

# Hidraulički proračun vodospreme Kukljica i pripadajućih cjevovoda

---

Salapić, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:125289>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-02**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Nikola Salapić**

**Split, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Nikola Salapić**

**HIDRAULIČKI PRORAČUN  
VODOSPREME KUKLJICA I  
PRIPADAJUĆIH CJEVOVODA**

**Završni rad**

**Split, 2024.**



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING,  
ARCHITECTURE AND GEODESY

STUDIJ: STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO  
KANDIDAT: Nikola Salapić  
MATIČNI BROJ: 0083228320  
KATEDRA: Katedra za hidromehaniku i hidrauliku  
KOLEGIJ: Osnove vodogradnje

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Hidraulički proračun vodospreme Kukljica i pripadajućih cjevovoda

Opis zadatka: Potrebno je izraditi proračun potrebnog volumena vodospreme koristeći dostupne podloge za vodoopskrbni sustav Kuljikca. Također, potrebno je izraditi hidraulički proračun glavnog dovodnog cjevovoda i pripadajuće crpne stanice kako bi se odredio optimalni promjer cijevi ali i potrebna visina dizanja crpki uzevši u obzir visinsku razliku i hidrauličke gubitke. Konačno, potrebno je izraditi hidraulički proračun glavnog opskrbnog cjevovoda kako bi se odredila linija energije i piezometarska linija duž cjevovoda.

U Splitu, 08. ožujka 2024.

Mentor: doc.dr.sc. Toni Kekez

# **Hidraulički proračun vodospreme Kukljica pripadajućih cjevovoda**

## ***Sažetak:***

U ovom radu izvršen je hidraulički proračun volumena vodospreme Kukljica analitičkim proračunom ovisno o odnosu promjenjive potrošnje tijekom pojedinih sati u danu i dinamike dotoka opskrbnih količina. Cilj proračuna je osigurati potrebni pogonski tlak u vodoopskrbnoj mreži te pohranu potrebnog volumena vode za dnevno izravnavanje. Također je izvršen hidraulički proračun glavnog dovodnog i opskrbnog cjevovoda pod pretpostavkom stacionarnog tečenja primjenjujući Bernoullijevu i Darcy-Weisbachovu jednadžbu za realnu tekućinu.

## ***Ključne riječi:***

***hidraulički proračun, vodosprema, glavni dovodni cjevovod glavni opskrbni cjevovod, Bernoullijeva jednadžba, Darcy-Weisbachova jednadžba***

# **Hydraulic calculation of the Kukljica water reservoir and associated pipelines**

## ***Abstract:***

In this paper, a hydraulic calculation of the volume of the Kukljica water reservoir was performed through analytical calculations, based on the relationship between variable consumption during different hours of the day and the supply inflow. The aim of the calculation is to ensure the required operating pressure in the water supply network and to store the required volume of water. A hydraulic calculation of the main supply and distribution pipeline was also carried out under the assumption of steady flow, applying the Bernoulli's equation and the Darcy-Weisbach equation for real fluids.

## ***Keywords:***

***hydraulic calculation, water reservoir, main supply pipeline, main distribution pipeline, Bernoulli's equation, Darcy-Weisbach equation***

## S a d r Ź a j

<b>1. UVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2. VODOOPSKRBNI SUSTAVI.....</b>	<b>8</b>
2.1 Općenito.....	8
<b>3. HIDRAULIČKI PRORAČUN SUSTAVA .....</b>	<b>10</b>
3.1 Općenito.....	10
3.2 Metode proračuna .....	10
3.3 Ulazni podaci.....	14
3.4 PRORAČUN .....	19
3.4.1 Dimenzioniranje glavnog dovodnog cjevovoda ( G.D.C ) .....	19
3.4.2 Dimenzioniranje crpke na glavnom dovodnom cjevovodu .....	21
3.4.3 Dimenzioniranje glavnog opskrbnog cjevovoda ( G.O.C ) .....	23
3.4.4 Hidraulički proračun volumena vodospreme .....	25
<b>4. REZULTATI .....</b>	<b>27</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>29</b>
<b>6. POPIS SLIKA.....</b>	<b>30</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>31</b>

## 1. UVOD

Cilj ovog rada je bio provesti hidraulički proračun vodospreme Kukljica te glavnog dovodnog i glavnog opskrbnog cjevovoda na otoku Ugljanu, kako bi se osigurao potreban pogonski tlak u sustavu, spremanje potrebne količine vode te pouzdana opskrba vodom. Podloge predmetnog vodoopskrbnog sustava preuzete su iz glavnog projekta sustava vodoopskrbne aglomeracije Preko-Kali na otoku Ugljanu [1].

Vodoopskrbni sustavi moraju zadovoljiti zahtjeve potrebnih količina vode za potrošače, osigurati potrebni tlak u vodovodnoj mreži, osigurati vodu za slučajeve požara te dovoljne rezerve vode za incidentne situacije. Vodoopskrbni sustav, da bi bio funkcionalan, treba sadržavati niz objekata od kojih svaki ima svoj položaj i funkciju u sustavu. Razlikuju se građevine za zahvaćanje vode (bunari, sabirne površine, kaptaže izvorišta), građevine za poboljšanje odnosno obradu vode (postrojenja za obradu vode), linijske građevine za dovođenje vode (cjevovodi, kanali) i raspodjelu vode (cjevovodi pod tlakom), građevine za sabiranje i čuvanje vode (vodospremnici, cisterne, vodotornjevi) te elementi regulaciju tlaka (ventili, hidrofori). Vodoopskrbni sustavi mogu biti gravitacijski koji za tečenje koriste slobodan pad odnosno gravitacijsku silu i tlačni koji koriste crpke. U ovom slučaju radi se o kombiniranom slučaju gdje se voda tlači u vodospremnik iz kojega se voda distribuira gravitacijski.

Hidraulički proračun sustava podrazumijeva određivanje volumena vodospreme, profila cjevovoda te parametre crpki temeljem određenih količina vode za potrošnju vode u naselju. Pri proračunu korištena je Bernoullijeva jednadžba za određivanje linije energije i piezometarske linije te Darcy-Weisbachova jednadžbu za određivanje linijskih gubitaka.

## 2. VODOOPSKRBNI SUSTAVI

### 2.1 Općenito

Osnovne funkcije vodoopskrbnih sustava su: zadovoljavanje potreba potrošača za vodom, osiguravanje adekvatne kakvoće vode za piće, osiguravanje potrebnog tlaka u vodovodnoj mreži, osiguravanje količina vode potrebne za gašenje požara te osiguravanje dovoljne rezerve vode za incidentne situacije [2].

Kako bi vodoopskrbni sustav mogao zadovoljiti sve navedene uvjete potreban je niz građevina. Svi objekti imaju svoju funkciju i položaj u sustavu, te kao cjelini im je cilj trajno osiguravanje dovoljnih količina vode adekvatne kvalitete, pod potrebnim tlakom i to na najekonomičniji način.

Razvrstavaju se u sljedeće grupe:

- Građevine za zahvaćanje vode: bunari, jezera, mora, galerije
- Građevine za povećanje kakvoće vode postrojenja za obradu kvalitete vode
- Građevine za dovođenje vode od postrojenja do naselja : cjevovodi, kanali, crpne stanice)
- Građevine za raspodjelu vode potrošačima u naseljima : gradske vodovodne mreže kao što su cjevovodi pod tlakom
- Građevine za sabiranje i čuvanje vode : vodospremnici, vodotornjevi, cistrene, akumulacije
- Građevine za regulaciju tlaka u vodoopskrbnoj mreži : ventili, prekinde komore, hidrofori

Vodoopskrbni sustavi s obzirom na način tečenja vode u sustavu dijele se na sljedeći način:

- Opskrba prirodnim padom; gravitacijski sustav
- Opskrba korištenjem crpki; crpni tj. tlačni sustav

Vodospremnici su građevine koje treba imati svaki vodoopskrbni sustav te se njihove funkcije u vodoopskrbnom sustavu odnose na:

- Spremanje vode
- Osiguranje potrebnog pogonskog tlaka u vodoopskrbnoj mreži



Vodospremnik treba imati potreban volumen, osigurati kontinuitet opskrbe, te osigurati adekvatnu kakvoću vode. Ukupan potrebni volumen vodospremika može se podijeliti na sljedeći način:

a) Količina vode potrebna za ujednačavanje protoka koji dotječe u vodospremnik i količina koja se troši u naselju. Svi viškovi se akumuliraju u vodospremniku te se troše kad dođe do negativne raličke između dotjecanja i potrošnje. ( $V_1$ )

b) Količina vode potrebna za gašenje požara u skladu s važećim Pravilnikom o protupožarnoj zaštiti. ( $V_2$ )

c) Količina vode za slučajeve poremećaja opskrbe tj. čuvanje rezervne količine vode za vodoopskrbu. ( $V_3$ )

Ukupni volumen čini zbroj više funkcionalnih volumena:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Dotjecanje vode u vodospremnik se izvodi uz pomoć dovodnika. Dovodnici su cjevovodi i kanali koji služe za dovod vode između objekata vodoopskrbnog sustava od zahvata do postrojenja za obradu, od postrojenja do vodospremika, od vodospremika do potrošača. Dovodnici se razlikuju po obliku, konstrukciji, funkcioniranju i ulozi. U odnosu na način kretanja vode razlikuju se:

- Gravitacijski dovodnici
- Tlačni cjevovodi uz pomoć crpnih stanica

Također razlikuju se dovodnici sa slobodnim vodnim licem i dovodnike pod tlakom, gdje dovodnici pod tlakom mogu biti gravitacijski ili s umjetnim podizanjem vode. U ovom slučaju na otoku Ugljanu radi se o kombiniranom sustavu, što znači da se vodu do vodospremika dovodi tlačnim cjevovodom uz pomoć crpne stanice, a vodu od vodospremika do naselja se distribuira gravitacijski tj. temeljem slobodnog pada.

