

Hidraulični proračun dijela vodovodne mreže otoka Ugljana

Rastočić, Tea

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:317223>

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



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

ZAVRŠNI RAD

Tea Rastočić

Split, 2024.

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

**Hidraulički proračun dijela vodovodne mreže otoka
Ugljana**

Završni rad

Split, 2024.

Hidraulički proračun dijela vodovodne mreže otoka Ugljana

Sažetak:

U ovom radu izvršen je hidraulički proračun dijela vodovodne mreže na otoku Ugljanu koristeći metodu relaksacije. Cilj proračuna je osigurati učinkovitost i pouzdanost sustava opskrbe vodom. Metoda se temelji na proračunu tlakova u čvorovima koji predstavljaju elemente vodovodne mreže, temeljem pretpostavljenih piezometarskih visina u pojedinim čvorovima. Analizirani su različiti dijelovi vodovodne mreže kako bi se odredile optimalne veličine cjevovoda i potrebni tlakovi. Rezultati proračuna pokazali su da je sustav sposoban zadovoljiti sve potrebe potrošača uz održavanje stabilnog tlaka, čime se osigurava kvalitetna opskrba vodom za stanovnike otoka.

Ključne riječi: hidraulički proračun, vodovodna mreža, metoda relaksacije, Bernoullijeva jednačba, jednačba kontinuiteta

Hydraulic calculation of a water supply network section on the island of Ugljan

Abstract:

In this thesis a hydraulic calculation of a section of the water supply network on the island of Ugljan is performed using the relaxation method. The aim of the calculation is to ensure the efficiency and reliability of the water supply system. Methodology is based on pressure calculation in each node, representing elements of water supply network. Different parts of the network were analyzed to determine the optimal pipe size and required pipe pressures. The results of calculation have demonstrated that the system is capable of fulfilling consumers' needs while maintaining stable pressure, thereby ensuring a reliable water supply for the island's inhabitants.

Keywords: hydraulic calculation, water supply network, relaxation method, Bernoulli's equation, continuity equation

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: Tea Rastočić
MATIČNI BROJ (JMBAG): 0243107993
KATEDRA: Katedra za hidromehaniku i hidrauliku
PREDMET: Osnove vodogradnje

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Hidraulički proračun dijela vodovodne mreže otoka Ugljana

Opis zadatka: Potrebno je izraditi hidraulički proračun vodovodne mreže koristeći metodu relaksacije. Vodovodnu mrežu potrebno je konceptualno prikazati pomoću čvorova i elemenata koji povezuju čvorove. U čvorovima je potrebno odrediti potrošnju vode te početnu piezometarsku visinu. Potrebno je analizirati vodovodnu mrežu kako bi se odredile optimalne veličine promjera cijevi te ispitati zadovoljavaju li svi elementi mreže ograničenja minimalnih i maksimalnih dozvoljenih tlakova u vodovodnoj mreži.

Rad treba sadržavati:

- Prikaz odabrane metodologije za hidraulički proračun vodovodne mreže
- Ulazne podatke u hidraulički proračun
- Rezultate hidrauličkog proračuna

U Splitu, 18.03.2024.

Voditelj Završnog rada:



Doc. dr. sc. Toni Kekez

SADRŽAJ

1. UVOD	6
2. VODOOPSKRBNI SUSTAVI.....	7
2.1. Općenito	7
3. HIDRAULIČKI PRORAČUN SUSTAVA	9
3.1. Općenito	9
3.2. Metode proračuna.....	9
3.3. Ulazni podaci.....	13
3.4. Proračun	18
4. REZULTATI.....	20
5. ZAKLJUČAK	23
6. POPIS TABLICA I SLIKA.....	24
7. LITERATURA.....	25

1. UVOD

Cilj ovog rada je provesti detaljan hidraulički proračun dijela vodovodne mreže otoka Ugljana koristeći metodu relaksacije, kako bi se osigurala učinkovita i pouzdana opskrba vodom. Dio mreže preuzet je iz glavnog projekta sustava vodoopskrbe aglomeracije Preko-Kali na otoku Ugljanu [1].

Vodoopskrbni sustavi imaju ključne funkcije kao što su zadovoljenje potreba potrošača za kvalitetnom vodom, održavanje tlaka u mreži, osiguranje vode za gašenje požara i održavanje rezervi za hitne situacije. Sustavi se sastoje od objekata za zahvaćanje vode (brane, jezera, bunari), poboljšanje kvalitete vode (postrojenja za obradu), dovođenje vode (cjevovodi, crpne stanice), raspodjelu vode (gradske mreže), sabiranje i čuvanje vode (vodospreme, vodotornjevi) te regulaciju tlaka (ventili). Dijele se na gravitacijske sustave koji koriste prirodni pad vode i tlačne sustave s crpkama. Vodovodne mreže mogu biti razgranate, prstenaste ili kombinirane. Sustav na otoku Ugljan je kombinirani gravitacijski sustav.

