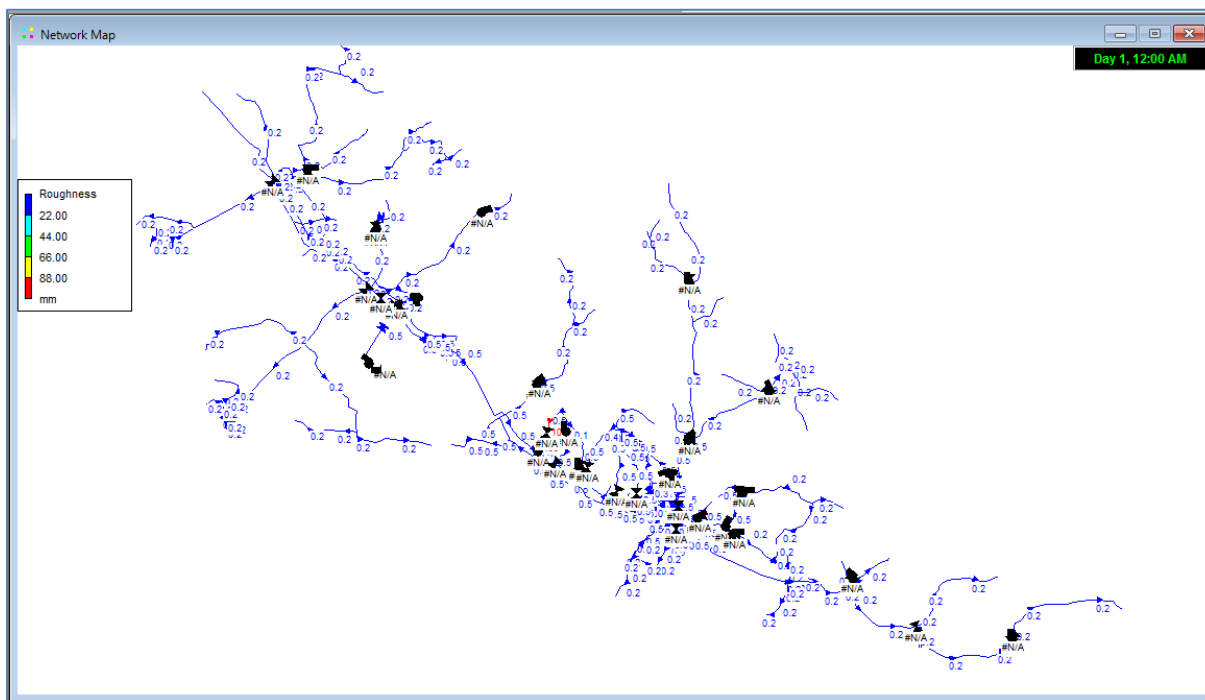
- 326 čvorova
- 312 cijevi, ukupne duljine 296 km
- 1 izvorište
- 3 vodospreme
- 18 crpnih stanica, od čega je 1 crpna stanica u sklopu izvorišta, a ostale crpne stanice su interpolirane unutar vodoopskrbnog sustava



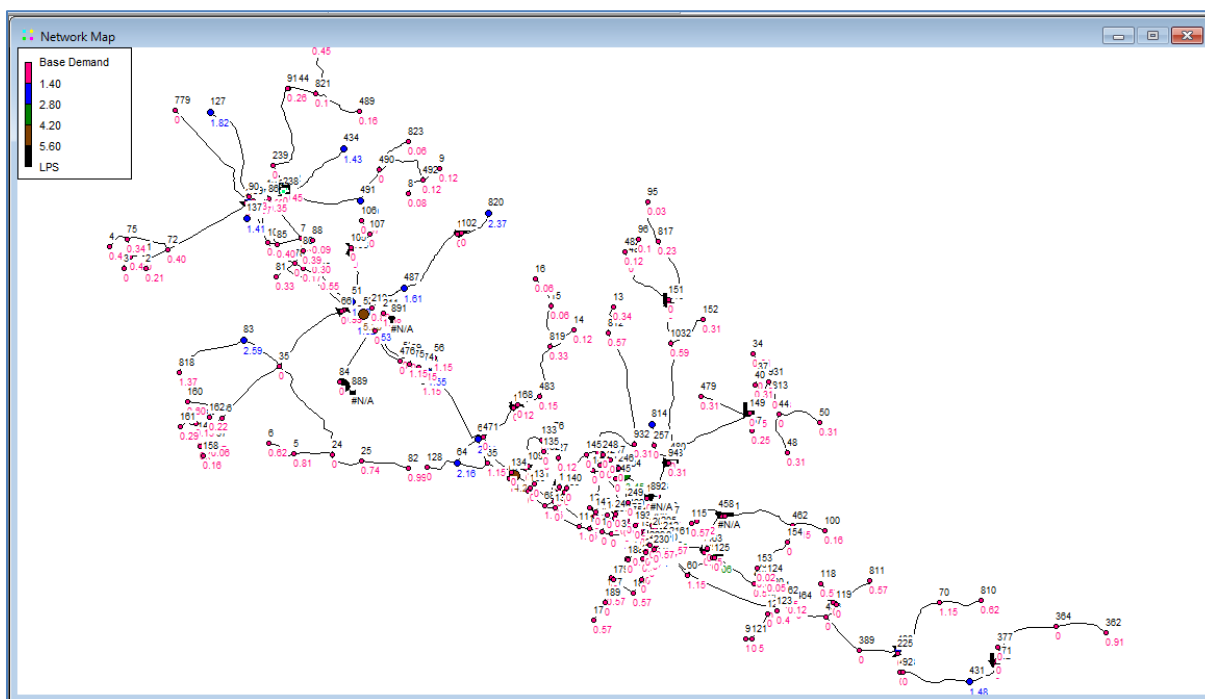
Slika 44 Nadmorske visine u čvorovima



Slika 45 Promjeri cjevovoda

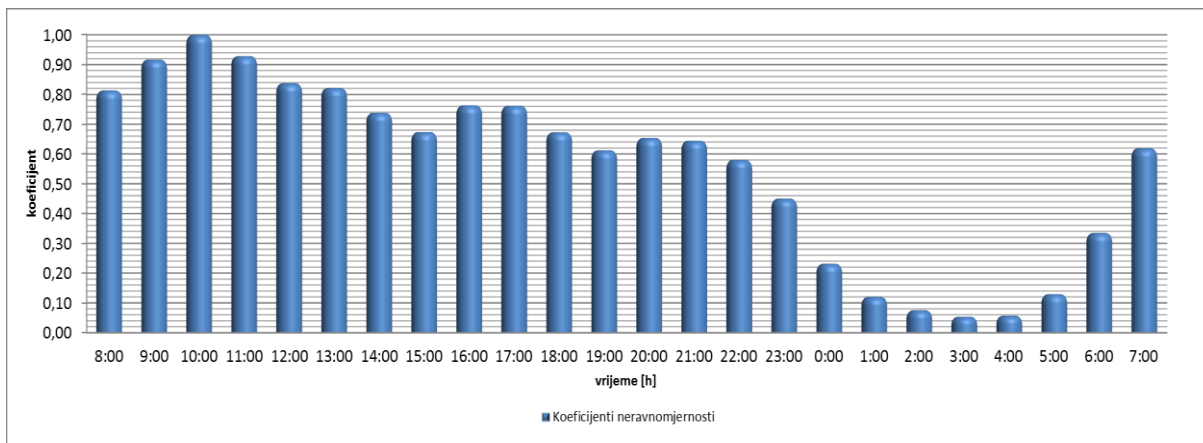


Slika 46 Hrapavost cjevovoda

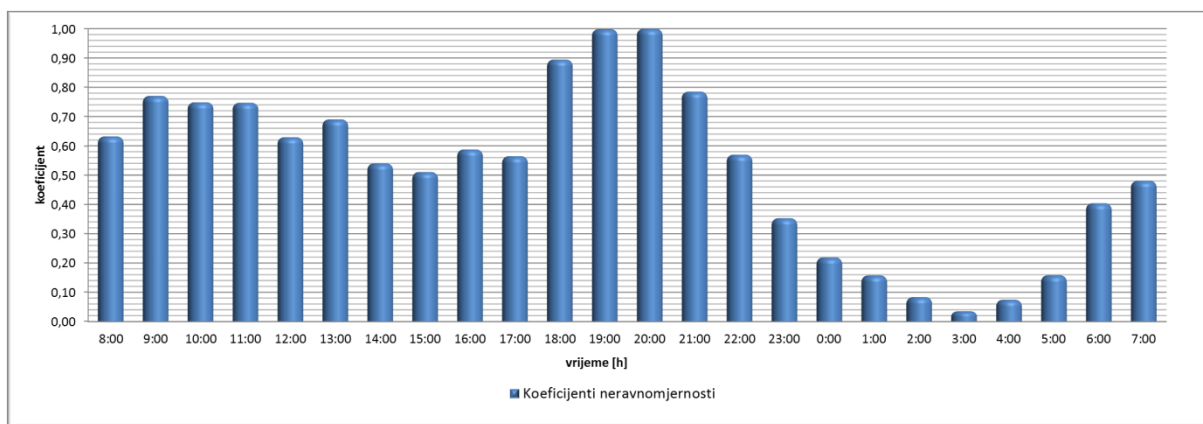


Slika 47 Potrošnja stanovništva

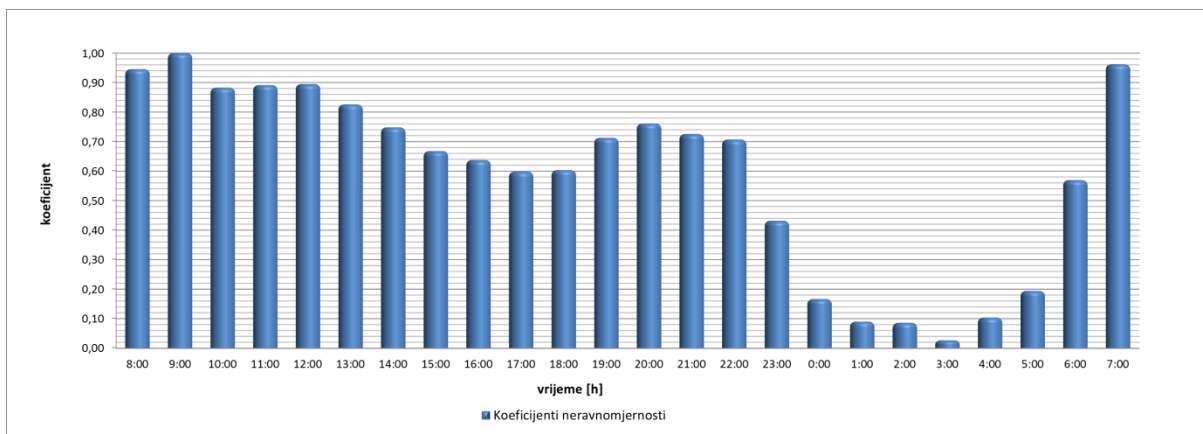
Terenskim mjerenjima je utvrđeno kako vremenska neravnomjernost potrošnje stanovništva nije jednaka za sva naselja. Pomoću opcije *Pattern* je za svaki čvor je definirana pripadajuća neravnomjernost. Za svaki sat je izračunat koeficijent kojim se množi maksimalna satna potrošnja da bismo dobili potrošnju tog sata.



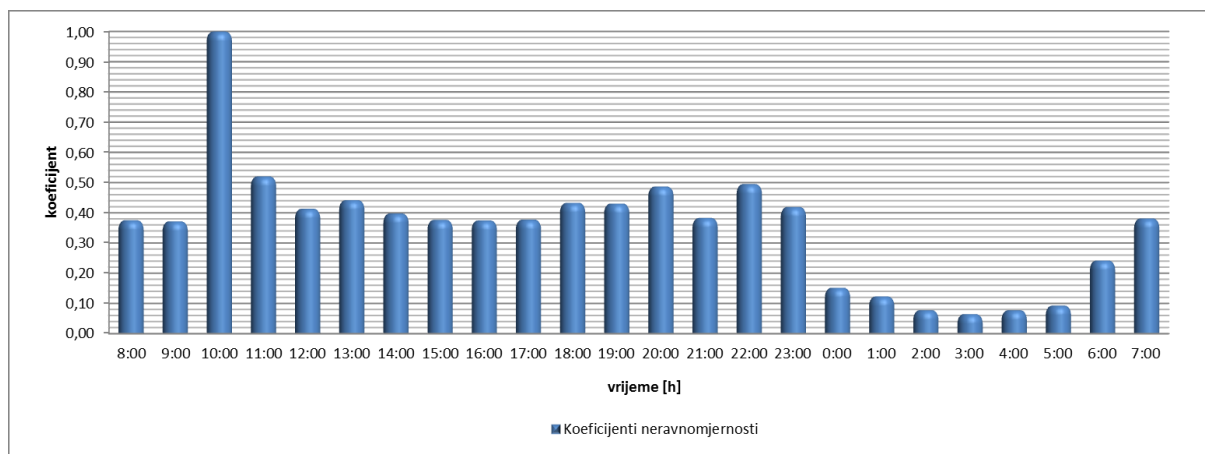
Slika 48 Dnevna neravnomjernost potrošnje Popovače



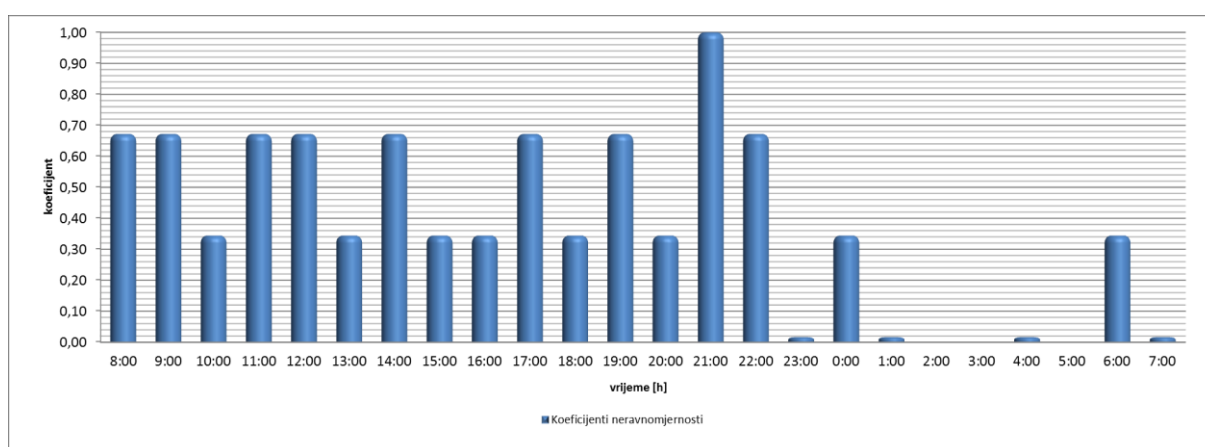
Slika 49 Dnevna neravnomjernost potrošnje Goiske



Slika 50 Dnevna neravnomjernost potrošnje Kutine

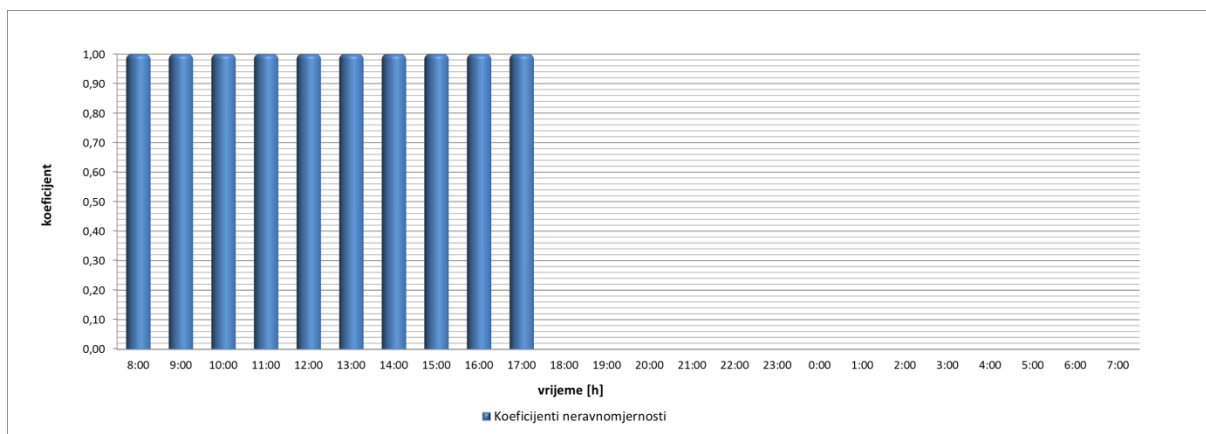


Slika 51 Koficijenti neravnomjernosti potrošnje Husaina



Slika 52 Koficijenti neravnomjernosti potrošnje Šartovca

Potrošnja vode na priključcima privrednih subjekata nije se mjerila u sklopu ovog rada. Stoga trenutno ne postoji mogućnost definiranja realne neravnomjernosti za svaki od privrednih subjekata koji djeluju na području obuhvata. Za sve privredne subjekte definirana je na temelju iskustva (na sličnim studijskim analizama i projektima) zajednička neravnomjernost koja se razlikuje u odnosu na neravnomjernost potrošnje stanovništva i prikazana je na Slika 53.



Slika 53 Neravnomjeronost potrošnje industrije

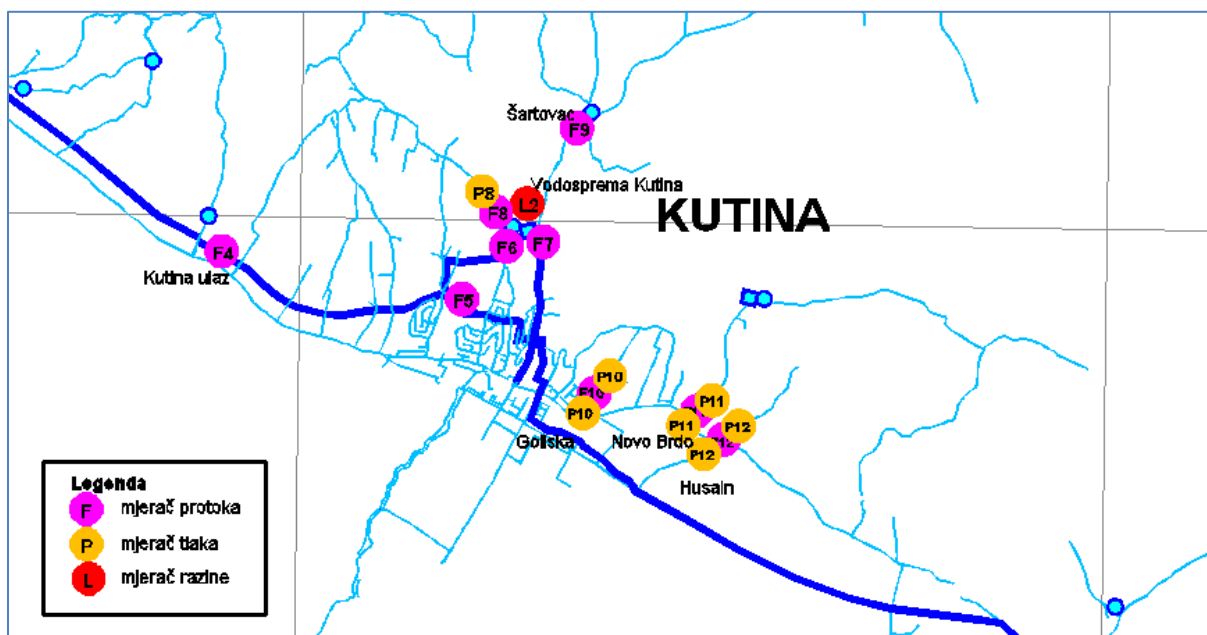
3.3.3. Terenska mjerenja

Pri provođenju analize postojećeg stanja bilo kojeg sustava vodoopskrbe nemoguće je opisati realna zbivanja i realnu sliku raspodjele protoka i tlakova bez provođenja terenskih ispitivanja u obliku mjerenja istih u karakterističnim točkama sustava [7.][8.]. U sklopu ovog rada su pribavljena mjerenja nadležnog komunalnog poduzeća „Moslavina d.o.o.“.

Mjerenja su vršena u točkama prikazanim na Slika 54 i Slika 55



Slika 54 Prikaz mjernih točaka u Popovači



Slika 55 Prikaz mjernih točaka u Kutini

Na temelju rezultata provedenih terenskih ispitivanja i analize mjerenih vrijednosti protoka i tlakova, može se zaključiti da je cjelokupni sustav javne vodoopskrbe Kutina - Popovača dobro pokriven kako bi se dobila realna slika hidrauličko-pogonskih stanja, što će se između ostalog i provesti u sklopu kalibracije matematičkog modela, gdje se rezultati terenskih ispitivanja unose u matematički model [8.].

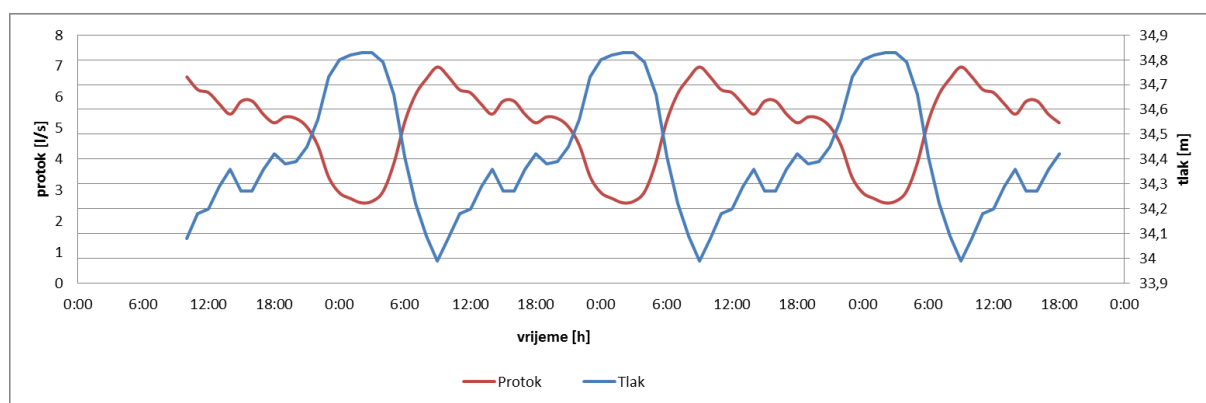
3.3.4. Kalibracija modela

Na temelju podloga postojećeg stanja sustava, u matematičkom modelu je napravljena struktura postojećeg stanja. U model je unesena i potrošnja, koja je računata prema Tablica 4, Tablica 5 i Tablica 6. To je teoretski dobivena potrošnja, pomoću koje se dimenzioniraju sustavi. Terenska mjerenja ovog sustava su vršena u zimskom periodu, od 1.1.2014. godine do 10.3.2014. godine i pokazala su kako je realno stanje potrošnje znatno manje. Brojnim iterativnim postupcima je pronađena sadašnja potrošnja stanovništva. Rezultati kalibriranog modela su prikazani u poglavlju 9. *Grafički prilozi* za svaku pojedinu mjernu točku. Crveno bojom na grafovima je prikazana proračunata vrijednost modela, a zelenim točkicama su vrijednosti mjerenja sa terena.

3.3.5. Hidrauličko-pogonski uvjeti tečenja u postojećim uvjetima

Glavno obilježje hidrauličko-pogonskih uvjeta je svakako nestacionarnost, uzrokovano neravnomjernom potrošnjom stanovništva, radom crpki i režimom punjenja i pražnjenja vodosprema. Budući da je napravljen matematički model, koji je kalibriran prema stvarnim mjerenjima, možemo vidjeti točnu vrijednost tlaka, brzine ili protoka u bilo kojem dijelu sustava i u bilo kojem satu unutar dana [5.].

Cilj ovog rada je definirati gubitke, a njih se najlakše prepoznaju u noćnom režimu, kada je potrošnja mala, a tlakovi veliki. Za sustave veličine ovog, realna noćna potrošnja stanovništva je 5%, dok su 95% gubici od ukupno izmjenjenog protoka. Mjerodavan je period od 2:00 do 4:00 ujutro.



Slika 56 Odnos tlaka i protoka tijekom dana uzet s modela, čvor 35 na ulasku u Osekovo, Potok, Stručec

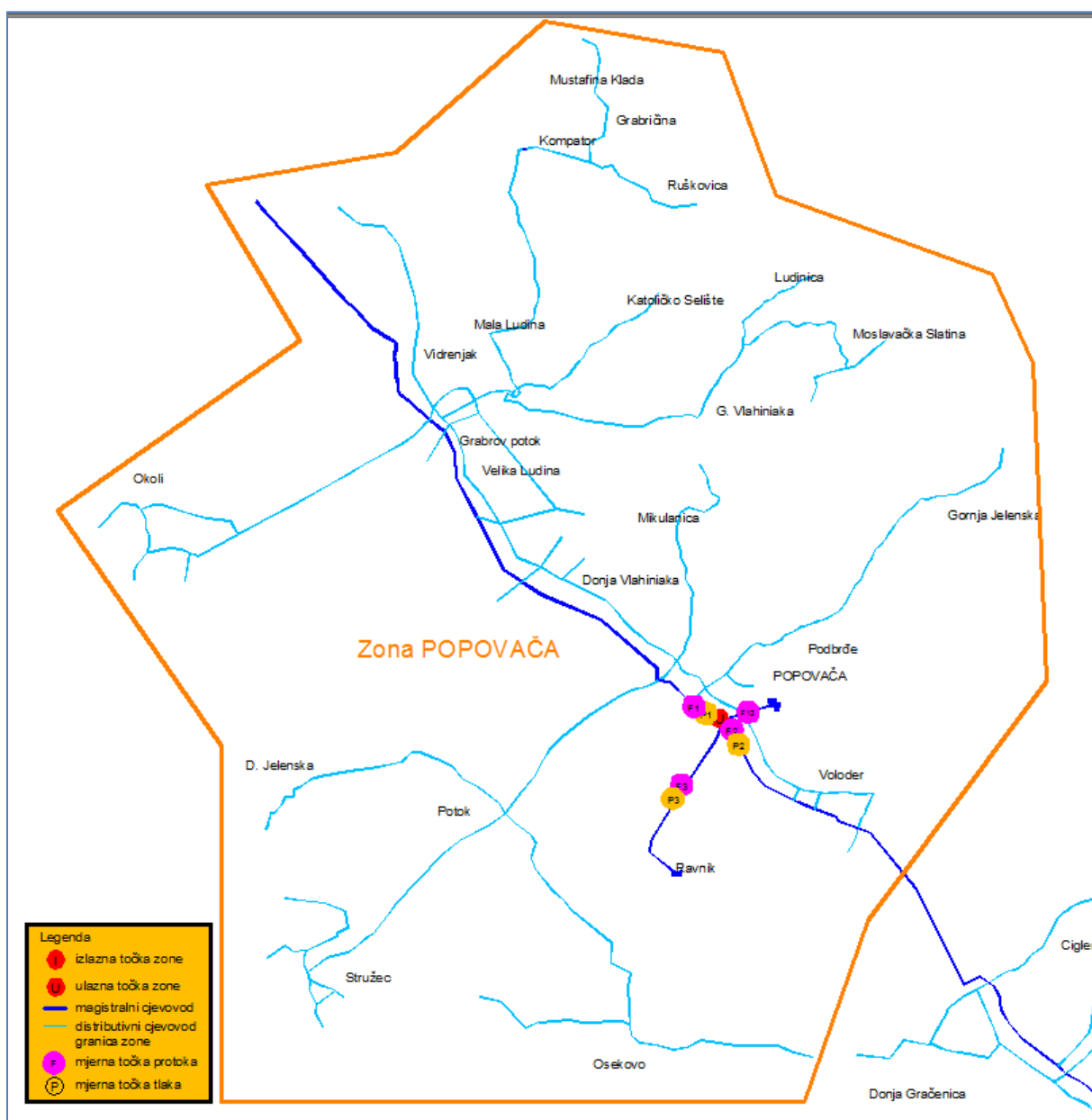
Prema ovom grafu, minimalni noćni protok prema Osekovu je 2,60 [l/s]. Od toga 95% predstavlja gubitke, tj. curenje na cjevovodima. Tijekom perioda s maksimalnom potrošnjom, tlakovi unutar sustava su najmanji i u pravilu rezultiraju pojavom nešto nižih količina koji se unutar sustava generiraju kao stvarni gubici unutar vodovodne mreže. Na ovom sustavu razlike između dnevnih i noćnih tlakova nisu značajne (do 10%) i iz toga se može zaključiti da su gubici, koji se javljaju u obliku curenja cjevovoda, ravnomjerni tokom cjelodnevnog režima.

Radi jednostavnosti prikaza, u ovom poglavlju će biti prikazani samo rezultati s maksimalnom potrošnjom tijekom dana i minimalnom potrošnjom tijekom noći te će cijeli sustav biti podijeljen na zone. Za svaku zonu je karakteristično da ima jedan ulazni cjevovod (ukoliko je moguće), preko kojeg će se motriti protok i tlak. Zona ne mora imati izlazni cjevovod, a ukoliko on postoji, potrebno je i na njemu postaviti mjerne uređaje. Cilj je imati podatak o potrošnji svake zone. Zoniranjem sustava je omogućen bolji pregled rezultata, dobiva se

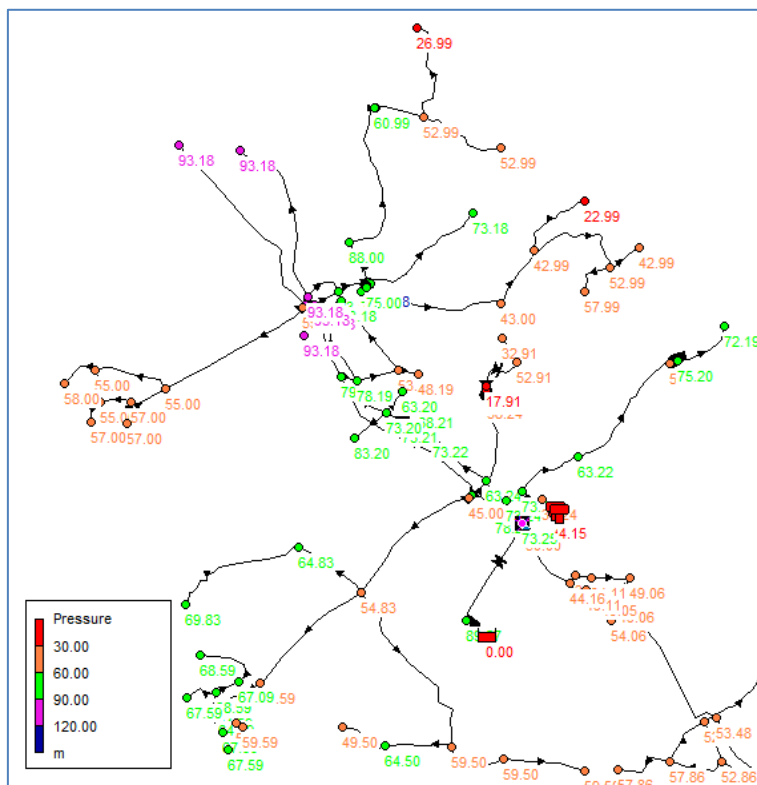
jasnija slika funkcioniranja sustava i dobra je podloga za daljnju optimalizaciju sustava, koja je i cilj ovog rada [9].

3.3.5.1. Zona Popovača

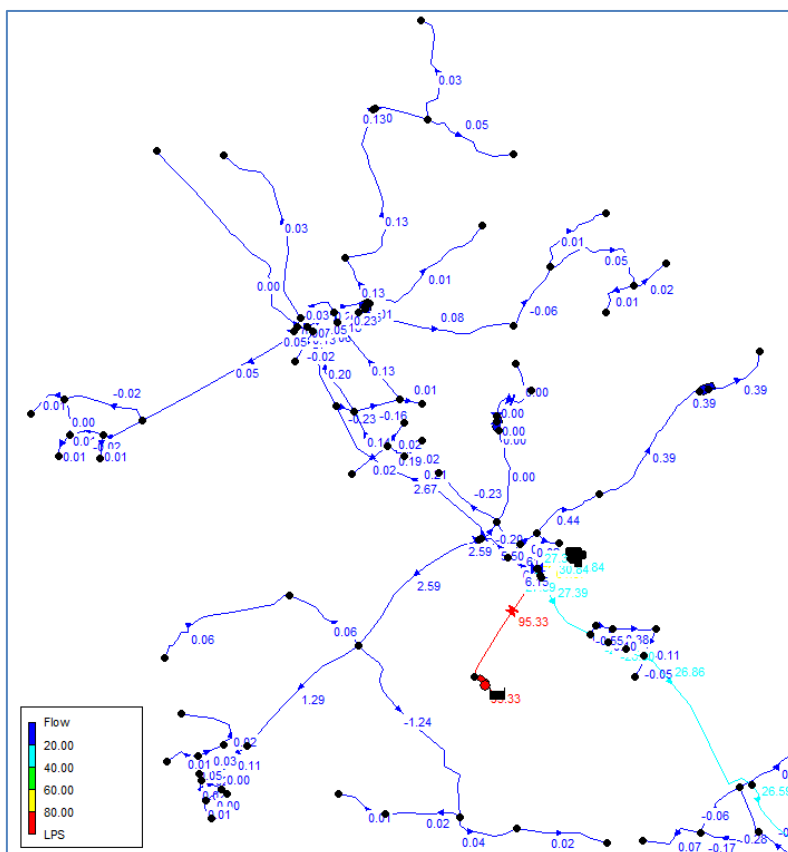
Zona Popovača se nalazi sjeverno od vodospreme Veliko Brdo. Vodu dobiva preko križne šahte pomoću cjevovoda DN 500. Tijekom dana voda dolazi iz vodospreme, a tijekom noći s izvorišta u Ravniku, preko crpke. S ovom činjenicom se može objasniti promjena tlakova prema mjernoj točki P1, na križnoj šahti u smjeru Popovače (Slika 127). Točnu potrošnju ove zone znamo iz mjerne točke protoka F1.



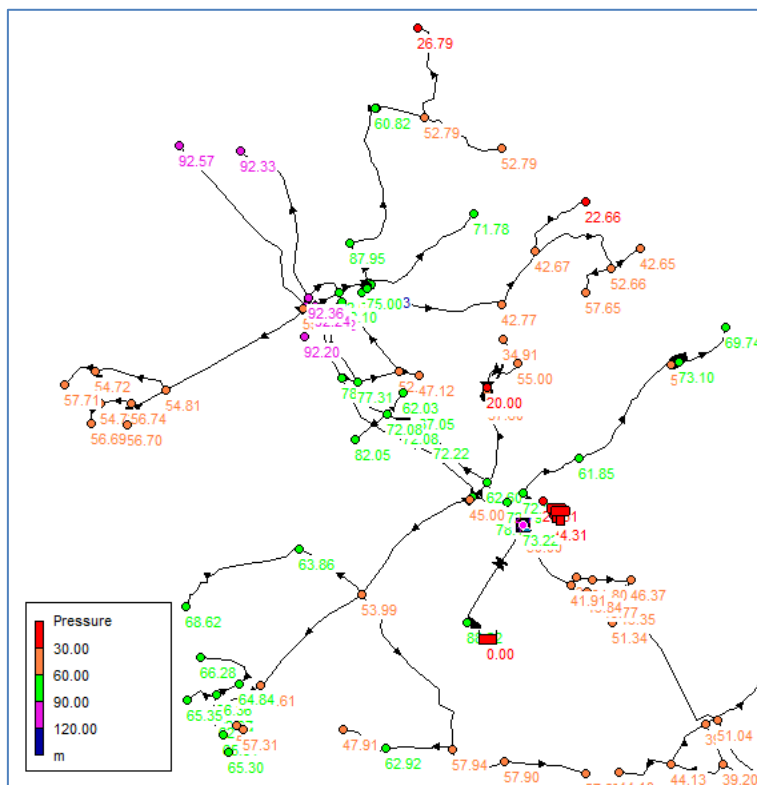
Slika 57 Zona Popovača



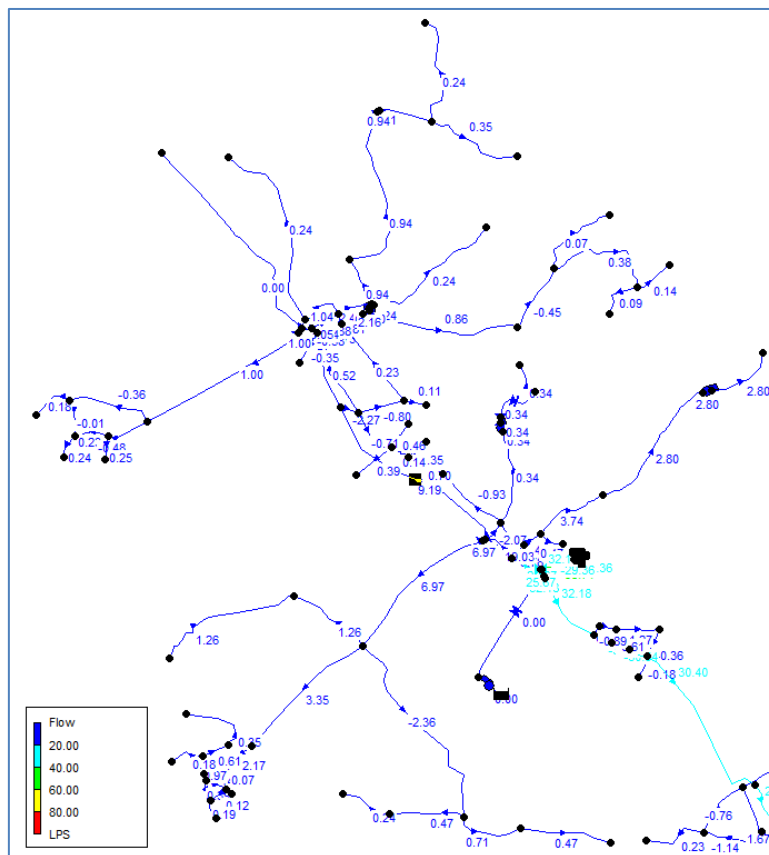
Slika 58 Raspodjela tlaka u satu minimalne potrošnje zone Popovača



Slika 59 Raspodjela protoka u satu minimalne potrošnje zone Popovača



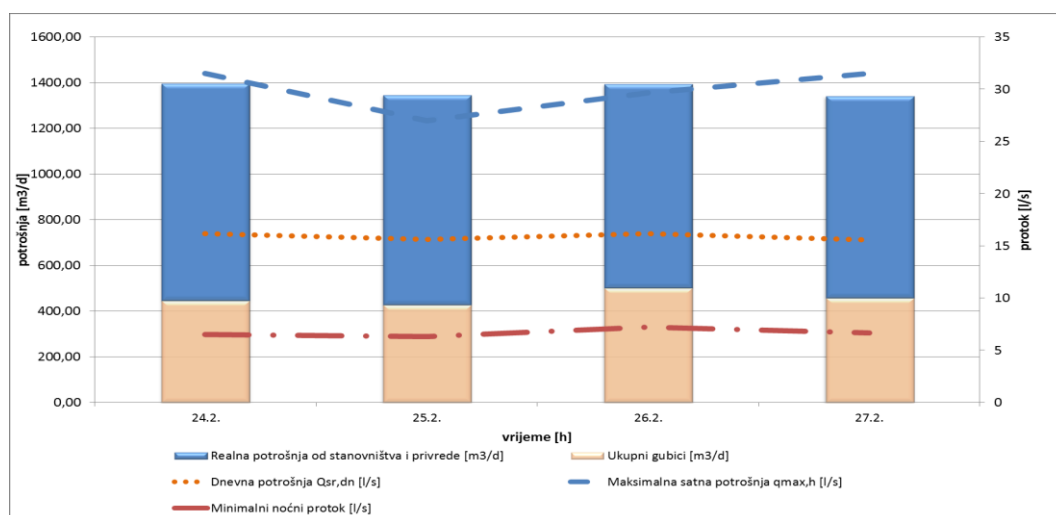
Slika 60 Raspodjela tlakova u satu najveće potrošnje zone Popovača



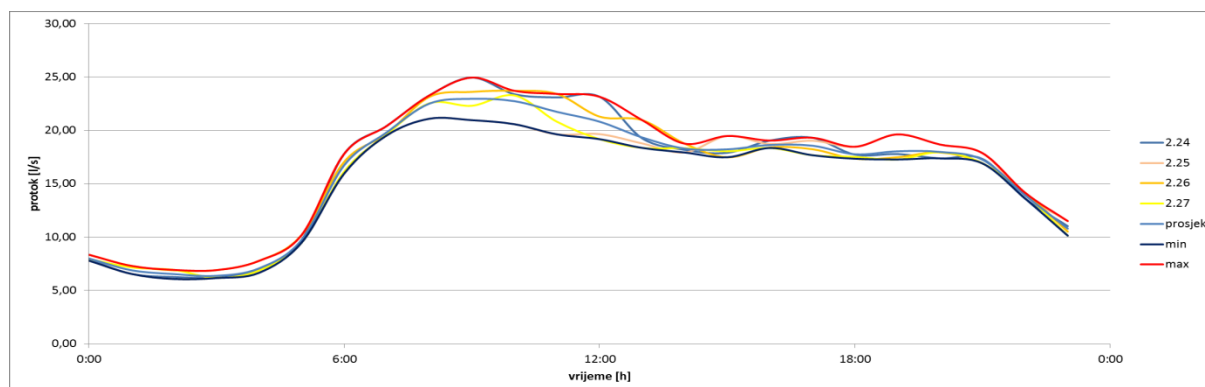
Slika 61 Raspodjela protoka u satu najveće potrošnje zone Popovača

Veličine tlakova u cijeloj zoni su neujednačene (Slika 58). U nizinskom dijelu (Osekovo i Stružec, Okoli) prevladavaju relativno visoki tlakovi s rasponom vrijednosti od 5,0 do 7,0 bara, unatoč tomu što su postavljeni zasuni za redukciju tlaka na ulazu u navedene dijelove sustava. U samom gradu Popovači, također prevladavaju visoki tlakovi u vrijednosti od 6,0 do 8,0 bara. Velike vrijednosti tlaka su zabilježene i u naseljima Vidrenjak i Velika Ludina (do čak 9,3 bara). Naselja na sjeveru ove zone, smještena na većim nadmorskim visinama, vodu i tlak dobivaju preko crpnih stanica Mala Ludina, Mikulanica i Gornja Jelenska i imaju vrijednosti tlaka od 3,00 do 5,5 bara.