### 3. HIDRAULIČKI PRORAČUN SUSTAVA

#### 3.1 Općenito

Dimenzioniranje vodospremnika podrazumijeva određivanje ukupnog volumena za potrebe naselja. Maksimalna potrošnja naselja je od prije poznata što nam je glavni podatak za proračun volumena vodospremnika.

Dimenzioniranje glavnog dovodnog i opskrbnog cjevovoda podrazumijeva utvrđivanje veličine poprečnog presjeka samog cjevovoda, brzine tečenja vode u cjevovodu te određivanje linijskih gubitaka kao i tlakova na spoju s vodovodnom mrežom naselja.

#### 3.2 Metode proračuna

Proračun volumena vodospremnika proračunat će se analitički ovisno o odnosu promjenjive potrošnje u tijeku pojedinih sati dana i načina dotoka opskrbnih količina. Potrošnja u tijeku dana se iskazuje u postocima ( % ) maksimalnih dnevnih potreba (  $Q_{max,dn}$  ) u pojedinim satima. Dotok vode može biti gravitacijski ili tlačni. Hidraulički proračun volumena VS Kukljica provesti će se za tlačni dotok uz pomoć crpne stanice. Volumen vodospremnika se određuje :

$$V : V_1 + V_2 + V_3 \text{ gdje su :}$$

- Količina vode potrebna za ujednačavanje protoka koji dotječe u vodospremnik i količina koja se troši u naselju. Svi viškovi se akumuliraju u vodospremniku te se troše kad dođe do negativne razlike između dotjecanja i potrošnje. ( $V_1$ )
- Količina vode potrebna za gašenje požara u skladu s važećim Pravilnikom o protupožarnoj zaštiti. ( $V_2$ )
- Količina vode za slučajeve poremećaja opskrbe tj. čuvanje rezervne količine vode za vodoopskrbu. ( $V_3$ )

Proračun operativne rezerve (  $V_1$  ) izvodi se za promjenjiv dotok u vodospremnik :

### Dotok crpljenjem

Sati od-do	Potrosnja % $Q_{max/d}$	Dotok tijekom crpljenja		$T_{cr} = 8^h$		$T_{cr} = 16^h$		Obujam vodospreme	
				Višak	Manjak	Višak	Manjak		
		8 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	8 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>
0-1	1,0				1,0		1,00	-1,00	-1,00
1-2	0,5				0,5		0,50	-1,50	-1,50
2-3	0,5				0,5		0,50	-2,00	-2,00
3-4	1,0				1,0		1,00	-3,00	-3,00
4-5	2,0				2,0		2,00	-5,00	-5,00
5-6	2,0				2,0		2,00	-7,00	-7,00
6-7	4,0	12,5	6,25	8,5		2,25		1,50	-4,75
7-8	7,0	12,5	6,25	5,5			0,75	7,00	-5,50
8-9	8,0	12,5	6,25	4,5			1,75	11,50	-7,25
9-10	3,0	12,5	6,25	9,5		3,25		21,00	-4,00
10-11	3,0	12,5	6,25	9,5		3,25		30,50	-0,75
11-12	5,0	12,5	6,25	7,5		1,25		38,00	0,50
12-13	7,0	12,5	6,25	5,5			0,75	43,50	-0,25
13-14	8,0	12,5	6,25	4,5			1,75	<b>48,00</b>	-2,00
14-15	6,0		6,25		6,0	0,25		42,00	-1,75
15-16	5,0		6,25		5,0	1,25		37,00	-0,50
16-17	5,0		6,25		5,0	1,25		32,00	0,75
17-18	6,0		6,25		6,0	0,25		26,00	1,00
18-19	8,0		6,25		8,0		1,75	18,00	-0,75
19-20	7,0		6,25		7,0		0,75	11,00	-1,50
20-21	5,0		6,25		5,0	1,25		6,00	-0,25
21-22	3,0		6,25		3,0	3,25		3,00	<b>3,00</b>
22-23	2,0				2,0		2,0	1,00	1,00
23-24	1,0				1,0		1,0	0,00	0,00
<b>Ukupno:</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>55,0%</b>	<b>-55,0%</b>	<b>17,5%</b>	<b>-17,5%</b>		

Slika 1: prikaz tablice za izračun volumena vodospremnika, crpka rada 8 i 16h [3]

Hidraulički proračun cjevovoda se temelji na Bernoulijevoj jednadžbi pod pretpostavkom stacionarnog tečenja dionicom konstantne protjecajne površine, odnosno unutarnjeg promjera:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + \Delta H_{tr}$$

gdje su:

- $z_1, z_2$  – visine položaja točaka 1 i 2 s obzirom na referentnu ravninu, [m],
- $p_1, p_2$  – tlakovi u istim točkama, [ $Nm^{-2}$ ],
- $g$  – ubrzanje polja sile teže, [ $ms^{-2}$ ],
- $\rho$  – gustoća mase vode, [ $kg m^{-3}$ ],
- $\alpha$  – Coriolisov koeficijent, [1], ( $\alpha = 1.0$ ),

- $v$  – (srednja profilska) brzina vode u cijevi, [ $\text{ms}^{-1}$ ],
- $\Delta H_{tr}$  – hidraulički (tlačni) gubici zbog otpora trenja (linijski gubici) na dionici između promatranih točaka, [m].

Gornjom jednadžbom nisu uzeti u obzir lokalni gubici jer je kod proračuna vodovodnih cjevovoda uobičajeno prevladavanje linijskih gubitaka nad lokalnim kao posljedica znatne dužine cjevovoda.

Hidraulički gubici  $\Delta H_{tr}$ , definirani su Darcy-Weisbachovom jednadžbom:

$$\Delta H = \Delta H_{tr} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

gdje su:

- $\lambda$  – koeficijent otpora tečenju zbog trenja,
- $L$  – duljina dionice, [m].

Koeficijent otpora tečenju  $\lambda$  moguće je analitički izračunati ili očitati iz Moodyevog dijagrama kao u ovom slučaju, za što su nam potrebni Reynoldsov broj te relativna hrapavost.

$$\text{Re} = \frac{vD}{\nu} \quad , \quad \frac{\varepsilon}{D}$$

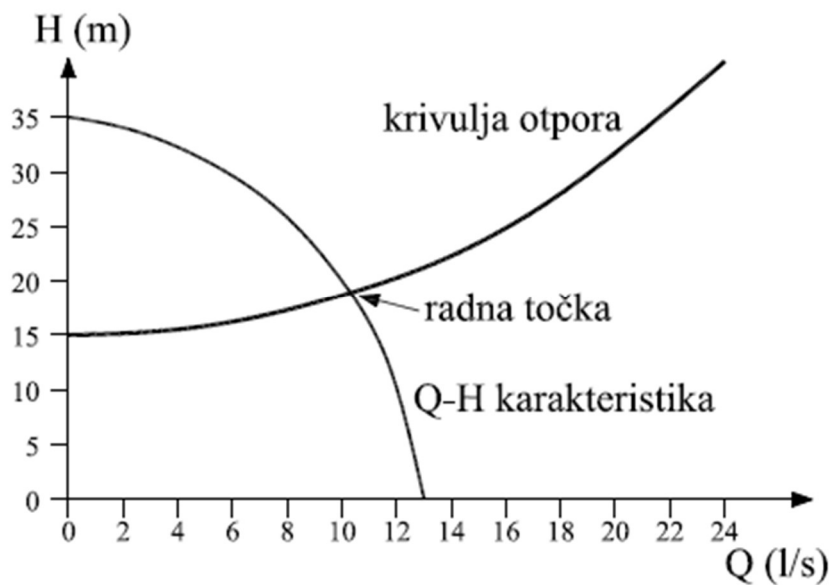
Za određivanje parametara crpke potrebno je izračunati manometarsku visinu  $H_{uk}$  te protok koji crpka treba podići  $Q$ .