Hidraulički proračun sustava podrazumijeva određivanje veličine cjevovoda i tlaka za svakog potrošača, pri čemu su potrebni tlak i potrošnja već poznati. Projektiranjem mreže utvrđuje se oblik i pravci kretanja vode. Metodologija za proračun koristi Bernoullijevu jednadžbu za analizu ukupne energije elementa voda i jednadžbu kontinuiteta. Bernoullijeva jednadžba uzima u obzir gubitke energije zbog trenja, dok se izračun protoka temelji na Darcy-Wessbachovom izrazu. Iterativni postupak relaksacije prilagođava piezometarske visine u čvorovima dok neuravnoteženi protok ne postane nula. Proračun se izvodi u programskom paketu Excelu.

2. VODOOPSKRBNI SUSTAVI

2.1. Općenito

Vodoopskrbni sustavi imaju funkcije kao što su: zadovoljavanja svih potreba potrošača za vodom kakvoće vode za piće, održavanje tlaka u mreži, osiguranje vode za gašenja požara i dovoljne rezerve vode potrebne u incidentnim situacijama [2]. Sustavi za vodovod moraju biti ekonomski učinkoviti i osigurati vodu u potrebnim količinama i kvaliteti.

Za postizanje ovih funkcija, vodoopskrbni sustavi opremljeni su različitim objektima koji zajedno čine jedinstvenu cjelinu, koja na ekonomičan način mora osigurati dovoljne količine kvalitetne vode pod određenim tlakom.

- Objekti za zahvaćanje vode (brane, jezera, mora, bunari, galerija)
- Objekti za poboljšanje kvalitete vode (obrada do kvalitete vode za piće)
- Objekti za dovođenje vode od postrojenja za obradu vode do naselja (cjevovodi, kanali, crpne stanice itd. koje služe za dovođenje vode do naselja)
- Objekti za raspodjelu vode potrošačima (gradske vodovodne mreže sa potrebnim objektima)
- Objekti za sabiranje i čuvanje vode (vodospreme, vodotornjevi)
- Objekti za regulaciju tlaka u vodovodnoj mreži (vodospreme, prekidne komore i ventili za regulaciju tlaka)

S obzirom na uzroke kretanja vode vodoopskrbne sustave dijelimo na:

- opskrbu prirodnim dotokom (gravitacijski sustav)
- opskrbu umjetnim podizanjem vode (crpni tj. tlačni sustav)

Vodovodna mreža predstavlja jedan od ključnih elemenata svakog vodoopskrbnog sustava. Kao krajnji element, izravno je povezana s potrošačima vode i služi za distribuciju vode na mjestima potrošnje, pri čemu je povezana s glavnim opskrbnim cjevovodom i vodospremnikom.

Vodovodne mreže se razlikuju po karakteru kretanja vode u mreži:

- razgranati oblik vodovodne mreže - voda u mreži se kreće jednosmjerno
- prstenasti oblik vodovodne mreže - voda u vodovodnoj mreži se kreće ili se može kretati u oba smjera

- kombinirani oblik vodovodne mreže - voda u vodovodnoj mreži se u jednom dijelu isključivo kreće jednosmjerno, a u drugom dvosmjerno

Sustav vodoopskrbe otoka Ugljana je kombinirani gravitacijski sustav, što znači da se voda u jednom dijelu mreže kreće jednosmjerno, dok se u drugom dijelu može kretati u oba smjera, koristeći prirodni pad za distribuciju vode. Ovaj sustav koristi prednosti prirodnog reljefa otoka, omogućujući gravitacijsku distribuciju vode bez potrebe za konstantnim crpljenjem. U dijelovima mreže gdje se voda kreće jednosmjerno, sustav je dizajniran da vodi vodu od viših do nižih nadmorskih visina, osiguravajući stabilan protok i adekvatan tlak na svim točkama potrošnje. U dijelovima gdje se voda može kretati u oba smjera, prstenasta konfiguracija mreže omogućava fleksibilnost u distribuciji vode, čime se povećava pouzdanost sustava i smanjuje rizik od prekida opskrbe. Ovaj pristup također omogućava lakše održavanje i prilagodbu sustava u slučaju potrebe za promjenom smjera tečenja vode zbog radova ili incidenata.

3. HIDRAULIČKI PRORAČUN SUSTAVA

3.1. Općenito

Dimenzioniranje mreže podrazumijeva utvrđivanje veličine poprečnog presjeka cjevovoda i tlaka (gubitaka) za svakog potrošača. Potrebni tlak i potrošnja na mjestu priključka svakog potrošača unaprijed su poznati. Oblik vodovodne mreže i pravci po kojima voda može teći određuju se projektiranjem mreže. U slučaju detaljnijeg projekta, pristupa se preciznijem proračunu mreže, prilagođavajući potrebe svakog potrošača. Uzimajući u obzir zadane uvjete, visinu terena i lokaciju vodospremnika, osigurava se dovoljna cirkulacija vode za maksimalnu potrošnju i potreban tlak na točkama priključka korisnika.