Prosječna dnevna potrošnja iznosi $1370 \text{ m}^3/\text{d}$, s rasponom protoka od $6,30 \text{ l/s}$ do $31,51 \text{ l/s}$. Minimalni noćni protok (za razdoblje od 4 dana, 24.2 – 28.2, u periodu od 2:00, do 4:00) iznosi u prosjeku $6,66 \text{ l/s}$. S obzirom na veličinu gustoće naseljenosti grada Popovače i okolnih ruralnih naselja, može se pretpostaviti da svega 5% od minimalne noćne potrošnje pripada stanovništvu i privredi. Dakle 95% se može pripisati stvarnim gubitcima, odnosno $6,33 \text{ l/s}$, u prosjeku.



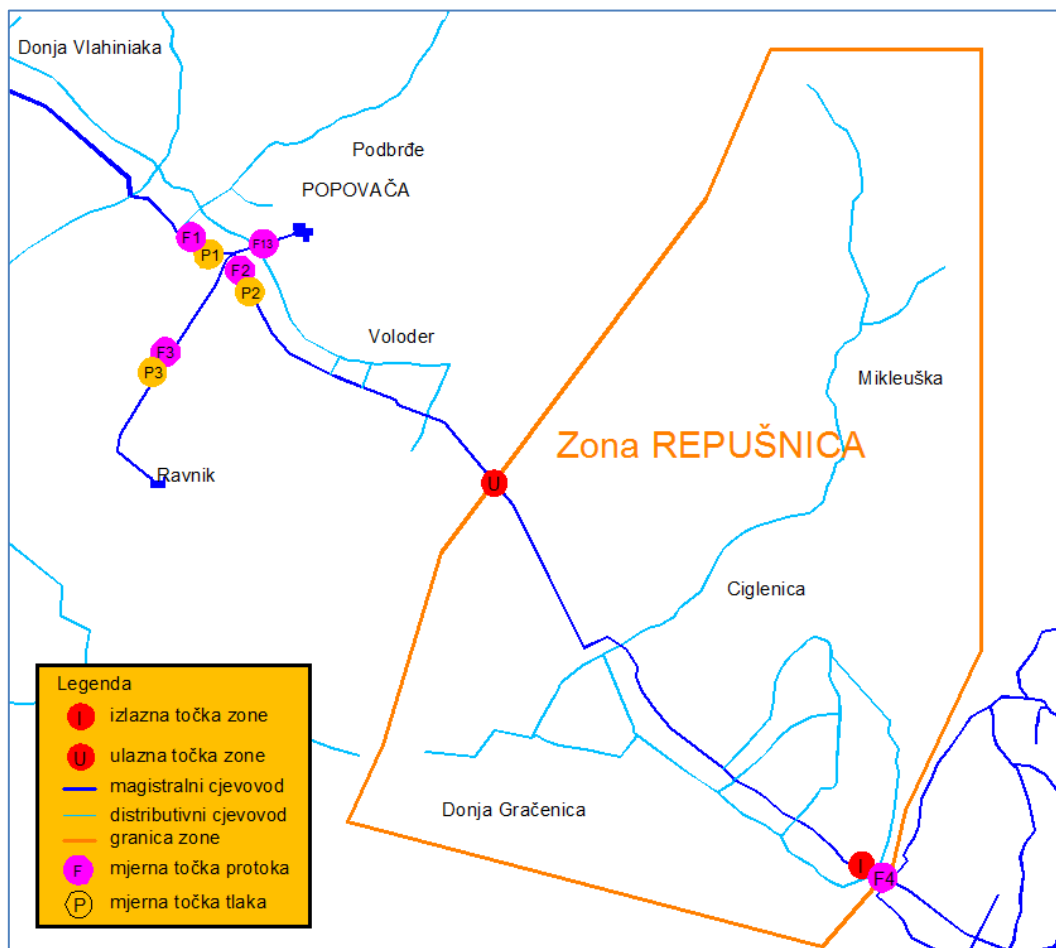
Slika 62 Analiza gubitaka zone Popovača



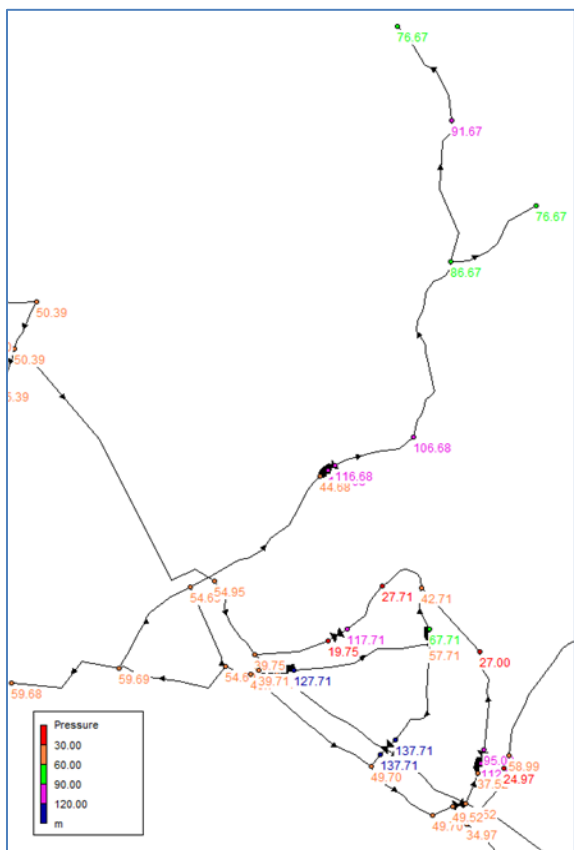
Slika 63 Satna neravnomjernost dnevne potrošnje u zoni Popovača

3.3.5.2. Zona Repušnica

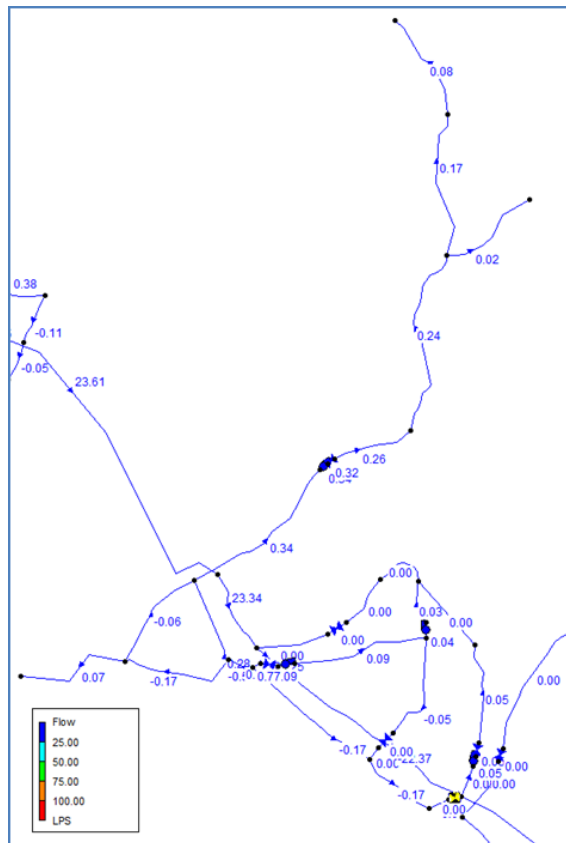
Zona Repušnica se nalazi na zapadnoj strani Kutine. Vodom se opskrbljuje iz vodospreme Veliko Brdo preko križne šahte u smjeru Kutine. Budući da se nalazi između dvije mjerne točke F2 (križna šahta smjer Kutina) i F4 (Kutina ulaz), može se izračunati točna potrošnja ove zone.



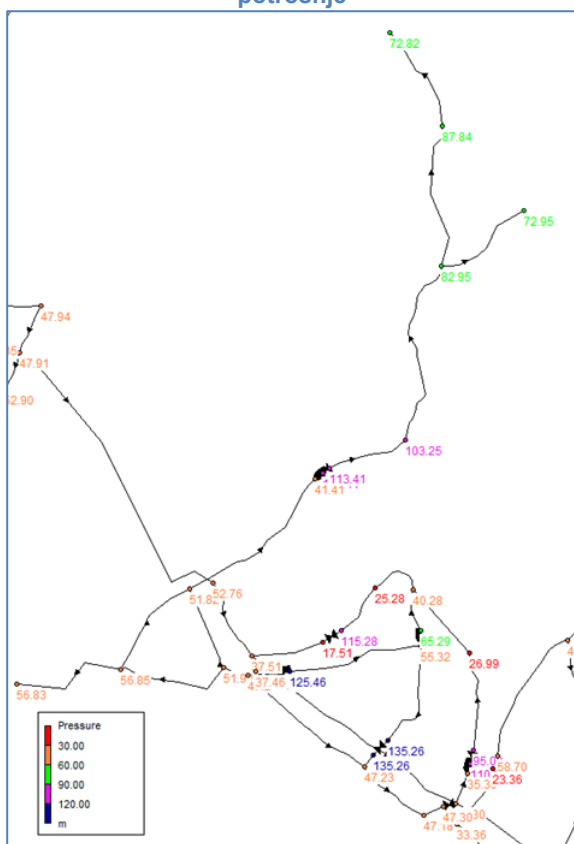
Slika 64 Zona Repušnica



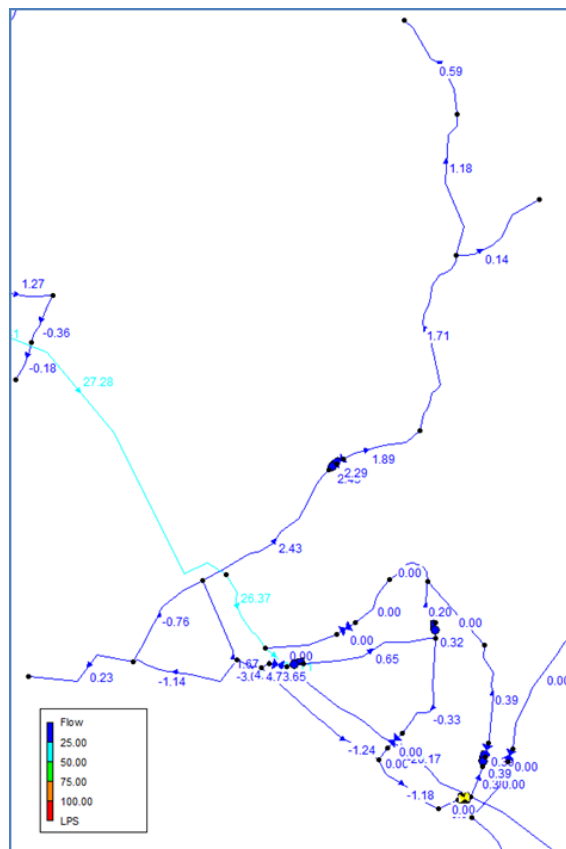
Slika 65 Raspodjela tlakova u satu najmanje potrošnje



Slika 66 Raspodjela protoka u satu najmanje potrošnje



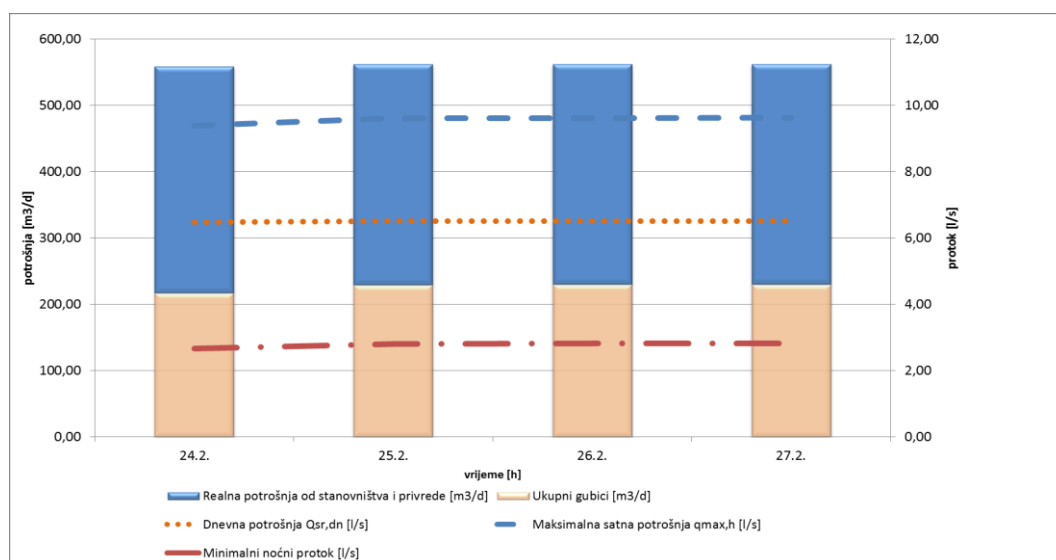
Slika 67 Raspodjela tlakova u satu najveće potrošnje



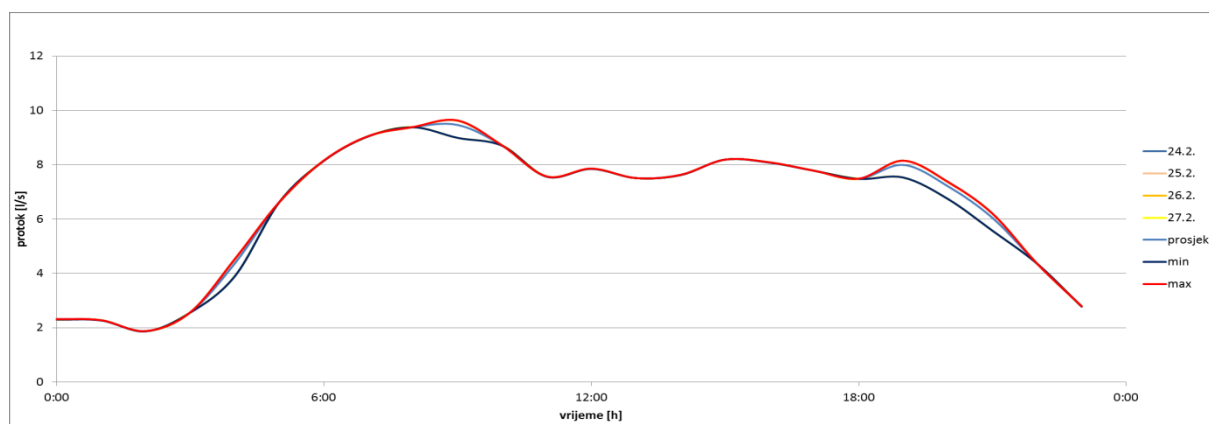
Slika 68 Raspodjela protoka u satu najveće potrošnje

U nizinskom području ove zone (područje južno od magistralnog cjevovoda križna šahta – vodosprema Kutina) prevladavaju ujednačeni tlakovi u vrijednostima od 3,0 do 4,5 bara, koji odgovaraju i tlaku u magistralnom cjevovodu. Važno je napomeniti da u smjeru Kutine, na magistralnom cjevovodu, postoji zasun za redukciju tlaka. On spušta tlak od 7,0 bara, koji daje nadmorska visina vodospreme Veliko Brdo, na 4,0 bara, u prosjeku. U brdskom području (sjeverno od magistralnog cjevovoda) tlakovi su dobiveni prema režimu rada crpnih stanica Mramorska, Vinogradska, Repušnica i Ciglenica.

Prosječna dnevna potrošnja iznosi $560 \text{ m}^3/\text{d}$, s rasponom protoka od 2,65 l/s do 9,63 l/s. Minimalni noćni protok (za razdoblje od 4 dana, 24.2 – 28.2, u periodu od 2:00, do 4:00) iznosi u prosjeku 2,77 l/s. Noćna potrošnja stanovništva i privrede se može pretpostaviti kao i u prethodnoj zoni s obzirom na gustoću naseljenosti u vrijednosti 5% od minimalne noćne potrošnje. Dakle 95% su stvarni gubici, odnosno 2,63 l/s, u prosjeku.



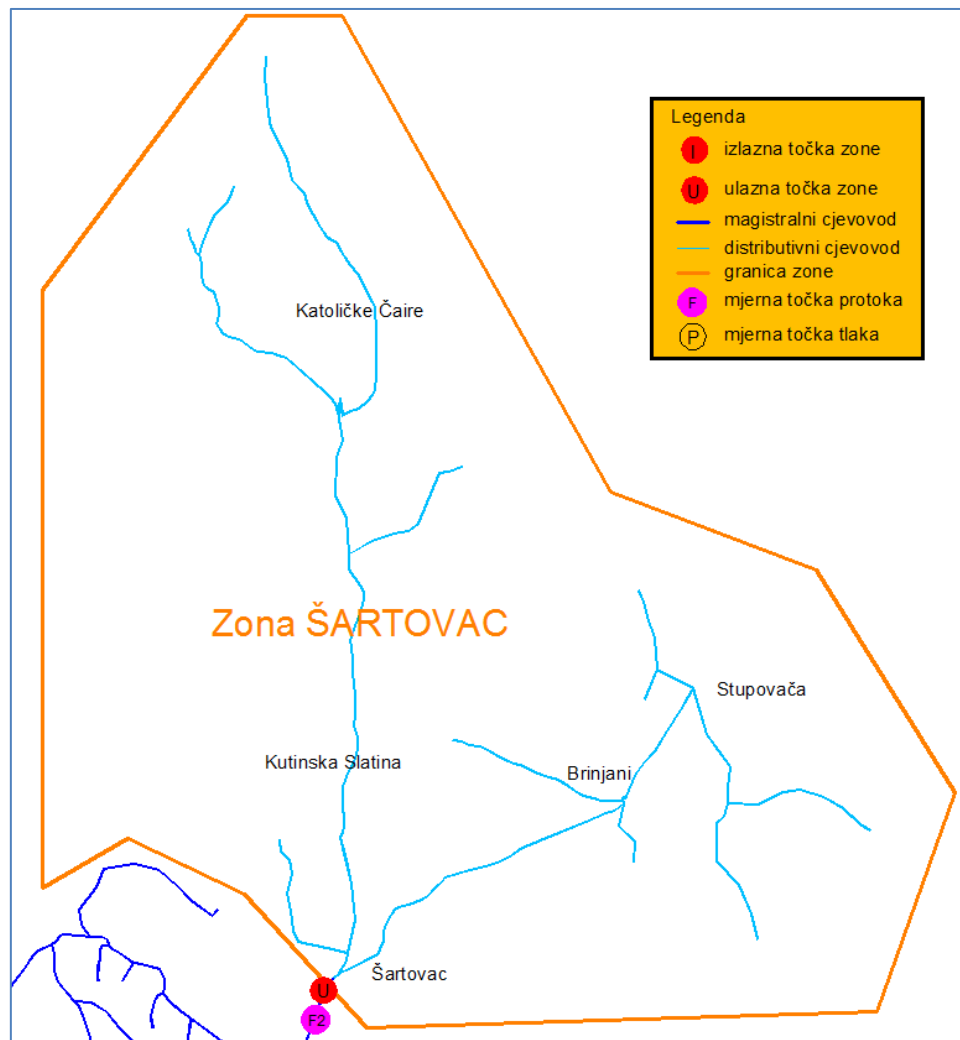
Slika 69 Analiza potrošnje zone Repušnica



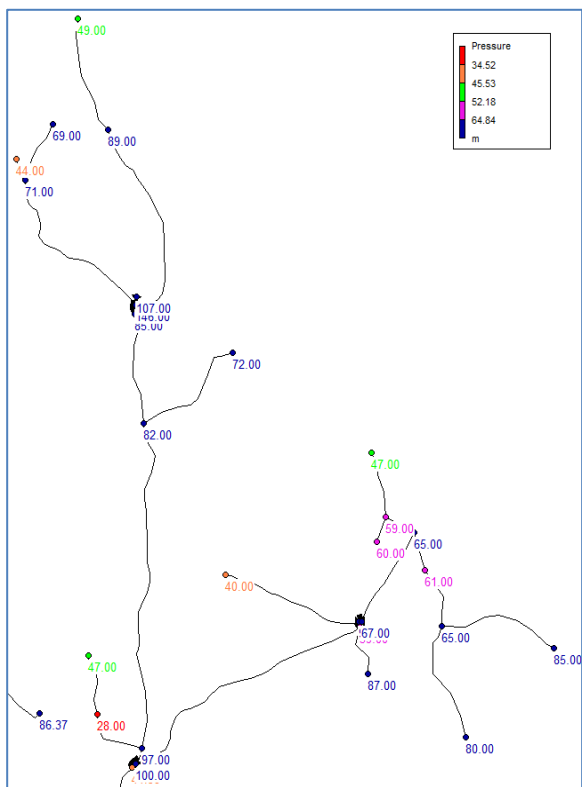
Slika 70 Satna neravnomjernost dnevne potrošnje u zoni Repušnica

3.3.5.3. Zona Šartovac

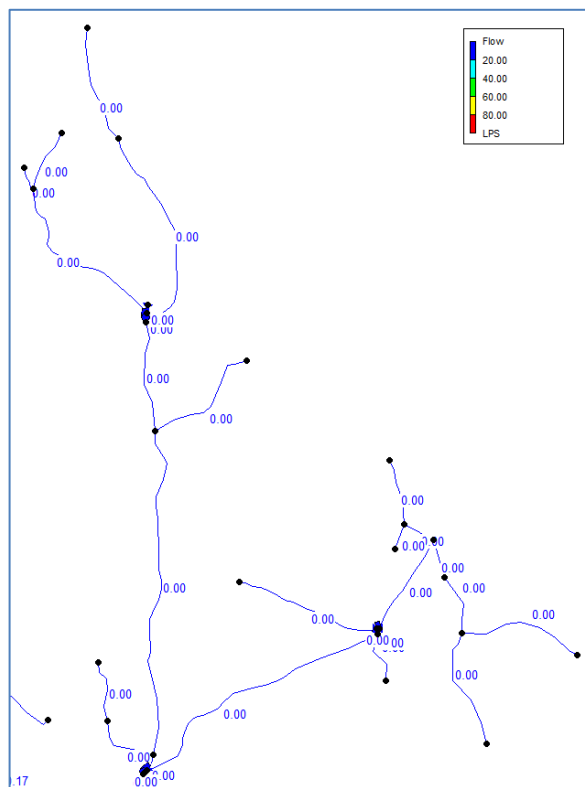
Zona Šartovac se nalazi na sjevernoj strani Kutine. Vodu dobiva iz vodospreme Kutina, preko ulice Hrvatski branitelj, gdje je i postavljena mjerna točka F9. Prema Slika 134 se može vidjeti rezultat kalibracije i podatak o količini potrošnje.



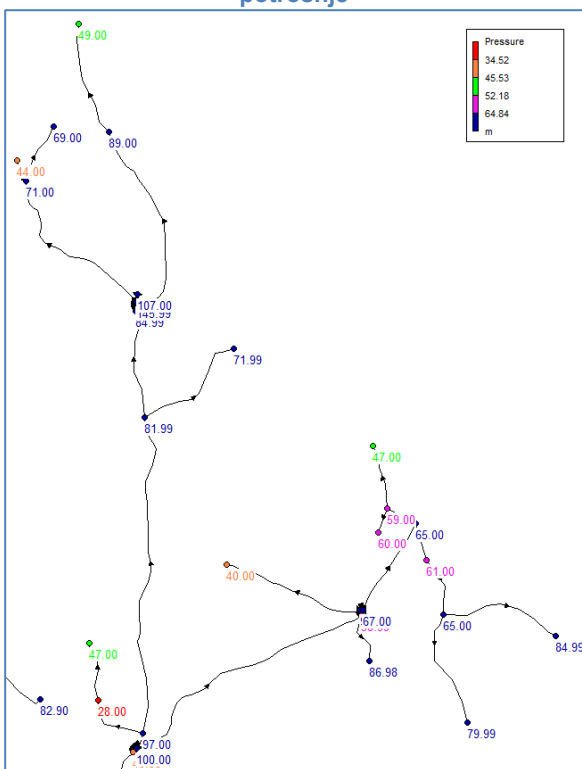
Slika 71 Zona Šartovac



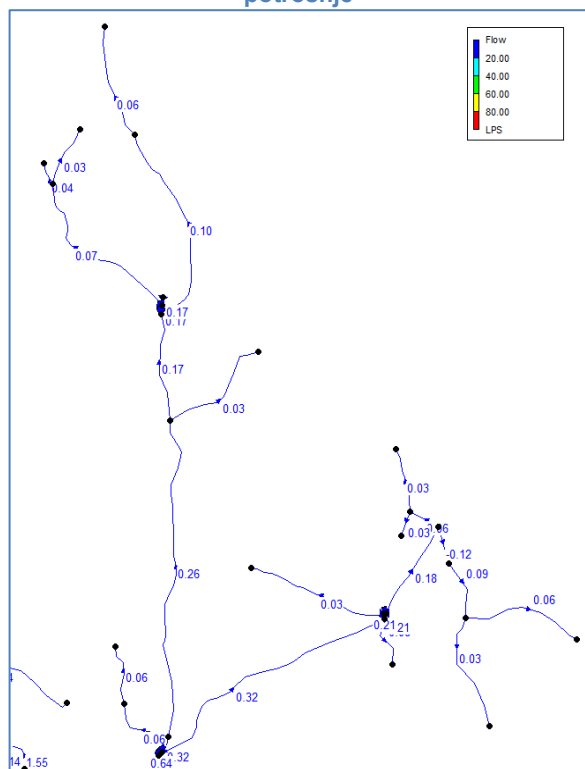
Slika 72 Raspodjela tlakova u satu najmanje potrošnje



Slika 73 Raspodjela protoka u satu najmanje potrošnje



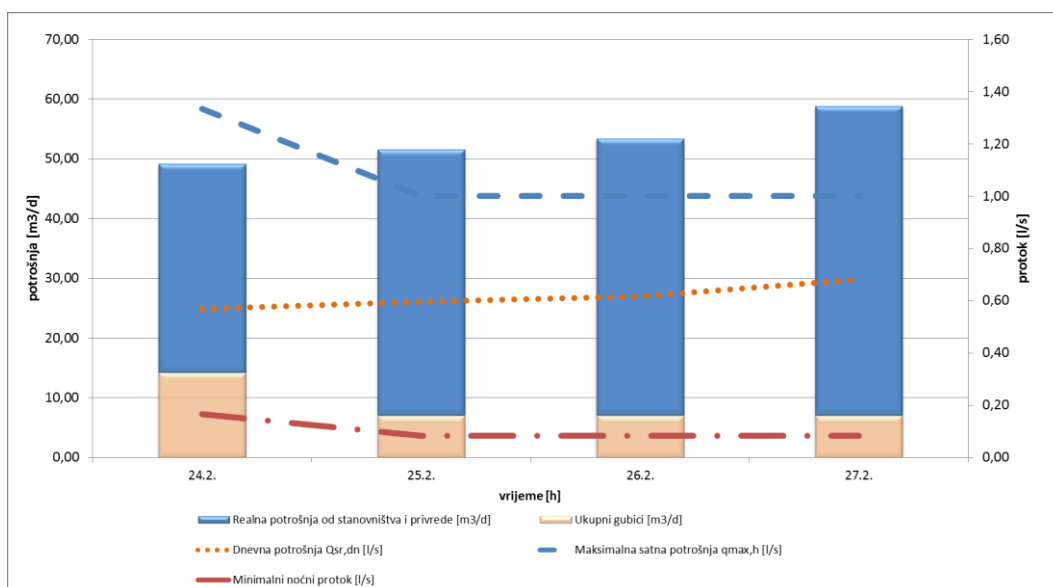
Slika 74 Raspodjela tlakova u satu najveće potrošnje



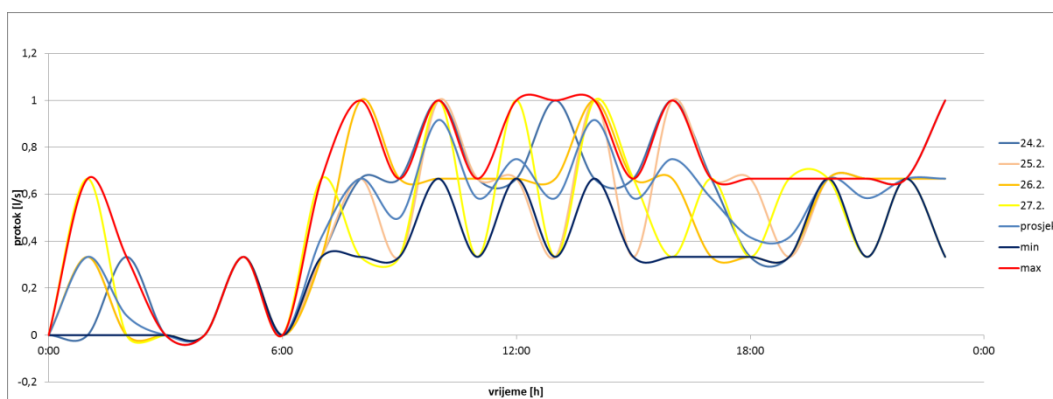
Slika 75 Raspodjela protoka u satu najveće potrošnje

Ova zona je pretežito brdska i da bi se omogućio potreban tlak na svim mjestima, postavljene su crpne stanice Šartovac, Brinjani i Čaire. Ovakva konfiguracija terena daje i neujednačenu sliku tlakova. Oni su u ovoj zoni visoki (Slika 72) i rasponu od 4,0 do 8,5 bara.

Prosječna dnevna potrošnja iznosi $53 \text{ m}^3/\text{d}$, s rasponom protoka od $0,08 \text{ l/s}$ do $1,33 \text{ l/s}$. Minimalni noćni protok (za razdoblje od 4 dana, 24.2 – 28.2, u periodu od 2:00, do 4:00) iznosi u prosjeku $0,10 \text{ l/s}$. Noćna potrošnja stanovništva i privrede se može pretpostaviti 1% od minimalne noćne potrošnje, budući da se radi ruralnim mjestima s malom gustoćom naseljenosti. Dakle 99% su stvarni gubitci, odnosno $0,09 \text{ l/s}$, u prosjeku. Gubitci u ovoj zoni su zanemarivi, a razlog tomu su novi PEHD cjevovodi.



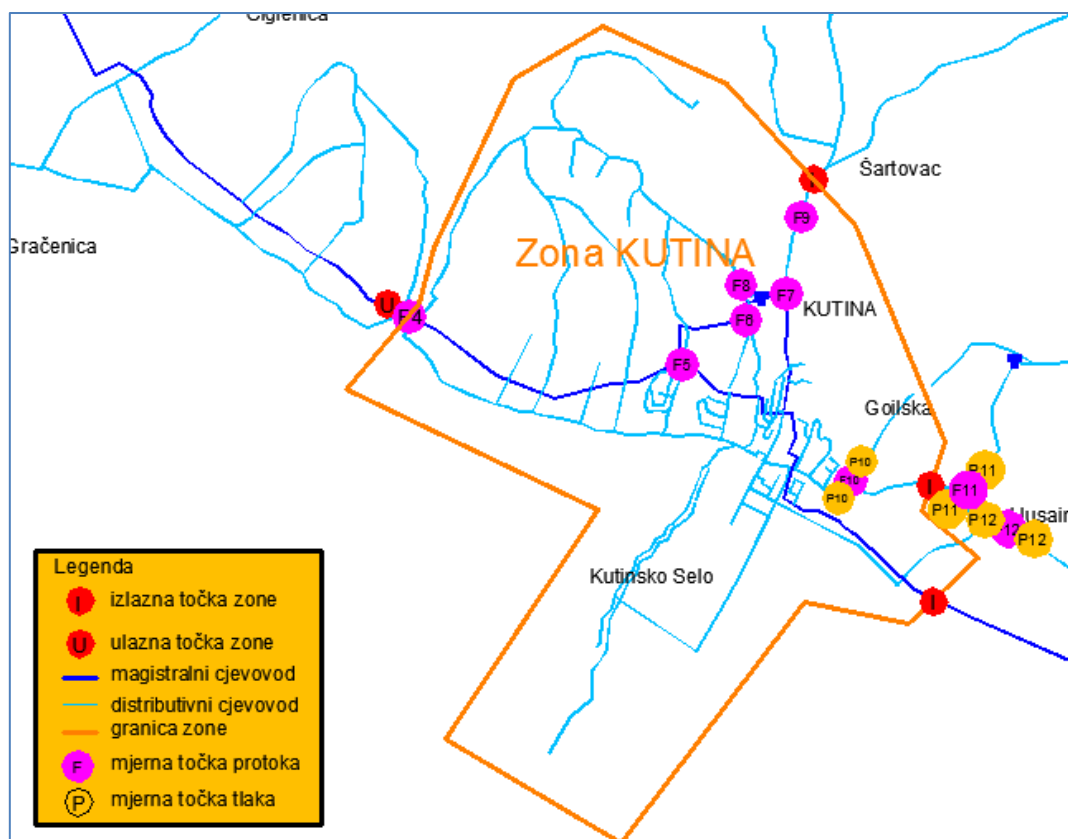
Slika 76 Analiza potrošnje zone Šartovac



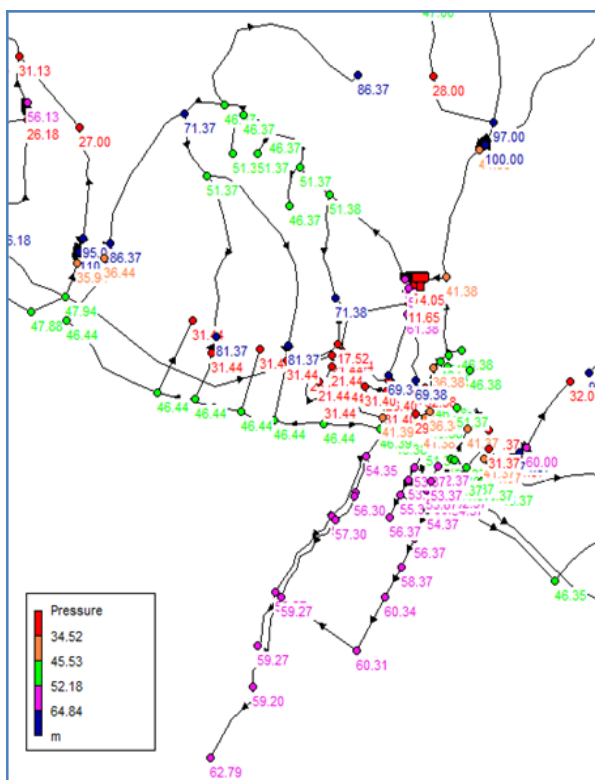
Slika 77 Satna neravnomjernost dnevne potrošnje u zoni Šartovac

3.3.5.4. Zona Kutina

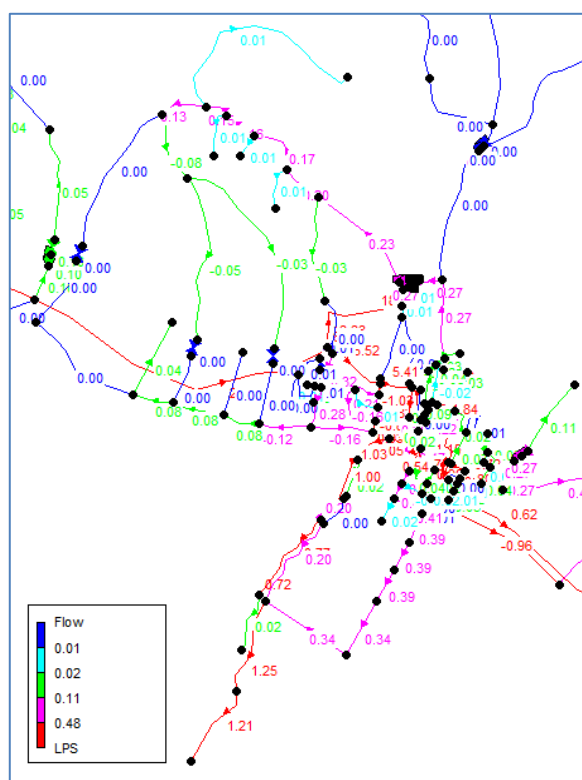
Zona Kutina je najveći potrošač vode ovog sustava i iz tog razloga i zona s najvećim gubicima. Vodoopskrbni sustav ove zone je dosta složen, uglavnom prstenasta mreža, s ulaskom vode U1 na mjernoj točki F4 i izlaznim točkama I1, I2, I3. Voda dolazi u zonu iz vodospreme Veliko Brdo i jednim dijelom opskrbljuje grad Kutinu (mjerna točka F5), a drugim puni vodospremu Kutina (mjerna točka F6). U dnevnom režimu ju puni manjim protokom, a u noćnom režimu većim (vidjeti Slika 22). Voda iz vodospreme Kutina izlazi stalno na dvije strane, prema Visokoj zoni (mjerna točka F8) i prema gradu Kutini, zoni Šartovac, zoni Husain, zoni Banova Jaruga (mjerna točka F7) nestacionarnim protokom.