$$H_{uk} = H_{st} + \Delta H + \frac{v^2}{2g}$$

gdje su :

- $H_{st}$  – statička visina dizanja
- $\Delta H$  – linijski gubici duž promatranog cjevovoda
- $\frac{v^2}{2g}$  – brzinska visina

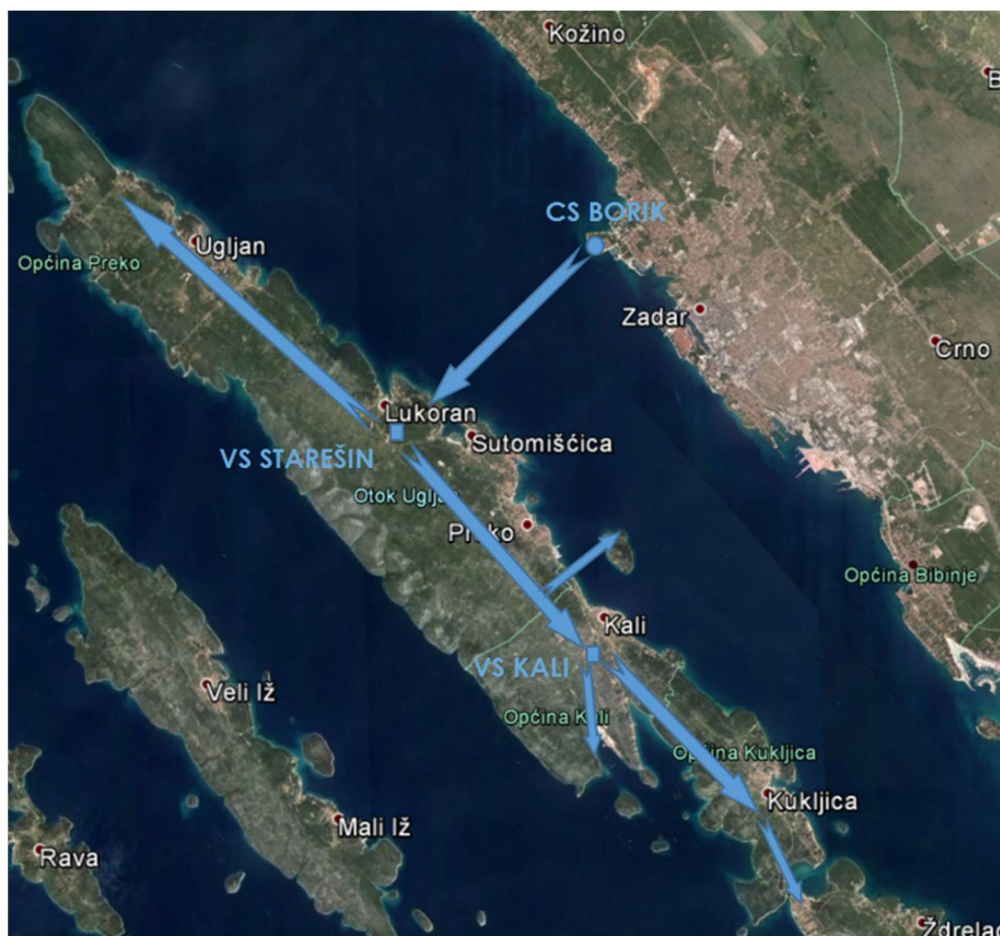
Parametri crpke određuju se na osnovu radne točke koju kao sjecište na  $Q - H$  krivulje koja prikazuje na koju visinu crpka može podići neki protok te krivulje otpora.



Slika 2:  $Q$ - $H$  karakteristika , krivulja otpora i radna točka [4]

### 3.3 Ulazni podaci

Dio vodoopskrbnog sustava preuzet je iz glavnog projekta sustava vodoopskrbe aglomeracije Preko-Kali na otoku Ugljanu. Otok Ugljan kao jedan od najnaseljenijih otoka Hrvatske, nalazi se u zadarskom arhipelagu, sjeverozapadno od otoka Pašmana i jugoistočno od otoka Rivanj i Sestrunj. Od kopna ga dijeli Zadarski kanal, a s otokom Pašmanom ga povezuje most preko prolaza Mali Ždrelac. Područje otoka Ugljana obuhvaća tri općine, općinu Preko, općinu Kali te općinu Kukljica.



*Slika 3: Vodoopskrbni sustav otoka Ugljana*

Vodoopskrbni sustav otoka Ugljana sastoji se od niza vodoopskrbnih podsustava pojedinih naselja koja su povezana u jednu cjelinu. Iz crpne stanice Borik kraj Zadra, preko podmorskog cjevovoda duljine 4.668 metara, vodoopskrbni sustav otoka Ugljana povezan je na zadarski vodoopskrbni sustav. Okosnica vodoopskrbnog sustava otoka Ugljana je centralni vodospremnik Starešin te magistralni cjevovod koji se proteže duž otoka.



Od vodospremnika Starešin, cjevovod se grana na sjeverozapadni i jugoistočni krak. Na vodoopskrbni sustav sjeverozapadnog kraka spojena su naselja Ugljan i Lukoran, dok su na jugoistočni krak spojena naselja Preko, Sutomišćica, Poljana i otok Ošljak. Planiranom izgradnjom dvaju vodospremnika (od kojih je jedan vodospremnik Kukljica, koji je dio ovog projekta) rješava se problem nedostatka adekvatnog vodospremničkog prostora na otoku Ugljanu.