3.2. Metode proračuna

Proračun se temelji na Bernoullijevoj jednadžbi i jednadžbi kontinuiteta. Bernoullijeva jednadžba koristi se za analizu energetskog stanja fluida duž cjevovoda, uzimajući u obzir gubitke energije uzrokovane trenjem [3]. Pri tom su brzinske visine i lokalni gubici zanemareni kao vrlo mali u odnosu na linijske gubitke. Zamislimo izolirani čvor "o" u kojem se sijeku dvije ili više cijevi. Za svaki "i"-ti ogranak, odnosno za svaku cijev "o - i", možemo formulirati jednadžbu na sljedeći način:

$$h_i = h_o - \Delta H_{oi} \quad (1)$$

gdje je:

h_i - piezometarska kota u čvoru "i"

h_o - piezometarska kota u čvoru "o"

ΔH_{oi} - gubitak energijske visine uzduž cijevi o-i

dok je pad linije energije "i"-tom ogranku određen Darcy - Wessbachovim izrazom:

$$\Delta H_{oi} = \lambda_{oi} \cdot \frac{L_{oi}}{D_{oi}} \cdot \frac{V_{oi}^2}{2g} \quad (2)$$

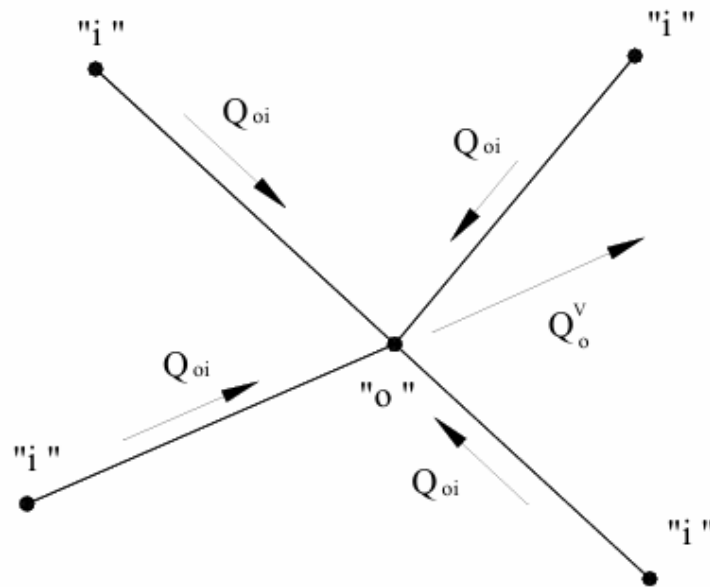
gdje je:

λ_{oi} - koeficijent otpora tečenja u cijevi "o-i", određen po Moodyjevom dijagramu

L_{oi} - dužina cijevi "i"-tog ogranka iz čvora "o"

D_{oi} - promjer cijevi "o-i"

v_{oi} - brzina u cijevi "o-i"



Slika 1. Shematski prikaz čvora u cijevnoj mreži

Brzina protjecanja tekućine kroz cijev proporcionalna je kvadratnom korijenu razlike piezometarskih kota i koeficijentu brzine koji uzima u obzir gravitaciju, promjer, duljinu cijevi i koeficijent trenja.

Iz izraza (1) i (2) izveden je izraz za izračun brzine između dva susjedna čvora:

$$v_{oi} = \pm \sqrt{\frac{2g \cdot D_{oi}}{\lambda_{oi} \cdot L}} \cdot \sqrt{|h_i - h_o|} = \pm \mu_{oi} \cdot \sqrt{|h_i - h_o|} \quad (3)$$

Predznak brzine se određuje prema predznaku piezometarskog pada, što se može napisati u obliku:

$$v_{oi} = \frac{h_i - h_o}{|h_i - h_o|} \cdot \mu_{oi} \cdot \sqrt{|h_i - h_o|} \quad (4)$$

Protok je određen kao:

$$Q_{ov} = A_{oi} \cdot v_{oi} = \mu_{oi} \cdot A_{oi} \frac{h_i - h_o}{|h_i - h_o|} \cdot \sqrt{|h_i - h_o|} \quad (4)$$

gdje je $A_{oi} = D_{oi}^2 \pi / 4$ površina poprečnog profila cijevi u nekom ogranku.