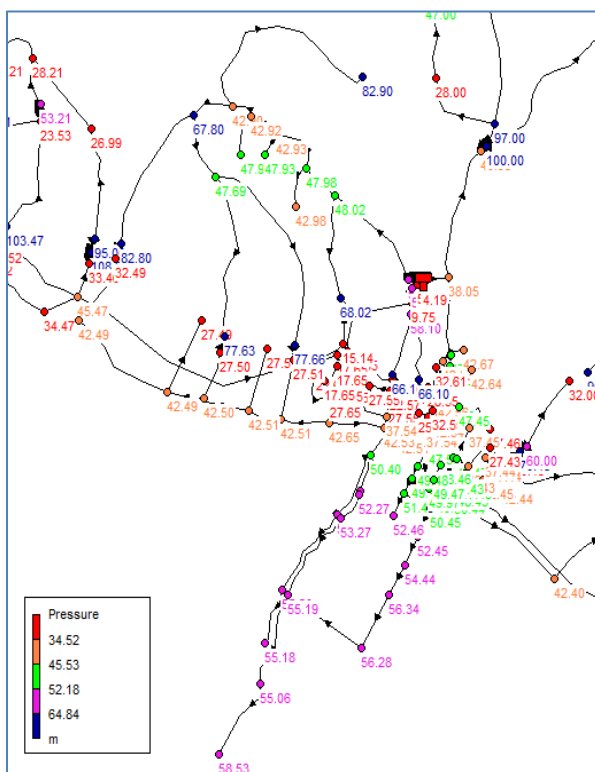
Slika 78 Zona Kutina



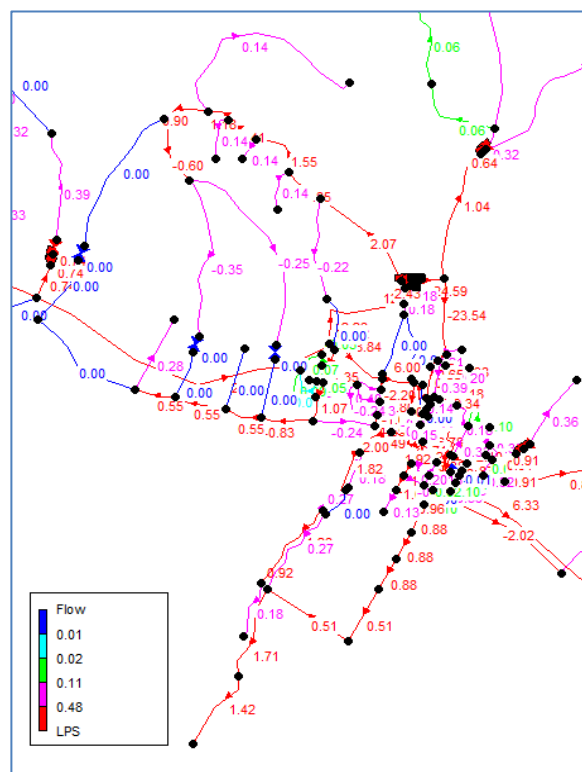
Slika 79 Raspodjela tlakova u satu najmanje potrošnje



Slika 80 Raspodjela protoka u satu najmanje potrošnje



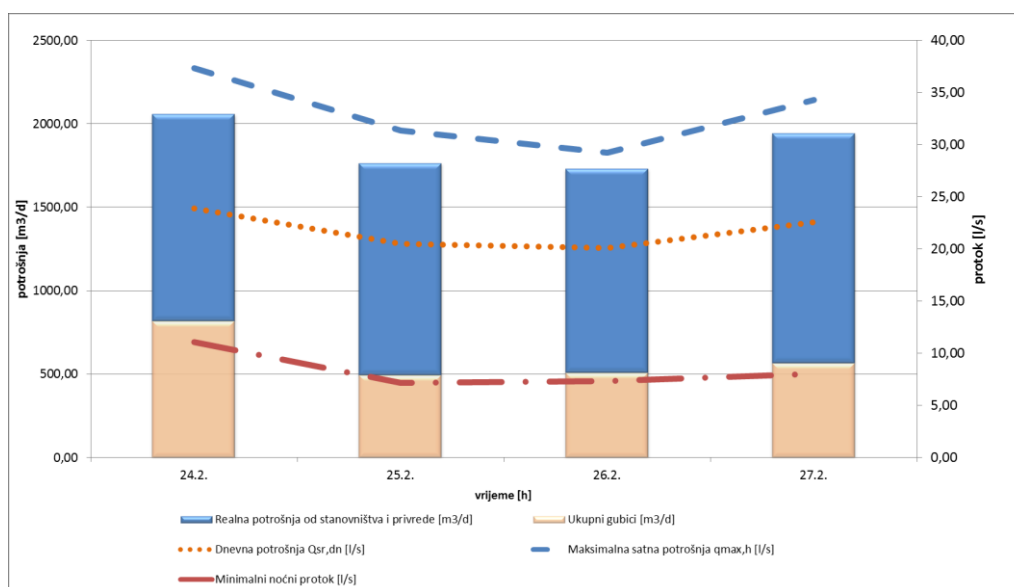
Slika 81 Raspodjela tlakova u satu najveće potrošnje



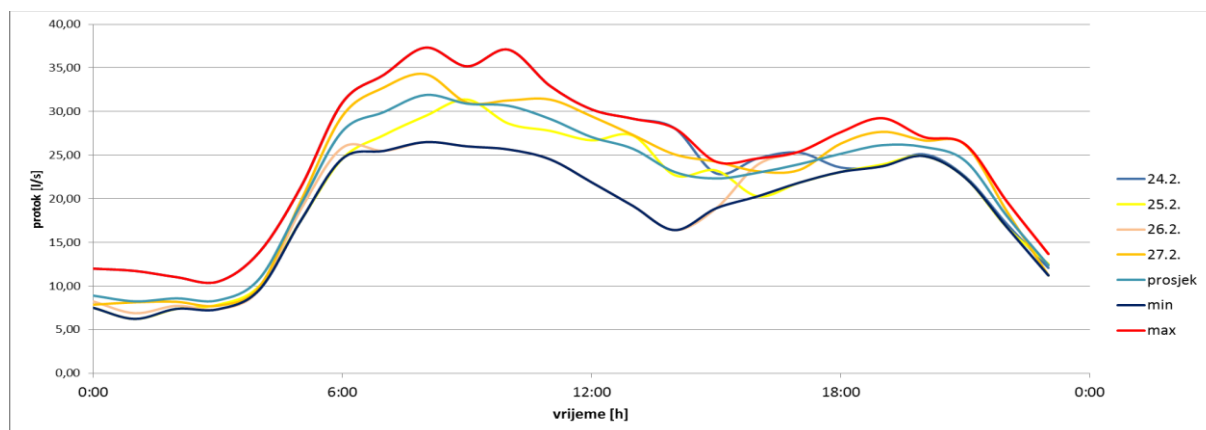
Slika 82 Raspodjela protoka u satu najveće potrošnje

Raspodjela tlakova je neujednačena zbog izrazite raznolikosti u nadmorskim visinama, na malom području. Cijela zona (osim tzv. Visoke zone na sjeveru, gdje je nadmorska visina i do 165 m n.m.) tlak dobiva od vodospreme Kutina, čija je kota dna na 154 m n.m. Središnji dio zone, nadmorske visine u prosjeku 130 m n.m. ima relativno niske tlakove. Južni dio zone, nadmorske visine u prosjeku 115 m n.m. ima tlakove i do 6,0 bara. Visoka zona tlak dobiva od pripadajuće crpne stanice i tlakovi su u prosjeku 4,5 bara (u višim predjelima) pa do 8,0 bara u nižim predjelima.

Prosječna dnevna potrošnja iznosi 1877 m³/d, s rasponom protoka od 7,14 l/s do 37,33 l/s. Minimalni noćni protok (za razdoblje od 4 dana, 24.2 – 28.2, u periodu od 2:00, do 4:00) iznosi u prosjeku 8,38 l/s. Noćna potrošnja stanovništva i privrede se može pretpostaviti 5% od minimalne noćne potrošnje, budući da se radi o gradu s većom gustoćom naseljenosti. Dakle 95% su stvarni gubitci, odnosno 7,96 l/s, u prosjeku.



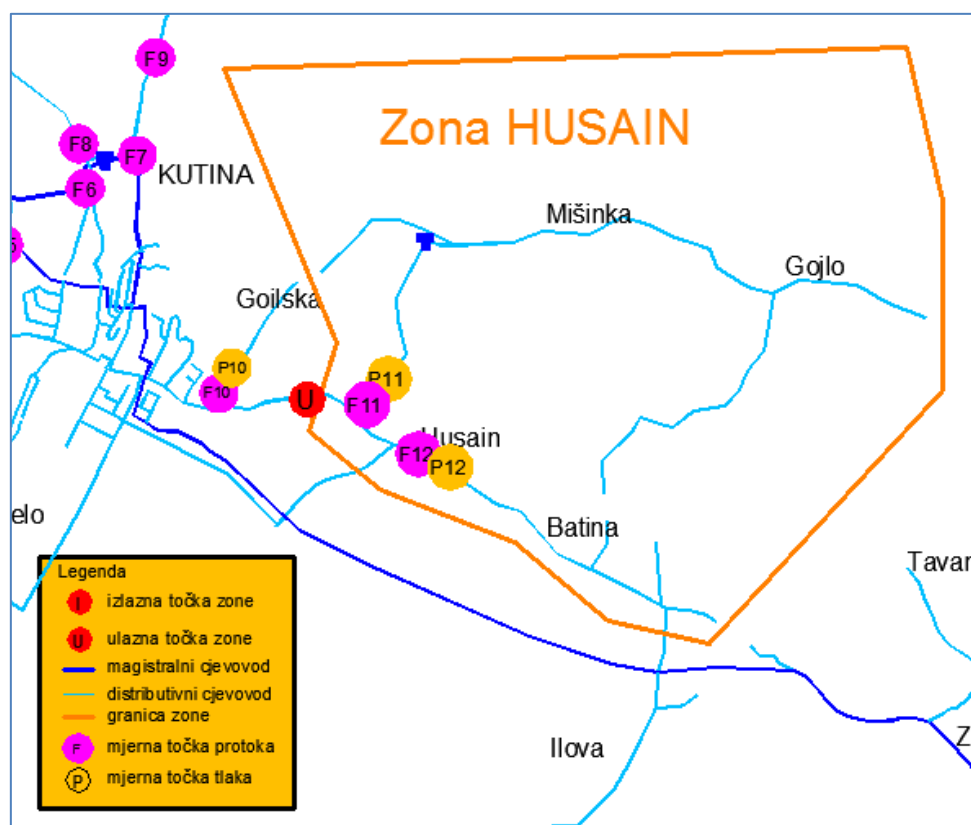
Slika 83 Analiza potrošnje zone Kutina



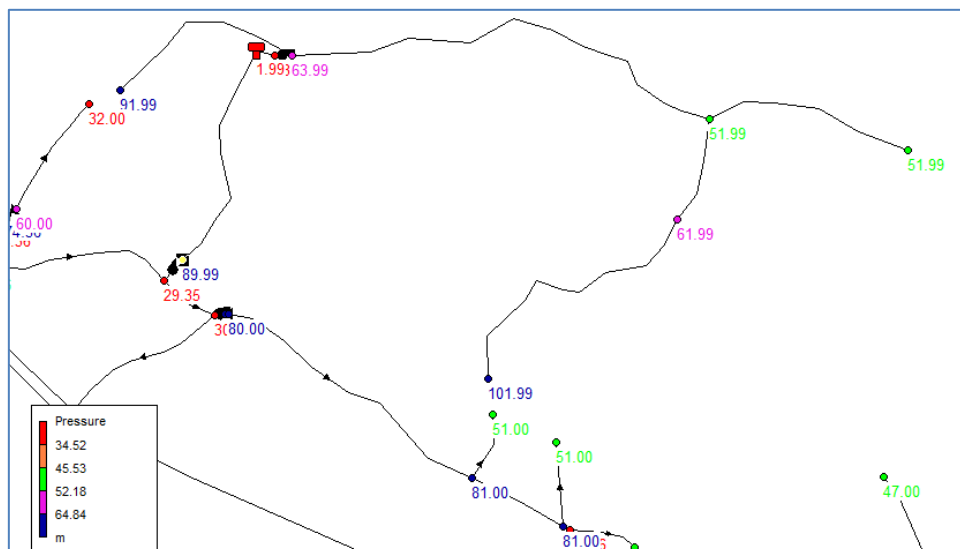
Slika 84 Satna neravnomjernost potrošnje vode u zoni Kutina

3.3.5.5. Zona Husain

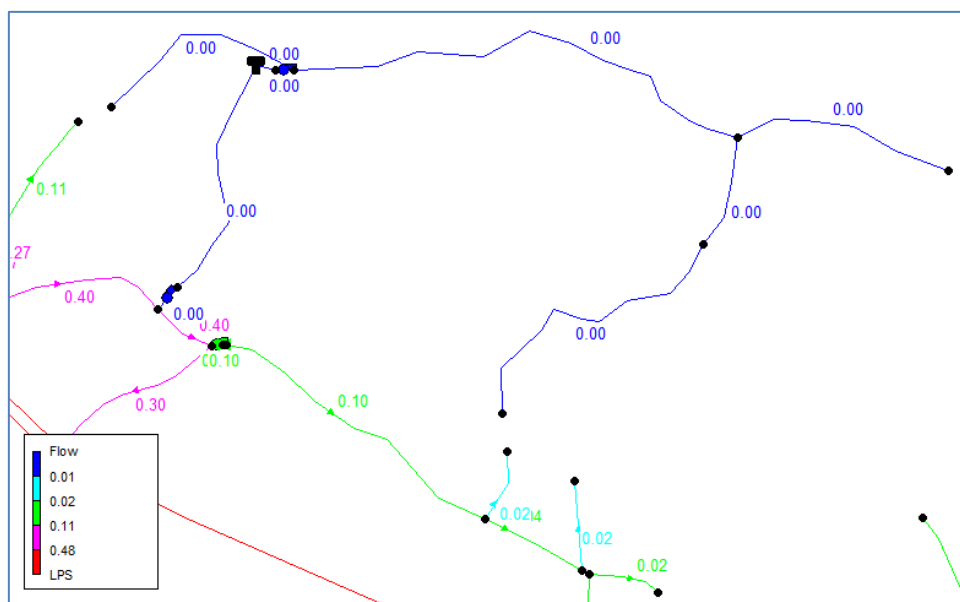
Zona Husain se nalazi na istočnoj strani Kutine. Konfiguracija terena je vrlo nepogodna za vodoopskrbu kao i u zoni Repušnica, budući da su visinske razlike i do 90 metara. Tlakovi i protok ovise o režimu rada crpne stanice. Zbrajanjem protoka dobivenih na mjernim točkama F11 i F12 zna se točna potrošnja ove zone.



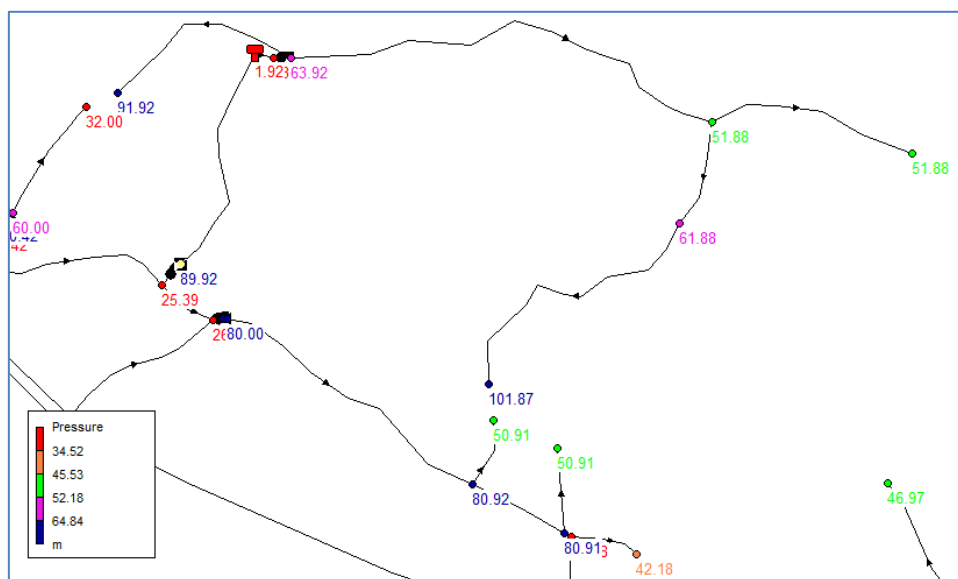
Slika 85 Zona Husain



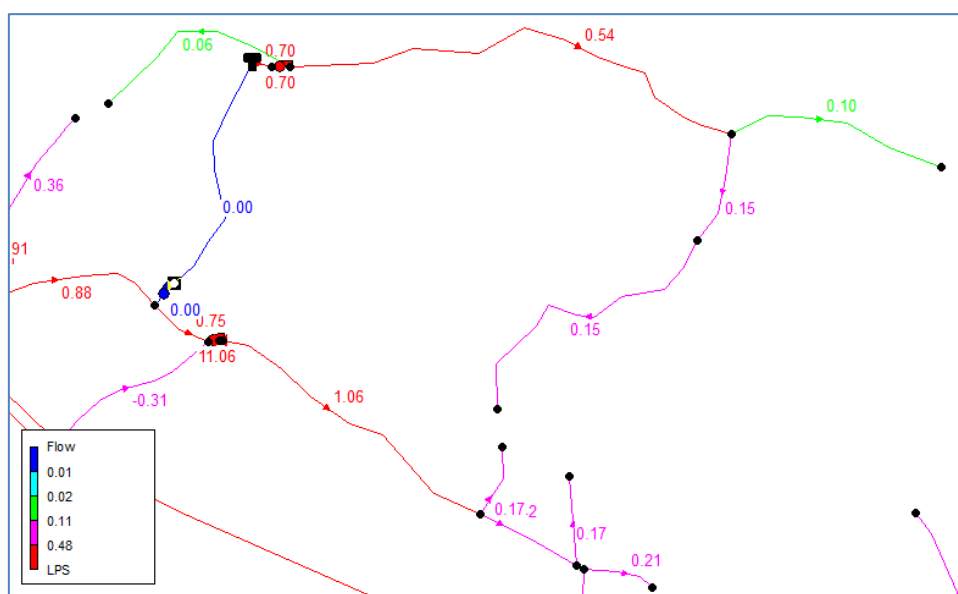
Slika 86 Raspodjela tlakova u satu najmanje potrošnje



Slika 87 Raspodjela protoka u satu najmanje potrošnje



Slika 88 Raspodjela tlakova u satu najveće potrošnje

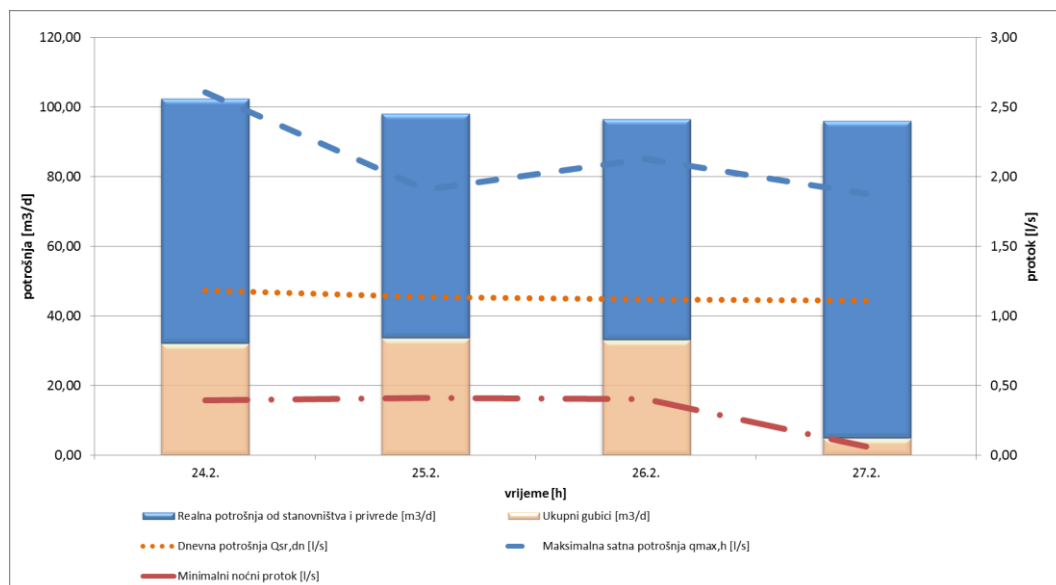


Slika 89 Raspodjela protoka u satu najveće potrošnje

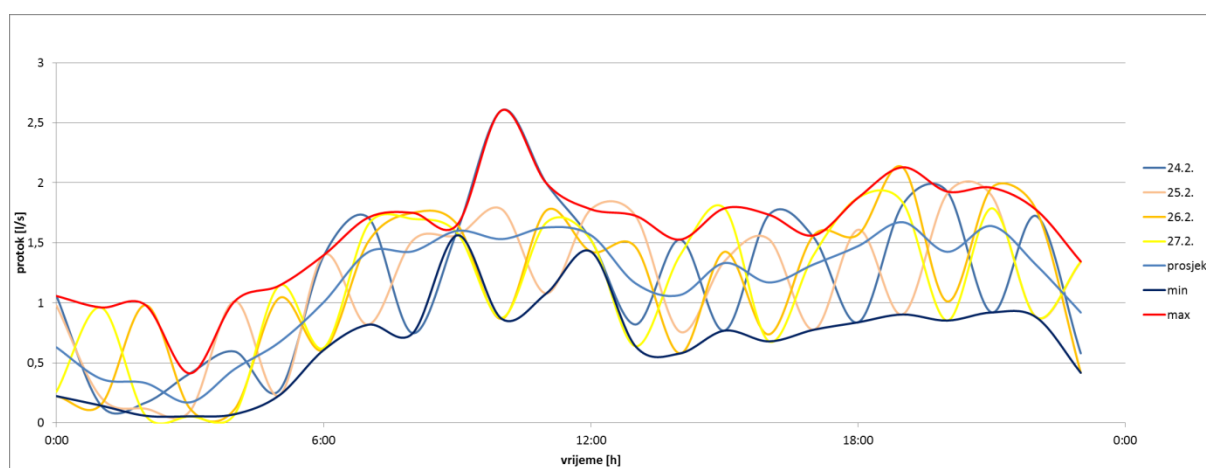
Teren ove zone je brdski i posljedica toga su postavljene crpne stanice Novo Brdo i Husain za dobavu vode i tlaka. Crpna stanica Novo Brdo tlači vodu u vodospremu Mišinka, volumena 80 m³, kote dna 210 m n.m., koja opskrbljuje naselja Mišinka i Gojlo. Crpna stanica Husain dobavlja vodu naselju Husain, čija je prosječna nadmorska visina 140 m n.m. Tlakovi u ovoj zoni su dosta visoki, u rasponu vrijednosti od 4,5 bara do 10,0 bara.

Prosječna dnevna potrošnja iznosi 98 m³/d, s rasponom protoka od 0,06 l/s do 2,60 l/s. Minimalni noćni protok (za razdoblje od 4 dana, 24.2 – 28.2, u periodu od 2:00, do 4:00) iznosi u prosjeku 0,32 l/s. Noćna potrošnja stanovništva i privrede se može pretpostaviti 1%

od minimalne noćne potrošnje, budući da se radi o ruralnim mjestima s manjom gustoćom naseljenosti. Dakle 99% su stvarni gubitci, odnosno 0,31 l/s, u prosjeku.



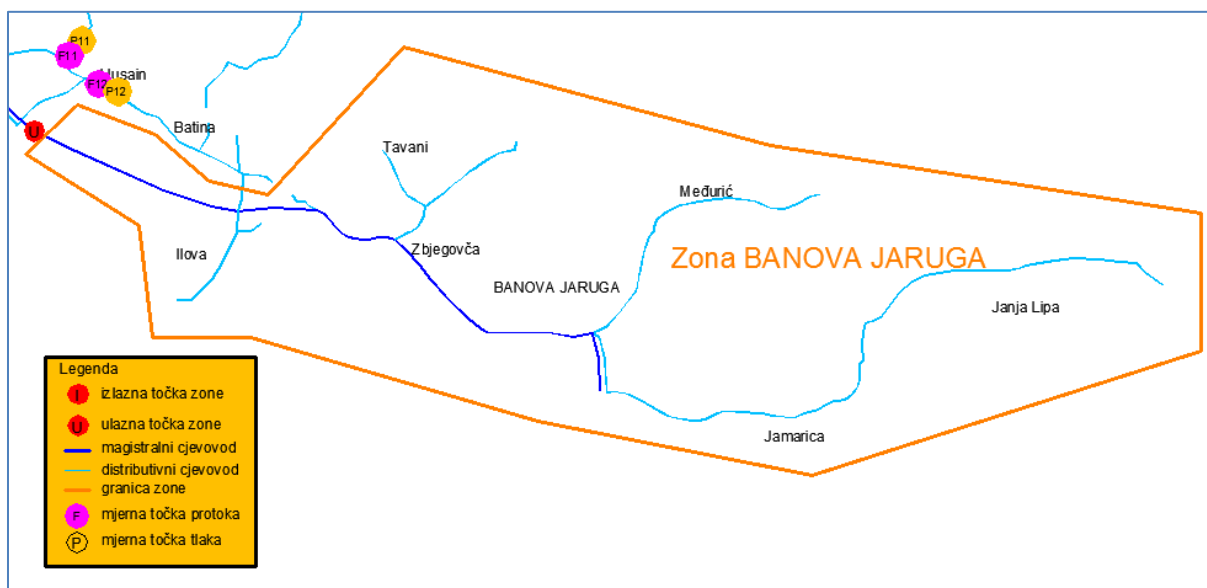
Slika 90 Analiza potrošnje zone Husain



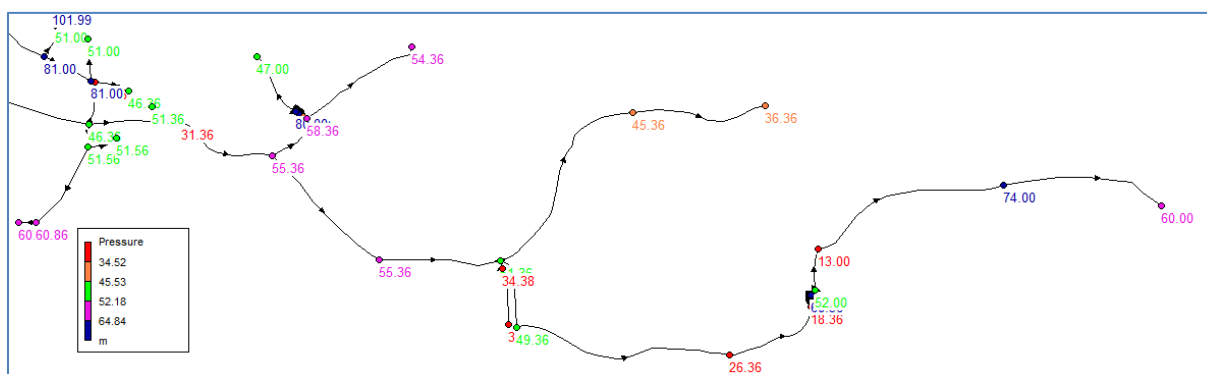
Slika 91 Satna neravnomjernost dnevne potrošnje u zoni Husain

3.3.5.6. Zona Banova Jaruga

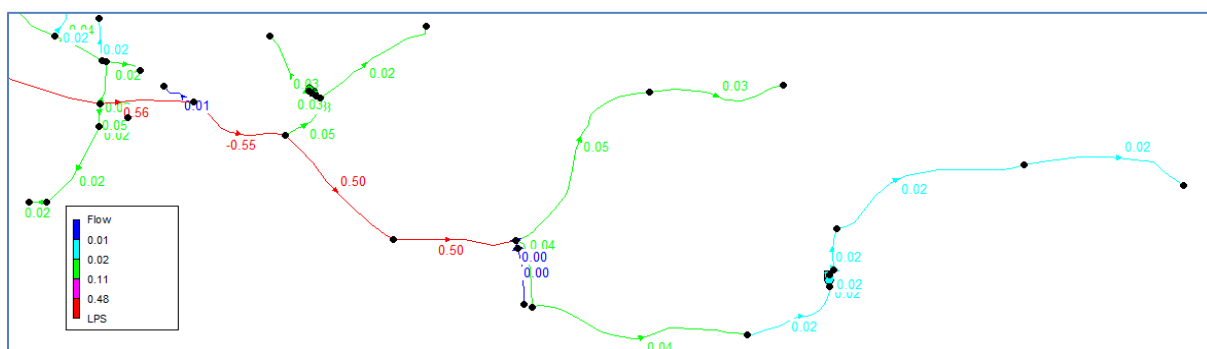
Zona Banova Jaruga se nalazi na najjužnijem dijelu sustava. Konfiguracija terena je pogodna za vodoopskrbu, jer nema velikih visinskih razlika, no ipak je potrebna crpna stanica na dva mjesta, prema Tavanima i prema Janja Lipi (crpi se preko brežuljka). Voda dolazi u ovu zonu iz vodospreme Kutina, cjevovodom DN 280. Za ovu zonu nisu prikupljena terenska mjerenja i stoga se uzima mjerodavna potrošnja koja odgovara kalibriranom matematičkom modelu.



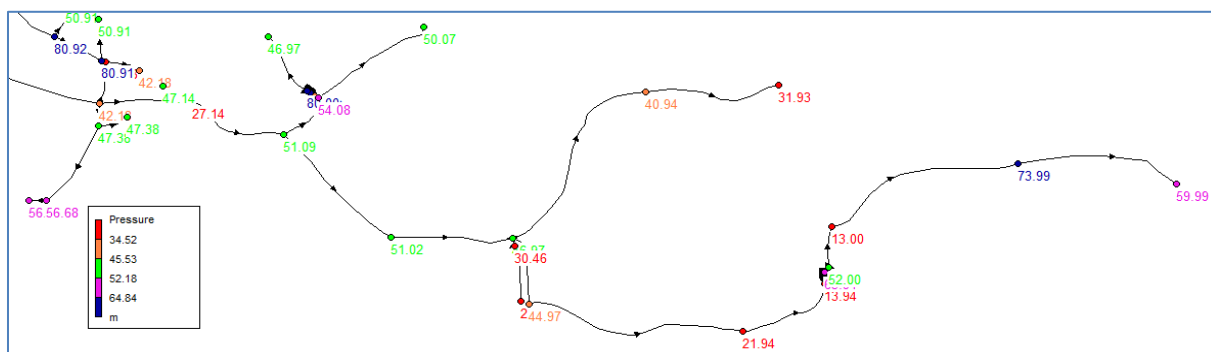
Slika 92 Zona Banova Jaruga



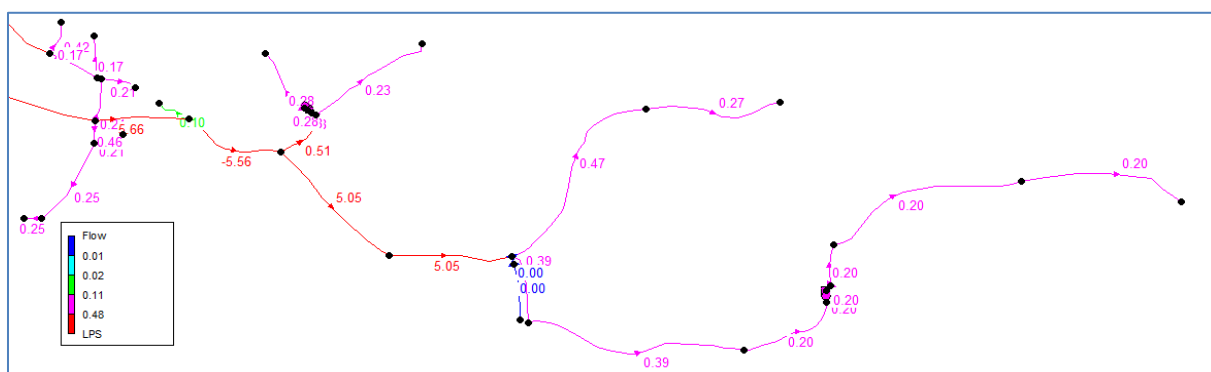
Slika 93 Raspodjela tlakova u satu najmanje potrošnje



Slika 94 Raspodjela protoka u satu najmanje potrošnje



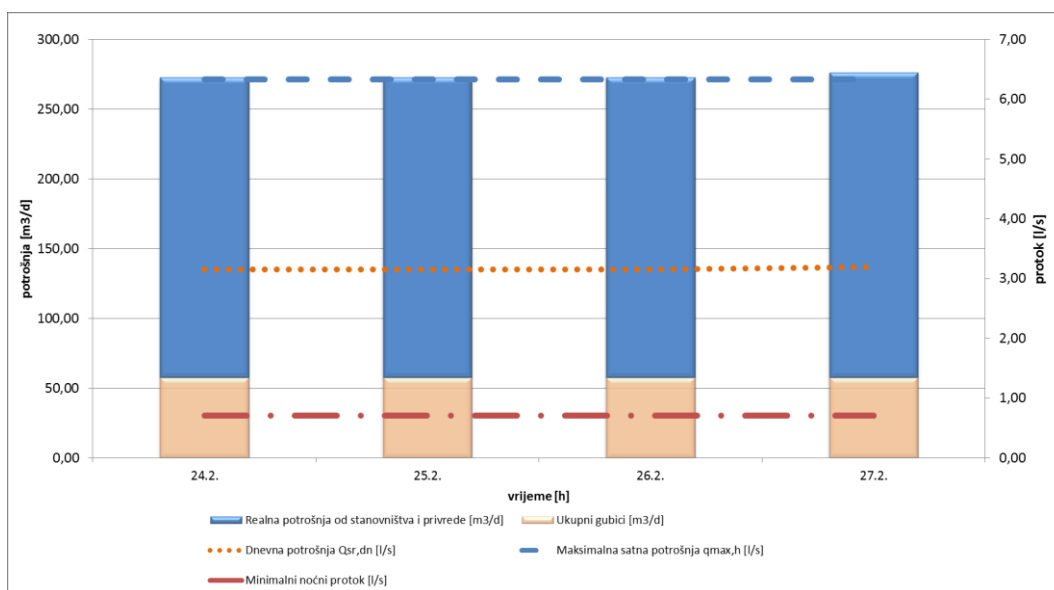
Slika 95 Raspodjela tlakova u satu najveće potrošnje



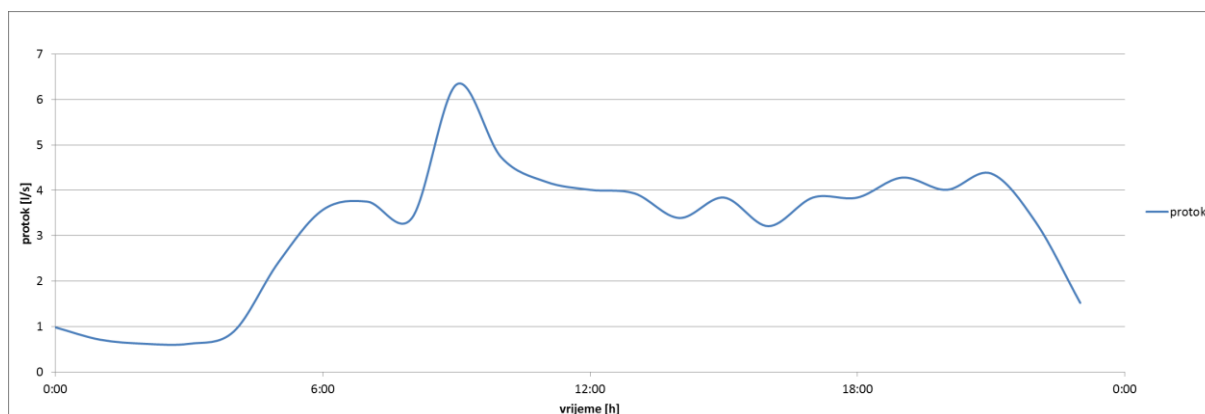
Slika 96 Raspodjela protoka u satu najmanje potrošnje

Područje uz magistralni cjevovod je na nadmorskoj visini 105 m n.m. i tlak dobiva iz vodospreme Kutina. Raspon vrijednosti tlaka u tom dijelu zone je od 3,0 bara do 6,0 bara. Za dijelove veće nadmorske visine (140 m n.m. u prosjeku) su ugrađene crpne stanice Jamarica i Tavani, gdje su tlakovi od 4,0 do 7,5 bara.

Prosječna dnevna potrošnja iznosi 273 m³/d, s rasponom protoka od 0,71 l/s do 6,33 l/s. Minimalni noćni protok (za razdoblje od 4 dana, 24.2 – 28.2, u periodu od 2:00, do 4:00) iznosi u prosjeku 0,71 l/s. Noćna potrošnja stanovništva i privrede se može pretpostaviti 1% od minimalne noćne potrošnje, budući da se radi o ruralnim mjestima s manjom gustoćom naseljenosti. Dakle 99% su stvarni gubitci, odnosno 0,70 l/s, u prosjeku.



Slika 97 Analiza potrošnje zone Banova Jaruga



Slika 98 Satna neravnomjernost dnevne potrošnje Banove Jaruge

3.3.6. Zaključno o postojećem stanju

Matematički model izvrsno opisuje postojeće stanje vodoopskrbnog sustava Kutina - Popovača, što je i potvrđeno kalibracijom modela na temelju terenskih mjerenja.

Iz prethodnih rezultata se može uvidjeti kako je u nekim cjevovodima noćna potrošnja jednaka nuli. Iz toga se zaključuje da na tim mjestima nema gubitaka ili su minimalni. Takva situacija je u ruralnim naseljima, gdje su pretežno novi PEHD cjevovodi. Problematična situacija je u gradovima, Kutini i Popovači, gdje su zabilježeni znatni gubitci pomoću minimalne noćne potrošnje.

Tijekom noćnog režima ukupni gubitci iznose cca 16 l/s (mjerenjima utvrđena vrijednost u periodu od siječnja do ožujka 2014. godine), što je rezultat pojave oštećenja cjevovoda na pojedinim dionicama. Prema tome, propuštanja na vodoopskrbnoj mreži generiraju gubitke u

iznosu cca 1.380 m³/d, odnosno cca 504.000 m³/godišnje. Ako se pri tome uzme u obzir da se 100% navedenih gubitaka nadoknađuje crpljenjem vode iz glavnog izvorišta (bušenih bunara), može se zaključiti da je postojeće stanje predmetnog vodoopskrbnog sustava neodrživo, te da je s ekonomskog aspekta daljnjeg upravljanja predmetnim sustavom potrebno hitno poduzimanje odgovarajućih mjera unaprjeđenja.