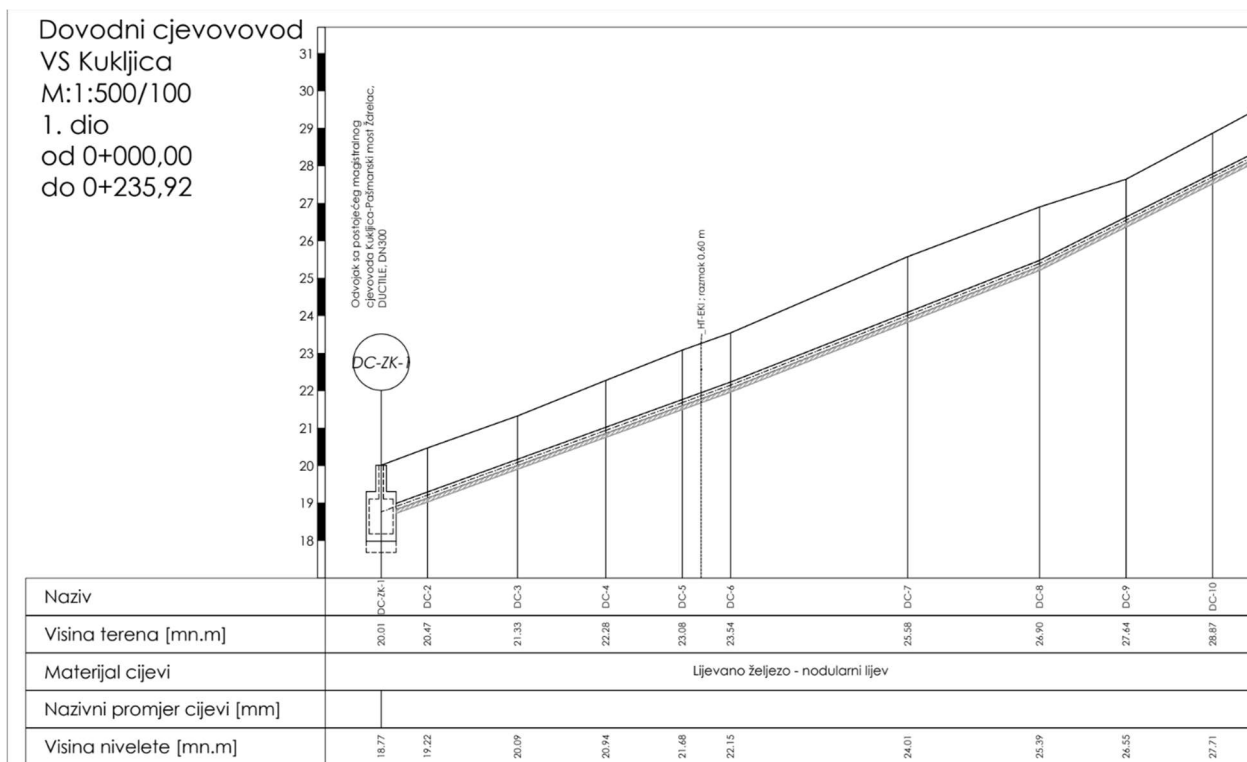


*Slika 4: Pregledna situacija smještaja VS Kukljica*

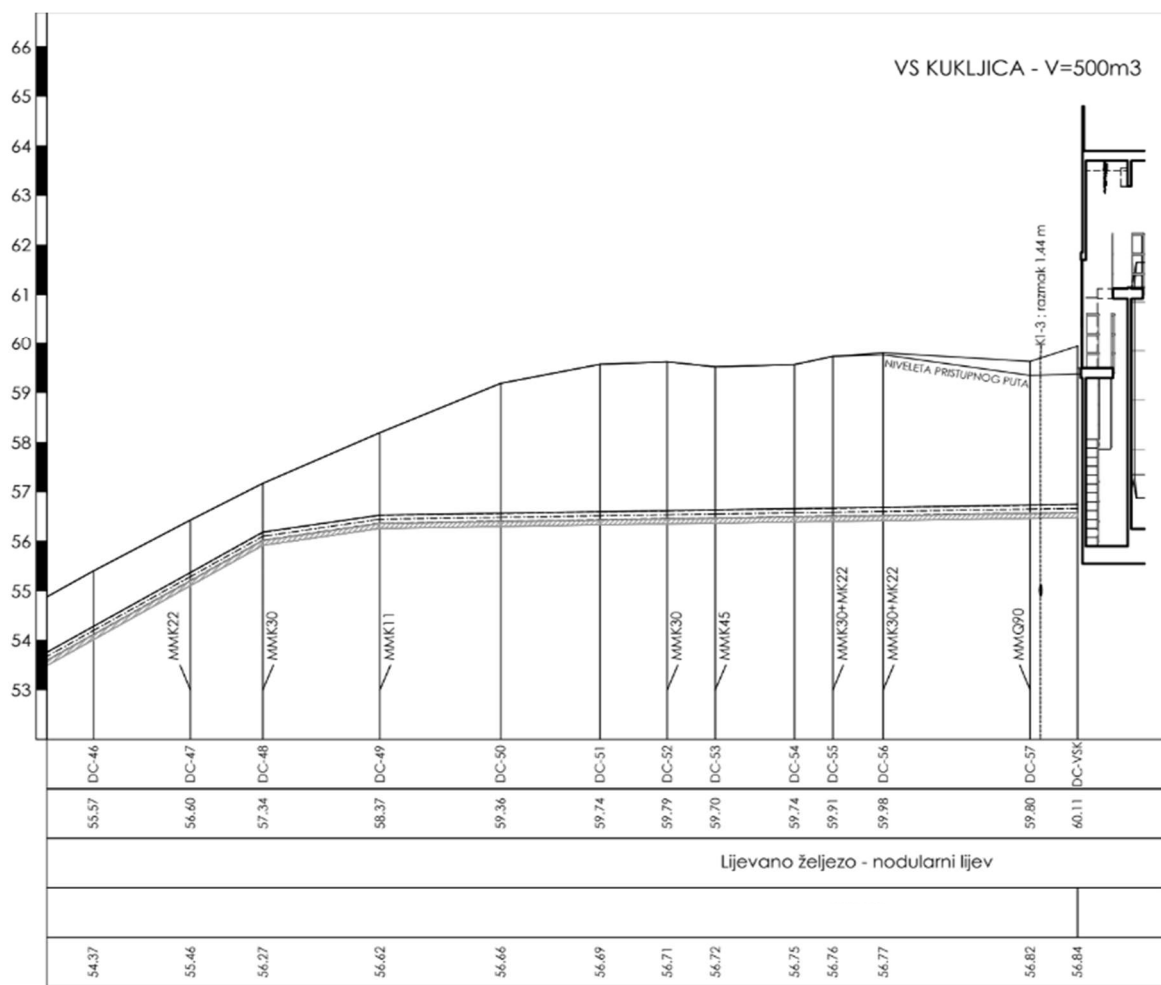
Odabrani cjevovodi vodoopskrbnog sustava su poznatih duljina te su preuzete iz Glavnog projekta vodoopskrbnog sustava Preko-Kali, gdje za glavni dovodni cjevovod koji vodu do vodospreme doprema uz pomoć crpne stanice duljina iznosi  $L = 570,70$  m , a za glavni opskrbeni cjevovod iznosi  $L = 567,15$  m. Glavnom dovodnom cjevovodu i glavnom opskrbenom cjevovodu priključci na vodospremu se nalaze na visini terena 56,83 m.n.m, a priključak G.D.C na magistralni vodovod Kukljica-Pašmanski most te priključak G.O.C na vodovodnu mrežu naselja se nalaze na koti terena 18.77 m.n.m.

Kota dna vodospremnika nam je također poznata iz Glavnog projekta vodoopskrbnog sustava Preko-Kali koja iznosi 57,02 m.n.m, te kota preljeva vodospremnika iznosi 61,02 m.n.m. Ukupna potrošnja u promatranom sustavu se temelji na mjerenjima ukupno isporučene vode kroz godinu dana, što dovodi do maksimalne dnevne potrošnje podsustava Kali od 10,07 l/s. [1]