Izraz za protok u svakom ogranku može se pisati kao:

$$Q_{oi} = Y_{oi} \cdot (h_i - h_o) \quad (5)$$

Vodljivost Y jednaka je umnošku koeficijenta brzine μ i površine poprečnog presjeka cijevi A_{oi} , podijeljeno s kvadratnim korijenom apsolutne razlike piezometarskih kota h_i i h_o .

$$Y_{oi} = \frac{\mu_{oi} \cdot A_{oi}}{\sqrt{|h_i - h_o|}} \quad (6)$$

Koeficijent istjecanja određen je kao:

$$\mu_{oi} = \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{\lambda_{oi} \cdot \frac{L_{oi}}{D_{oi}}}} = \frac{\sqrt{2g D_{oi}}}{\sqrt{\lambda_{oi} \cdot L_{oi}}} \quad (7)$$

Jednadžba kontinuiteta za svaki čvor "o" :

$$\sum_{i=1}^n Y_{oi} (h_i - h_o) = Q_{ov} \quad (8)$$

Za svaki čvor "o" uvjet je da razlika između ukupnog protoka koji ulazi u čvor i protoka koji izlazi iz čvora bude jednaka protoku korištenom u čvoru, Q_{ov} . Ovaj uvjet mora biti zadovoljen za točno rješenje. Međutim, tijekom iterativnog približavanja točnom rješenju, vrijedi sljedeće:

$$\sum_{i=1}^n Y_{oi} (h_i - h_o) - Q_{ov} = RES_o \quad (9)$$

RES_o predstavlja neuravnoteženi protok u čvoru "o". Tijekom iterativnog postupka cilj je postići da neuravnoteženi protok u čvoru "o" bude jednak nuli, tj. $RES_o = 0$. Da bi se to postiglo vrijednost piezometarske kote h_o u čvoru "o" mijenja se za vrijednost Δh_o :

$$\sum_{i=1}^n Y_{oi} [h_i - (h_o + \Delta h_o)] - Q_{ov} = 0 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_{oi} (h_i - h_o) - Q_{ov} - \sum_{i=1}^n Y_{oi} \Delta h_o = 0 \quad (11)$$

Iz gore navedenih izraza slijede konačne jednadžbe:

$$RES_o = \Delta h_o \sum_{i=1}^n Y_{oi} ; \quad \Delta h_o = \frac{RES_o}{\sum_{i=1}^n Y_{oi}} = RES_o \Delta_o$$

$$\Delta_o = \frac{1}{\sum_{i=1}^n Y_{oi}}$$

$$\sum_{i=1}^n Q_{oi} - Q_{ov} = RES_o$$

$$h_o^{k+1} = h_o^k + \Delta h_o$$

Provedba proračuna piezometarskog stanja u cijevnoj mreži provodi se u odabranom programskom paketu. U ovom konkretnom slučaju odabran je Microsoft Excel.

Početni korak odnosi se na obilježavanje sustava, gdje se planirane trase cjevovoda označavaju linijama koje spajaju čvorove. Čvorovi se postavljaju na svim raskrižjima linija cjevovoda kao i na kraju svakog ogranka. U svakom čvoru zadaju se vrijednosti potrošnje vode i početnih piezometarskih visina. Potrošnja vode u čvoru odredi se kao polovica potrošnje svake dionice cijevi koja se spaja na promatrani čvor.

Potrošnja vode za svaku dionicu cijevi u pravilu se određuje temeljem stvarnog broja potrošača na promatranoj dionici. Međutim, kod proračuna prstenastih mreža potrebno je odrediti cjelokupnu potrošnju cijelog modeliranog sustava, čija se vrijednost podijeli s ukupnom duljinom mreže kako bi se izračunala vrijednost jedinične potrošnje vode u mreži (l/s/m').

Za svaku cijev zadani su podaci o duljini, promjeru i hrapavosti temeljem kojih se izračuna u prvom koraku vrijednost koeficijenta otpora λ te konačno, vrijednosti linijskih gubitaka.