Tablica 7 Rekapitulacija potrošnje i gubitaka na vodoopskrbnom sustavu Kutina - Popovača

Sustav	Podsustav	Potrošnja u zoni (m ³ /d)	Stvarna potrošnja			Gubici na cjevovodnoj mreži		
			Stan. (m ³ /d)	Privreda (m ³ /d)	Ukupno (m ³ /d)	(l/s)	(m ³ /d)	(m ³ /god)
Kutina - Popovača	Zona Popovača	1.370	824	86,4	910	5,32	460	167.900
	Zona Repušnica	561	334	0	334	2,63	227	82.855
	Zona Kutina	1.877	1.190	86,4	1.276	6,96	601	219.365
	Zona Šartovac	53	44	0	44	0,10	9	3.285
	Zona Husain	98	72	0	72	0,30	26	9.490
	Zona Banova Jaruga	273	215	0	215	0,67	58	21.170
Ukupno		4232,00	2678,20	172,80	2851,00	15,98	1.381	504.065

Tablica 8 Bilanca vode za zonu Popovača, Šartovac i Repušnica

Zona Popovača												Zona Šartovac												Zona Repušnica																																																																																															
Datum	Dnevna potrošnja Qsr,dn [m3/d]	Dnevna potrošnja Qsr,dn [l/s]	Maksimalna satna potrošnja qmax,h [l/s]	Koeficijent satne neravnomjernosti	Minimalni noćni protok [l/s]	Srednja noćna potrošnja velikih potrošača [l/s]	Noćna potrošnja od stanovništva [l/s]	Ukupni gubici [m3/d]	Realna potrošnja od stanovništva i privrede [m3/d]	Učinkovitost (udio gubitaka dnevnoj potrošnji)	Jedinični gubici po km ³ cjevovoda [m3/d/km]	Jedinični gubici po prijliučku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po km ³ cjevovoda [m3/d/km]	Specifična potrošnja po prijliučku [l/d/priklj]	Datum	Dnevna potrošnja Qsr,dn [m3/d]	Dnevna potrošnja Qsr,dn [l/s]	Maksimalna satna potrošnja qmax,h [l/s]	Koeficijent satne neravnomjernosti	Minimalni noćni protok [l/s]	Srednja noćna potrošnja velikih potrošača [l/s]	Noćna potrošnja od stanovništva [l/s]	Ukupni gubici [m3/d]	Realna potrošnja od stanovništva i privrede [m3/d]	Učinkovitost (udio gubitaka dnevnoj potrošnji)	Jedinični gubici po km ³ cjevovoda [m3/d/km]	Jedinični gubici po prijliučku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po km ³ cjevovoda [m3/d/km]	Specifična potrošnja po prijliučku [l/d/priklj]	Datum	Dnevna potrošnja Qsr,dn [m3/d]	Dnevna potrošnja Qsr,dn [l/s]	Maksimalna satna potrošnja qmax,h [l/s]	Koeficijent satne neravnomjernosti	Minimalni noćni protok [l/s]	Srednja noćna potrošnja velikih potrošača [l/s]	Noćna potrošnja od stanovništva [l/s]	Ukupni gubici [m3/d]	Realna potrošnja od stanovništva i privrede [m3/d]	Učinkovitost (udio gubitaka dnevnoj potrošnji)	Jedinični gubici po km ³ cjevovoda [m3/d/km]	Jedinični gubici po prijliučku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po km ³ cjevovoda [m3/d/km]	Specifična potrošnja po prijliučku [l/d/priklj]																																																																											
24.2.	1397,73	16,18	31,51	1,95	6,50	1,00	0,32	447,08	950,65	47%	4,07	151,22	8,65	321,54	24.2.	558,90	6,47	9,39	1,45	2,66	0,00	0,13	217,92	340,98	64%	6,17	381,95	9,66	597,63	25.2.	561,78	6,50	9,62	1,48	2,81	0,00	0,14	230,44	331,34	70%	6,53	403,89	9,38	580,74	26.2.	561,85	6,50	9,62	1,48	2,81	0,00	0,14	230,85	331,00	70%	6,54	404,61	9,37	580,15	27.2.	561,89	6,50	9,63	1,48	2,82	0,00	0,14	231,06	330,83	70%	6,54	404,97	9,37	579,85	prosjeak	561,11	6,49	9,57	1,47	2,77	0,00	0,14	227,57	333,54	68%	6,44	398,86	9,44	584,59	minimum	558,90	6,47	9,39	1,45	2,66	0,00	0,13	217,92	330,83	64%	6,17	381,95	9,37	579,85	maksimum	561,89	6,50	9,63	1,48	2,82	0,00	0,14	231,06	340,98	70%	6,54	404,97	9,66	597,63
25.2.	1347,11	15,59	26,97	1,73	6,30	1,00	0,31	430,68	916,42	47%	3,92	145,67	8,34	309,97	25.2.	51,61	0,60	1,00	1,67	0,08	0,00	0,00	0,00	14,26	34,95	41%	0,49	71,92	1,20	176,29	26.2.	53,41	0,62	1,00	1,62	0,08	0,00	0,00	7,13	44,48	16%	0,25	35,96	1,53	224,36	27.2.	58,81	0,68	1,00	1,47	0,08	0,00	0,00	7,13	51,68	14%	0,25	35,96	1,78	260,68	prosjeak	53,26	0,62	1,08	1,78	0,10	0,00	0,00	8,91	44,35	22%	0,25	35,96	1,53	223,69	minimum	49,21	0,57	1,00	1,47	0,08	0,00	0,00	7,13	34,95	14%	0,25	35,96	1,20	176,29	maksimum	58,81	0,68	1,33	2,34	0,17	0,00	0,00	14,26	51,68	41%	0,49	71,92	1,78	260,68														

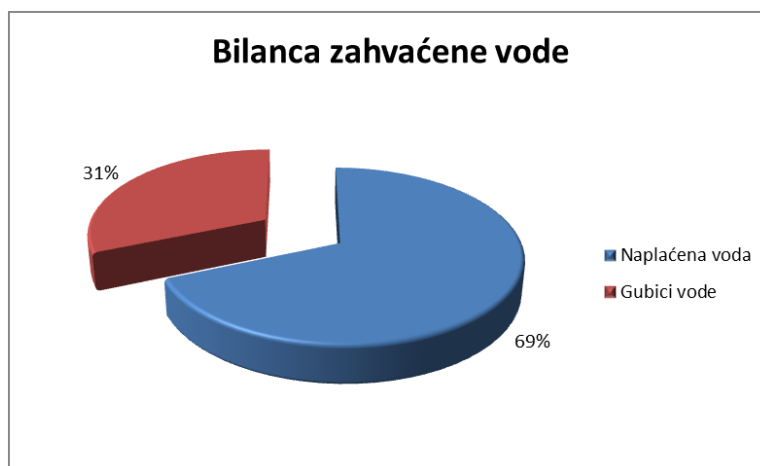
Tablica 9 Bilanca vode za zone Husain, Kutina, Banova Jaruga

Zona Husain													Zona Kutina													Zona Banova Jaruga																			
Datum	Dnevna potrošnja Qsr,dn [m ³ /d]	Dnevna potrošnja Qsr,dn [l/s]	Maksimalna satna potrošnja qmax,h [l/s]	Koeficijent satne neravnomjernosti	Minimalni noćni protok [l/s]	Srednja noćna potrošnja velikih potrošača [l/s]	Noćna potrošnja od stanovništva [l/s]	Ukupni gubici [m ³ /d]	Realna potrošnja od stanovništva i privrede [m ³ /d]	Učinkovitost (udio gubitaka dnevno potrošnji)	Jedinični gubici po km ² cjevovoda [m ³ /d/km]	Jedinični gubici po prijključku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po prijključku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po km ² cjevovoda [m ³ /d/km]	Datum	Dnevna potrošnja Qsr,dn [m ³ /d]	Dnevna potrošnja Qsr,dn [l/s]	Maksimalna satna potrošnja qmax,h [l/s]	Koeficijent satne neravnomjernosti	Minimalni noćni protok [l/s]	Srednja noćna potrošnja velikih potrošača [l/s]	Noćna potrošnja od stanovništva [l/s]	Ukupni gubici [m ³ /d]	Realna potrošnja od stanovništva i privrede [m ³ /d]	Učinkovitost (udio gubitaka dnevno potrošnji)	Jedinični gubici po km ² cjevovoda [m ³ /d/km]	Jedinični gubici po prijključku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po prijključku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po km ² cjevovoda [m ³ /d/km]	Datum	Dnevna potrošnja Qsr,dn [m ³ /d]	Dnevna potrošnja Qsr,dn [l/s]	Maksimalna satna potrošnja qmax,h [l/s]	Koeficijent satne neravnomjernosti	Minimalni noćni protok [l/s]	Srednja noćna potrošnja velikih potrošača [l/s]	Noćna potrošnja od stanovništva [l/s]	Ukupni gubici [m ³ /d]	Realna potrošnja od stanovništva i privrede [m ³ /d]	Učinkovitost (udio gubitaka dnevno potrošnji)	Jedinični gubici po km ² cjevovoda [m ³ /d/km]	Jedinični gubici po prijključku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po prijključku [l/d/priklj]	Specifična potrošnja po km ² cjevovoda [m ³ /d/km]	
24.2.	102,34	1,18	2,60	2,20	0,39	0,00	0,02	33,70	70,16	46%	2,12	90,65	197,62	4,62	24.2.	2061,44	23,86	37,33	1,56	11,08	1,00	0,55	822,64	1238,80	66%	13,05	179,41	270,17	19,66	25.2.	1768,12	20,46	31,58	1,53	7,14	1,00	0,36	499,92	1268,20	39%	7,93	109,03	20,12	276,58	20,12
25.2.	98,12	1,14	1,91	1,68	0,41	0,00	0,02	33,70	64,42	52%	2,22	94,92	181,46	4,24	26.2.	1734,19	20,07	29,24	1,46	7,31	1,00	0,37	513,31	1220,88	42%	8,14	111,95	266,26	19,37	27.2.	1947,41	22,54	34,28	1,52	8,01	1,00	0,40	571,36	1376,05	42%	9,07	124,61	21,83	300,10	21,83
26.2.	96,62	1,12	2,13	1,90	0,40	0,00	0,00	33,20	63,42	52%	2,19	93,53	178,63	4,18	prosjeck	1877,79	21,73	33,06	1,52	8,38	1,00	0,42	601,81	1275,98	47%	9,55	131,25	278,28	20,25	minimum	1734,19	20,07	29,24	1,46	7,14	1,00	0,36	499,92	1220,88	39%	7,93	109,03	20,25	266,26	20,25
27.2.	95,95	1,11	1,88	1,69	0,06	0,00	0,00	5,11	90,84	6%	0,34	14,40	255,86	5,98	maksimum	2061,44	23,86	37,33	1,56	11,08	1,00	0,55	822,64	1376,05	66%	13,05	179,41	300,10	21,83	minimum	1734,19	20,07	29,24	1,46	7,14	1,00	0,36	499,92	1220,88	39%	7,93	109,03	20,25	266,26	20,25
prosjeck	98,26	1,14	2,13	1,87	0,32	0,00	0,02	26,05	72,21	39%	1,72	73,37	203,39	4,75	maksimum	2061,44	23,86	37,33	1,56	11,08	1,00	0,55	822,64	1376,05	66%	13,05	179,41	300,10	21,83	minimum	1734,19	20,07	29,24	1,46	7,14	1,00	0,36	499,92	1220,88	39%	7,93	109,03	20,25	266,26	20,25
minimum	95,95	1,11	1,88	1,68	0,06	0,00	0,00	5,11	63,42	6%	0,34	14,40	178,63	4,18	maksimum	2061,44	23,86	37,33	1,56	11,08	1,00	0,55	822,64	1376,05	66%	13,05	179,41	300,10	21,83	minimum	1734,19	20,07	29,24	1,46	7,14	1,00	0,36	499,92	1220,88	39%	7,93	109,03	20,25	266,26	20,25
maksimum	102,34	1,18	2,60	2,20	0,41	0,00	0,02	33,70	90,84	52%	2,22	94,92	181,46	4,18	maksimum	2061,44	23,86	37,33	1,56	11,08	1,00	0,55	822,64	1376,05	66%	13,05	179,41	300,10	21,83	minimum	1734,19	20,07	29,24	1,46	7,14	1,00	0,36	499,92	1220,88	39%	7,93	109,03	20,25	266,26	20,25

4. ANALIZA GUBITAKA

4.1. IWA metodologija

Poznata dosadašnja praksa analize gubitaka u Hrvatskoj podrazumijeva definiranje postotnog odnosa gubitaka prema količini vode koja ulazi u sustav. Taj postotak predstavlja se kao nenaplaćena količina vode. Drugim riječima, nenaplaćena voda predstavlja razliku između zahvaćenih (upuštenih u sustav) i naplaćenih količina. Međutim, valja napomenuti da takav način prikaza postotnog udjela nenaplaćenih količina vode ne pruža mogućnost uvida u realno stanje vezano uz pojavu gubitaka. Time se također ne može dobiti ni uvid u realno stanje učinkovitosti upravljanja pojedinim vodoopskrbnim sustavom s aspekta gubitaka vode. Kao primjer nedostatka dosadašnjeg pristupa može se navesti da u područjima s izrazitim oscilacijama godišnje potrošnje vode (turistička naselja), prikaz gubitaka u postocima nenaplaćene vode nije realan iz razloga što su gubici (propuštanja vode iz cjevovodnog sustava) tijekom čitave godine jednaki, a postotak nenaplaćenih gubitaka se prividno tijekom perioda s povećanom potrošnjom od strane krajnjih korisnika smanjuje. Isto tako, kod nekih se sustava naplata vode vrši paušalno, te naplaćeni dio vode često sadržava i gubitke i ne daje realnu sliku stvarnih gubitaka uslijed curenja i sl.



Slika 99 Bilanca ukupno zahvaćene vode za sustav Kutina - Popovača prema dosadašnjoj praksi

Kao što je i u dosadašnjem dijelu teksta napomenuto, analiza gubitaka kroz njihov iskaz u postocima nenaplaćene vode rezultirali su brojnim nedostacima te su se s vremenom u okvirima prakse razvijenih zemalja definirali novi standardi, koji omogućavaju detaljniji uvid u realna stanja i donošenje kvalitetnijih zaključaka. Tako je Međunarodno udruženje za vode (IWA – International Water Association), s ciljem potpunijeg razumijevanja problematike i prepoznavanja osnovnih strukturnih elemenata potrošnje vode, definirala novi standard bilanciranja vode [10.]. Standardna bilanca vode prema IWA metodologiji se može vidjeti prema Tablica 10.

Ulazna količina vode odnosi se na ukupne količine koje ulaze u razmatrani vodoopskrbni sustav, bilo iz vlastitih izvorišta ili iz nekog drugog sustava. Ovlaštena potrošnja dijeli se na ovlaštenu naplaćenu i ovlaštenu nenaplaćenu potrošnju. Ovlaštena naplaćena potrošnja dalje se dijeli na naplaćenu mjerenu količinu vode koja se temelji na očitavanju potrošnje vode na mjernim instrumentima (vodomjerima) i na naplaćenu nemjerenu količinu vode koja podrazumijeva paušalnu naplatu (po godišnjem proračunu ili sl.). Gubitci vode predstavljaju razliku između ulazne količine vode i ovlaštene potrošnje, a dijele se na prividne i stvarne gubitke. Prividni gubitci dijele se na neovlaštenu potrošnju i gubitke uvjetovane netočnosti mjernih instrumenata. Neovlaštena potrošnja podrazumijeva krađu vode koja se manifestira kroz ilegalne priključke ili neovlaštenu potrošnju na uličnim hidrantima. Stvarni gubitci podijeljeni su u tri podkategorije – propuštanja u vodoopskrbnoj mreži (curenja), preljevanja iz vodosprema i propuštanja vode na kućnim priključcima.

Tablica 10 Standardna bilanca vode prema IWA-i s karakterističnim vrijednostima za sustav javne vodoopskrbe Kutina - Popovača

Ukupna količina zahvaćene vode 2.060.046,00 m ³ /godina	Ovlaštena potrošnja vode 1.434.880,46 m ³ /godina	Ovlaštena naplaćena potrošnja 1.414.280,00 m ³ /godina	Naplaćena mjerena količina vode 1.414.280,00 m ³ /godina	Naplaćena voda 1.414.280,00 m ³ /godina	
			Naplaćena nemjerena količina vode 0 0 m ³ /godina		
	Gubitci vode 625.165,54 m ³ /godina	Ovlaštena nenaplaćena potrošnja 20.600,46 m ³ /godina	Nenaplaćena mjerena količina vode 20.600,46 m ³ /godina	Nenaplaćena voda 645.766,00 m ³ /godina	
			Nenaplaćena nemjerena količina vode 0 m ³ /godina		
		Prividni gubitci 121.100,54 m ³ /godina	Neovlaštena potrošnja 64.529,34 m ³ /godina		
			Netočnost mjernih instrumenata 56.571,20 m ³ /godina		
		Stvarni gubitci 504.065,00 m ³ /godina	Propuštanja u vodoopskrbnoj mreži		
			Preljevanja iz vodosprema		
	Propuštanja vode na kućnim priključcima				

U praksi je navedene glavne komponente gubitaka (prividne i stvarne) teško odrediti ali ipak je količina stvarnih gubitaka znatno veća od prividnih. S obzirom da se modelsko ispitivanje s kalibriranim vrijednostima protoka u konkretnom slučaju provelo za cjelodnevni režim, ali je pri tome naglasak stavljen i na noćni režim s minimalnom potrošnjom vode, može se

zaključiti da neovlaštena potrošnja vode predstavlja manji udio u ukupnim gubitcima. Stoga se veći dio utvrđenih količina ukupnih gubitaka pripisuje stvarnim gubitcima.

Pri definiranju bilance vode za vodoopskrbni sustav Kutina - Popovača (Tablica 10) uzeti su sljedeći podaci:

- podatak o naplaćenju i nenaplaćenju vodi je dobiven od komunalnog poduzeća
- gubici su dobiveni kao razlika naplaćene i nenaplaćene vode
- stvarni gubici su izračunati prema matematičkom modelu (Tablica 7)
- ovlaštena nenaplaćena potrošnja = 1% (od zahvaćene vode)
- neovlaštena potrošnja = 3% (od zahvaćene vode)
- netočnost mjernih instrumenata = 4% (od naplaćene mjerene potrošnje)

4.2. ILI pokazatelj

U nastojanjima za daljnji što objektivniji prikaz stanja vodoopskrbnog sustava u pogledu generiranja gubitaka, u svjetskoj se praksi počeo primjenjivati tzv. ILI pokazatelj (Infrastructure Leakage Index [11.]. ILI pokazatelj definiran je kao odnos trenutnih godišnjih stvarnih gubitaka vode (CARL – Current Annual Real Losses) i neizbježnih godišnjih stvarnih gubitaka (UARL - Unavoidable Annual Real Losses). Obje mjerodavne komponente stvarnih gubitaka izražavaju se jedinično u m³/d ili l/d. UARL predstavlja količinu stvarnih gubitaka koji uključuje i utjecaj tlaka unutar vodoopskrbne mreže. Oni zapravo predstavljaju gubitke vrlo malog intenziteta uslijed pojave manjih pukotina i propuštanja na spojevima i ventilima. Definirani su empirijskom jednadžbom koja uključuje sljedeće relevantne parametre: duljinu cjevovoda, broj priključaka, duljinu cjevovoda kućnih priključaka i prosječan tlak unutar sustava). Na temelju dosada navedenog, može se reći da pristup analize gubitaka koji u razmatranje uključuje ILI pokazatelj, zapravo ukazuje na uspješnost rješavanja problema stvarnih gubitaka vode unutar razmatranog sustava što je znatno realniji pokazatelj u odnosu na jednostavan iskaz postotnog udjela ukupnih stvarnih gubitaka. Primjerice, pojedini sustavi mogu imati mali postotni udio stvarnih gubitaka, ali uspješnost njihovog uklanjanja može biti jako mala. Veća vrijednost ILI pokazatelja ukazuje na lošije stanje i smanjenu uspješnost rješavanja problema gubitaka unutar razmatranog sustava.

Proračun UARL:

$$UARL = (18 \cdot L_m + 0,8 \cdot N_c + 25 \cdot L_p) \cdot P \quad [l/d]$$

Gdje je: L_m – duljina cjevovoda [km]

N_c – broj priključaka

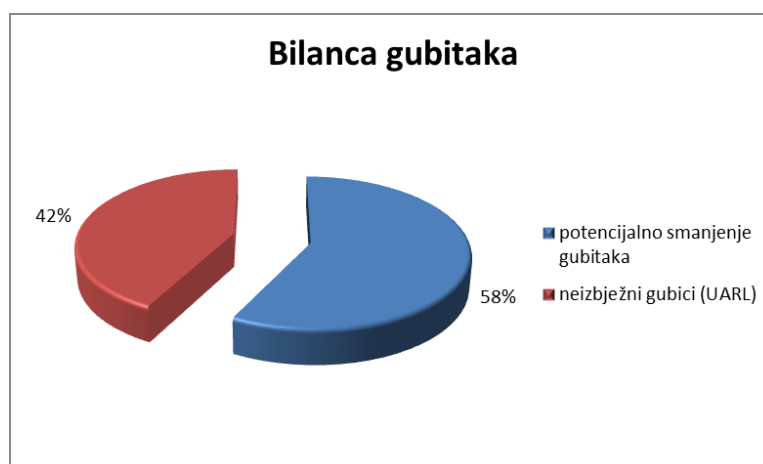
L_p – suma duljina od distributivnog cjevovoda do vodomjera [km]

P – prosječan tlak [m v.s.]

Tablica 11 Procjena stanja vodoopskrbnih sustava u odnosu na ILI pokazatelj

Zemlje u razvoju i nerazvijene zemlje	Razvijene zemlje	Opći opisi kategorija kontrole stvarnih gubitaka za razvijene zemlje i zemlje u razvoju
ILI raspon	ILI raspon	
manje od 4	manje od 2	Daljnje smanjenje gubitaka možda će biti ekonomski neopravdano osim u slučaju nestašice vode; potrebna je precizna analiza da bi se utvrdila financijski najisplativija poboljšanja
4 do 8	2 do 4	Potencijal za navedena poboljšanja; razmisliti o kontroli tlaka, boljoj aktivnoj kontroli curenja i boljem upravljanju i održavanju sustava
8 do 16	4 do < 8	Slaba kontrola gubitaka; može se podnijeti jedino ako je voda jeftinija i u izobilju; čak i u tom slučaju analizirati veličinu i prirodu gubitaka te povećati nastojanja u smanjenju gubitaka
16 ili više	8 ili više	Jako neučinkovita upotreba resursa, programi smanjenja gubitaka su neophodni i trebali bi biti prioriteta

Na slijedećoj slici je prikazan odnos trenutnih i neizbježnih gubitaka za sustav vodoopskrbe Kutina – Popovača.



Slika 100 Bilanca gubitaka

Tablica 12 Analiza gubitaka po pojedinim zonama

Parametar	Sustav Kutina - Popovača						
	Zona Popovača	Zona Šartovac	Zona Repušnica	Zona Kutina	Zona Husain	Zona Banova Jaruga	cijeli sustav
Broj priključenih stanovnika	8870	595	1712	13756	1065	1544	27541
Broj kućnih priključaka	2957	198	571	3439	355	515	8034
Duljina cjevovodne mreže (km)	108,00	29,05	35,31	63,02	15,19	33,34	283,92
Srednja dnevna potrošnja (l/s)	15,87	0,62	6,49	21,73	1,14	3,17	49,01
Maksimalna satna potrošnja (l/s)	29,91	1,08	9,57	33,06	2,13	6,33	82,08
Minimalna satna potrošnja * (l/s)	1,32	0,002	0,13	1,55	0,02	0,04	3,07
Realne količine min. satne potrošnje koje ulaze u podsustav ** (l/s)	6,66	0,10	2,77	8,38	0,32	0,71	18,95
Gubitci vode tijekom perioda s minimalnom potrošnjom vode (l/s)	5,34	0,10	2,64	6,83	0,30	0,67	15,88
Srednji tlakovi u mreži tijekom cjelodnevnog režima (mVS)	63,77	73,28	51,01	48,56	62,59	45,21	57,40
CARL (m ³ /d)	461,28	8,86	228,07	590,19	25,73	58,28	1372,40
UARL (m ³ /d)	321,92	53,58	62,98	213,74	40,44	51,56	777,60
ILI pokazatelj	1,43	0,17	3,62	2,76	0,64	1,13	1,76

*prema Popisu stanovništva 2011, prosječan broj stanovnika po kućanstvu je u rasponu vrijednosti od 2,85 do 3,00, ovdje je uzeta vrijednost 3 stanovnika po kućanstvu (priključku)

**Kutina ima veliki broj zgrada i time više stanovnika po priključku, procjena je 4

Stanje sustava u cjelini ne zahtjeva daljnje smanjenje gubitaka zbog ekonomske neopravdanosti. Međutim, gledajući stanje sustava po pojedinim zonama, ILI pokazatelj upućuje na potrebne mjere, koje bi trebalo poduzeti s ciljem smanjenja gubitaka. Prema

Tablica 12 se može vidjeti, kako su potencijal za poboljšanja, bolju kontrolu tlaka i bolje upravljanje, zone Kutina i Repušnica.

4.3. Ekonomska analiza gubitaka

Ekonomska analiza gubitaka provest će se s ciljem iskaza ukupnog godišnjeg ekonomskog gubitka, koji se direktno javlja kao posljedica neodgovarajućih hidrauličko-pogonskih uvjeta tečenja i pojave stvarnih gubitaka unutar sustava vodoopskrbe Kutina - Popovača. Naime, cjelokupni sustav se vodom opskrbljuje na glavnom izvorištu u Ravniku i Osekovu, koja se u noćnom periodu transportira u vodospremu Veliko Brdo. Tako da i svi gubici unutar predmetnog vodoopskrbnog sustava se direktno manifestiraju kroz ekonomske gubitke, uslijed nepotrebne potrošnje energije na crpnim stanicama izvorišta [12.].

Trošak dobave vode do krajnjih korisnika (crpljenje, kondicioniranje, izgradnja, održavanje mreže i dr.) iznosi $5,0 \text{ kn/m}^3$, prema podacima nadležnog komunalnog poduzeća [13.]. Na temelju članka 27. stavka 1. Zakona o financiranju vodnoga gospodarstva («Narodne novine», br. 153/2009, 90/2011 i 56/2013), Vlada Republike Hrvatske je na sjednici održanoj 23. siječnja 2014. godine donijela „Uredbu o izmjenama i dopuni uredbe o visini naknade za korištenje voda“ prema kojoj se cijena zahvaćene vode (ne fakturirane!) povećava s $1,35 \text{ kn/m}^3$ na $2,85 \text{ kn/m}^3$.

Tablica 13 Trenutni ekonomski gubitak po pojedinim zonama (kao posljedica vodnih gubitaka)

Sustav	Zona	Iznos gubitka	Godišnji gubici	Cijena dobave vode kn/m ³	Ekonomski gubitak	
		(l/s)	m ³ /god		(kn/god)	
Kutina - Popovača	Zona Popovača	5,32	167.900,00	5,00	839.500,00 kn	2.520.325,00 kn
	Zona Šartovac	0,10	3.285,00		16.425,00 kn	
	Zona Repušnica	2,63	82.855,00		414.275,00 kn	
	Zona Kutina	6,96	219.365,00		1.096.825,00 kn	
	Zona Husain	0,30	9.490,00		47.450,00 kn	
	Zona Banova Jaruga	0,67	21.170,00		105.850,00 kn	

Tablica 14 Ekonomski gubitak po pojedinim zonama (kao posljedica vodnih gubitaka) od 1.1.2015.

Sustav	Zona	Iznos gubitka	Godišnji gubitci	Cijena dobave vode	Cijena zahvaćene vode (1.1.2015.)	Ekonomski gubitak	
		(l/s)	m ³ /god	kn/m ³	kn/m ³	(kn/god)	
Kutina - Popovača	Zona Popovača	5,32	167.900,00	5,00	2,85	1.318.015,00 kn	3.956.910,25 kn
	Zona Šartovac	0,10	3.285,00			25.787,25 kn	
	Zona Repušnica	2,63	82.855,00			650.411,75 kn	
	Zona Kutina	6,96	219.365,00			1.722.015,25 kn	
	Zona Husain	0,30	9.490,00			74.496,50 kn	
	Zona Banova Jaruga	0,67	21.170,00			166.184,50 kn	

U slučaju ne poduzimanja nikakvih tehničkih mjera za vodoopskrbni sustav, a s činjenicom velikih tlakova zbog kojih sustav trpi, u budućnosti se može očekivati samo daljnji porast gubitaka.

Analiza postojećeg stanja i analiza gubitaka mogu poslužiti kao kvalitetna podloga pri definiranju mjera optimalizacije cjelokupnim vodoopskrbnim sustavom Kutina - Popovača, Time se mogu predložiti prioritetne akcije daljnje kontrole gubitaka i provođenja odgovarajućih mjera smanjenja gubitaka. Definiranje kvalitetnih mjera optimalizacije za predmetni vodoopskrbni sustav odnosi se prvenstveno na mjere smanjenja gubitaka.

Vrijednost ILI indikatora za zonu Popovača treba uzeti s velikom oprežnošću. Prema njemu je stanje sustava je uredno. Međutim detaljnom analizom postojećeg stanja je pokazano kako su gubitci u noćnom periodu preko 5 l/s i prosječni tlakovi 63 m v.s. Ako pogledamo ekonomsku analizu gubitaka (Tablica 13), može se vidjeti da se u ovoj zoni generiraju i veliki novčani gubitci. Iz tog razloga će biti provedena optimalizacija i za zonu Popovača.

5. OPTIMALIZACIJA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA KUTINA – POPOVAČA

5.1. Općenito

Trenutno funkcioniranje sustava generira gubitke kroz curenja na cjevovodima u iznosu od 504.000.00 m³/god. i to je glavni razlog za poduzimanje mjera optimalizacije. Prilikom analize postojećeg stanja, unutar poglavlja o hidrauličko – pogonskom stanju, sustav je podijeljen na karakteristične zone za koje postoji uvid u trenutno stanje pomoću kalibriranog matematičkog modela. Na temelju tih zona je napravljena i analiza gubitaka za svaku zonu i procijenjene su točno one zone u kojima bi se trebala provesti optimalizacija s ciljem smanjenja gubitaka (Zona Popovača, Repušnica i Kutina) [14.][15.]

Prioritetna mjera optimalizacije sustava radi smanjenja vodnih gubitaka je prije svega smanjenje tlakova unutar sustava. Zastarjelost cjevovoda ovdje nije problem, budući da su veliki radovi izmjene starih azbest-cementnih i lijevanoželjeznih napravljeni tek nedavno (2010. godine) [16.].

Kada se razmatra vodoopskrbni sustav Kutina - Popovača, tada se na temelju rezultata provedenih terenskih ispitivanja i matematičkog modeliranja uočava na razini čitavog sustava generiranje na prvi pogled zadovoljavajućih hidrostatskih i hidrodinamičkih tlakova (osrednjena vrijednost oko 5,5 bara). Međutim, pojedini dijelovi mreže trpe tlakove i do 10 bara. Optimalne veličine tlakova unutar vodoopskrbe mreže iznose 3,5 bara. Iako bi za isključive potrebe zadovoljenja stanovništva bile dostatne i znatno niže vrijednosti tlakova (1 bar), zbog zadovoljenja Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara (NN 08/06), minimalna veličina tlaka koju je potrebno osigurati iznosi 2,5 bara. U odnosu na otežane terenske uvjete koji se ogledaju u mjestimično neravnomjernoj konfiguraciji terena i razgranatosti cjevovodne mreže, u znatnoj mjeri je otežano održanje optimalnih veličina tlakova u svim dijelovima cjevovodne mreže. Stoga je potrebno provesti detaljniju analizu i mogućnosti smanjenja tlakova duž čitavog vodoopskrbnog sustava Kutina – Popovača [17.].

5.2. Smanjenje tlakova unutar sustava

5.2.1. FAVAD metoda

Pojava većih tlakova unutar cjevovodne mreže, što je inače karakteristično za noćni režim s minimalnom potrošnjom vode, može dovesti do oštećenja cjevovoda. Osim navedenog, svako povećanje tlaka u iznosu većem od potrebnog (zadovoljenja tehničke ispravnosti sustava) uzrokuje dodatne gubitke vode na postojećim oštećenjima. Utjecaj tlaka na veličinu

propuštanja (curenja) vode u današnje vrijeme se može kvalitetno definirati koristeći neke od razvijenih svjetski priznatih metoda. Jedna od najčešće korištenih metoda je FAVAD metoda (eng. Fixed and Variable Area of Discharge Paths) pomoću koje je definirana ovisnost veličine curenja o povećanju ili smanjenju tlaka unutar sustava (pojedine dionice) [18.]. Jednostavnija primjena FAVAD metode je uz korištenje N1 eksponenta:

$$L_1 = L_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1}$$

gdje je: L_1 – novi iznos gubitka, poslije promjene tlaka [l/s]

L_0 – trenutni protok [l/s]

P_1 – novi iznos tlaka nakon promjene [m v.s.]

P_0 – trenutni iznos tlaka prije promjene [m v.s.]

Eksponent N1 uobičajeno varira unutar raspona 0,5 do 1,5 za pojedinačne zone, i nalazi se u ovisnosti o prevladavajućeg tipa pukotina, te vrsti cijevnih materijala (da li su cijevi krute ili elastične). Često se pretpostavlja da prosječna vrijednost N1 u velikim sustavima s različitim materijalima cjevovoda iznosi 1,0 podrazumijevajući linearnu vezu između veličine gubitka (curenja) i tlaka. Međutim, za veći udio krutih materijala (azbest-cementne, lijevanoželjezne) vrijednost N1 eksponenta se približava vrijednosti 0,5, dok se kod većeg udjela plastičnih cijevi (PVC, PEHD, PP) vrijednost N1 eksponenta približava 1,5. To je zbog toga što je veličina otvora pukotine kod plastičnih cijevi vrlo osjetljiva na promjene tlaka i povećava se s povećanjem tlaka. Suprotno tome, pukotine koje se mogu otkriti iz krutih (LJŽ, AC) cijevi, imaju N1 vrijednost blizu 0,5 i manje su osjetljive na promjene tlaka. Tako na primjer, smanjenje tlaka sa 5,0 na 2,5 bara, uz vrijednost eksponenta N1 u iznosu 1,25 rezultira 58%-tnim smanjenjem gubitaka vode na postojećim oštećenjima, istovremeno smanjujući vjerojatnost pojave novih oštećenja i produljujući vijek trajanja cijevi. Drugim riječima, važnost redukcije tlakova osim smanjenja postojećih gubitaka proizlazi i iz nastojanja za smanjenjem vjerojatnosti pojave novih gubitaka (nova oštećenja cjevovoda, puknuća i dr.). Opisana FAVAD metoda koristit će se i pri provođenju narednih analiza utjecaja redukcije (smanjenja) tlakova na pojedinim dijelovima sustava uz preporučenu ugradnju ventila za redukciju tlaka.

5.2.2. Ventili za redukciju tlaka

Ukupna energija realne tekućine se računa prema Bernoullijevoj jednadžbi koja glasi:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + \Delta h = \text{const.}$$

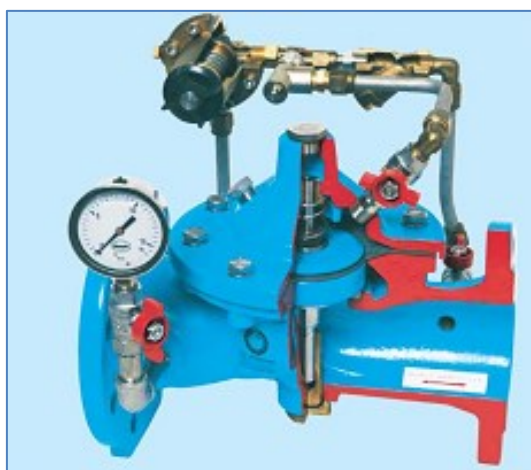
gdje je: z_1 – geodetska visina [m]

$\frac{v_1^2}{2g}$ – brzinska visina [m]

$\frac{p_1}{\rho g}$ - tlačna visina [m].

Član Δh [m] predstavlja linijske (ovise o hrapavosti cjevovoda, viskoznosti tekućine i brzini) i lokalne gubitke (ovise o hidrauličkom oblikovanju cjevovoda, suženje, proširenje, skretanje i dobiveni su eksperimentalno). Ventili za redukciju tlaka su hidraulički oblikovani tako da povećavaju lokalne gubitke i time djeluju na pad u energetskej liniji. Uz pretpostavku konstantnog protoka, brzinska visina ostaje jednaka, a tlačna visina pada.

Automatski regulacijski ventili imaju mogućnost prilagodbe promjeni protoka unutar sustava ili se unaprijed u određenim vremenskim intervalima može definirati veličina redukcije ili otpuštanja ventila (veća redukcija tlaka tijekom noćnog režima s minimalnom potrošnjom). Na taj način moguće je u pojedinim dionicama sustava izvršiti optimalnu kontrolu tlakova koja bi rezultirala znatnim smanjenjem ukupnih gubitaka [19.][20.].

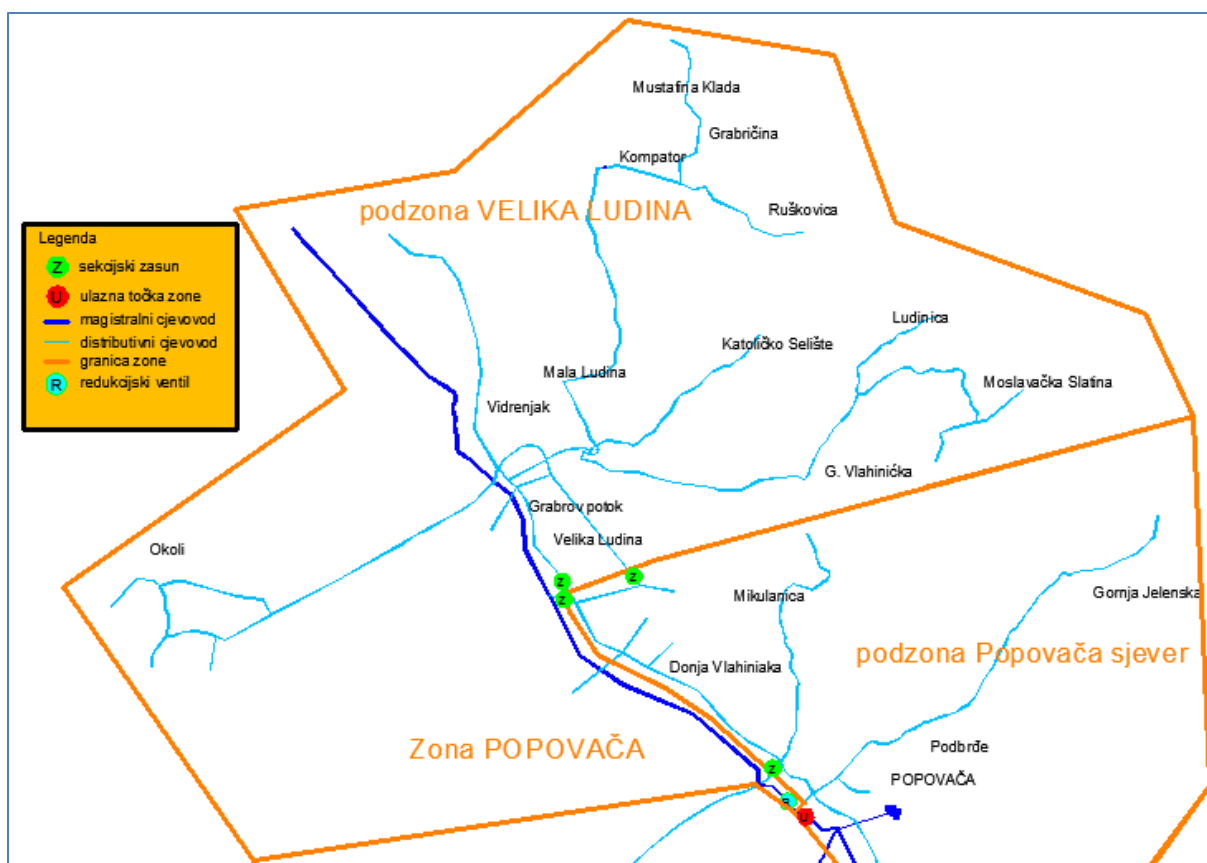


Slika 101 Ventil za redukciju tlaka

5.2.3. Mjere za smanjenje tlaka u zoni Popovača

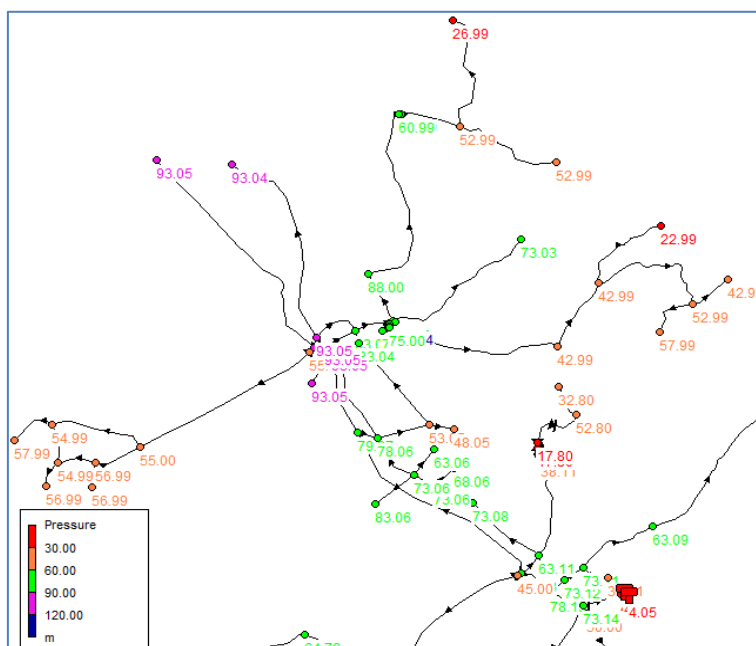
Zbog učinkovitijeg smanjenja tlaka, zona Popovača je podjeljena na tri podzone u kojima će se različito upravljati smanjenjem tlaka. Brojnim sekcijским zasunima je omogućeno da svaka podzona bude poseban sustav u koji voda dotiče kroz ulazni cjevovod, na kojemu možemo kontrolirati tlak i protok. Ventil za redukciju tlaka se postavlja na ulazu u podsustav i njime se regulira tlak na optimalnu vrijednost, pazeći da u svakoj dionici sustava ima potrebna vrijednost tlaka (za potrebe gašenja požara min. 25 m v.s., a stanovnicima je dovoljno i 15 m v.s.).