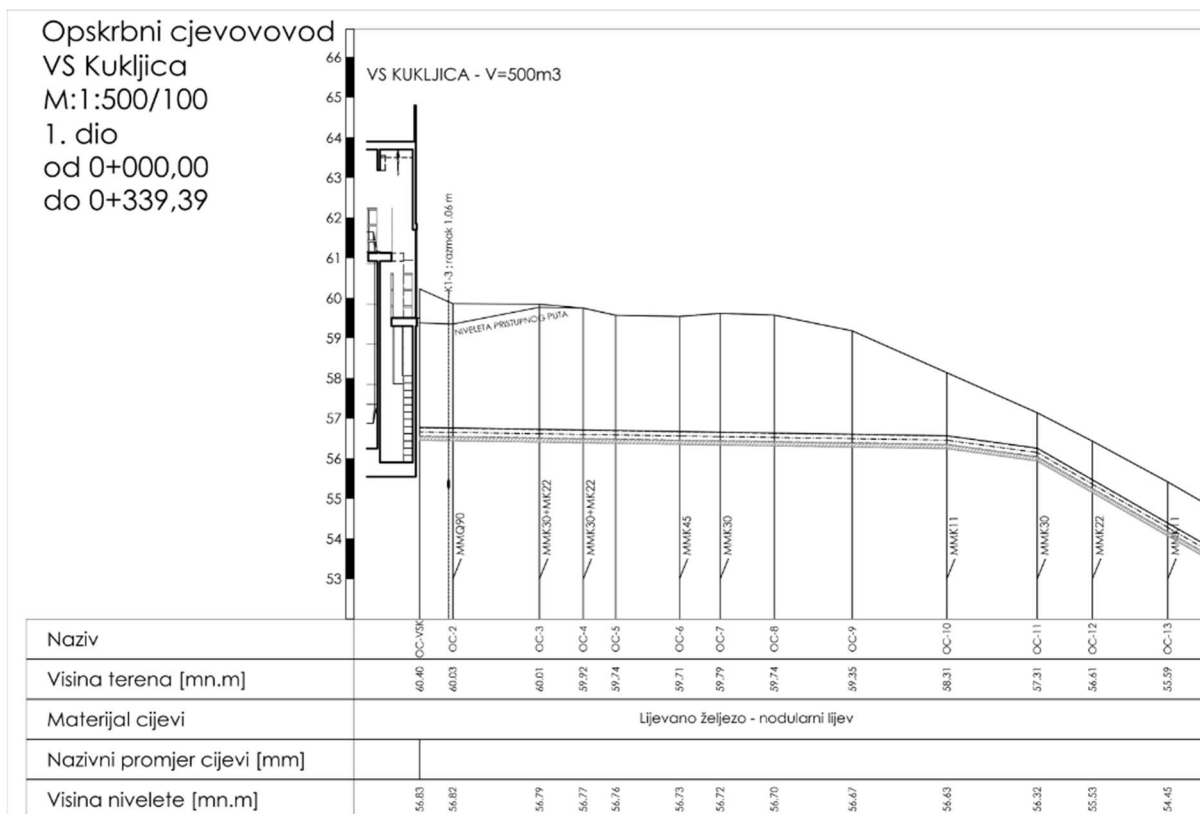




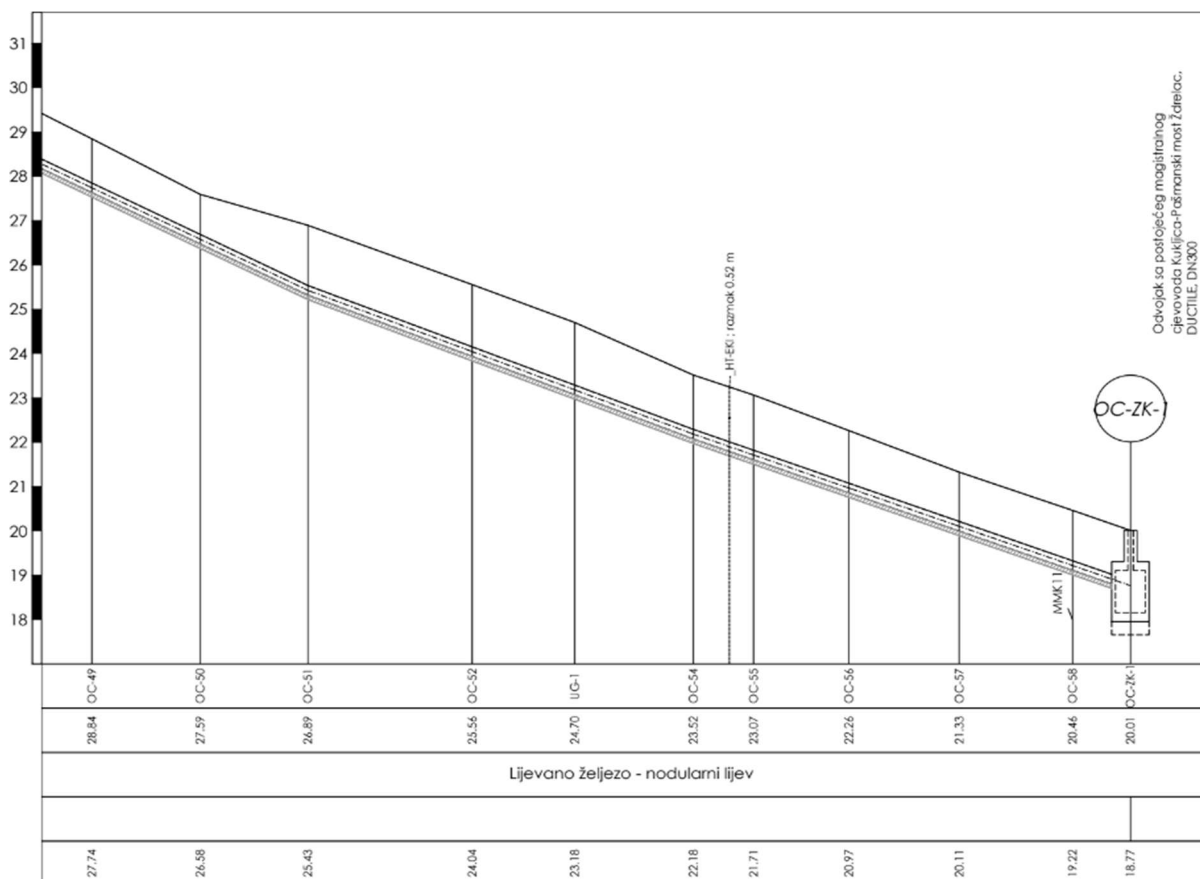
Slika 5: Prikaz spoja G.D.C na magistralni cjevovod



Slika 6: Prikaz spoja G.D.C na VS Kukljica



Slika 7: Prikaz spoja G.O.C na VS Kukljica



Slika 8: Prikaz spoja G.O.C na magistralni cjevovod

### 3.4 Proračun

#### 3.4.1 Dimenzioniranje glavnog dovodnog cjevovoda ( G.D.C )

Kod dimenzioniranja glavnog dovodnog mjerodavan je maksimalni dnevni protok koji je preuzet iz glavnog projekta vodoopskrbe sustava Preko-Kali.  $Q_{\max, \text{dn}}$  je mjerodavan iz razloga što se u vodospremu treba dovoditi količina vode koja zadovoljava potrebe naselja koje će se opskrbljivati iz vodospreme. Kako je potrebni protok poznat lako se može doći do potrebnog profila cijevi i brzine toka vode iz omjera protoka i brzine, odnosno protoka i profila cijevi.

$$Q_{\max, \text{dn}} = 870,05 \text{ m}^3/\text{dan} \rightarrow 10,07 \text{ l/s}$$

$$L = 578,70 \text{ m}$$

$$Z_1 = 61,02 \text{ m}$$

$$Z_2 = 18,77 \text{ m}$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \nu = 1,004 * 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

Pretpostavlja se temperatura od 20 °C te se za tu vrijednost određuje koeficijent kinematičke viskoznosti vode  $\nu$ . Za nastavak proračuna određuje se da brzina ne smije prijeći iznos od 1,5 m/s te s tom vrijednosti se pristupa proračunu za određivanje profila cijevi preko sljedećeg izraza :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{\max, \text{dn}}}{\pi * v_{\text{pretp}}}} = \sqrt{\frac{4 * 0,01007}{\pi * 1,5}} = 0,092 \text{ m} = 92 \text{ mm} \rightarrow \text{odabran profil cijevi } D = 100 \text{ mm}$$

Zatim se izračunava stvarna brzinu toka vode :

$$v = \frac{Q}{\frac{D^2 * \pi}{4}} = \frac{0,01007}{\frac{0,1^2 * \pi}{4}} = 1,282 \text{ m/s}$$

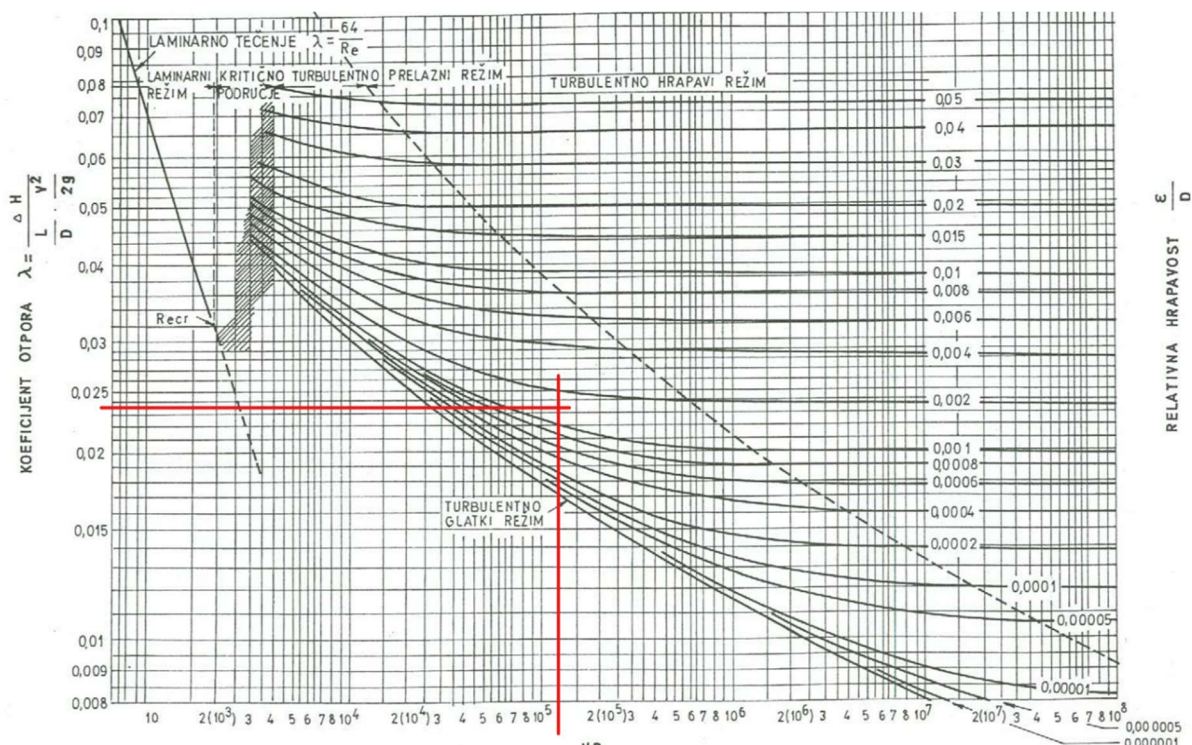
Potrebno je izračunati linijske gubitke, te prilikom proračuna primjenjuje se Darcy-Weisbachova jednadžba :

$$\Delta H_{\text{tr}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

U ovom izrazu nepoznat je koeficijent otpora pri tečenju zbog trenja  $\lambda$  te ga se treba odrediti iz Moodyevog dijagrama uz pomoć Reynoldsovog broja i relativne hrapavosti.

$$\text{Re} = \frac{v * D}{\nu} = \frac{1,282 * 0,1}{1,004 * 10^{-6}} = 127 \text{ } 689,24$$

$$\varepsilon = 0.15 \text{ (mm)} \rightarrow \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.15}{100} = 0,0015 \rightarrow \lambda \text{ (iz Moodyevog dijagrama)} = 0,0237$$



Slika 9: očitavanje koeficijenta  $\lambda$  sa Moodyevog dijagrama

$$\Delta H_{tr} = 0,0237 * \frac{578,70}{0,1} * \frac{1,282^2}{2*9,8} = 11,488 \text{ m}$$