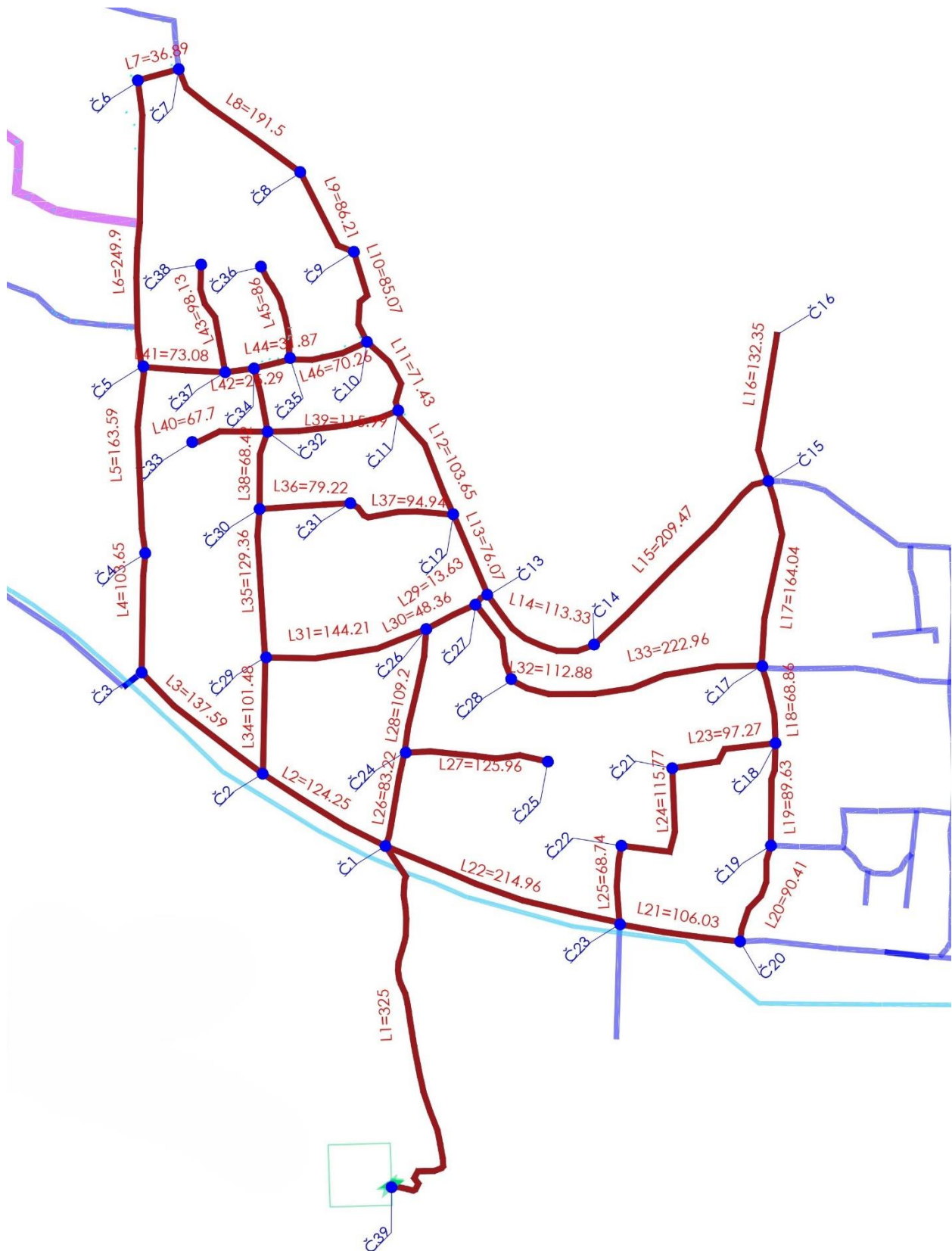
3.3. Ulazni podaci

Dio mreže uzet je iz glavnog projekta sustava vodoopskrbe aglomeracije Preko-Kali na otoku Ugljanu. Otok Ugljan 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 povezuje most preko prolaza Mali Ždrelac. Ugljan se ubraja i među najnaseljenije hrvatske otoke. Sva naselja leže uz obalu istočne strane otoka. Područje otoka Ugljana obuhvaća tri općine, općinu Preko, općinu Kali i općinu Kukljica.



Slika 2. Vodoopskrbni sustav otoka Ugljana

Vodoopskrbni sustav otoka Ugljana sastoji se od niza vodoopskrbnih podsustava pojedinih naselja duž otoka spojenih u jednu cjelinu. Iz crpne stanice Borik kraj Zadra, preko podmorskog cjevovoda duljine 4.668 m vodoopskrbni sustav otoka Ugljana spojen 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 su spojena naselja Ugljan i Lukoran, dok su na jugoistočni krak spojena naselja Preko, Sutomišćica, Poljana i otok Ošljak.



Slika 3. Izdvojeni dio vodovodne mreže naselja Preko za hidraulički proračun

Odabrana vodovodna mreža prikazana je s ukupno 47 dionica, gdje je za svaku dionicu definirana duljina te promjer cijevi. Također, za svaku cijev definirana je hrapavost koja služi za proračun koeficijenta otpora λ .

Ukupna potrošnja u promatranom sustavu preuzeta je iz Glavnog projekta vodoopskrbnog sustava Preko-Kali [1] a temelji se na mjerenjima ukupno isporučene vode kroz godinu dana, što dovodi do vrijednosti maksimalne dnevne potrošnje od 15,73 l/s. Primjenjujući literaturne podatke [2] odabran je koeficijent dnevne neravnomjernosti 2,0 te je izračunata maksimalna satna potrošnja u iznosu od 31,46 l/s. Veličina maksimalnog satnog protoka mjerodavna je za glavni opskrbni cjevovod oznake L1 (nije predmet proračuna) ali i za vodovodnu mrežu. Dijeljenjem vrijednosti maksimalne satne potrošnje (l/s) i ukupne duljine mreže (m) izračunata je specifična potrošnja (l/s/m') koja je pomnožena s duljinom svake dionice kako bi se izračunala potrošnja po dionici.