Podzona Velika Ludina

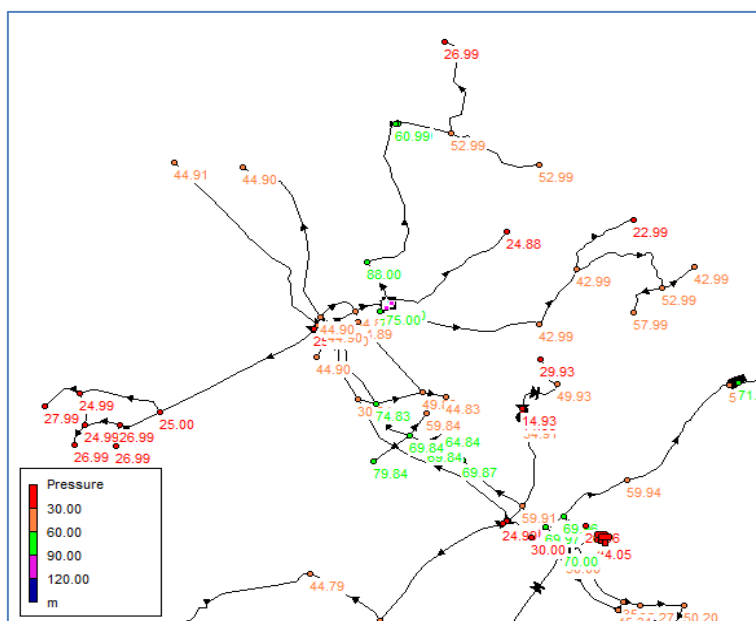


Slika 102 Podzona Velika Ludina

Podzona Velika Ludina je vodoopskrbni sustav, koji je pomoću tri sekcijška zasuna u naselju Velika Ludina i jednim u Popovači, odvojen od ostatka vodoopskrbnog sustava Kutina – Popovača (Slika 102). Vodu dobiva preko magistralnog cjevovoda DN 400 nodularnog Ilijeva s ulazom poslije križne šahte, neposredno prije odvajanja za Osekovo i Stručec. Na ulasku u zonu je postavljen ventil za redukciju tlaka.



Slika 103 Stanje prije redukcije tlaka u satu maksimalne potrošnje

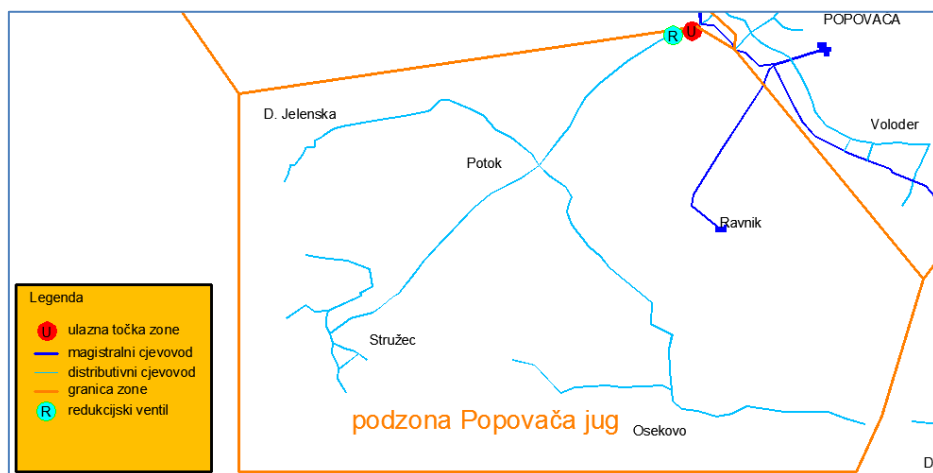


Slika 104 Stanje tlaka nakon ugradnje redukcijskog ventila u satu maksimalne potrošnje

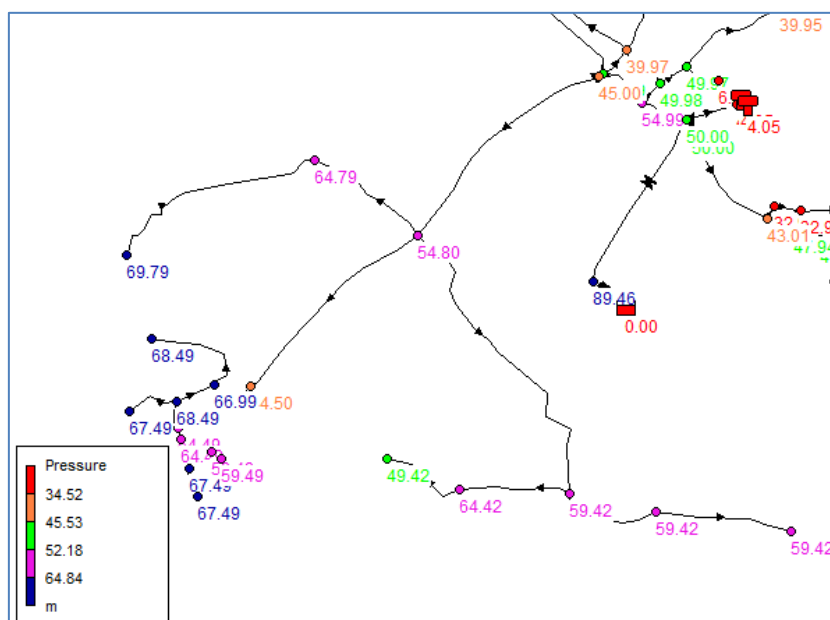
Ovime je smanjen tlak u naseljima Velika Ludina, Okoli, Vidrenjak i Grabrov Potok.

Podzona Popovača jug

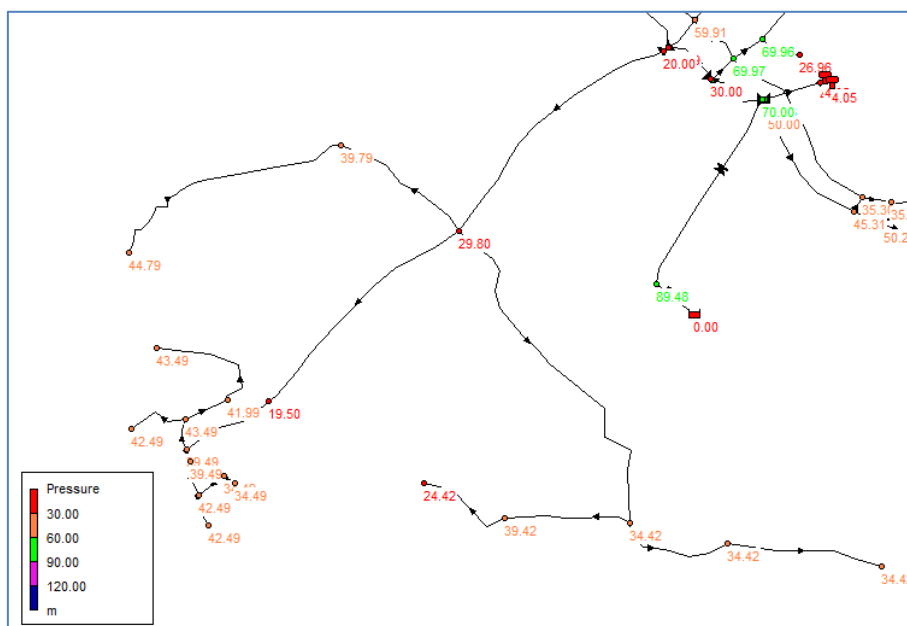
Podzona Popovača jug je podsustav u postojećem stanju s jednim ulazom nakon križne šahte u smjeru Popovače. Na ovom mjestu već postoji ventil za redukciju tlaka, koji snižava tlak na 50 m v.s. Analizom u matematičkom modelu je utvrđeno da se na tome mjestu tlak može dodatno sniziti s ciljem smanjenja gubitaka, a da pri tome stanovništvo ima dostatan tlak.



Slika 105 Podzona Popovača jug



Slika 106 Stanje tlaka prije redukcije u satu maksimalne potrošnje

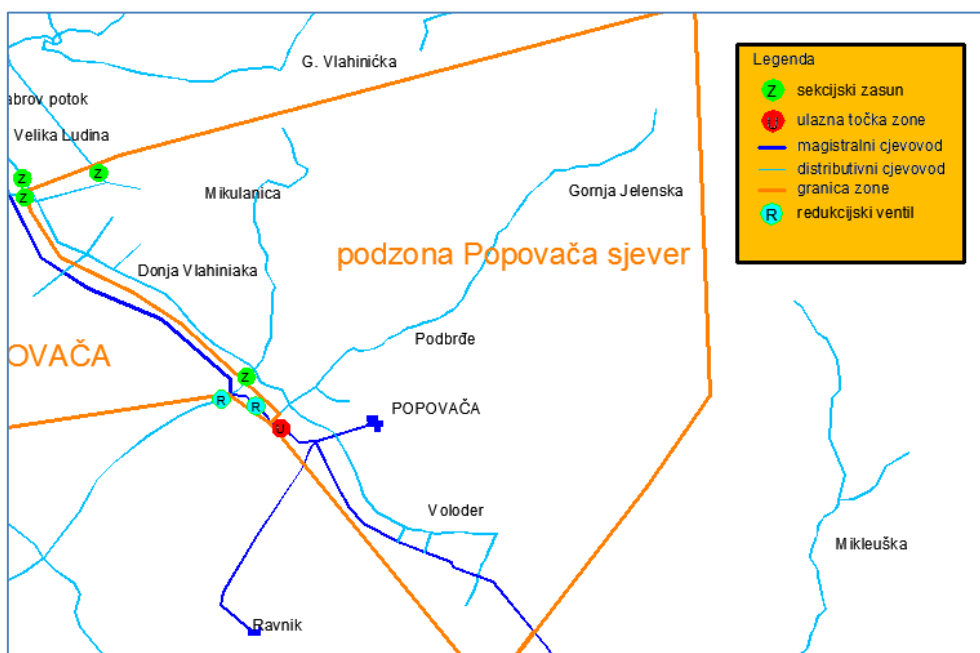


Slika 107 Stanje tlaka nakon redukcije u satu maksimalne potrošnje

Ovakvim načinom upravljanja je snižen tlak u naseljima Osekovo, Stručec, Donja Jelenska, Potok.

Podzona Popovača sjever

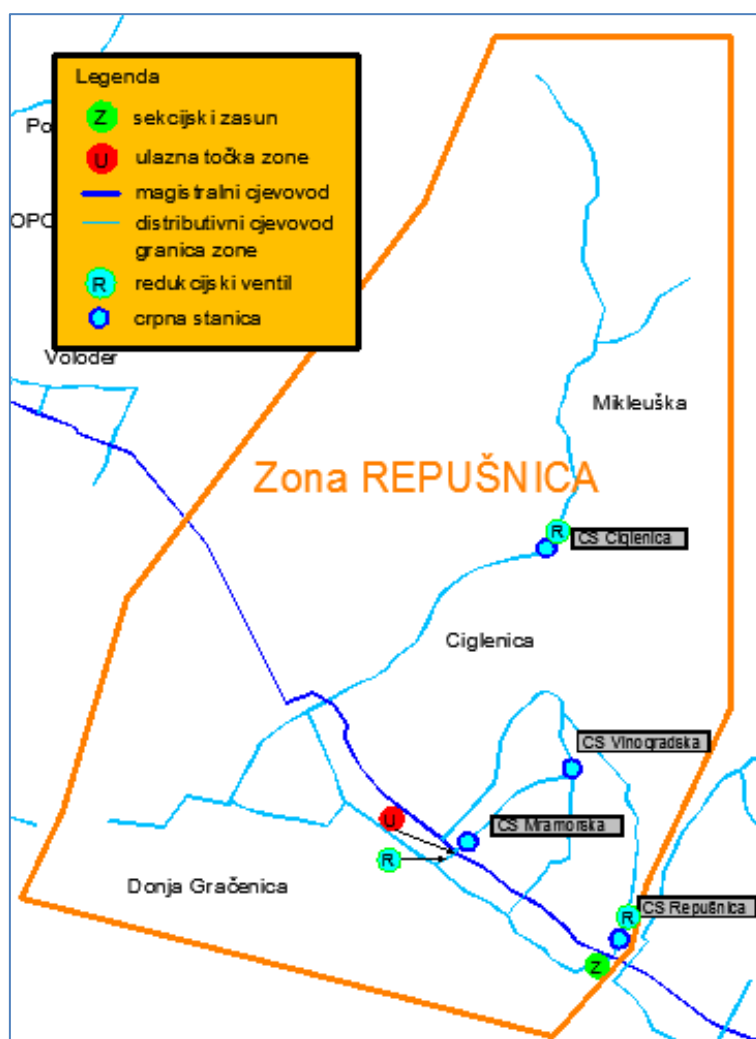
Ova zona dijeli sekcijske zasune sa zonom Velika Ludina (ukupno četiri sekcijaska zasuna). Time je dobivena zasebna podzona s jednim ulaznim cjevovodom (DN 500 iz križne šahte prema Popovači).



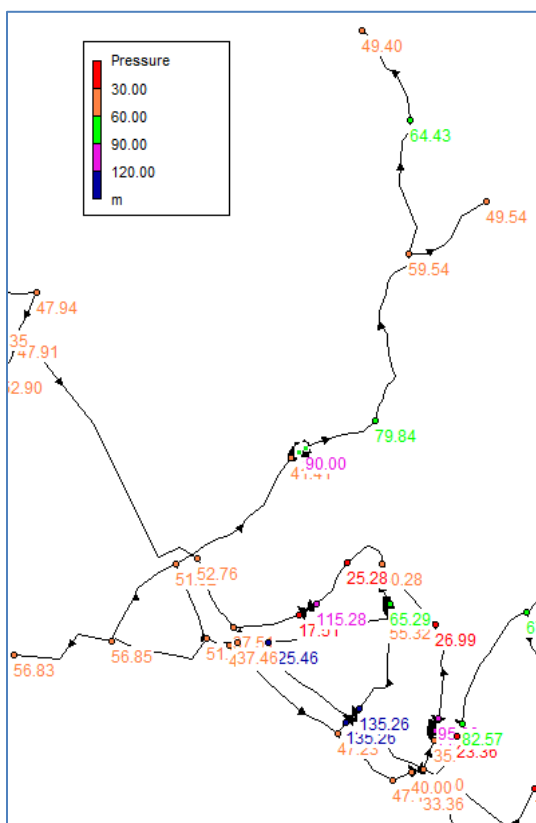
Slika 108 Podzona Popovača sjever

Za ovu zonu ugradnja redukcijskog ventila nije moguća. Sama zona nema veliku ukupnu duljinu cjevovoda čime smanjenje gubitaka daje malu ekonomsku dobit, a zbog brdovitog terena postoji nekoliko dionica na kojim je u postojećem stanju nizak tlak (25 m v.s.). Dodatnim smanjenjem te dionice bi izgubile tlak potreban stanovništvu za normalno korištenje vodoopskrbnog sustava.

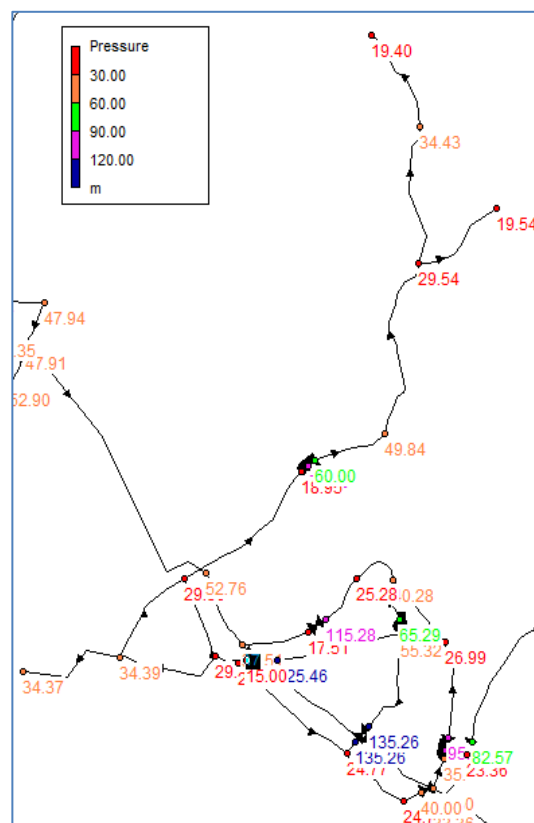
5.2.4. Mjere za smanjenje tlaka u zoni Repušnica



Zona Repušnica je pomoću sekcijskog zasuna na distributivnom cjevovodu u Repušnici odvojena od ostatka sustava. Jedini ulaz u zonu je neposredno prije odvajanja cjevovoda u smjeru Donje Gračevnice. Neposredno nakon ulaza je postavljen redukcijski ventil tlaka, koji spušta tlak na 20 m v.s. Prema postojećem stanju u ovoj zoni se nalaze još dva redukcijška ventila neposredno nakon crpne stanice „Ciglenica“ (spušta tlak na 90 m v.s.) i „Repušnica“ (spušta tlak na 95 m v.s.). Redukcijski ventil na crpnoj stanici „Ciglenica“ je dodatno smanjen na 60 m v.s.



Slika 109 Stanje tlaka prije redukcije u satu maksimalne potrošnje



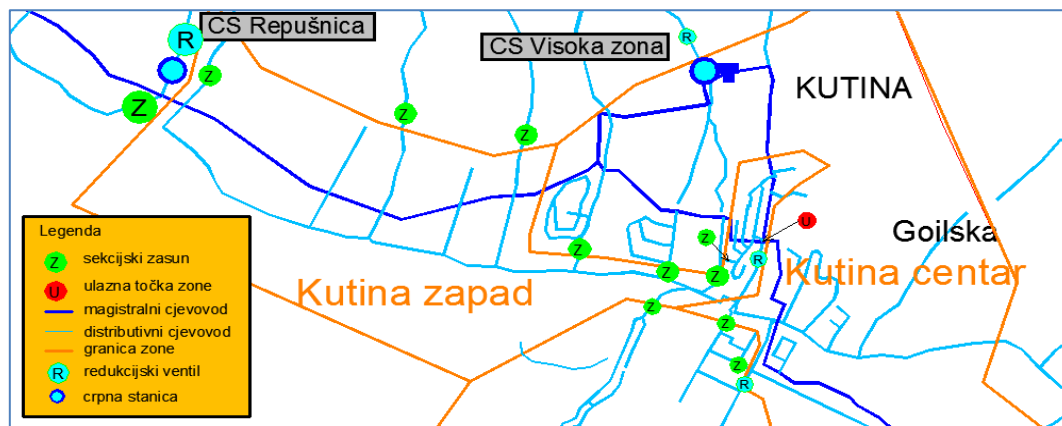
Slika 110 Stanje tlaka nakon redukcije u satu maksimalne potrošnje

Regulacijom rada postojećih redukcijskih ventila i ugradnjom dodatnog ventila postignuto je smanjenje tlaka u naseljima Repušnica, Donja i Gornja Gračenica, Ciglenica i Mikleuška.

5.2.5. Mjere za smanjenje tlaka u zoni Kutina

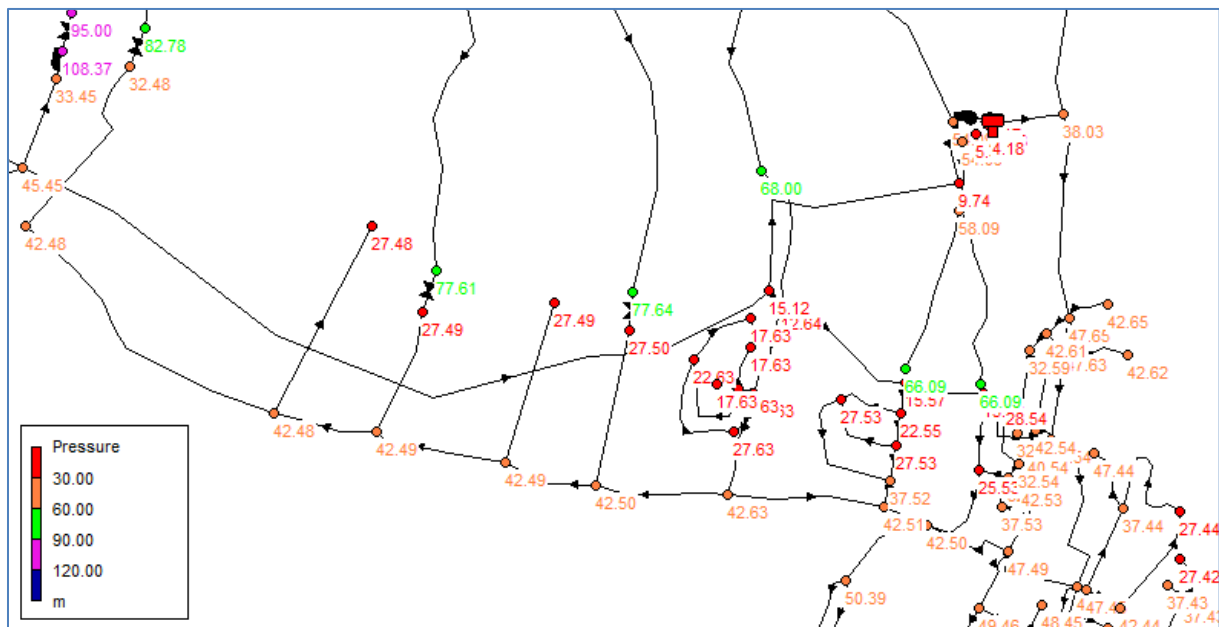
Zona Kutina je je također zbog učinkovitijeg smanjenja tlaka podijeljena na podzone.

Podzona Kutina zapad

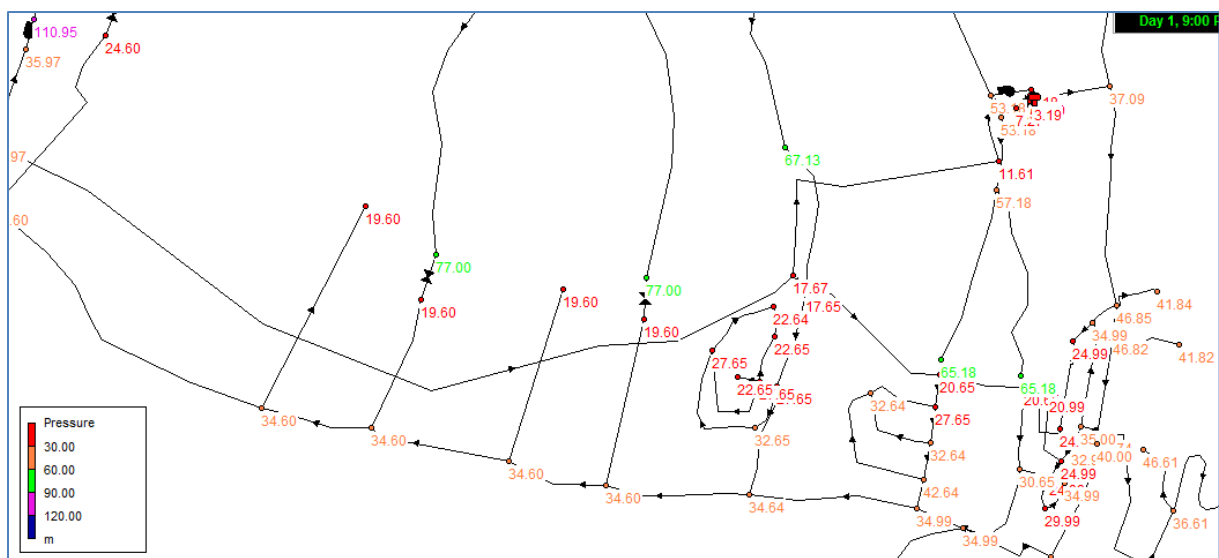


Slika 111 Podzona Kutina zapad

Podzona Kutina zapad je pomoću osam sekcijских ventila odijeljena od ostatka sustava. Ulaz vode u ovu podzону se vrši preko cjevovoda DN 300 (nodularni lijev) neposredno poslije nogometnog stadiona NK Moslavine. Na ulaznom cjevovodu je postavljen ventil za redukciju tlaka, koji snižava tlak na 40 m v.s.



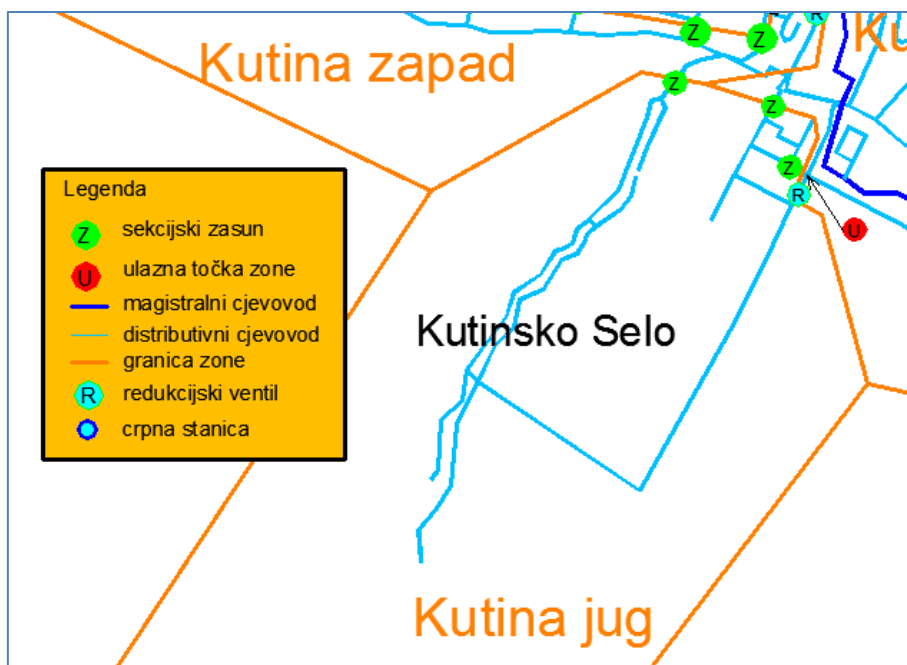
Slika 112 Stanje tlakova prije redukcije u satu maksimalne potrošnje



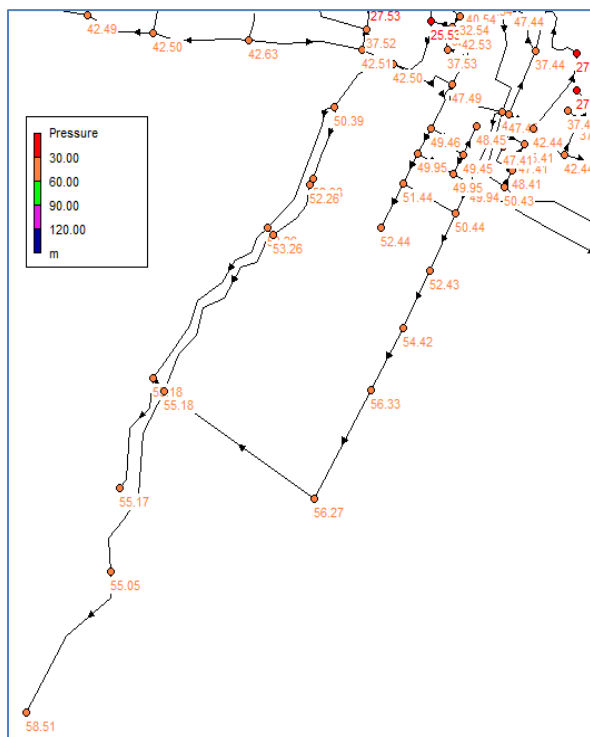
Slika 113 Stanje tlaka nakon redukcije u satu maksimalne potrošnje

Podzona Kutina jug

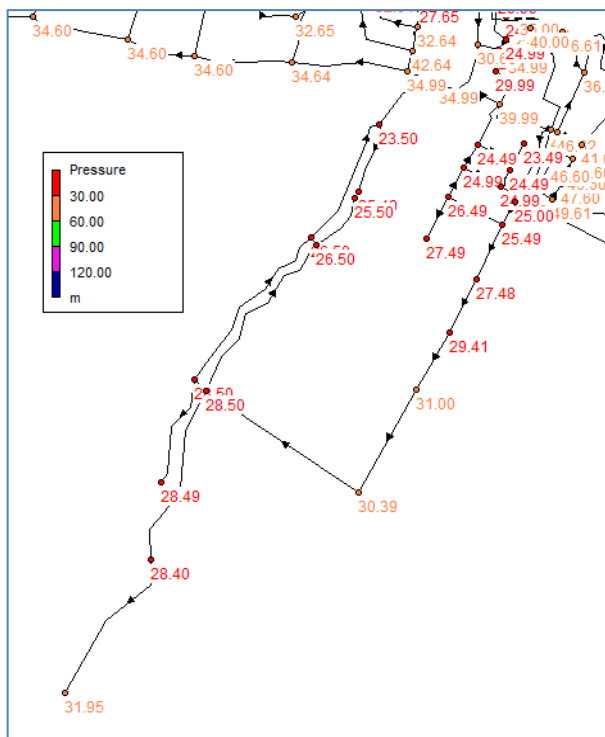
Podzona Kutina jug je od ostatka sustava odijeljena pomoću tri sekcijska zasuna. Ulaz u zonu se nalazi prije nadvožnjaka preko željezničke pruge pomoću cjevovoda NL DN 10.



Slika 114 Podzona Kutina jug



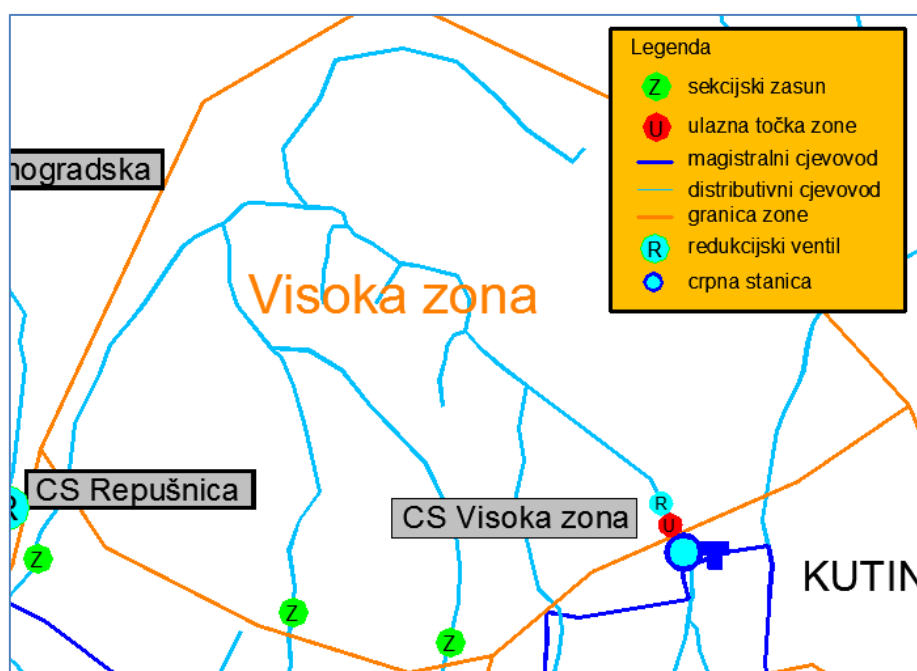
Slika 115 Stanje tlaka prije redukcije u satu maksimalne potrošnje



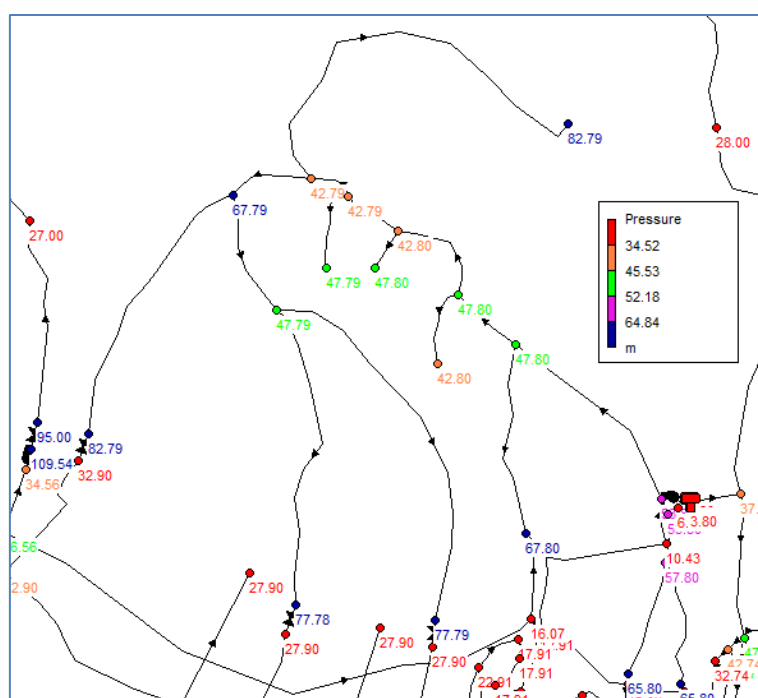
Slika 116 Stanje tlaka nakon redukcije u satu maksimalne potrošnje

Podzona Visoka zona

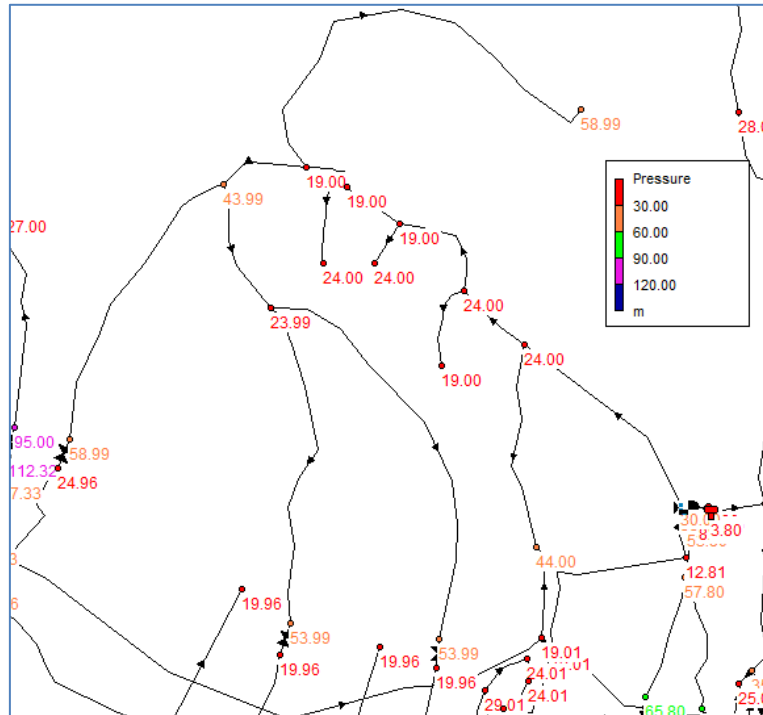
Ulaz u ovu podzону je preko crpne stanice „Visoka zona“, nakon vodospreme Kutina preko cjevovoda NL DN 150. Crpka šalje tlak veći nego što je potreban i iz tog razloga je postavljen ventil za redukciju tlaka neposredno nakon crpne stanice, koji snižava tlak na 30 m v.s.



Slika 117 Podzona Visoka zona



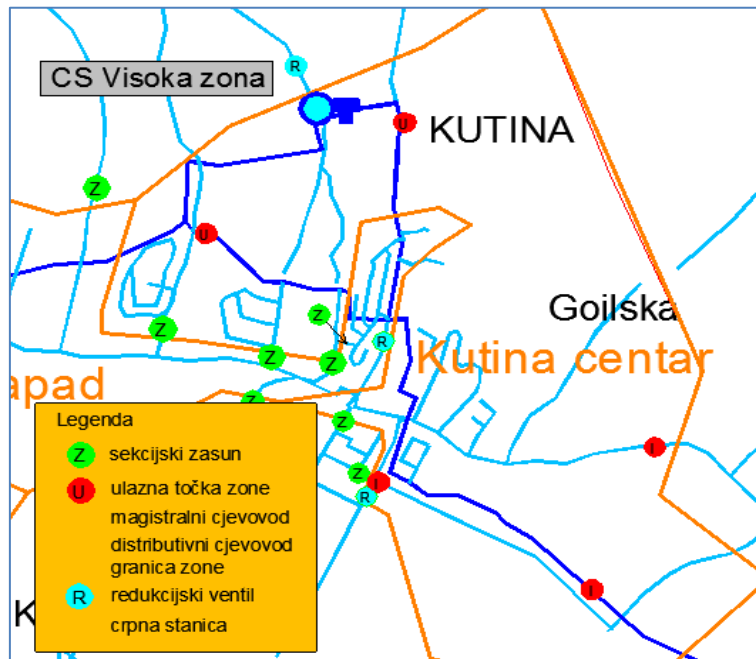
Slika 118 Stanje tlaka prije redukcije u satu maksimalne potrošnje



Slika 119 Stanje tlaka nakon redukcije u satu maksimalne potrošnje

Podzona Kutina centar

Zbog velikog broja ulaza i izlaza iz ove podzone, nije moguće kvalitetno reducirati tlakove u mreži. Također, prema postojećim tlakovima unutar ove zone, nije niti moguće dodatno smanjenje tlakova. Stoga je ova podzona izuzeta iz optimalizacije smanjenjem tlaka.



Slika 120 Podzona Kutina centar

5.2.6. Završni obračun

Ponderiranjem je utvrđen prosječan iznos smanjenja tlaka za svaku zonu i prema FAVAD metodi je izračunato smanjenje gubitka (curenja), koje je prikazano u Tablica 15.

S obzirom da su terenska mjerenja, samo na ulazu u pojedinu zonu Popovača, iznos smanjenja gubitaka se računao na nivou zone.

Koristeći podatak o cijeni metra kubnog zahvaćene vode, kao i u poglavlju 4.3. *Ekonomska analiza gubitaka*, izračunata je novčana ušteda na smanjenju gubitaka za trenutno i buduće stanje.

Tablica 15 Izračun uštede redukcijom tlaka za trenutno stanje

Zona	Postojeći gubitak	Postojeći srednji tlak	Reducirani tlak	Eksp. N1	Reducirani gubitak	Ukupno smanjenje curenja	Ukupno smanjenje curenja	Trenutna cijena kubnog metra	Godišnja ušteda (trenutno)
	l/s	m v.s.	m v.s.	[1]	l/s	l/s	m3/god	[kn/m3]	[kn]
Zona Popovača	5,32	63,77	44,42	1,15	3,51	1,81	57.109,08	5,00	285.545,38
Zona Repušnica	2,63	51,01	37,30	1,00	1,92	0,71	22.270,25		111.351,25
Zona Kutina	6,96	48,56	30,61	1,00	4,38	2,57	81.100,00		405.500,00
									802.396,62

Tablica 16 Izračun uštede redukcijom tlaka za razdoblje nakon 1.1.2015. godine

Zona	Postojeći gubitak	Postojeći srednji tlak	Reducirani tlak	Eksp. N1	Reducirani gubitak	Ukupno smanjenje curenja	Ukupno smanjenje curenja	Cijena kubnog metra od 1.1.2015	Godišnja ušteda (buduće)
	l/s	m v.s.	m v.s.	[1]	l/s	l/s	m3/god	kn/m3	kn
Zona Popovača	5,32	63,77	44,42	1,15	3,51	1,81	57.109,08	7,85	448.306,25
Zona Repušnica	2,63	51,01	37,30	1,00	1,92	0,71	22.270,25		174.821,46
Zona Kutina	6,96	48,56	30,61	1,00	4,38	2,57	81.100,00		636.634,99
									1.259.762,70

5.3. Tehnički detalji odabranih mjera optimalizacije

5.3.1. Općenito

Nakon odabranih mjera optimalizacije i točno određenih lokacija ugradnje ventila za redukciju tlaka unutar vodoopskrbnog sustava, potrebno je i detaljno prikazati njihovu izvedbu.