Brzinska visina  $\frac{v^2}{2g}$  iznosi :

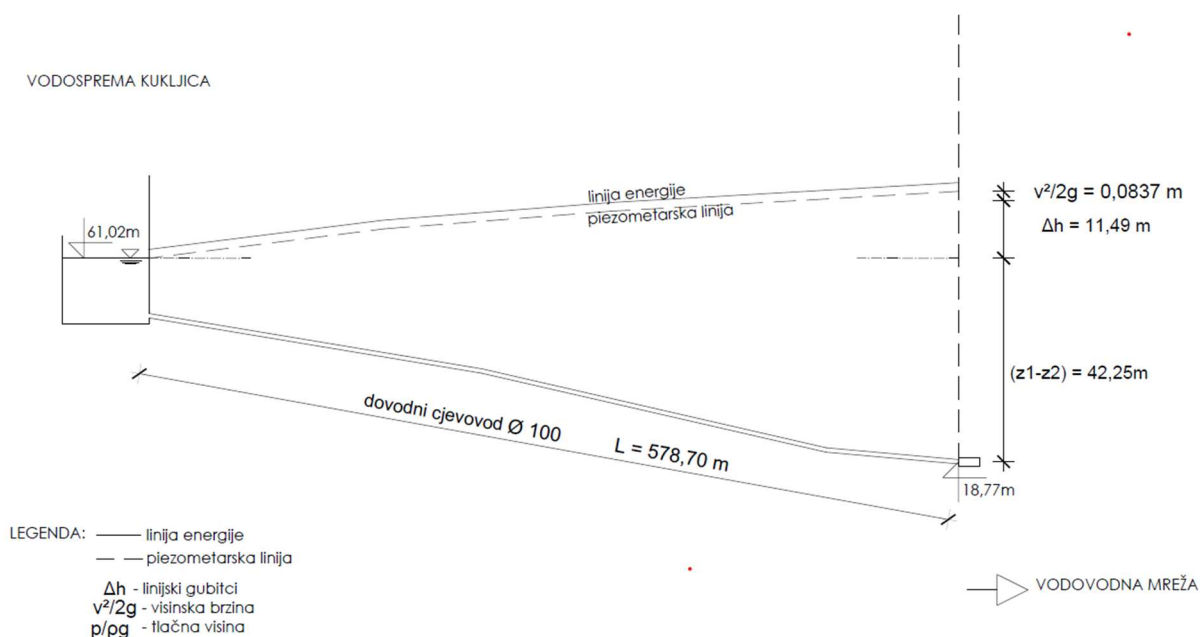
$$\frac{v^2}{2g} = \frac{1,282^2}{2*9,8} = 0,0837 \text{ m}$$

Tlačna visina  $\frac{p}{\rho g}$  se određuje preko Beroullijeve jednačbe :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + \Delta H_{tr}$$

$$\frac{p_2}{\rho g} = z_1 - z_2 - \frac{\alpha v^2}{2g} - \Delta H_{tr} = 61,02 - 18,77 - 11,488 - 0,0837 = 30,678 \text{ m}$$

SHEMATSKI PRIKAZ LINIJE ENERGIJE I PIEZOMETARSKJE LINIJE



Slika 10: shematski prikaz L.E i P.L te svih gubitaka

### 3.4.2 Dimenzioniranje crpke na glavnom dovodnom cjevovodu

Za dimenzioniranje crpke potrebno je odrediti manometarsku visinu na koju crpka treba podići određeni protok, te se određuje preko izraza :

$$H_{uk} = H_{st} + \Delta H + \frac{v^2}{2g} \quad \text{gdje su :}$$

$H_{st}$  = razlika visina dvaju promatranih točaka (1. Vodosprema Kukljica, 2. kraj cjevovoda)

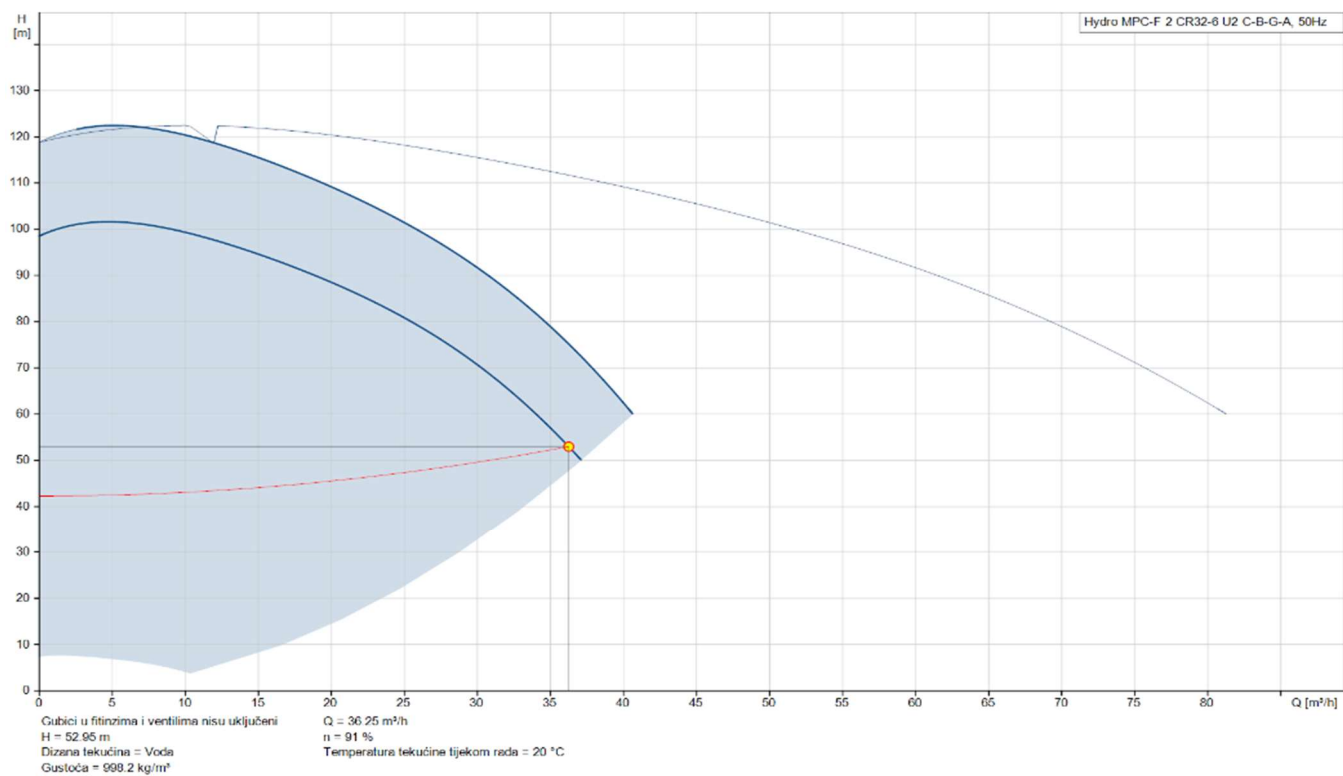
$\Delta H$  = linijski gubici duž promatranog cjevovoda

$\frac{v^2}{2g}$  = brzinska visina

$$H_{uk} = 42,25 + 10,616 + 0,0837 = 52,95 \text{ m} \rightarrow \text{visina na koju crpka podiže protok}$$

$$Q = 870,05 \text{ m}^3/\text{dan} \rightarrow 36,25 \text{ m}^3/\text{h} \text{ odgovara max, dnevnoj potrošnji}$$

Te se crpka dimenzionira pomoću Q-H krivulje.