Za odabranu vodovodnu mrežu definirani su pojedini čvorovi, ukupno njih 38 te je u svakom zadana potrošnja kao polovica protoka svake dionice koja se spaja na promatrani čvor. Promatrana vodovodna mreža napaja se iz planiranog vodospremnika u kojem je poznat vodostaj, odnosno piezometarska visina u iznosu od 65,00 m n.m., što predstavlja početnu vrijednost za proračun.

Čvor (i)	Q _{ov} (l/s)	z(m n.m.)	netarska k _c	ulazni podaci					
				Cijev(j)	D(mm)	L(m)	k(m)	D(m)	Q _{cijev} (l/s)
1	1.363578	13	56.75723	1	150	325	0.0001	0.15	31.46
2	1.172774	19	58.55295	2	50	124.25	0.0001	0.05	0.802143
3	0.778708	26	59.01008	3	50	137.59	0.0001	0.05	0.888264
4	0.862634	24	65.59133	4	25	103.65	0.0001	0.025	0.669152
5	1.570618	23	69.7395	5	50	163.59	0.0001	0.05	1.056117
6	0.92574	3	63.52332	6	50	249.9	0.0001	0.05	1.613323
7	0.737229	2	58.33042	7	25	36.89	0.0001	0.025	0.238157
8	0.896431	4	57.58101	8	50	191.5	0.0001	0.05	1.2363
9	0.552881	2	32.06221	9	25	86.21	0.0001	0.025	0.556561
10	0.731967	5	42.08367	10	25	85.07	0.0001	0.025	0.549201
11	0.939556	4	57.16883	11	25	71.43	0.0001	0.025	0.461143
12	0.886585	3	53.52216	12	25	103.65	0.0001	0.025	0.669152
13	0.655368	3	60.5086	13	25	76.07	0.0001	0.025	0.491098
14	1.041978	1	60.57126	14	50	113.33	0.0001	0.05	0.731644
15	1.632885	1	60.90435	15	50	209.47	0.0001	0.05	1.352312
16	0.427218	2	61.08125	16	50	132.35	0.0001	0.05	0.854435
17	1.471488	5	61.05038	17	50	164.04	0.0001	0.05	1.059022
18	0.825577	9	55.64077	18	25	68.86	0.0001	0.025	0.444552
19	0.581158	16	54.72799	19	25	89.63	0.0001	0.025	0.57864
20	0.634096	26	56.26258	20	25	90.41	0.0001	0.025	0.583676
21	0.68768	7	57.99889	21	50	106.03	0.0001	0.05	0.684517
22	0.595587	13	57.3922	22	50	214.96	0.0001	0.05	1.387755
23	1.258024	20	56.41313	23	25	97.27	0.0001	0.025	0.627963
24	1.027711	9	59.07743	24	50	115.77	0.0001	0.05	0.747397
25	0.406591	5	58.12653	25	25	68.74	0.0001	0.025	0.443777
26	0.974095	5	58.38342	26	25	83.22	0.0001	0.025	0.537258
27	0.56447	3	61.41882	27	50	125.96	0.0001	0.05	0.813182
28	1.084071	2	61.26471	28	50	109.2	0.0001	0.05	0.704982
29	1.210638	15	58.96311	29	25	13.63	0.0001	0.025	0.087994
30	0.894139	15	58.55242	30	25	48.36	0.0001	0.025	0.312206
31	0.562178	8	53.41463	31	25	144.21	0.0001	0.025	0.931002
32	0.995625	14	57.53136	32	50	112.88	0.0001	0.05	0.728739
33	0.36437	20	56.78341	33	50	222.96	0.0001	0.05	1.439402
34	0.366339	13	56.65798	34	25	101.48	0.0001	0.025	0.655142
35	0.607272	11	53.26837	35	50	129.36	0.0001	0.05	0.835132