Za ugradnju redukcijskog sustava je potrebno izgraditi armirano – betonsko okno, gdje će biti smještene sve vodovodne armature (T komadi cijevi, filter za skupljanje nečistoća, odzračni ventil, zatvarači, redukcijski ventil). Da bi se znale točne dimenzije okna, potrebne dimenzije pojedinih armatura i njihov detaljan raspored, potrebno je nacrtati monterski i građevinski plan okna. U grafičkim prilogima, na kraju rada, se može vidjeti monterski i građevinski plan u mjerilu jednog takvog okna, koje je odabrano kao rješenje za optimalizaciju vodoopskrbnog sustava Kutina - Popovača.

Sustav za redukciju tlaka se sastoji od dva zatvarača, sa svake strane, filtra za skupljanje nečistoća, odzračnog ventila i ventila za redukciju. Navedeno se može vidjeti na Slika 121. On se uzgrađuje na postojeći cjevovod spajanjem pomoću dva T – komada [9].



Slika 121 Sustav za redukciju tlaka

Sustav se lako ugrađuje u postojeću vodoopskrbnu mrežu. On je u pravilu manjih promjera od postojećeg cjevovoda iz ekonomskih razloga. Nema potrebe kupovati vodovodne armature DN 300 i veće. Dodavanjem dva „T – komada“ i zatvarača na postojeći cjevovod je

voda preusmjerena na sustav za redukciju. U slučaju požara, zakonom je potreban protok od minimalno 10 l/s i tlak 25 m v.s. na izlaznoj točki. To najčešće nije moguće postići kroz ugrađeni smanjeni promjer na redukciji zbog prevelikih lokalnih gubitaka uslijed povećanja portoka (brzine). Stoga se otvara zatvarač na postojećem cjevovodu i voda se pušta kroz njega. Postojeći cjevovod je dimenzioniran na požar i on će osigurati potreban protok

5.3.2. Troškovnik

Unutar optimalizacije vodoopskrbnog sustava Kutina - Popovača ugrađeno je 5 sustava za redukciju tlaka, smještenih u odgovarajuća okna. Sustavi za redukciju tlaka su različiti na pojedinim odabranim lokacijama, tj. različite su dimenzije pojedinih vodovodnih armatura i s time je različita i cijena ugradnje. Prema troškovniku je dana okvirna cijena sustava za redukciju s ugradnjom.

Tablica 17 Troškovnik

Promjer regulacijskog cjevovoda	Jedinična cijena (nabava + ugradnja) [kn]	Potreban broj ventila	Cijena [kn]	Ukupno [kn]	Ušteda na gubitcima [kn]	Vrijeme otplate [mjesec]
150	60.000,00	3	180.000,00	390.000,00	802.396,62	6
300	90.000,00	1	90.000,00			
400	120.000,00	1	120.000,00			

7. Zaključak

Detaljnou analizom postojećeg stanja i analizom gubitaka je utvrđen točan iznos curenja na cjevovodima i armaturama te njihovo područje (zona). To bi bilo nemoguće bez matematičkog modela i terenskih mjerenja, kojima je model kalibriran. U analizi gubitaka je ispitano stanje sustava pomoću ILI indikatora, koji je opće prihvaćen i kao takav služi za međusobnu usporedbu kvalitete upravljanja vodoopskrbnim sustavima. On je pokazao zone u kojima bi se trebale poduzeti mjere unaprjeđenja, a to je smanjenje tlaka unutar vodovodne mreže zone Kutina i zone Repušnica. ILI indikator se također pokazao i nepouzdanim u zoni Popovača, gdje su zamjećeni vodni gubici koji izraženi u novcu predstavljaju znatan godišnji trošak. Također je uočeno kako ima velikih mogućnosti za njihovo smanjenje. Većinu vodoopskrbnih poduzeća smanjenje vodnih gubitaka ne zanima. To je razumljivo ako se radi o sustavu čije je izvorište na većoj nadmorskoj visini nego cijeli distributivni sustav. Međutim, ako se radi o obratnom slučaju, kada je svaki metar kubni potrebno tlačiti u sustav pomoću crpke, onda vodni gubici predstavljaju i veliki ekonomski gubitak za komunalno poduzeće. Stoga je u radu napravljena i ekonomska analiza gubitaka kojom je točno utvrđeno koliko novaca komunalnom poduzeću „odlazi u zemlju“. Dodatni pritisak za smanjenje gubitaka su napravile i Hrvatske vode, tako što će komunalno poduzeće morati plaćati naknadu za svaki zahvaćeni metar kubni vode. Kao preventivna mjera za smanjenje gubitaka, koristeći ventile za redukciju tlaka, je uspješno smanjen tlak u zonama Kutina, Popovača i Repušnica. Koristeći FAVAD metodu, kojom je opisana ovisnost vrijednosti tlaka i curenja, uspješno je izračunata točna vrijednost smanjenja gubitaka pomoću smanjenja tlaka. Za ovu mjeru smanjenja tlaka u sustavu je predviđeno 5 sustava za redukciju, čija je ugradba detaljno prikazana. S obzirom na ekonomski dobitak smanjenjem curenja ugradba se otplati za 6 mjeseci. Time su uspješno i uz financijski prihvatljiv iznos smanjeni vodni gubici.

Ovim putem zahvaljujem doc. dr. sc. Draženu Vouku na svim ustupljenim materijalima, satima poučavanja i savjetima iz prakse.

Također se zahvaljujem tvrtki „*Duplico d.o.o.*“ na ustupljenim terenskim mjerenjima.

Bez njih ovaj rad ne bi bio moguć.

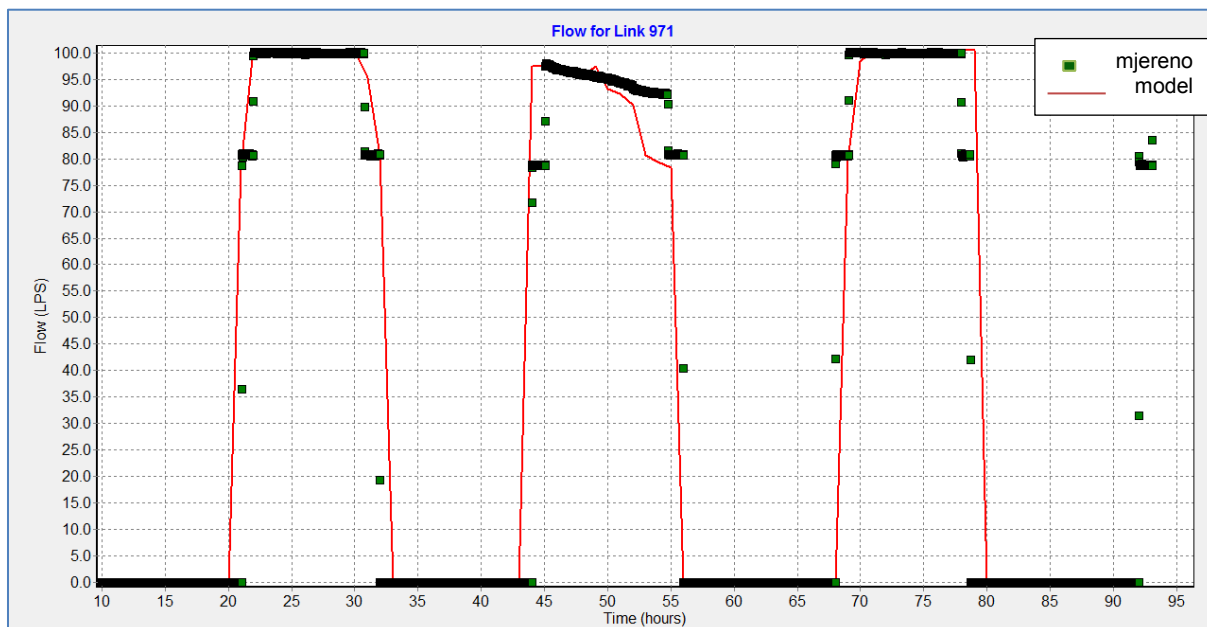
8. Popis literature

- [1.] <http://www.dzs.hr/> , Popis stanovništva 2011, 20. Ožujak 2014.
- [2.] <http://www.moslavina-kutina.hr/> , Infomaterijali, 25. Ožujak 2014.
- [3.] Vouk, D. Halkijević, I., Malus, D.; Vuković, Ž.: Matematičko modeliranje kao neizostavan segment analize vodnih gubitaka u vodoopskrbnim sustavima, *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji*, Beslić, M., Ban, D. (ur.), Velika Gorica, REVELIN d.o.o., 2012. 177-190
- [4.] Sethaputra, S., Limanond, Z., Wu, Z. Y., Thungkanapak, P., Arekul, K.: *Experiences using Water Network Analysis Modeling for Leak Localization*; u zborniku radova IWA Water Loss 2009 Congress, Cape Town
- [5.] Rossman, L.A.: EPANET 2 – USERS MANUAL, EPA/600/R-00/057, Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of research and development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati
- [6.] Shinozuka, M., Liang, J.: Use of SCADA for Damage Detection of Water Delivery Systems, *Journal of Engineering Mechanics*, 131 (3), 225-230.
- [7.] Farley, B., Boxall J.B., Mounce S.R.: Optimal location of pressure meters for burst detection, 10th Annual International Symposium on Water Distribution System Analysis, 17-20th August 2008., *Kruger National Park, South Africa*
- [8.] Janković-Nisić, B., Maksimović, C., Butler, D., Graham, N.: Use of Flow Meters for Managing Water Supply Networks, *Journal of Water Resources, Planning and Management*, 130 (2), 171-179.
- [9.] Bentley Systems: *WaterGEMS v8i User Manual*, Heastad Solution Center, 27 Siemon Company Drive, Suite200W, Watertown CT, USA
- [10.] IWA (2007a): *DMA Guidance Notes*, IWA Water Loss Task Force, 2007. www.iwaom.org/wlwf
- [11.] Lambert, A. O., McKenzie, R. D.: Practical Experience in Using the Infrastructure Leakage Index, *Proc. of IWA Conference in Leakage Management*, Lemesos, Cyprus, November 2002.
- [12.] Vouk, D., Malus, D., Vuković, Ž., Halkijević, I.: Ekonomska analiza vodnih gubitaka. *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji*, Beslić, M., Ban, D. (ur.); Velika Gorica, REVELIN d.o.o., 2012. 111-120
- [13.] Vouk, D., Halkijević, I., Vuković, Ž.: Water loss analysis – Croatian practice, *Proceedings on CD from the IWA Specialist Conference*, Fantozzi, Marco (ur.). Ferrara, 2012. 1-13

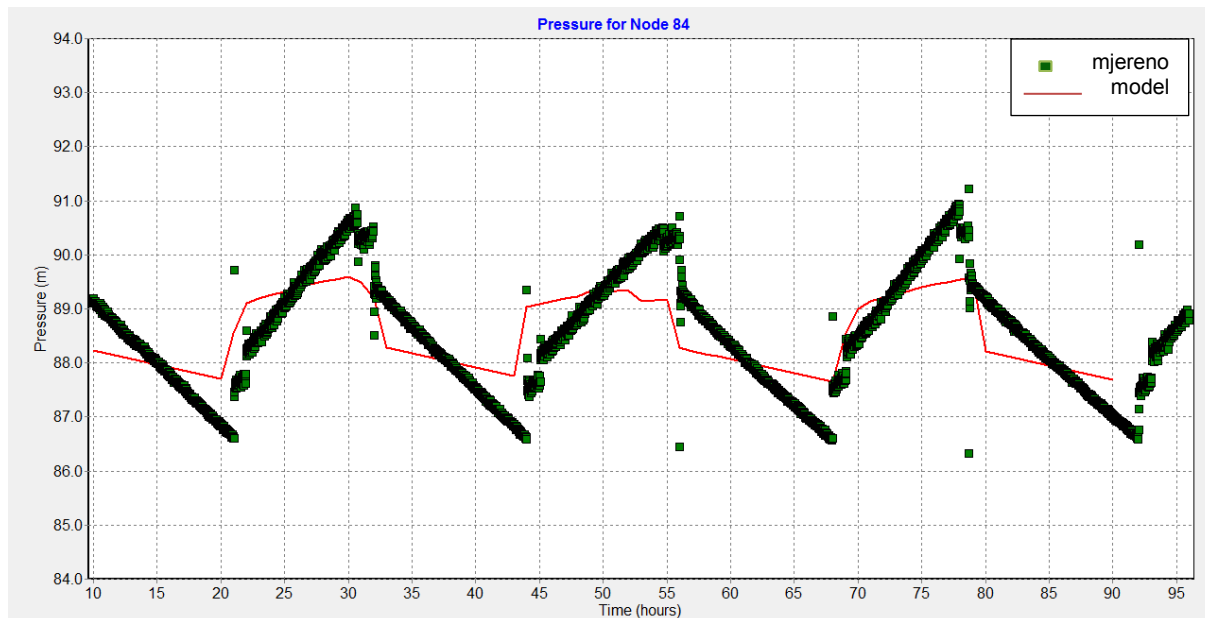
- [14.] Vouk, D., Malus, D., Halkijević, I., Nakić, D.: Mathematical Modeling of Water Supply Systems with Focus on the Water Loss Analysis, *Proceedings of the 13th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering*, Šoltész, Andrej (ur.); Bratislava: Slovak University of Technology, 2013. 393-407
- [15.] Wu, Z. Y., Sage, P., Turtle, D.: Pressure Dependent Leakage Detection Approach and its Application to District Water Systems“, *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 136, No 1. pp. 116 – 128.
- [16.] Halkijević, I., Vuković, Ž., Vouk, D.: *Optimalno upravljanje gubicima vode javne vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj*, 2011. 15-1-15-12
- [17.] Germanopoulos, G., Jowit, P.W.: Leakage reduction excessive pressure minimization in a water supply network, *Proc. Inst. Civ. Eng., Part 2. Res Theory*, 87, 195 – 214, 1989.
- [18.] May, J.: Leakage, Pressure and Control, *BICS International Conference on Leakage Control*, London, 1994.
- [19.] Thornton, J.: Managing Leakage by managing pressure: A practical approach, *Water 21*, October issue, P43-44.
- [20.] Walski, T., Bezts, W., Poslszny, E.T., Weir, M., Whitman, B.: Modeling leakage reduction through pressure control, *Journal AWWA*, 94:4, 147, April 2006.

9. Grafički prilozi

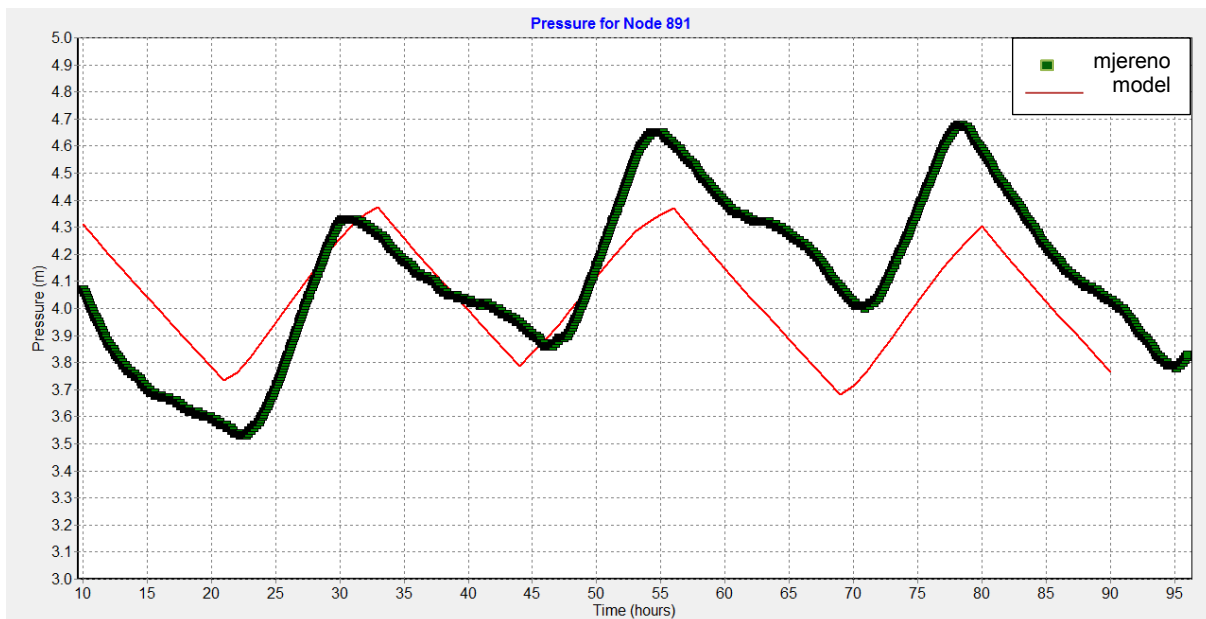
9.1. Rezultati kalibracije



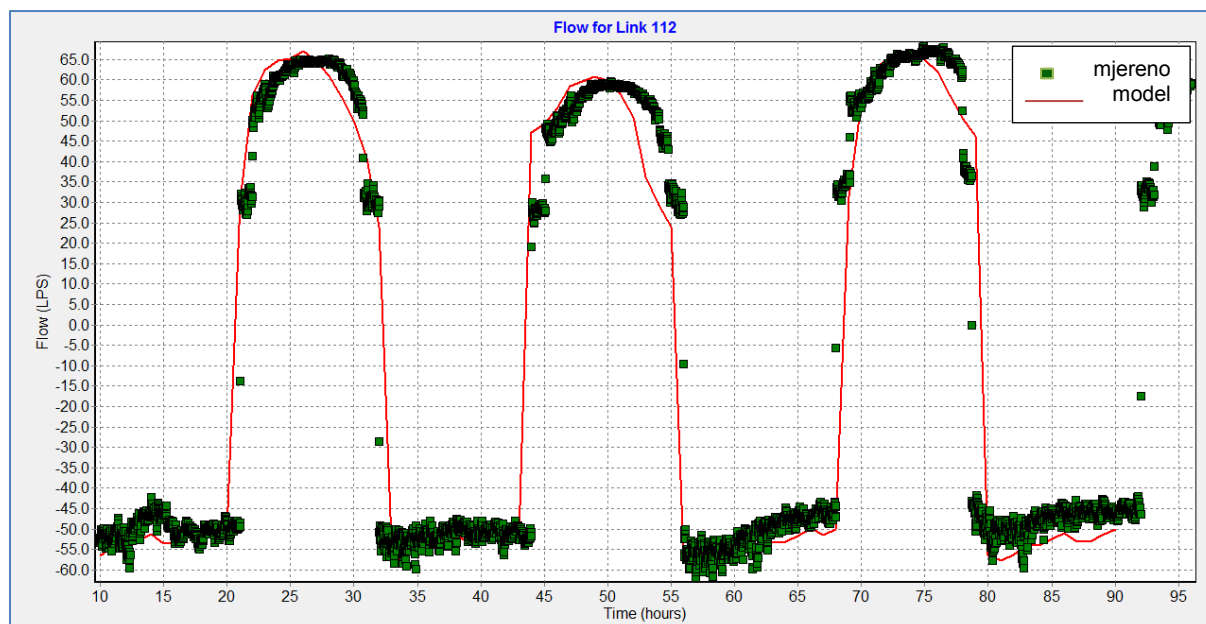
Slika 122 Rezultati kalibracije, mjerna točka F3, crpka Ravnik, protok



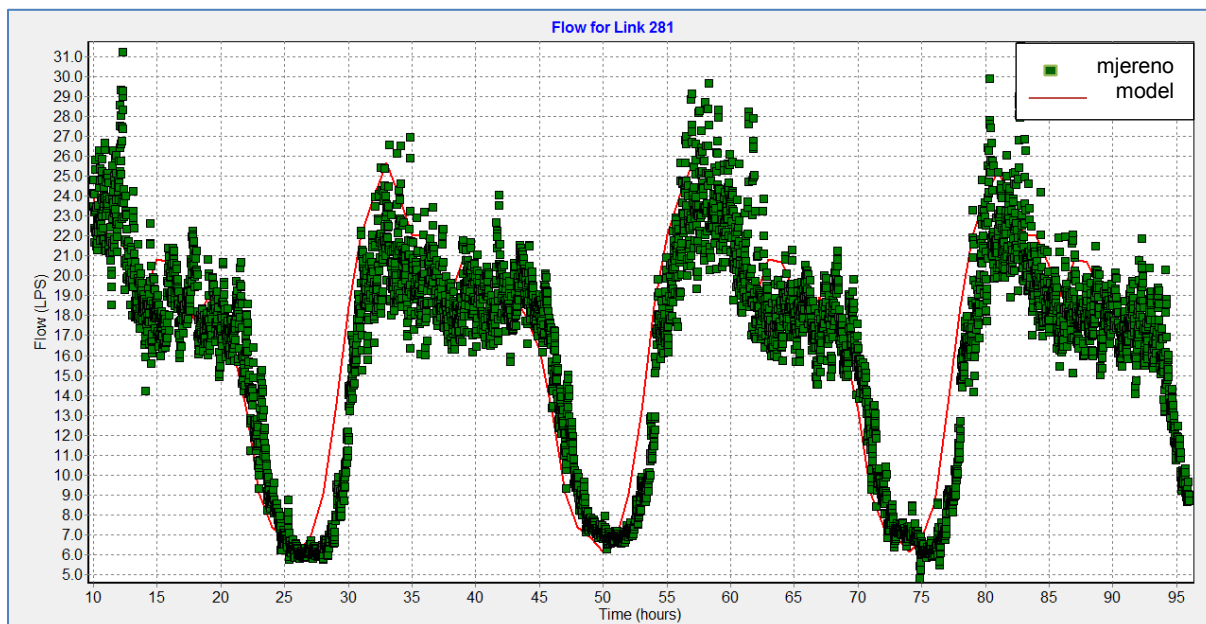
Slika 123 Rezultati kalibracije, mjerna točka P3, izlazni tlak crpke Ravnik



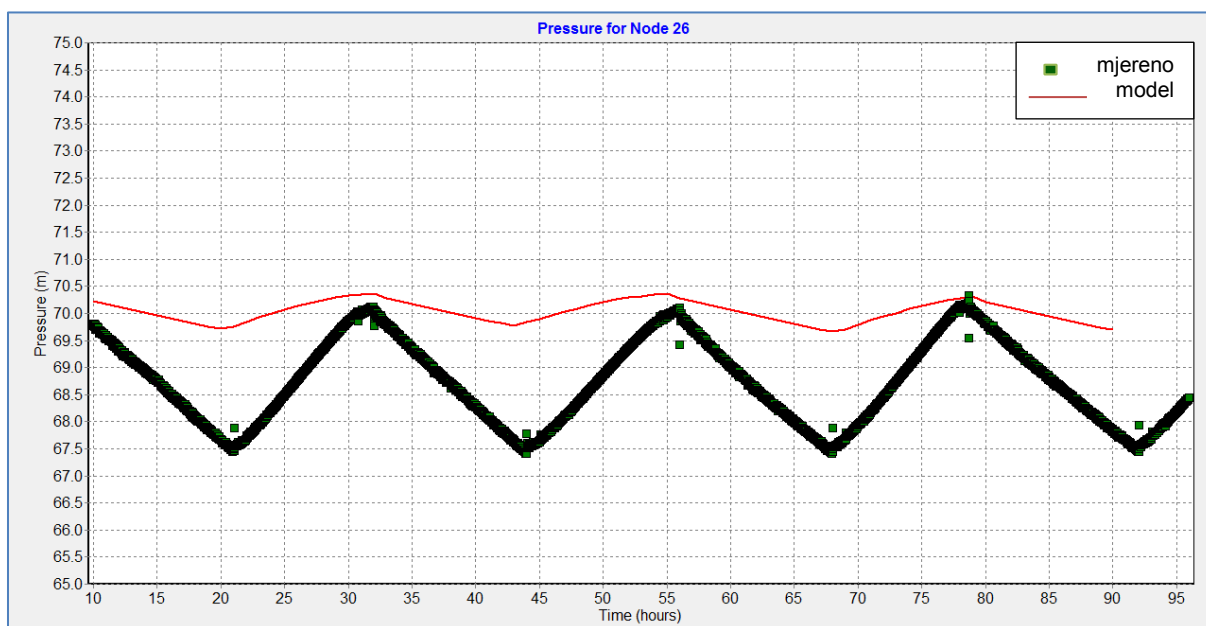
Slika 124 Rezultati kalibracije, mjerna točka L1, vodosprema Veliko Brdo, spremnik 1, razina vode



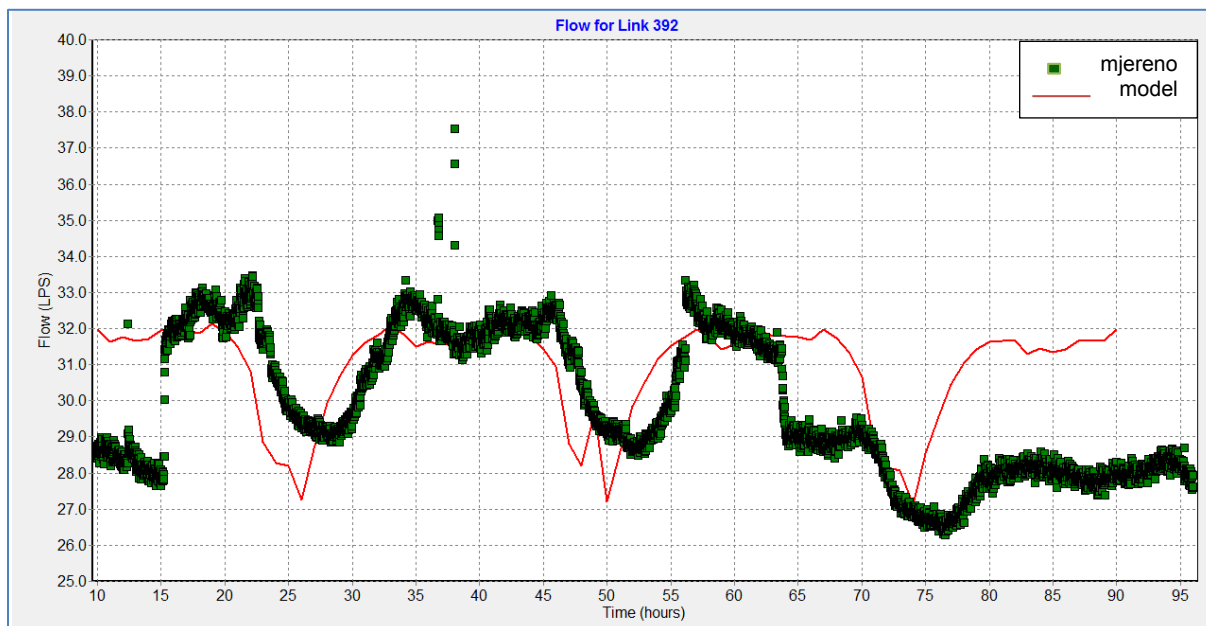
Slika 125 Rezultati kalibracije, mjerna točka F13, protok u vodospremu Veliko Brdo



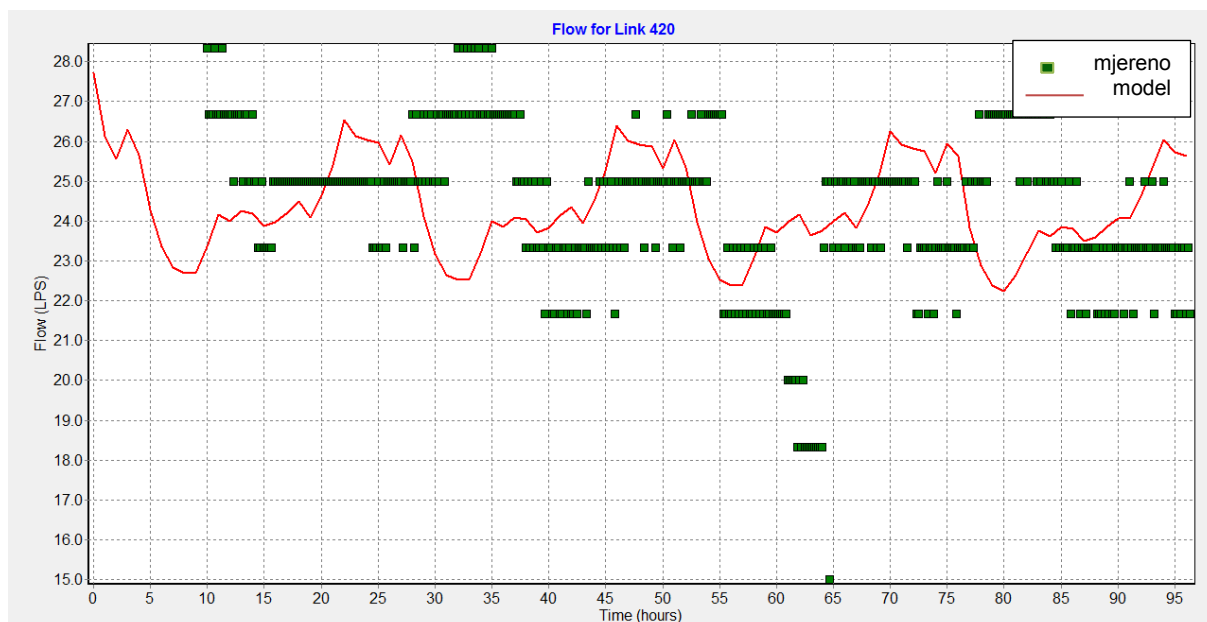
Slika 126 Rezultati kalibracije, mjerna točka F1, križna šahta, protok prema Popovači



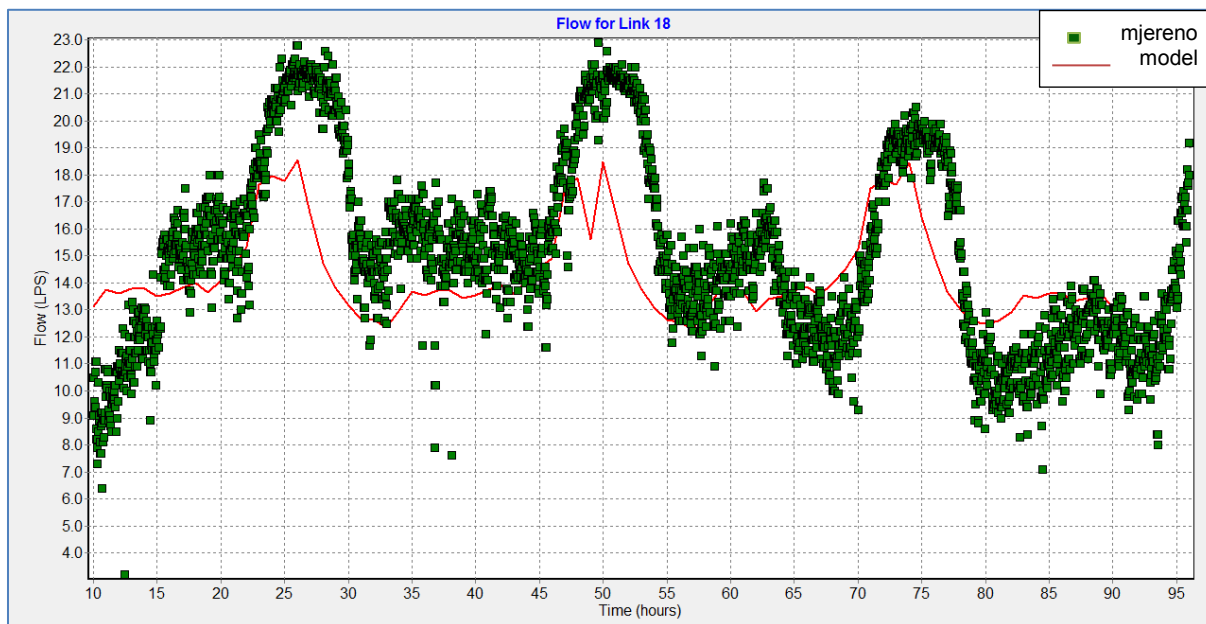
Slika 127 Rezultati kalibracije, mjerna točka P1, križna šahta, tlak prema Popovači



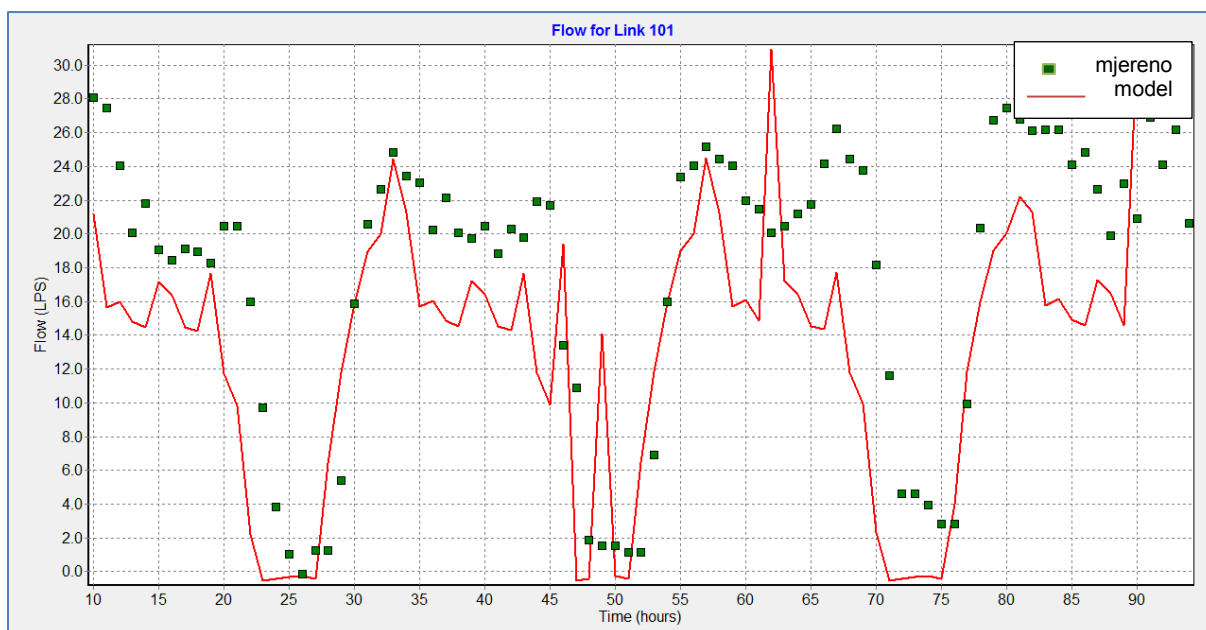
Slika 128 Rezultati kalibracije, mjerna točka F2, križna šahta, protok prema Kutini



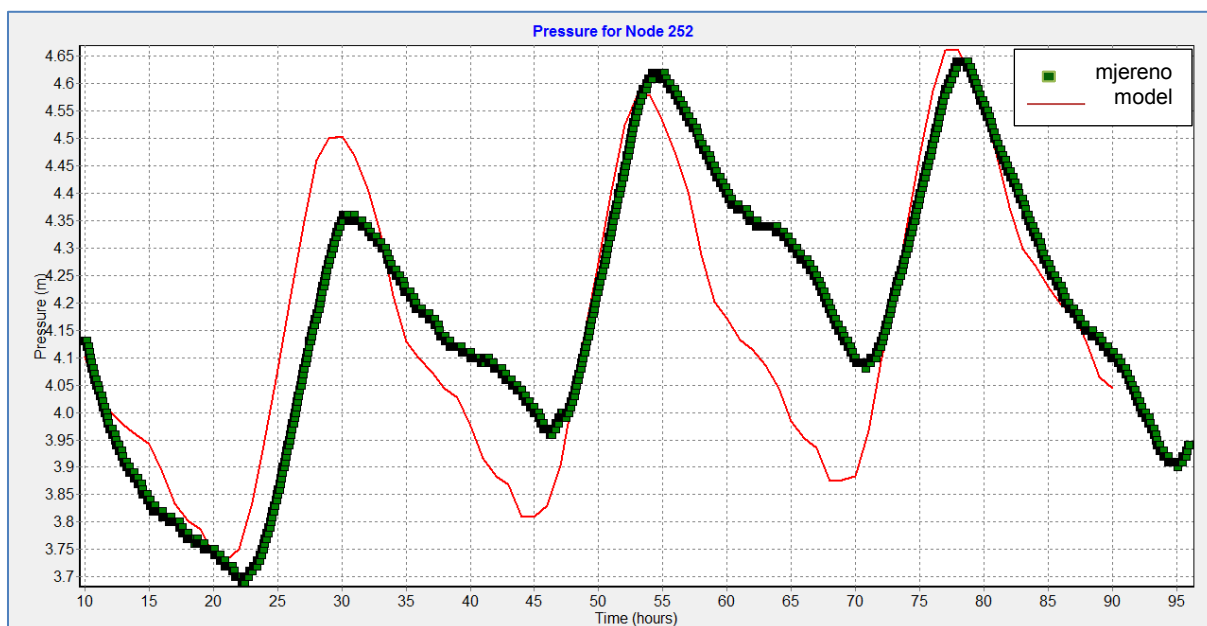
Slika 129 Rezultati kalibracije, mjerna točka F4, ulazni protok u Kutinu



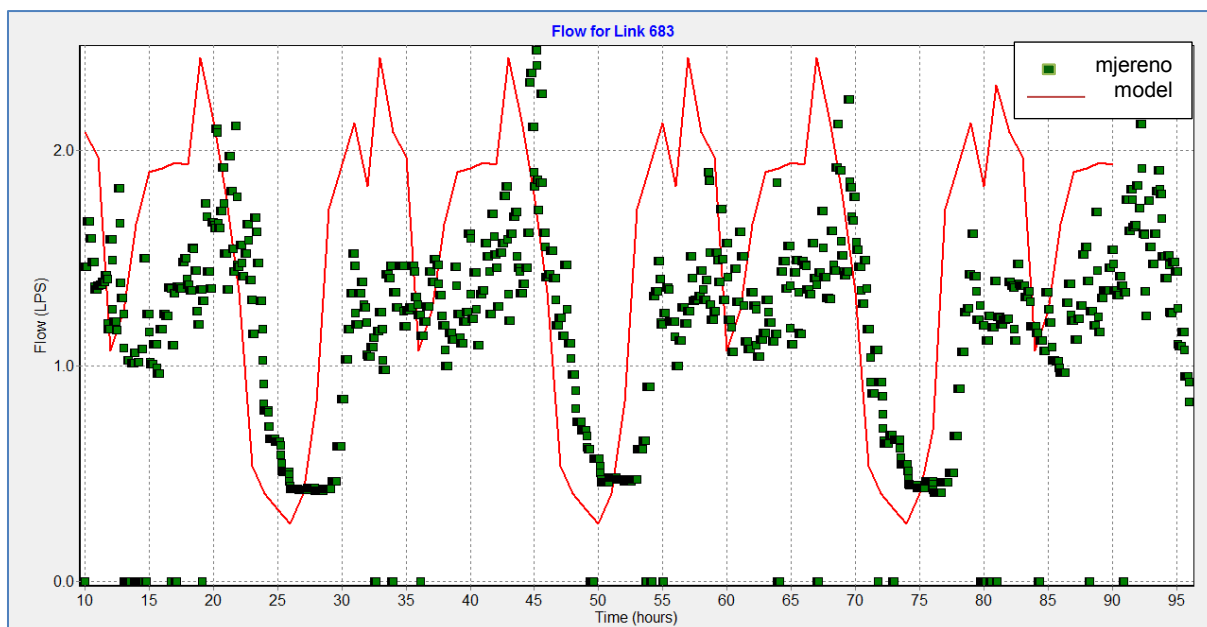
Slika 130 Rezultati kalibracije, mjerna točka F6, protok u vodospremu Kutina