Slika 11: Q-H karakteristika za određivanje crpne stanice [5]



Slika 11: Odabrana crpna stanica

### 3.4.3 Dimenzioniranje glavnog opskrbnog cjevovoda ( G.O.C )

Kod dimenzioniranja glavnog opskrbnog cjevovoda mjerodavan je maksimalni satni protok koji se određuje množenjem maksimalne dnevne potrošnje s koeficijentom neravnomjernosti te se dijeli s brojem sati u danu.  $Q_{\max,h}$  je mjerodavan iz razloga što se u naselje treba dovoditi količina vode koja zadovoljava najveće potrebe naselja kroz dan . Kako je potrebni protok poznat lako se može doći do potrebnog profila cijevi i brzine toka vode iz omjera protoka i brzine, odnosno protoka i profila cijevi.

$$Q_{\max,h} = \frac{Q_{\max,dn} * K_h}{24} = \frac{870,05 * 2,0}{24} = 75,504 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 20,97 \text{ l/s}$$

$K_h = 2,0 \rightarrow$  koeficijent neravnomjernosti najveće satne potrošnje

Veličina naselja (potrošača)	Koeficijenti neravnomjernosti	
	$K_d$	$K_h$
Ljetovališta i toplice	1.6 do 1.7	2.5
Sela i manja naselja	1.5 do 1.6	2.0
Gradovi ispod 25 000 stanovnika	1.4 do 1.3	1.6
Gradovi od 25 000 do 50 000 stanovnika	1.3 do 1.4	1.4
Gradovi od 50 000 do 100 000 stanovnika	1.3	1.3
Gradovi preko 100 000 stanovnika	1.2	1.2

Slika 12: tablica koeficijenata neravnomjernosti

$$L = 576,15 \text{ m}$$

$$Z_1 = 61,02 \text{ m}$$

$$Z_2 = 18,77 \text{ m}$$

$$h = 61,02 - 18,77 = 42,25 \text{ m}$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow v = 1,004 * 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Pretpostavlja se temperatura od 20 °C te se za tu vrijednost očita kinematička viskoznost  $v$ . Za nastavak proračuna se uvjetuje da brzina ne smije prijeći iznos od 1,5 m/s te s tom vrijednosti se ulazi u proračun za određivanje profila cijevi preko sljedećeg izraza :



$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,02097}{\pi \cdot 1,5}} = 0,133 \text{ m} = 133 \text{ mm} \rightarrow \text{odabran profil cijevi } D = 150 \text{ mm (0.15m)}$$

Zatim se izračunava stvarna brzina toka vode :

$$v = \frac{Q}{\frac{D^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{0,02097}{\frac{0,15^2 \cdot \pi}{4}} = 1,186 \text{ m/s}$$

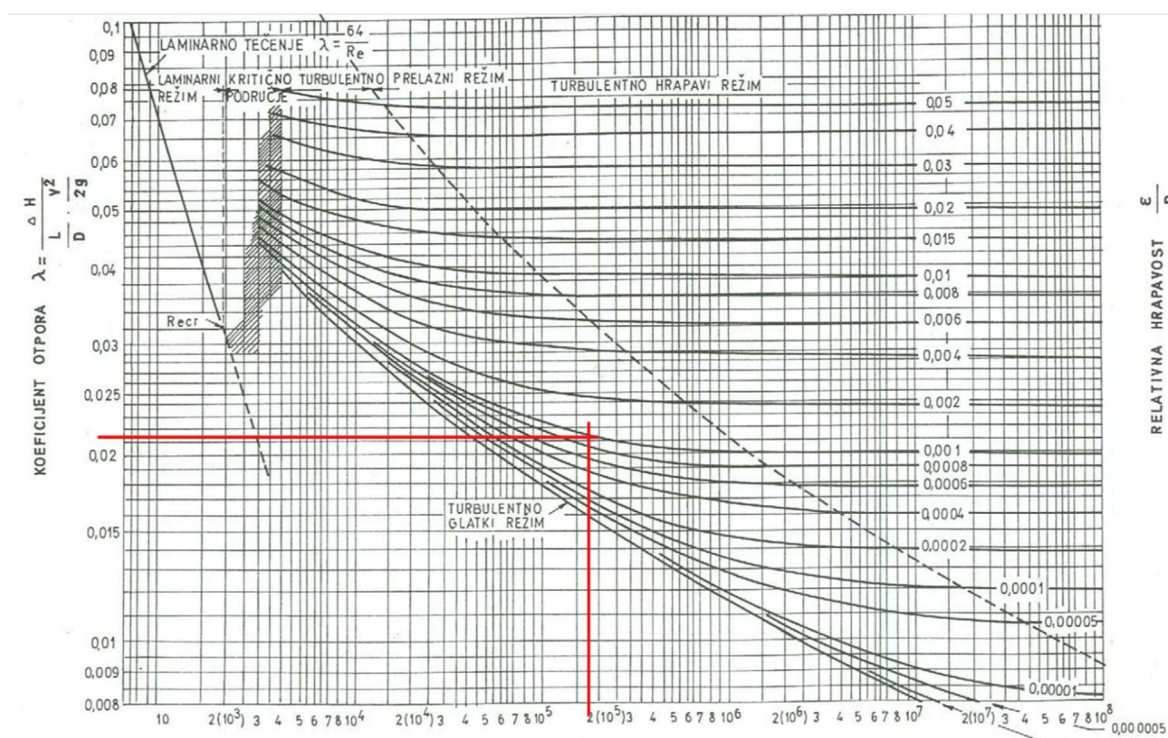
Potrebno je izračunati linijske gubitke, te prilikom proračuna primjenjuje se Darcy-Weisbachova jednadžba

$$\Delta H_{tr} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

U ovom izrazu nepoznat je koeficijent otpora pri tečenju zbog trenja  $\lambda$  te ga je potrebno odrediti iz Moodyevog dijagrama uz pomoć Reynoldsovog broja i relativne hrapavosti.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,186 \cdot 0,15}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 177\,191,235$$

$$\varepsilon = 0,15 \text{ (mm)} \rightarrow \frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15}{150} = 0,001 \rightarrow \lambda \text{ (iz Moodyevog dijagrama)} = 0,0214$$



Slika 13: očitavanje koeficijenta  $\lambda$  sa Moodyevog dijagrama

$$\Delta H_{tr} = 0,0214 \cdot \frac{576,15}{0,15} \cdot \frac{1,186^2}{2 \cdot 9,8} = 5,892 \text{ m}$$

Brzinska visina  $\frac{v^2}{2g}$  iznosi :



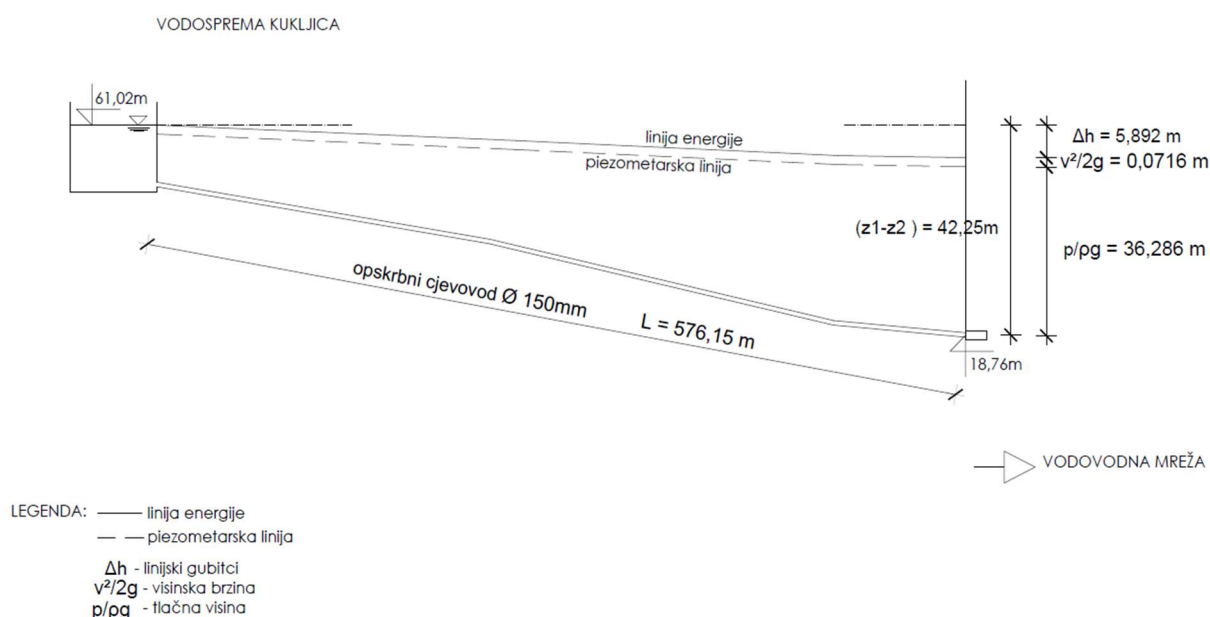
$$\frac{v^2}{2g} = \frac{1,186^2}{2 \cdot 9,8} = 0,0716 \text{ m}$$

Tlačna visina  $\frac{p}{\rho g}$  se određuje preko Bernoullijeve jednadžbe :

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + \Delta H_{tr}$$

$$\frac{p_2}{\rho g} = z_1 - z_2 - \frac{\alpha v^2}{2g} - \Delta H_{tr} = 61,02 - 18,77 - 5,892 - 0,0716 = 36,286 \text{ m}$$

SHEMATSKI PRIKAZ LINIJE ENERGIJE I PIEZOMETARSKJE LINIJE



Slika 14: shematski prikaz L.E i P.L te svih gubitaka

### 3.4.4 Hidraulički proračun volumena vodospreme

U ovaj proračun se ulazi s maksimalnim dnevnim protokom koji je preuzet iz Glavnog projekta vodoopskrbnog sustava Preko-Kali, te iznosi 10,07 l/s ili nakon preračunavanja 870,05 m<sup>3</sup>/dan. S obzirom da je određeno da crpna stanica radi 12 sati u danu, tako se odabire tablica za analitički proračun volumena vodospremnika. Potrošnja u tijeku dana se iskazuje u postocima ( %) maksimalnih dnevnih potreba u pojedinim satima, dakle u vodospremnik u određenim satima dotječe 8,33 % max,dn. protoka.