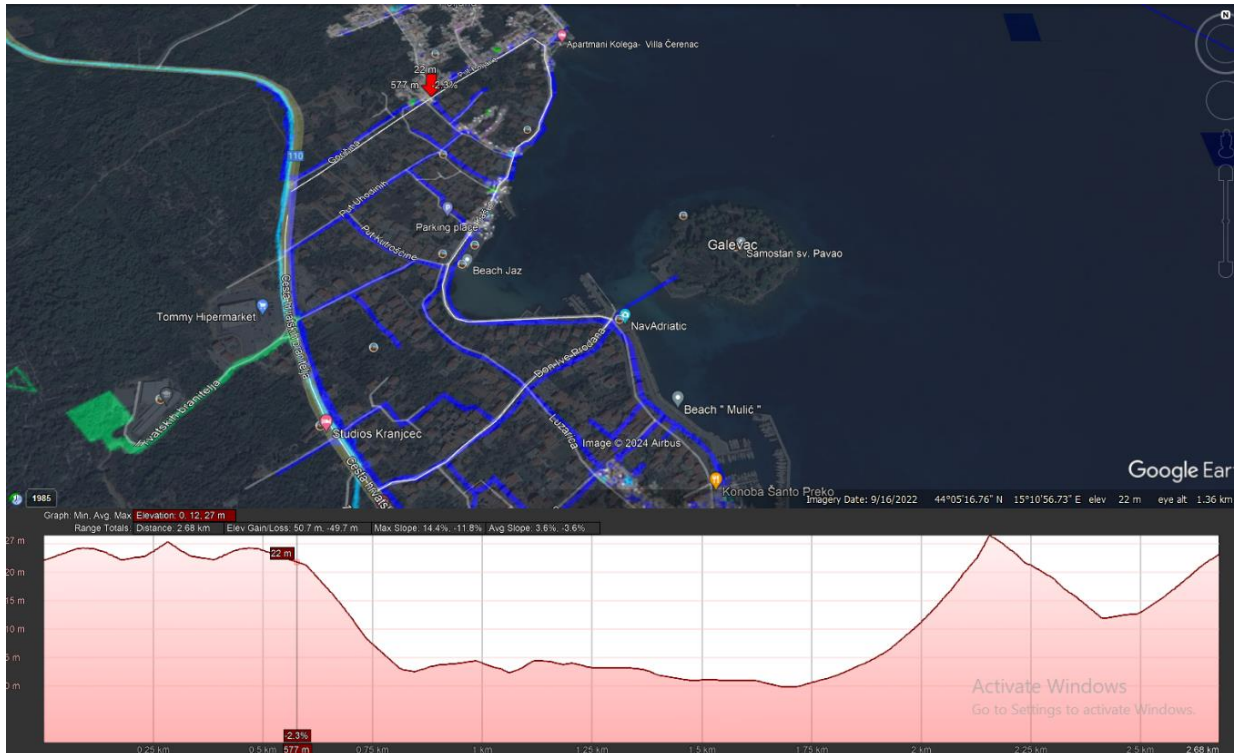
35	0.607272	11	53.26837	35	50	129.36	0.0001	0.05	0.835132
36	0.277603	9	53.53007	36	25	79.22	0.0001	0.025	0.511434
37	0.63429	15	58.53035	37	25	94.94	0.0001	0.025	0.612921
38	0.316758	13	61.79439	38	25	68.42	0.0001	0.025	0.441711
				39	50	115.99	0.0001	0.05	0.748817
				40	25	67.7	0.0001	0.025	0.437063
				41	25	73.08	0.0001	0.025	0.471795
				42	25	25.29	0.0001	0.025	0.163269
				43	25	98.13	0.0001	0.025	0.633515
				44	25	31.87	0.0001	0.025	0.205749
				45	25	86	0.0001	0.025	0.555205
				46	25	70.26	0.0001	0.025	0.45359
				46	25	70.26	0.0001	0.025	0.45359
				47	25	56.33	0.0001	0.025	0.363659

Tablica 1. Ulazni podaci za hidraulički proračun vodovodne mreže



Slika 4. Preklop odabranog djela vodovodne mreže sa satelitskom podlogom Google Earth

Također, za svaki čvor potrebno je odrediti vrijednost (položajne) visine z na kojoj se čvor nalazi. Budući da za predmetno područje u trenutku proračuna nije bila dostupna geodetska podloga, korištene su podgloge Google Earth programa kako bi se dobile visinske kote čvorova (Slika 5.).



Slika 5. Uzdužni profil terena odabrane dionice vodovodne mreže preuzet s Google Earth-a

3.4. Proračun

U proračunu hidrauličkih parametara vodoopskrbne mreže otoka Ugljana korišten je iterativni pristup kako bi se postigla točna rješenja za piezometarske visine i protoke u cijevima. VBA kod je kreiran kako bi automatski generirao novi list u programskom paketu Excel, koji sadrži ažurirane vrijednosti piezometarskih visina i protoka.

Rezultati svake iteracije pohranjeni su na zasebnim listovima unutar Excel datoteke što omogućava pregled napretka proračuna i analizu konvergencije piezometarskih visina i protoka kroz cjevovodnu mrežu. Na kraju iterativnog procesa, konačne vrijednosti piezometarskih visina i protoka prikazane su na posljednjem generiranom listu, što predstavlja konačno rješenje za provedeni hidraulički proračun.

```
Private Sub Workbook_Open()  
    Call iteriraj  
End Sub
```

```
Sub iteriraj()  
    Dim ws As Worksheet  
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("List2")  
  
    Dim newSheet As Worksheet  
    Dim j As Integer  
    Dim i As Integer  
  
    For i = 1 To 6  
        ws.Copy After:=Sheets(Sheets.Count)  
        Set newSheet = Sheets(Sheets.Count)  
  
        newSheet.Name = "iteracija" & i  
  
        For j = 3 To 39  
            newSheet.Cells(j, 4).Value = ws.Cells(j + 169, 8).Value  
        Next j  
  
        Set ws = newSheet  
    Next i  
  
    MsgBox "Iteracija završena. Kreirano je " & i - 1 & " novih listova."  
End Sub
```