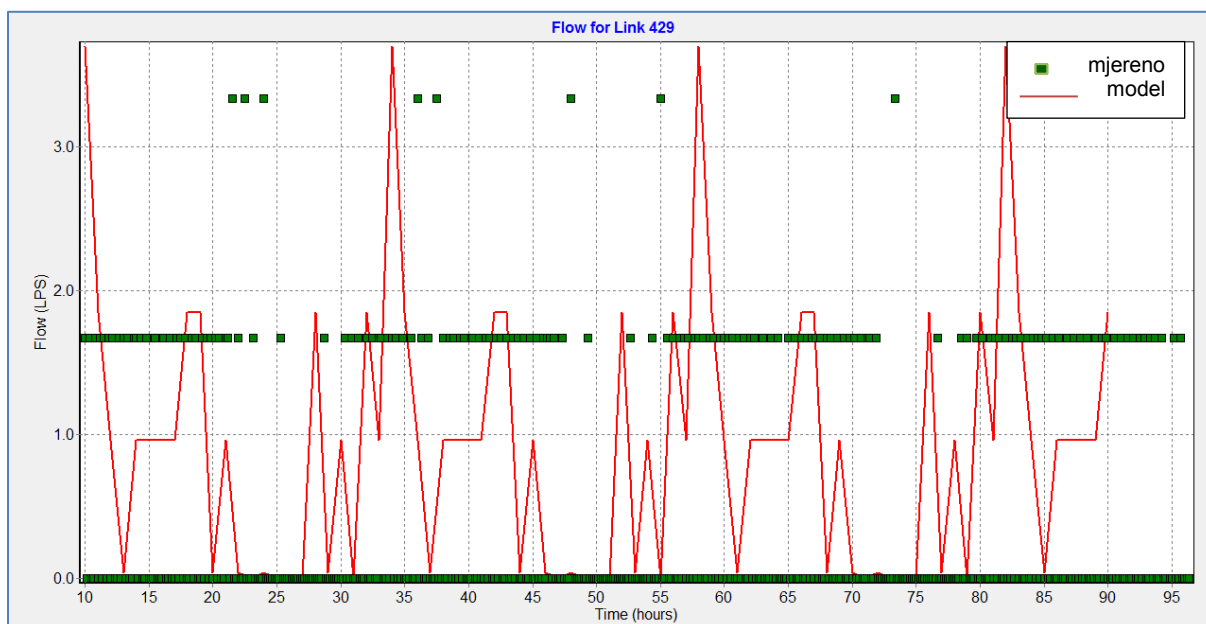
Slika 131 Rezultati kalibracije, mjerna točka F7, protok iz vodospreme Kutina



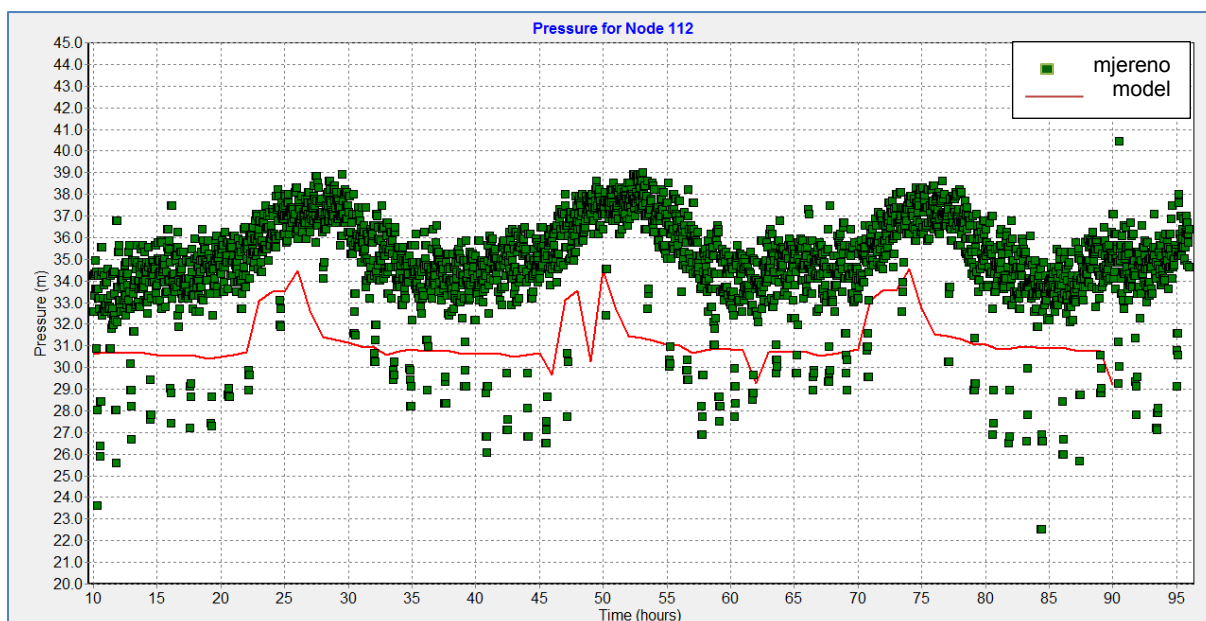
Slika 132 Rezultati kalibracije, mjerna točka L2, razina vode u vodopremi Kutina



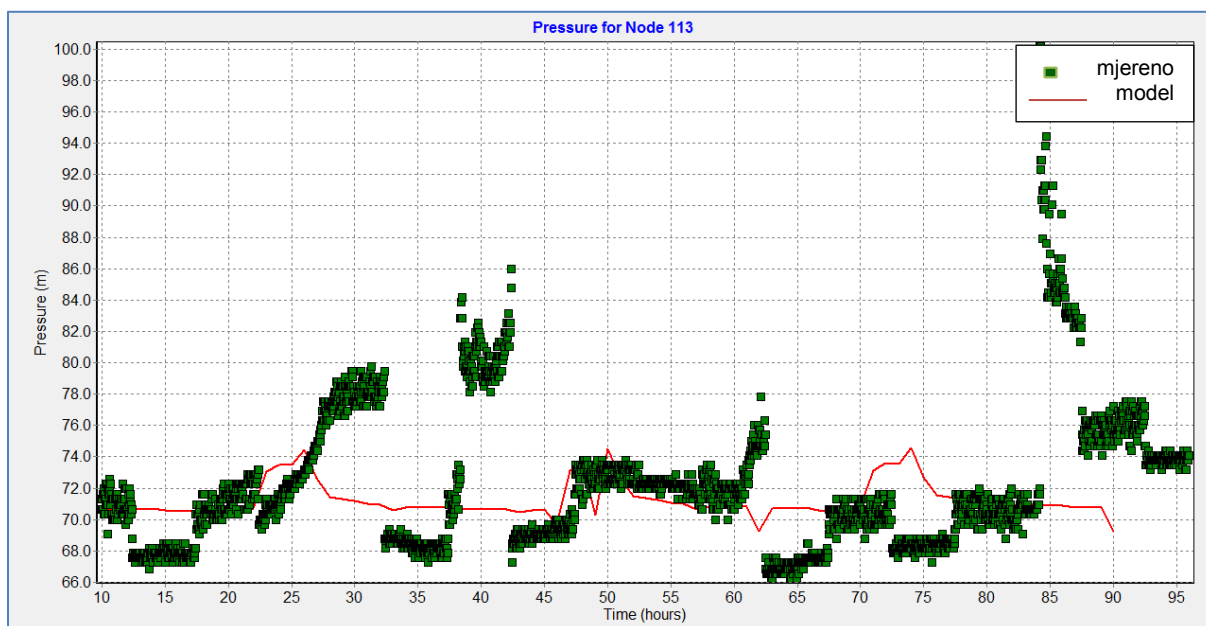
Slika 133 Rezultati kalibracije, mjerna točka F8, protok prema Visokoj zoni



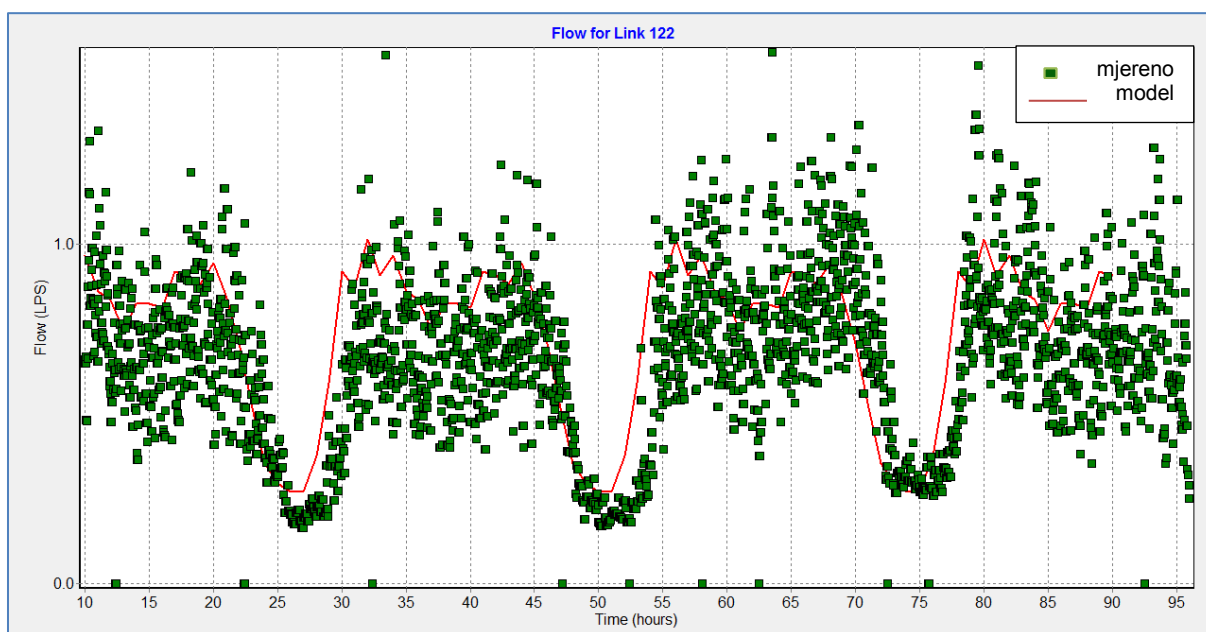
Slika 134 Rezultati kalibracije, mjerna točka F9, protok prema Šartovcu



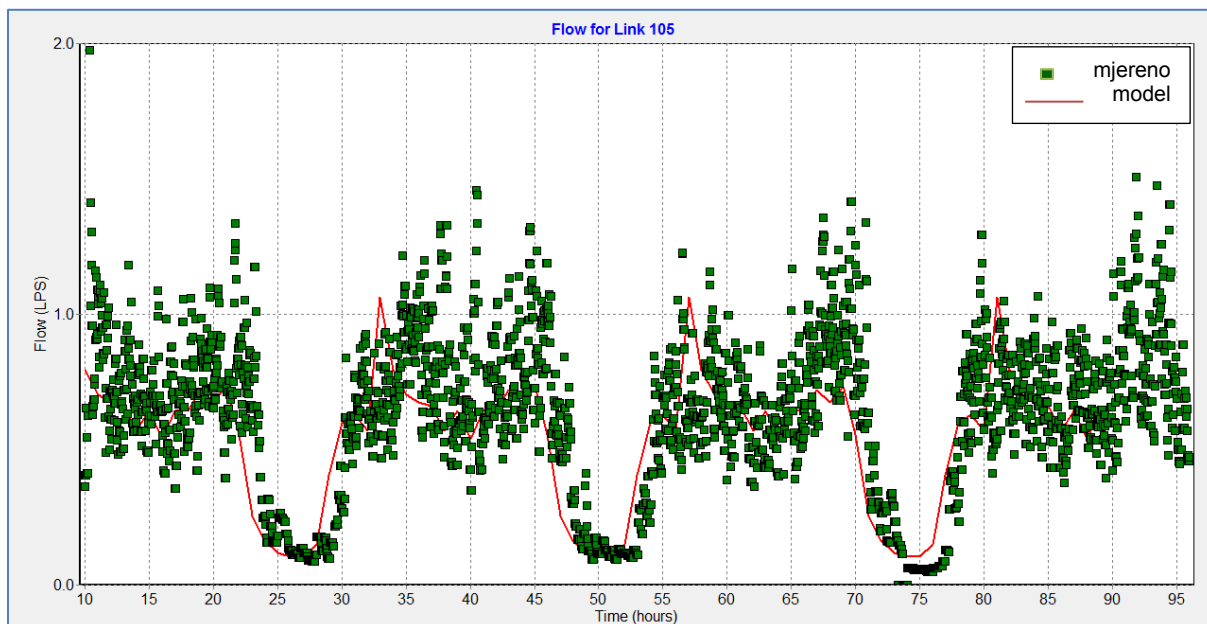
Slika 135 Rezultati kalibracije, mjerna točka P10, tlak prije crpne stanice Goilska



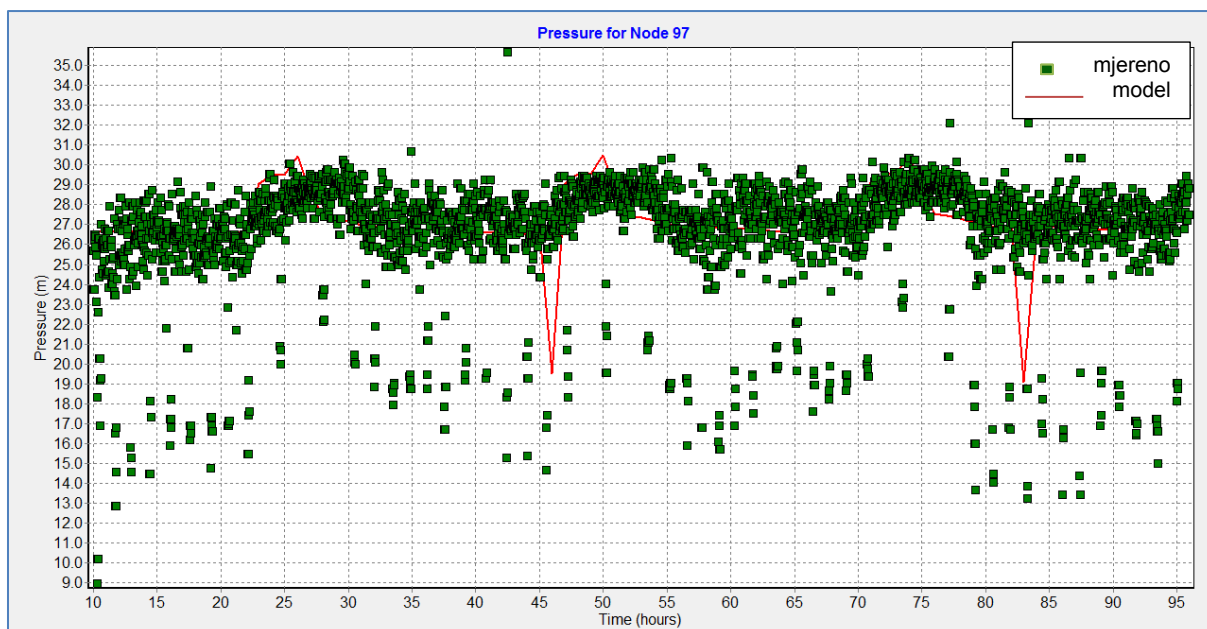
Slika 136 Rezultati kalibracije, mjerna točka P10, tlak poslije crpne stanice Goilska



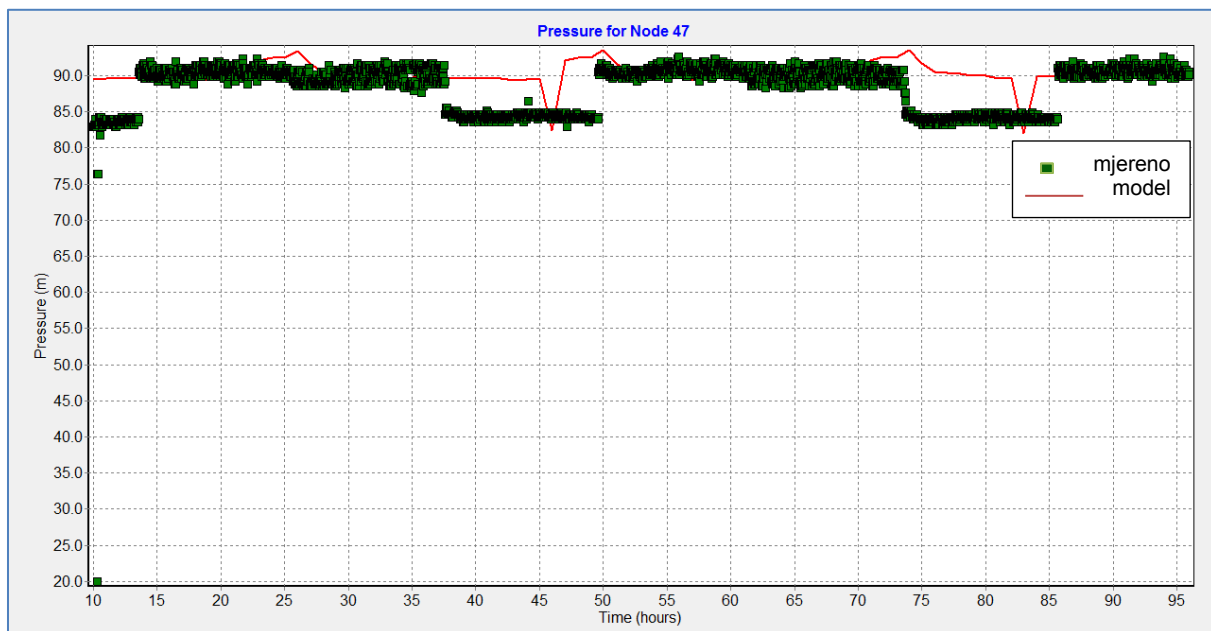
Slika 137 Rezultati kalibracije, mjerna točka F10, protok iz crpne stanice Goilska



Slika 138 Rezultati kalibracije, mjerna točka F12, protok iz crpne stanice Husain

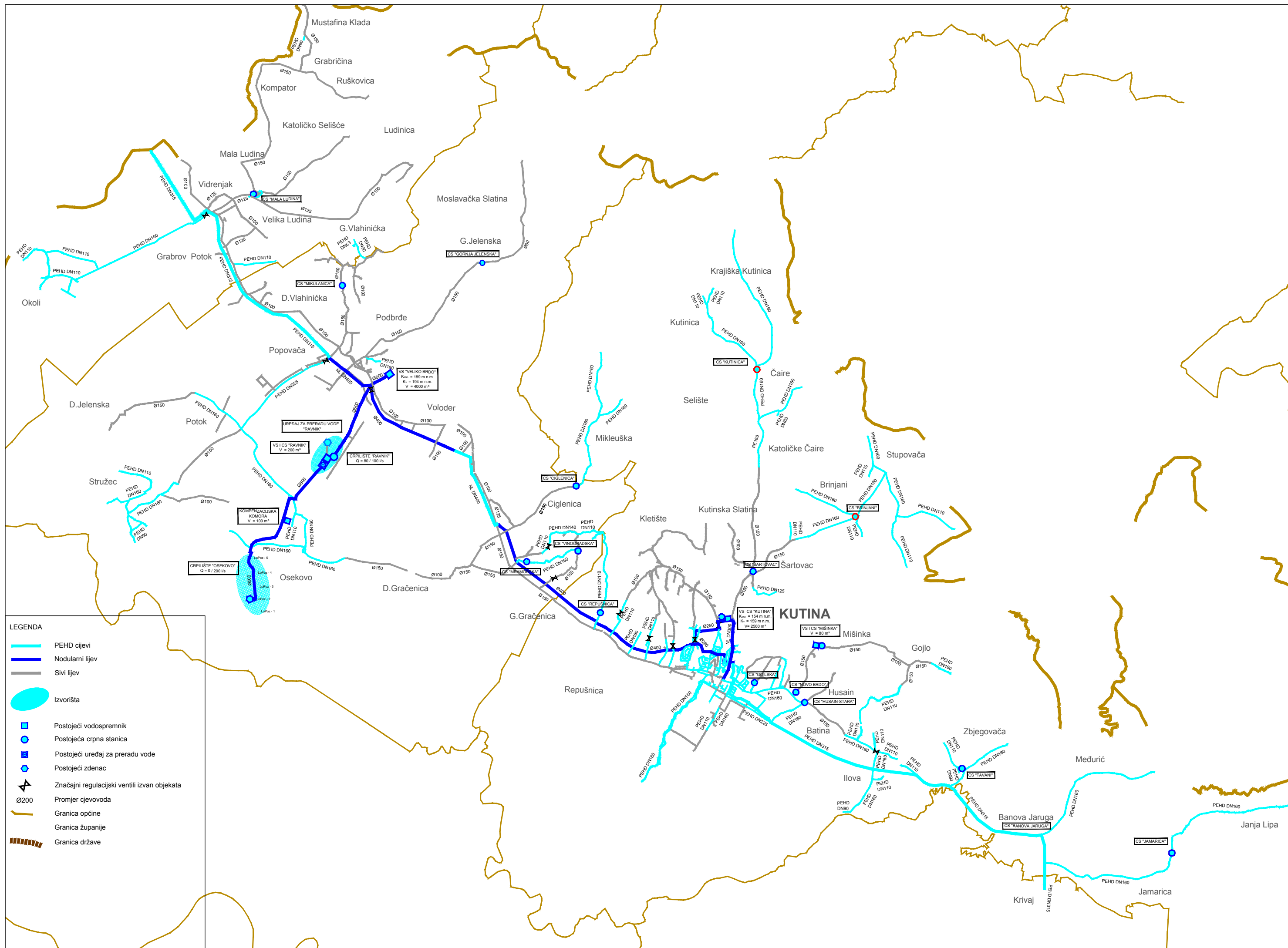


Slika 139 Rezultati kalibracije, mjerna točka P12, tlak prije crpne stanice Husain



Slika 140 Rezultati kalibracije, mjerna točka P12, tlak poslije crpne stanice Husain

9.2. Karte, monterski i građevinski plan



LEGENDA

- PEHD cijevi
- Nodularni lijev
- Sivi lijev
- Izvorišta
- Postojeći vodospremnik
- Postojeća crpna stanica
- Postojeći uređaj za preradu vode
- ◆ Postojeći zdenac
- ✚ Značajni regulacijski ventili izvan objekata
- Ø200 Promjer cjevovoda
- Granica općine
- Granica županije
- Granica države

UREĐAJ ZA PRERADU VODE "RAVNIK"
 VS I CS "RAVNIK"
 V = 200 m³

CRPILIŠTE "RAVNIK"
 Q = 80 / 100 l/s

KOMPENZACIJSKA KOMORA
 V = 100 m³

CRPILIŠTE "OSEKOVO"
 Q = 0 / 200 l/s

VS "VELIKO BRDO"
 K₁₀₀ = 189 m n.m.
 K₁₅₀ = 194 m n.m.
 V = 4000 m³

KUTINA

VS CS "KUTINA"
 K₁₀₀ = 154 m n.m.
 K₁₅₀ = 159 m n.m.
 V = 2500 m³

VS I CS "MIŠINKA"
 V = 80 m³

CS "KUTINICA"

CS "KIGLENICA"

CS "VINOGRAĐSKA"

CS "REPUSNICA"

CS "SARTOVAC"

CS "MIŠINKA"

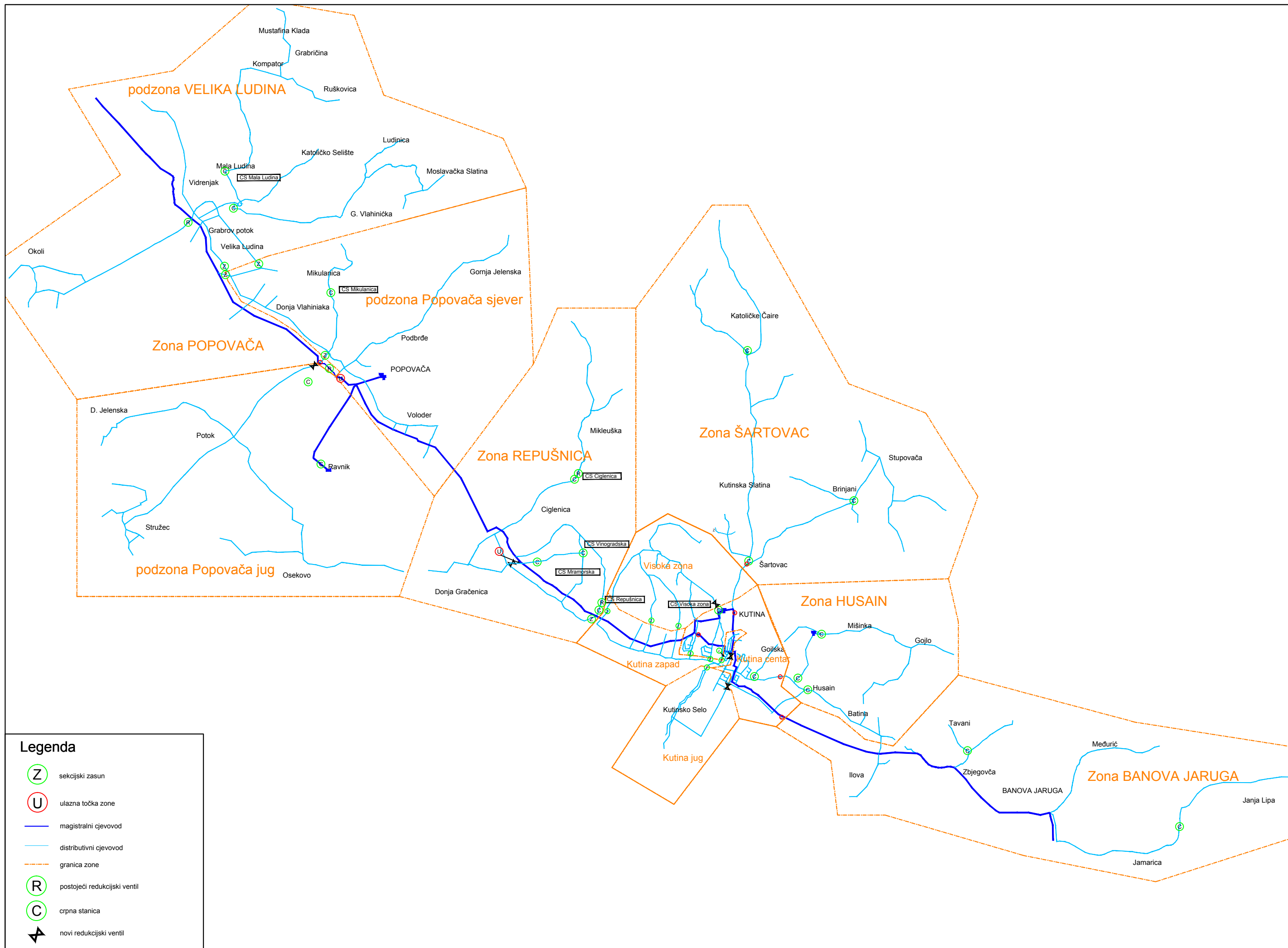
CS "OVO BRDO"

CS "HUSAIN-STARAR"

CS "TAVAN"

CS "BANOVA JARUGA"

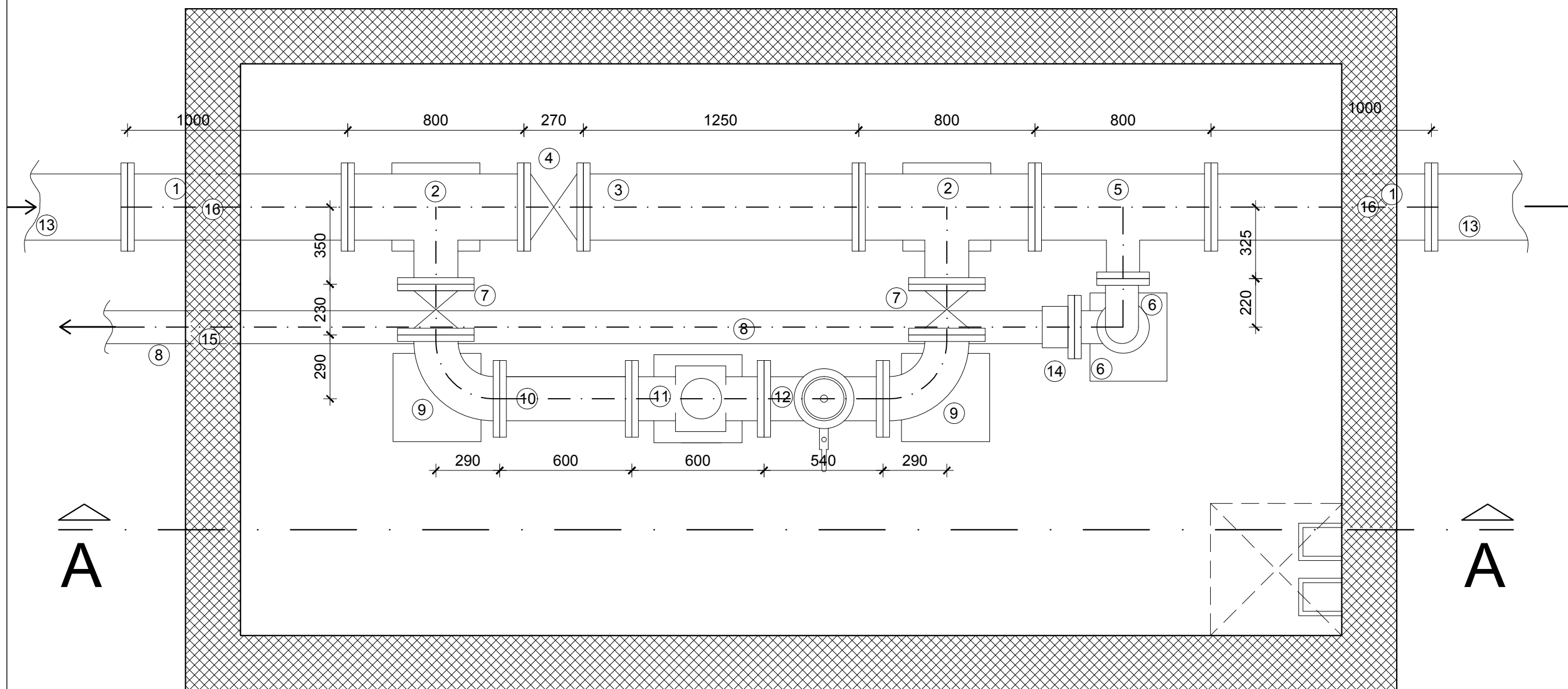
CS "JAMARICA"



Legenda

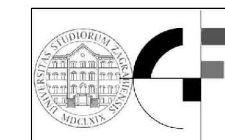
- Z sekcijski zasun
- U ulazna točka zone
- magistralni cjevovod
- distributivni cjevovod
- - - granica zone
- R postojeći redukcijjski ventili
- C crpna stanica
- ▲ novi redukcijjski ventili

Tlocrt vodovodnih armatura



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| 1. FFG komad, DN 300, PN10, L = 1000 [mm] | 9. Q komad s priрубnicama, DN 200, PN10, b = 290 [mm], 2kom |
| 2. T komad, DN 300/200, L=800 [mm] PN10, kom 2 | 10. Hvatač nečistoća, DN 200 |
| 3. F komad, DN 300, PN10, L = 1250 [mm] | 11. Ventil za redukcija tlaka, DN 200 |
| 4. E2 zasun (priрубnički), DN 300, L=270 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) | 12. Odzračno - dozračni ventil, DN 200 |
| 5. T komad, DN 300/150, L=800 [mm], PN 10, kom 1 | 13. NL cijev, DN 300, PN 16 |
| 6. Q komad s priрубnicama, DN 150, PN10, b = 220 [mm], 2kom | 14. Spoj 2000 za PEHD cijev, DN 150 (tipa kao "Hawle 2000") |
| 7. E2 zasun (priрубnički), DN 200, L=230 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) | 15. Zidni prodor, DN 150, (tipa kao "Roxtec") |
| 8. PEHD cijev, DN 150, PN 10, | 16. Zidni prodor, DN 300, (tipa kao "Roxtec") |



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

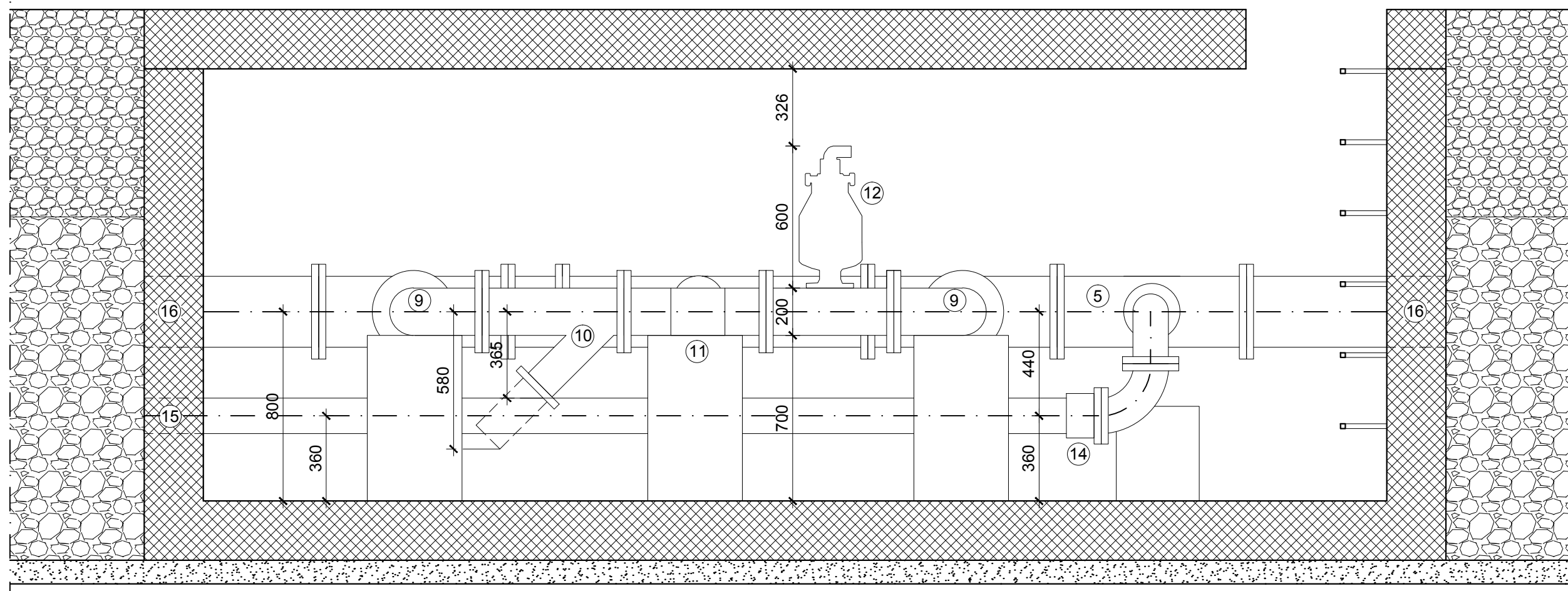
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA **Monterki plan - Okno Kutina centar**

PROFESOR **Dražan Vouk, prof. dr. sc.**

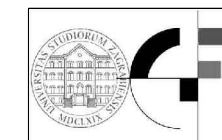
MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 1

Presjek vodovodnih armatura A-A



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| 1. FFG komad, DN 300, PN10, L = 1000 [mm] | 9. Q komad s prirubnicama, DN 200, b = 290 [mm], 2kom |
| 2. T komad, DN 300/200, L=800 [mm] PN10, kom 2 | 10. Hvatač nečistoća, DN 200 |
| 3. F komad, DN 300, PN10, L = 1250 [mm] | 11. Ventil za redukcija tlaka, DN 200 |
| 4. E2 zasun (prirubnički), DN 300, L=270 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) | 12. Odzračno - dozračni ventil, DN 200 |
| 5. T komad, DN 300/150, L=800 [mm], PN 10, kom 1 | 13. NL cijev, DN 300, PN 16 |
| 6. Q komad s prirubnicama, DN 150, b = 220 [mm], 2kom | 14. Spoj 2000 za PEHD cijev, DN 150 (tipa kao "Hawle 2000") |
| 7. E2 zasun (prirubnički), DN 200, L=230 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) | 15. Zidni prodor, DN 150 , (tipa kao "Roxtec") |
| 8. PEHD cijev, DN 150, PN 10, | 16. Zidni prodor, DN 300, (tipa kao "Roxtec") |



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

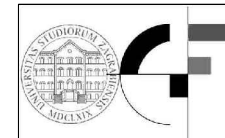
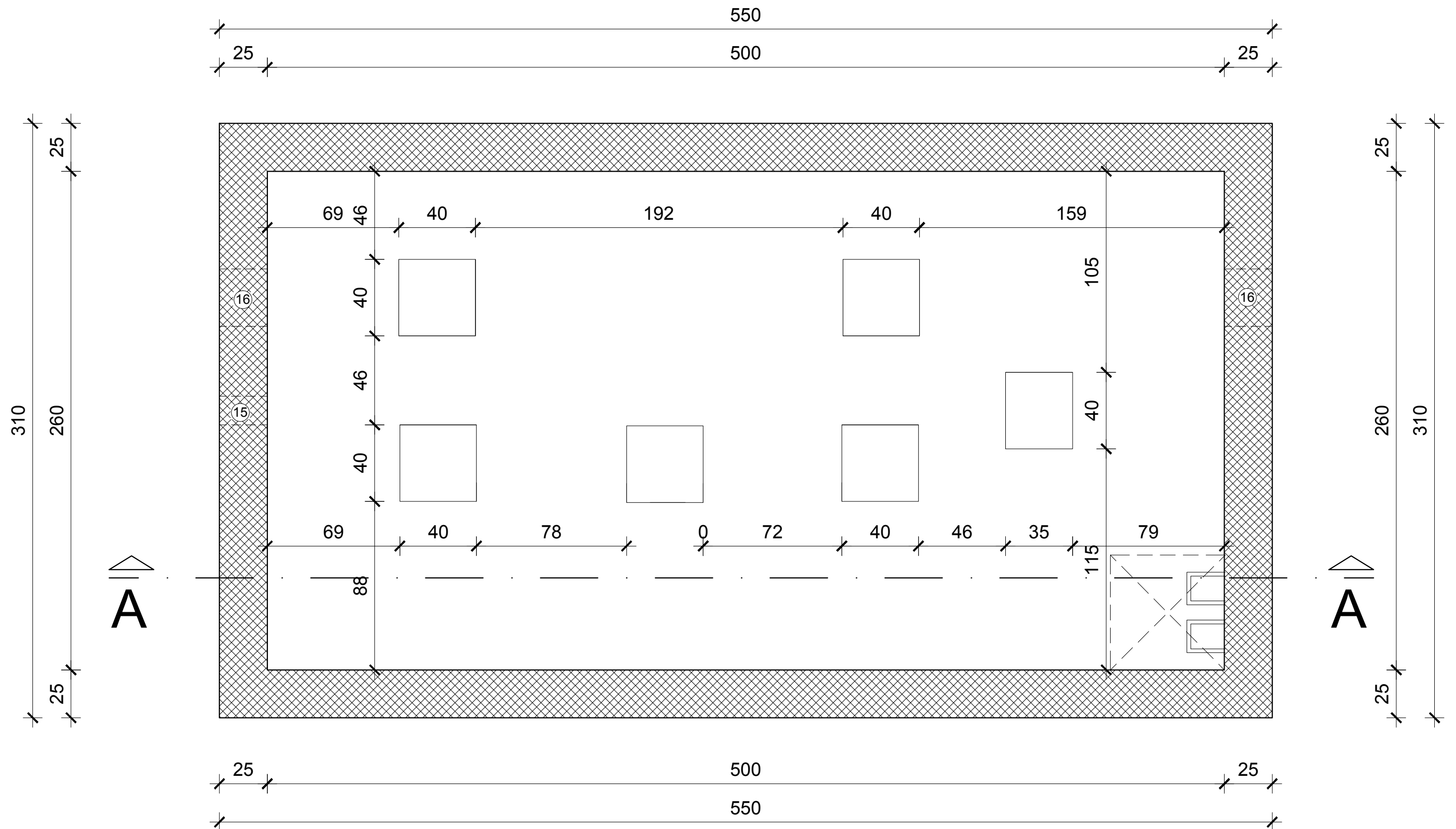
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Monsterski plan - Okna Kutina centar

PROFESOR Dražen Vouk, prof. dr. sc.

MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 2

Tlocrt građevinskih radova



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

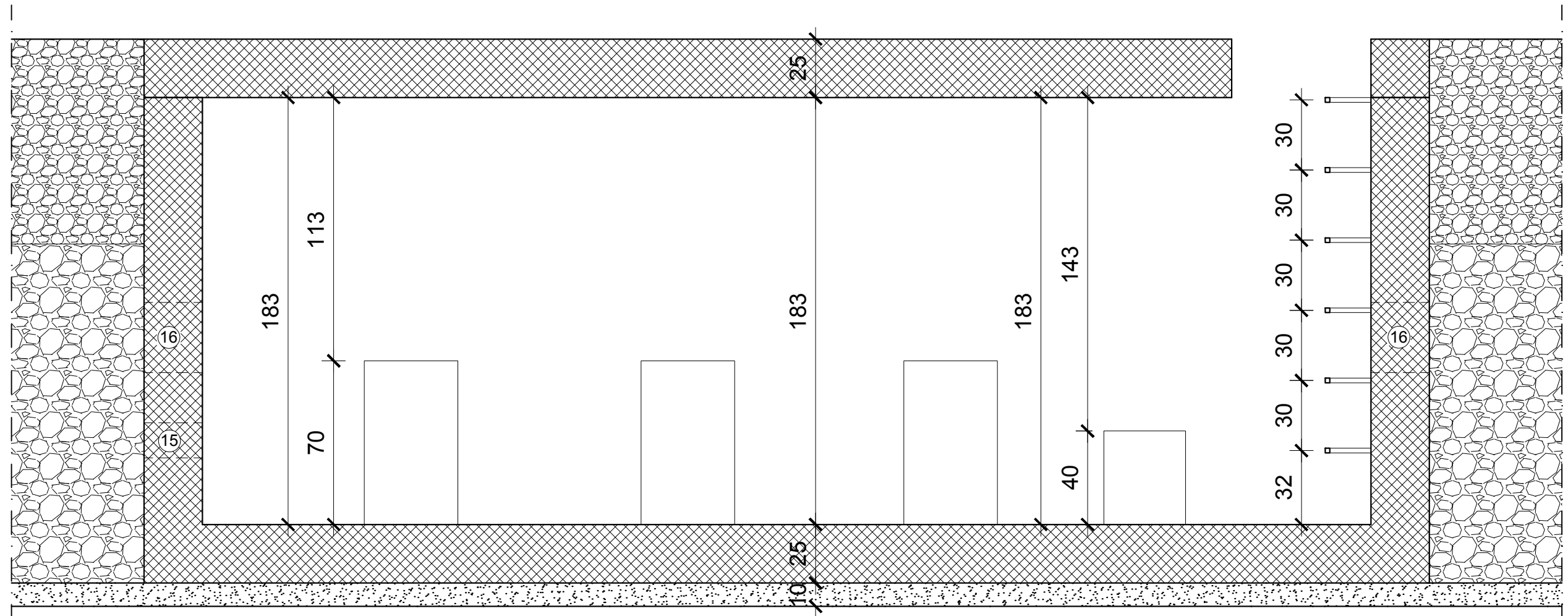
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Građevinski dio - Okno Kutina centar

PROFESOR Draženko Vouk, prof. dr. sc.

MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 3

Presjek A-A



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

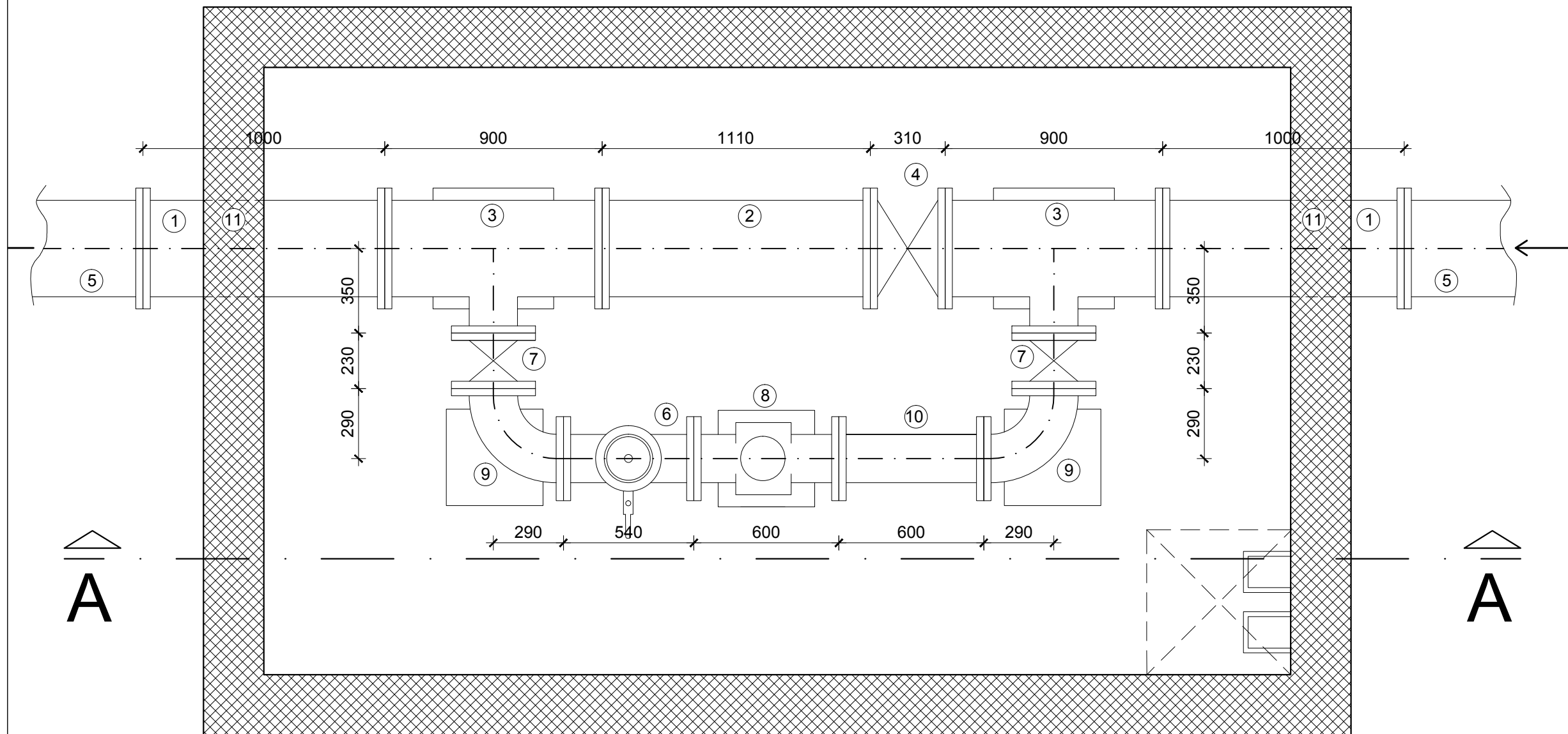
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Građevinski dio - Okno Kutina centar

PROFESOR Dražen Vouk, prof. dr. sc.

MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 4

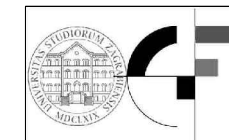
Tlocrt vodovodnih armatura



LEGENDA

1. FFG komad, DN 400, PN10, L = 1000 [mm]
2. F komad, DN 400, PN10, L = 1110 [mm]
3. T komad, DN 400/200, L=900 [mm] PN10, kom 2
4. E2 zasun (prirubnički), DN 400, L=310 [mm] (tipa kao kratki F4 Hawle)
5. NL cijev, DN 400, PN 16

6. Odzračno dozračni ventil, DN 200
7. E2 zasun (prirubnički), DN 400, L=310 [mm] (tipa kao kratki F4 Hawle)
8. Ventil za redukciju tlaka, DN 200
9. Q komad s prirubnicama, DN 200, PN10 b = 290 [mm], 2kom
10. Hvatač nečistoća, DN 200
11. Zidni prodor, DN 400 (tipa kao "Roxtec")



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

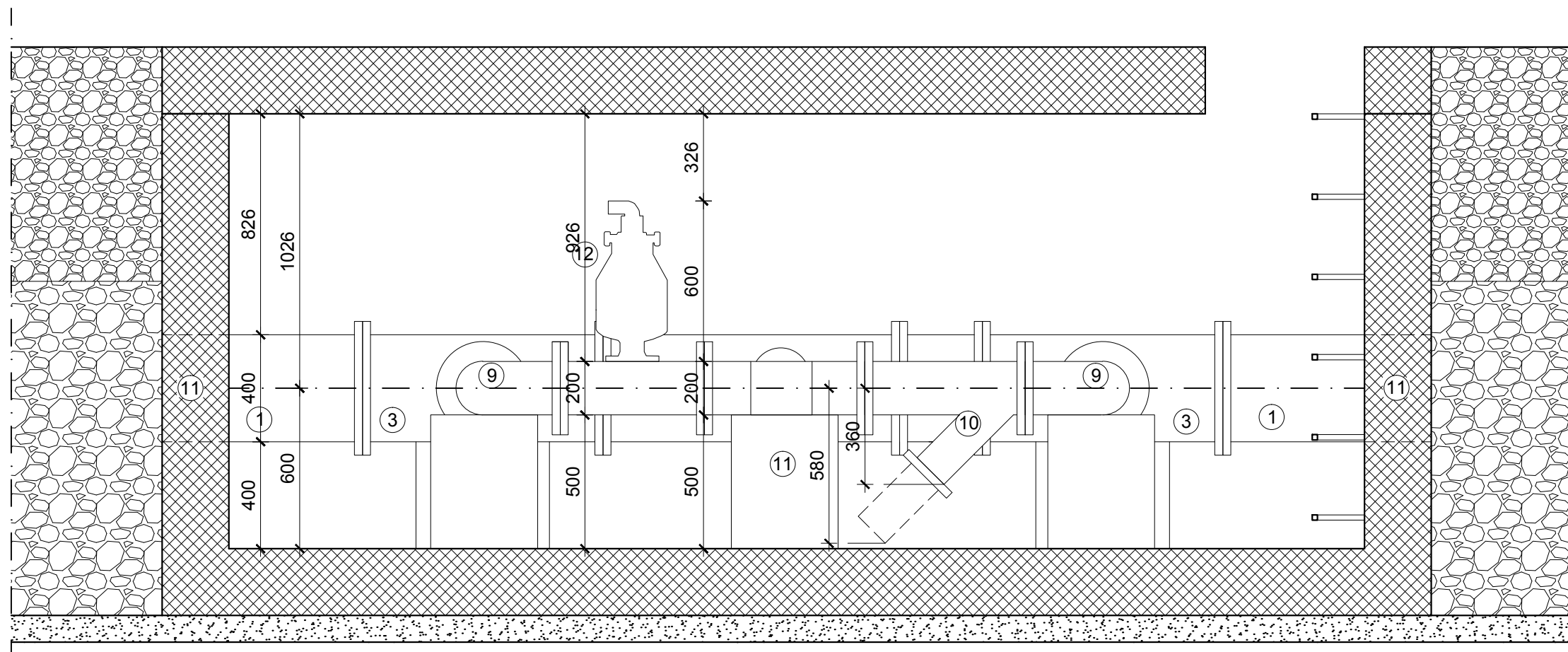
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA **Monterki plan - Okno Popovača**

PROFESOR **Dražan Vouk, prof. dr. sc.**

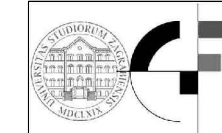
MJ. 1:20 DATUM 04. 2014 BR.P. 04/14 LIST 5

Presjek vodovodnih armatura A-A



LEGENDA

- | | |
|--|--|
| 1. FFG komad, DN 400, PN10, L = 1000 [mm] | 6. Odzračno dozračni ventil, DN 200 |
| 2. F komad, DN 400, PN10, L = 1110 [mm] | 7. E2 zasun (prirubnički), DN 400, L=310 [mm] (tipa kao kratki F4 Hawle) |
| 3. T komad, DN 400/200, L=900 [mm] PN10, kom 2 | 8. Ventil za redukciju tlaka, DN 200 |
| 4. E2 zasun (prirubnički), DN 400, L=310 [mm] (tipa kao kratki F4 Hawle) | 9. Q komad s prirubnicama, DN 200, PN10 b = 290 [mm], 2kom |
| 5. NL cijev, DN 400, PN 16 | 10. Hvatač nečistoća, DN 200 |
| | 11. Zidni prodor, DN 400 (tipa kao "Roxtec") |



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

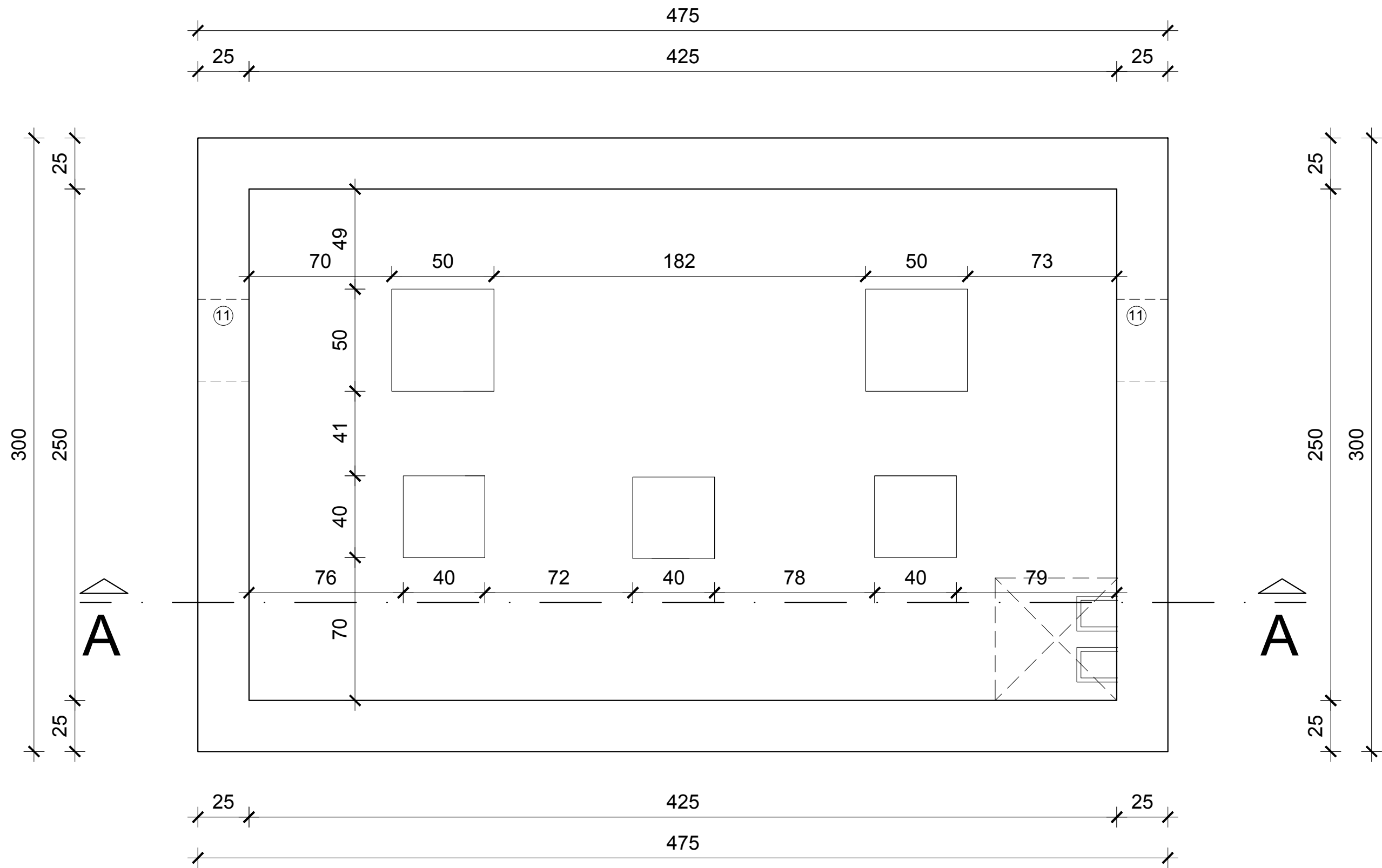
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Monterki plan - Okno Popovača

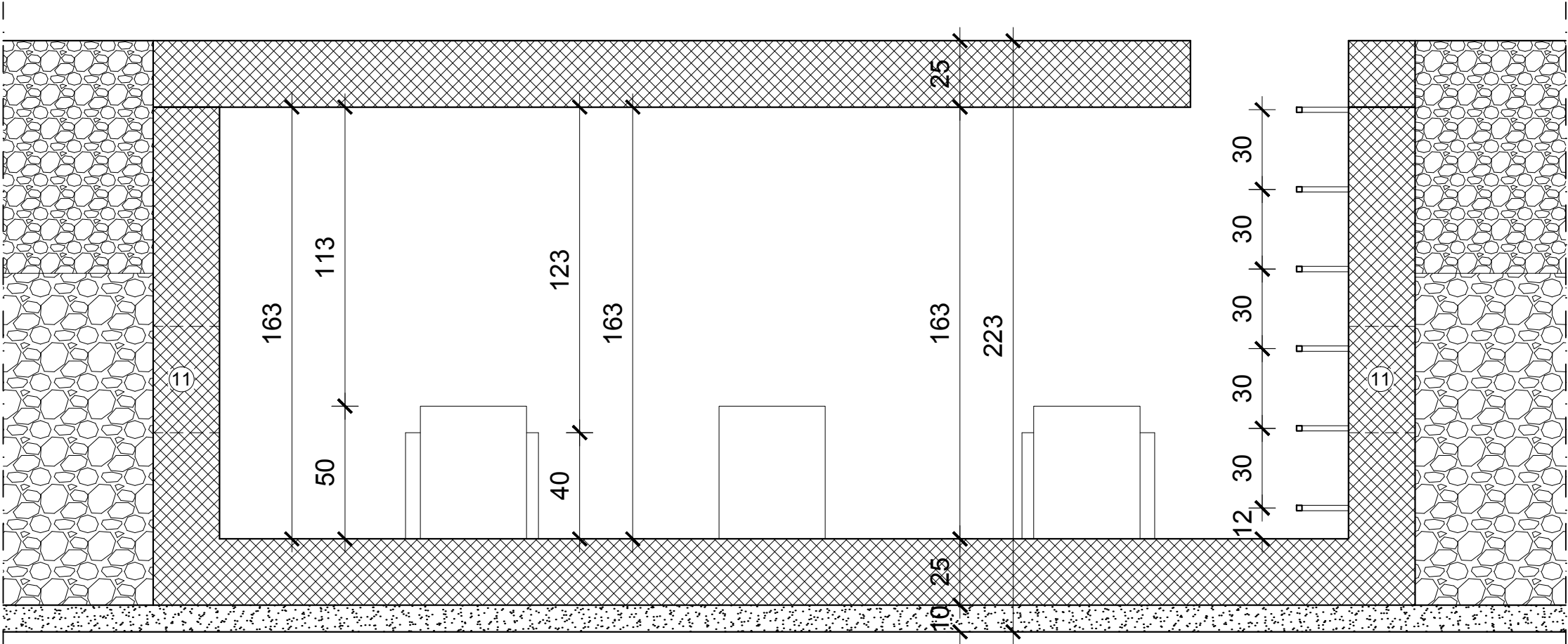
PROFESOR Dražen Vouk, prof. dr. sc.

MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 6

Tlocrt građevinskih radova



Presjek A-A



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

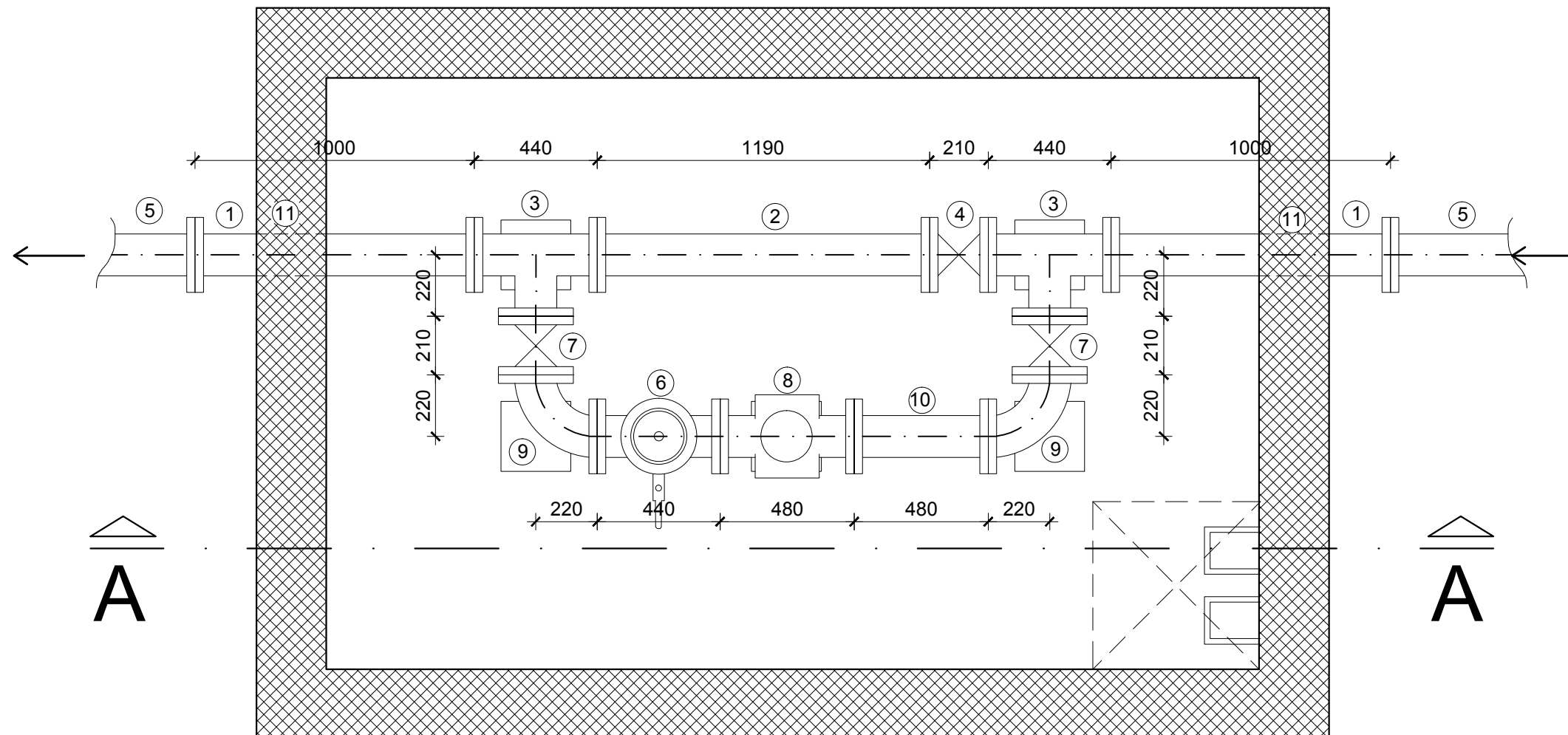
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Građevinski dio - Okno Popovača

PROFESOR Draženko Vouk, prof. dr. sc.

MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 8

Tlocrt vodovodnih armatura



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| 1. FFG komad, DN 150, PN10, L = 1000 [mm] | 6. Odzračno - dozračni ventil, DN 150 |
| 2. F komad, DN 150, PN10, L = 1190 [mm] | 7. E2 zasun (prirubnički), DN 150, L=210 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) |
| 3. T komad, DN 150/150, L=440 [mm] PN10, kom 2 | 8. Ventil za redukciju tlaka, DN 150 |
| 4. E2 zasun (prirubnički), DN 150, L=210 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) | 9. Q komad s prirubnicama, DN 150, PN10 b = 220 [mm], 2kom |
| 5. NL cijev, DN 150, PN10 | 10. Hvatač nečistoća, DN 150 |
| | 11. Zidni prodor, DN 150 (tipa kao "Roxtec") |



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

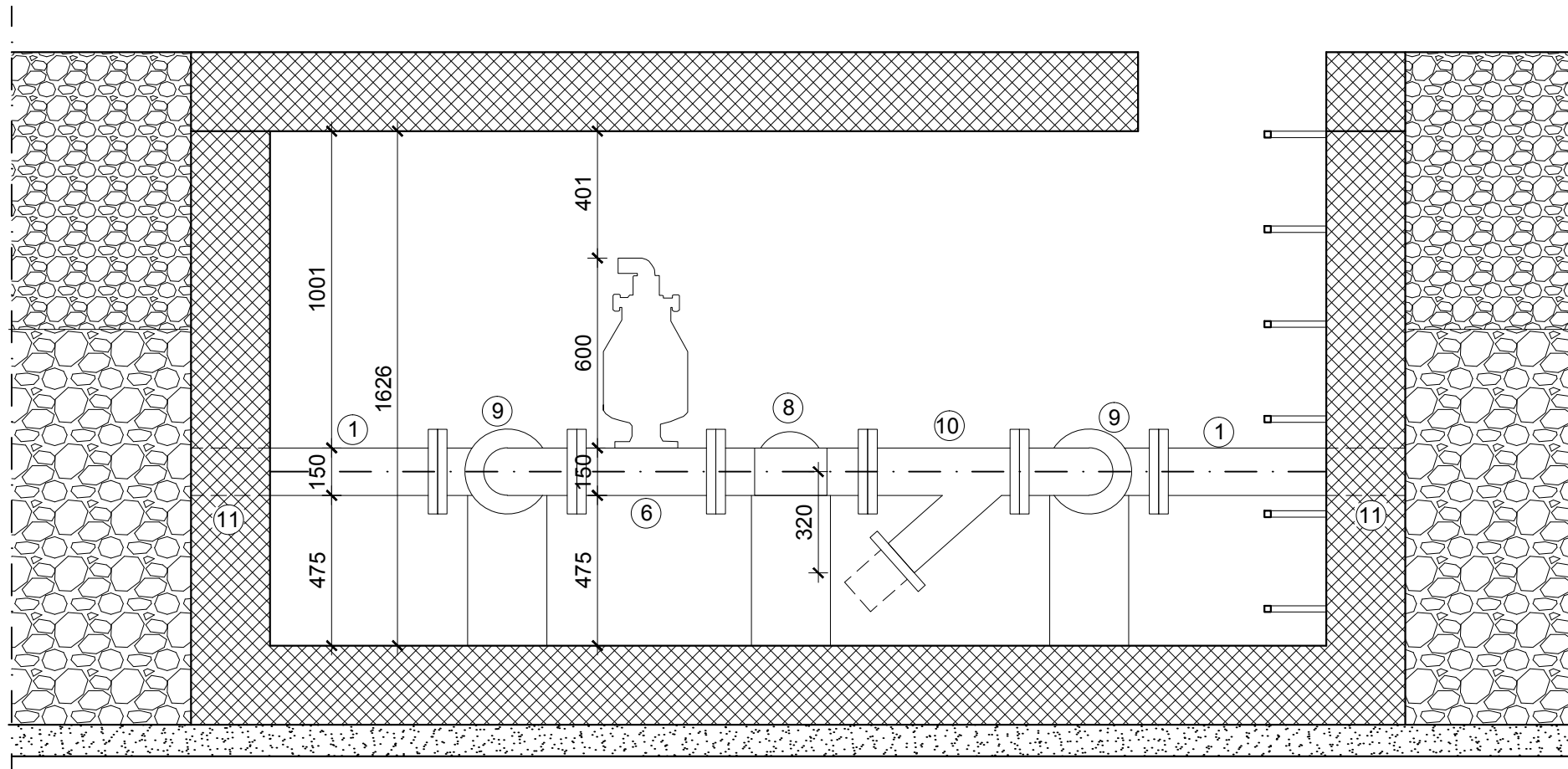
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Okno Repušnica, Kutina jug i Visoka zona

PROFESOR Dražen Vouk, prof. dr. sc.

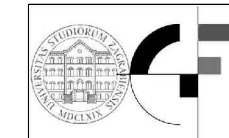
MJ. 1:20 DATUM 04.2014 BR.P. 04/14 LIST 9

Presjek vodovodnih armatura A-A



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| 1. FFG komad, DN 150, PN10, L = 1000 [mm] | 6. Odzračno - dozračni ventil, DN 150 |
| 2. F komad, DN 150, PN10, L = 1190 [mm] | 7. E2 zasun (prirubnički), DN 150, L=210 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) |
| 3. T komad, DN 150/150, L=440 [mm] PN10, kom 2 | 8. Ventil za redukciju tlaka, DN 150 |
| 4. E2 zasun (prirubnički), DN 150, L=210 [mm], (tipa kao kratki F4 Hawle) | 9. Q komad s prirubnicama, DN 150, PN10 b = 220 [mm], 2kom |
| 5. NL cijev, DN 150, PN10 | 10. Hvatač nečistoća, DN 150 |
| | 11. Zidni prodor, DN 150 (tipa kao "Roxtec") |



GRAĐEVINSKI FAKULTET

KAČIĆEVA 26, 10000 ZAGREB

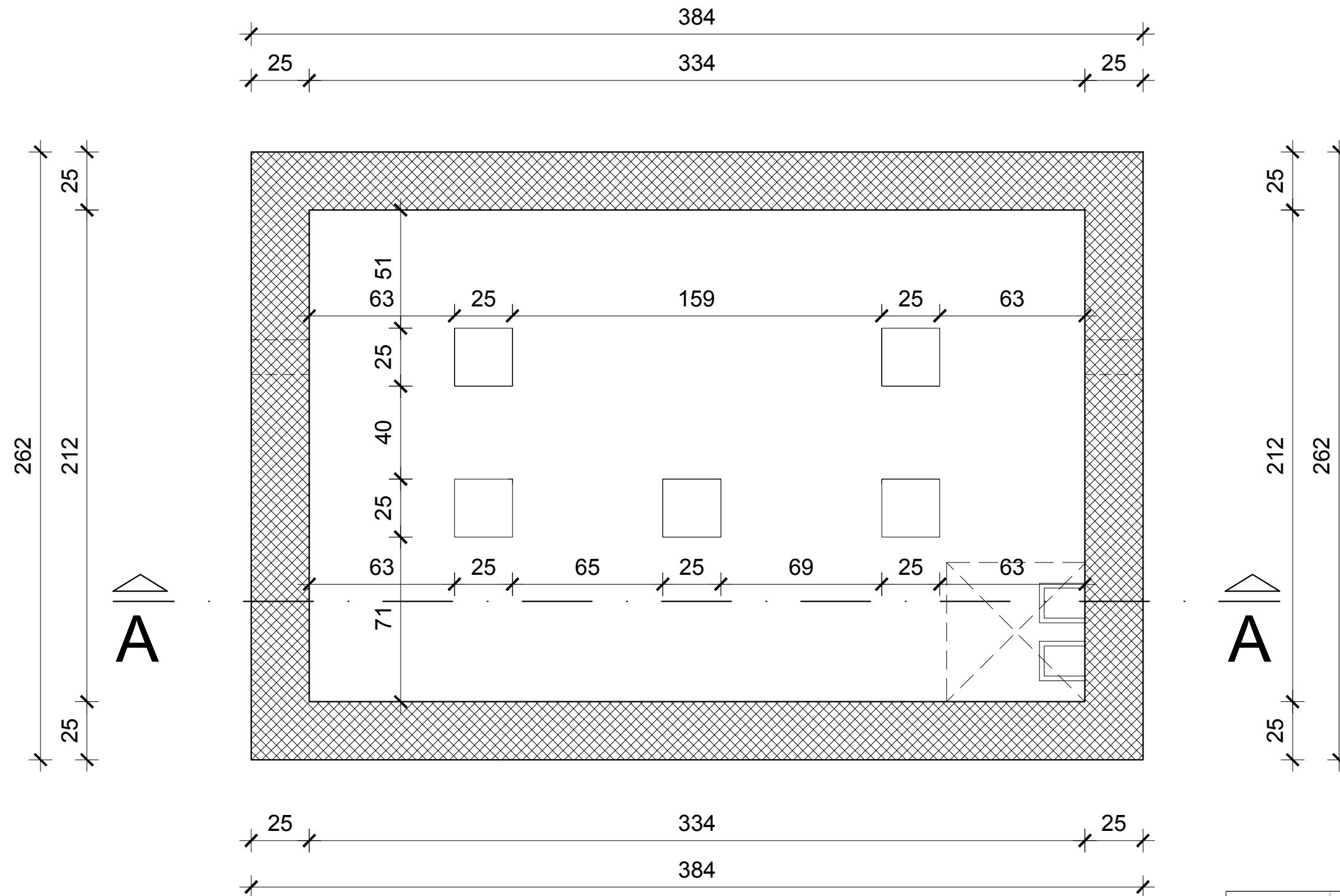
STUDENT Domagoj Baričić

VRSTA Okno Repušnica, Kutina jug i Visoka zona

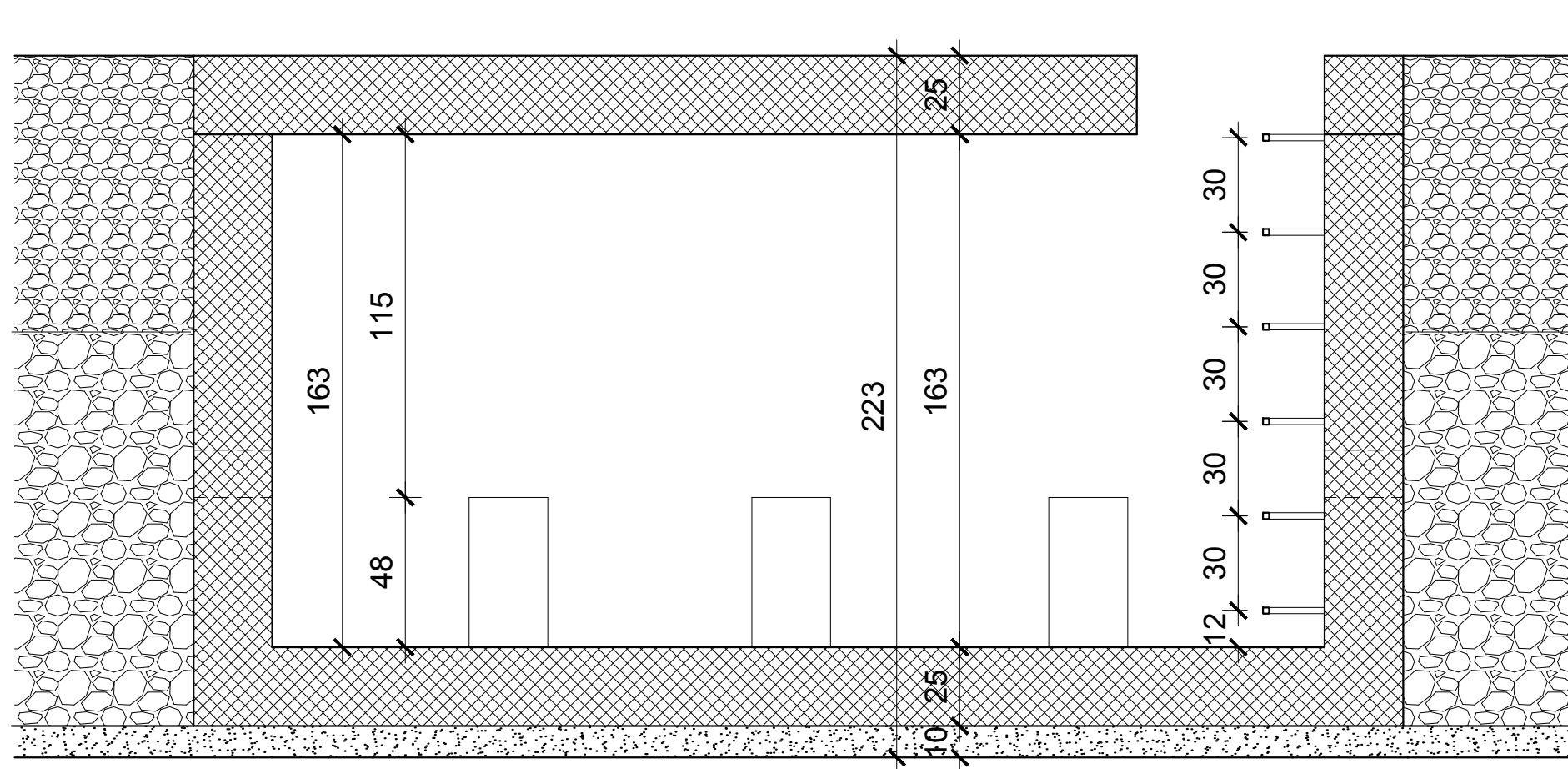
PROFESOR Dražen Vouk, prof. dr. sc.

MJ. 1:20 DATUM 11. 2013 BR.P. 11/13 LIST 10

Tlocrt građevinskih radova



Presjek A-A



Sažetak

Domagoj Baričić, Optimalizacija vodoopskrbnog sustava Kutina - Popovača

U svijetu se koriste različite metode analize vodnih gubitaka u vodoopskrbnim sustavima s konačnim ciljem smanjenja vodnih gubitaka. U današnjoj praksi u Hrvatskoj, vodni gubici se uglavnom iskazuju količinski ($\text{m}^3/\text{godišnje}$) ili postotno (% zahvaćene vode). Međutim, navedenim načinom iskaza vodnih gubitaka njihov značaj u većini slučajeva ostaje zanemaren. Primjena IWA metodologije, kroz proračun ILI indikatora, među najraširenijima je u svjetskoj praksi i njezina osnovna načela počela su se uspješno primjenjivati i u Hrvatskoj. U radu je prikazana metodologija analize vodnih gubitaka, koju autor ocjenjuje prikladnom u hrvatskoj praksi. Predložena metodologija je analizirana na konkretnom primjeru vodoopskrbnog sustava Kutina-Popovača. Rezultati dobiveni provedenim analizama ukazuju da ILI indikator nije jedini mjerodavan pokazatelj ocjene stanja sustava s aspekta vodnih gubitaka, već se javlja potreba za provođenjem dodatnih analiza. U radu se ističe važnost iskazivanja ekonomske vrijednosti vodnih gubitaka, generiranih unutar vodoopskrbnih sustava. Novčanim iskazivanjem vodnih gubitaka ($\text{kn}/\text{godišnje}$) omogućen je realniji prikaz njihove veličine i značaja. Predložena metodologija također omogućava kvalitetan uvid u isplativost i opravdanost primjene odgovarajućih tehničkih mjera smanjenja vodnih gubitaka, uz iskaz vremena povrata investicije.

Ključne riječi: vodoopskrba, vodni gubici, ekonomske analize, Kutina-Popovača

Summary

Domagoj Baričić, Optimization of water supply system Kutina - Popovača

Different methods of analyzing of water supply systems with the basic purpose of water loss reduction have been used worldwide. In Croatia, water losses have been mainly stated in quantity (m^3/year) or percentage (% of abstracted water). With this method of expressing water losses, they have been neglected in most cases. IWA methodology, through calculating ILI Indicator is in worldwide practice, and its basic principles have been applied in Croatia. In this paper, it has been presented a methodology for the analysis of water loss which author finds appropriate for Croatian practice. The proposed methodology has been used in the particular case of the water supply system Kutina – Popovača. The results that have been obtained indicate that the analysis carried out by ILI indicator is not the only relevant indicator for the evaluation system state in terms of water losses, and there is a need to conduct additional analysis. The paper has highlighted the importance of showing

the economic value of water losses, which were generated within the water supply system. Expressing water losses through cashflow (hrk/year) has enabled a more realistic view of its size and importance. The proposed methodology also provides good insight into the feasibility and validation of application of appropriate technical measures to reduce water losses, and also in return time of invested money.

Key words: water supply, water losses, economic analysis, Kutina-Popovača.