Sali od-do	Potrošnja (%)	Ukupna potrošnja	Dolok (crpka rada 12h dnevno)	Višak (+)	Manjak (-)	Volumen vodospremnika		
	%	m3/h	%	%	%	%		
							$V_1 = 36,98\% + (-15,0) = 52,01\%$	
0-1	1	8,7005	8,33	7,33		7,33	$V_{or} = 52,01\% * 870,05 m^3 = 452,51 m^3$	
1-2	1	8,70	8,33	7,33		14,66	$V_{pr} = 10 l/s * 60 * 60 / 1000 * 2 = 72 m^3$	$q_{pr} = 10 l/s$
2-3	1	8,70	8,33	7,33		21,99	$V_{sr} = 0,25 * (425,51 + 72) = 131,13 m^3$	
3-4	2	17,40	8,33	6,33		28,32	$V_{uk} = V_1 + V_2 + V_3 = 655,63 m^3$	
4-5	3	26,10	8,33	5,33		33,65	<b><math>V_{uk} = 700 m^3 \rightarrow ODABRANO</math></b>	
5-6	5	43,50	8,33	3,33		36,98		
6-7	5	43,50			-5	31,98		
7-8	6	52,20			-6	25,98		
8-9	4	34,80			-4	21,98		
9-10	4	34,80			-4	17,98		
10-11	4	34,80			-4	13,98		
11-12	5	43,50			-5	8,98		
12-13	6	52,20			-6	2,98		
13-14	7	60,90			-7	-4,02		
14-15	7	60,90			-7	-11,02		
15-16	6	52,20	8,33	2,33		-8,69		
16-17	4	34,80	8,33	4,33		-4,36		
17-18	4	34,80	8,33	4,33		-0,03		
18-19	4	34,80			-4	-4,03		
19-20	5	43,50			-5	-9,03		
20-21	6	52,20			-6	-15,03		
21-22	5	43,50	8,33	3,33		-11,7		
22-23	3	26,10	8,33	5,33		-6,37		
23-24	2	17,40	8,33	6,33		-0,04		
<b>UKUPNO</b>	<b>100</b>	<b>870,05</b>	<b>100%</b>	<b>62,96%</b>	<b>-63,00%</b>			

Slika 15: prikaz proračuna volumena vodospremnika sa crpkom rada 12h

$V_1$  – operativni volumen je određen tako što su uzete količine najvećeg viška i najvećeg manjka vode kroz dan, te vrijednosti se zbrajaju te dobija iznos od 57,01 % koji se pomnoži s maksimalnom dnevnom potrošnjom, što rezultira iznosom od 452,51 m<sup>3</sup>

$V_2$  – količina vode potrebna za gašenje požara je preuzeta iz Glavnog projekta vodoopskrbnog sustava Preko-Kali, gdje se predviđa potrošnja vode za jedan požar i vrijeme gašenja od 2 sata. Ta količina iznosi 10 l/s i prema tome se dobije protupožarna rezerva od 72 m<sup>3</sup>

$V_3$  – sigurnosna rezerva tj. količina vode za slučajevne poremećaja opskrbe iznosi 25% zбоја operativnog i protupožarnog volumena te prema tome sigurnosna rezerva iznosi 131,13 m<sup>3</sup>

$V_{uk}$  – ukupni volumen vodospremnika se dobije zbrajanjem svih prethodno izračunatih volumena te iznosi  $(425,51 m^3 + 72 m^3 + 131,13 m^3) = 655,63 m^3$ , te se usvaja vrijednost od 700 m<sup>3</sup>

## 4. REZULTATI

### GLAVNI DOVODNI CJEVOVOD

Određen je potreban profil cijevi zajedno s brzinom toka vode kroz cjevovod uz pomoć poznate vrijednosti mjerdavnog protoka. Također je dimenzionirana crpna stanica na glavnom dovodnom cjevovodu koja zadovoljava proračunate uvjete.

$$Q_{\max, \text{dn}} = 870,05 \text{ m}^3/\text{dan} \rightarrow 10,07 \text{ l/s}$$

$$D = 100 \text{ mm}$$

$$v = 1,282 \text{ m/s}$$

### GLAVNI OPSKRBNI CJEVOVOD

Prvobitno je određen mjerdavni protok koji je potreban kao ulazni podatak za dimenzioniranje samog cjevovoda. Određen je potreban profil cijevi zajedno s brzinom toka vode kroz cjevovod. Također je i određena vrijednost tlaka na spoju opskrbnog cjevovoda s vodovnom mrežom naselja što je nužan podatak za dimenzioniranje vodovodne mreže.

$$Q_{\max, \text{h}} = \frac{Q_{\max, \text{dn}} * K_h}{24} = \frac{870,05 * 2,0}{24} = 75,504 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 20,97 \text{ l/s}$$

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$v = 1,186 \text{ m/s}$$

$$\frac{p_2}{\rho g} = 30,678 \text{ m ( tlak na spoju s vodovodnom mrežom )}$$

## CRPNA STANICA

Crpna stanica je određena uz pomoć mjerodavnog protoka koji odgovara maksimalnom dnevnom protoku, te manometarske visine koja je određena uz pomoć vrijednosti prethodno izračunatih za glavni dovodni cjevovod.

$$H_{\text{man}} = 52,95 \text{ m}$$

$$Q = 870,05 \text{ m}^3/\text{dan}$$

## VODOSPREMA

Ukupni volumen vodospreme određen je zbrojem volumena operativne rezerve, volumena potrebnog za gašenje jednog požara te volumena za slučajeve poremećaja opskrbe. Mjerodavan protok za određivanje operativne rezerve je  $Q_{\text{max,dn.}}$ , količina vode potrebne za gašenje jednog požara je 10 l/s te sigurnosna rezerva iznosi 25% zbroja prethodnih volumena.

$$V_{\text{uk}} = 700 \text{ m}^3$$

## **5. ZAKLJUČAK**

U ovom radu izvršen je hidraulički proračun vodospremnika Kukljica te glavnog i dovodnog cjevovoda primjenom Bernoullijeve i Darcy-Weisbachove jednačbe. Dobivenim rezultatima je osiguran dovoljan volumen vodospreme za naselje te potreban pogonski tlak za dimenzioniranje vodovodne mreže naselja. Određeni su profili glavnog dovodnog i opskrbnog cjevovoda te su utvrđene brzine tečenja vode u cjevovodu. Za dovodni cjevovod je određena i potrebna crpna stanica koja omogućuje potreban dotok vode u vodospremu. Cijelokupni rezultati ovog rada su ključni za razvoj i održavanje infrastrukture na otoku.

## 6. POPIS SLIKA

Slika 1: prikaz tablice za izračun volumena vodospremnika, crpka rada 12h .....	11
Slika 2: Q-H karakteristika , krivulja otpora i radna točka.....	13
Slika 3: Vodoopskrbni sustav otoka Ugljana.....	14
Slika 4: Pregledna situacija smještaja VS Kukljica.....	15
Slika 5: Prikaz spoja G.D.C na magistralni cjevovod.....	16
Slika 6: Prikaz spoja G.D.C na VS Kukljica.....	16
Slika 7: Prikaz spoja G.O.C na VS Kukljica.....	17
Slika 8: Prikaz spoja G.O.C na magistralni cjevovod.....	17
Slika 9: očitavanje koeficijenta $\lambda$ sa Moodyevog dijagrama.....	19
Slika 10: shematski prikaz L.E i P.L te svih gubitaka.....	20
Slika 11: Q-H karakteristika za određivanje crpne stanice.....	21
Slika 11: Odabrana crpna stanica.....	21
Slika 12: tablica koeficijenata neravnomjernosti.....	22
Slika 13: očitavanje koeficijenta $\lambda$ sa Moodyevog dijagrama.....	23
Slika 14: shematski prikaz L.E i P.L te svih gubitaka.....	24
Slika 15: prikaz proračuna volumena vodospremnika, crpka rada 12h.....	25

## 7. LITERATURA

- [1] Sustav vodoopskrbe aglomeracije Preko-Kali, Via Factum d.o.o. Zagreb, 2019.
- [2] Margeta J., Vodoopskrba naselja, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010.
- [3] Projektiranje vodoopskrbnih sustava, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski Fakultet.
- [4] Bojanić Davor, Osnove vodogradnje predavanja, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2011.
- [5] Grundfos – kalkulator za dimenzioniranje crpnih stanica.