Slika 6. Kod korišten za iteracijski proračun vodovodne mreže

4. REZULTATI

Koristeći predloženu metodologiju i ulazne podatke, proveden je hidraulički proračun vodovodne mreže. Rezultati prikazani u Tablici 2. koji se odnose na konačne vrijednosti tlakova u čvorovima pokazuju da vrijednosti zadovoljavaju uvjete protupožarne zaštite propisane Pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara [4], gdje je propisano da minimalni tlak u vodovodnoj mreži može iznositi 25 m.v.s. Također, vidljivo je da tlak u nijednom čvoru ne prelazi maksimalnu dopuštenu vrijednost od 80 m.v.s. Detaljni rezultati početne i krajnje iteracije prikazani su u Tablici 2.

čvor	tlak p (m.v.s.)
1	43,62
2	38,85
3	32,38
4	42,50
5	47,77
6	61,10
7	55,34
8	52,37
9	23,23
10	32,88
11	52,34
12	50,51
13	57,39
14	59,42
15	59,68
16	58,72
17	55,75
18	46,21
19	38,36
20	30,10
21	49,76
22	44,38
23	36,19
24	48,76
25	53,68
26	53,69
27	57,85
28	59,03
29	42,94
30	43,03
31	45,40
32	42,80
33	36,16
34	43,27
35	41,22
36	43,58
37	43,50
38	42,60

Tablica 2 Prikaz konačnih vrijednosti proračunatih tlakova u čvorovima

Prva iteracija						
čvor	Suma Yoi	Delta oi	Suma Qoi	RES0	Δh=RES0*Deltao	h0k + 1
1	0,001294557	772,465	0,0012946	-0,000069	-0,05331652	58,8252
2	0,001944207	514,349	-0,0014108	-0,002584	-1,32886896	61,8868
3	0,001277846	782,567	-0,0010977	-0,001876	-1,4683872	62,436
4	0,000831755	1202,28	0,0014210	0,000558	0,67125156	62,0911
5	0,000871376	1147,61	0,0029890	0,001418	1,627752693	64,6237
6	0,001486442	672,747	0,0003339	-0,000592	-0,39817179	62,0851
7	0,001158877	862,904	0,0007519	0,000015	0,012665364	62,0562
8	0,001089568	917,795	-0,0012334	-0,002130	-1,95472208	60,7681
9	0,000156142	6404,44	-0,0000033	-0,000556	-3,56186827	52,1442
10	0,000258629	3866,54	0,0001036	-0,000628	-2,42958535	55,544
11	0,001380949	724,14	-0,0019292	-0,002869	-2,07739994	59,337
12	0,000288472	3466,54	0,0016222	0,000736	2,550010413	53,1061
13	0,00120208	831,891	-0,0017445	-0,002400	-1,99644311	60,7054
14	0,00121665	821,929	0,0028102	0,001768	1,453381936	62,1531
15	0,002670505	374,461	-0,0030830	-0,004716	-1,76592679	61,7141
16	0,000815315	1226,52	0,0011678	0,000741	0,908387038	62,9561
17	0,002531945	394,953	0,0011856	-0,000286	-0,11291249	62,9466
18	0,000429727	2327,06	0,0002563	-0,000569	-1,32472496	58,9082
19	0,000295942	3379,04	0,0001157	-0,000465	-1,57269878	55,7487
20	0,001094888	913,335	0,0014774	0,000843	0,770231275	56,7938
21	0,001038417	963,005	0,0010147	0,000327	0,314964417	61,7954
22	0,000959995	1041,67	-0,0017698	-0,002365	-2,46395821	60,4459
23	0,001663163	601,264	0,0002587	-0,000999	-0,60088564	56,782
24	0,001291638	774,211	0,0038672	0,002840	2,198386142	61,7983
25	0,0004798	2084,2	-0,0020684	-0,002475	-5,15833928	58,7525
26	0,001169687	854,929	-0,0018227	-0,002797	-2,39109367	60,7063
27	0,004261377	234,666	-0,0004230	-0,000987	-0,23171415	63,6792
28	0,004369116	228,879	-0,0010607	-0,002145	-0,49088542	63,5057
29	0,002185779	457,503	0,0008251	-0,000386	-0,17637596	62,6442
30	0,001776924	562,77	-0,0017012	-0,002595	-1,46057086	61,754
31	0,000231756	4314,88	0,0004858	-0,000076	-0,3297573	51,6144
32	0,001703157	587,145	0,0012183	0,000223	0,130737844	60,8097
33	0,000190823	5240,45	-0,0002763	-0,000641	-3,35737101	58,7695
34	0,000563917	1773,31	-0,0008109	-0,001177	-2,0875765	56,7548
35	0,000413456	2418,64	0,0014042	0,000797	1,927580294	57,628
36	8,48721E-05	11782,4	-0,0005020	-0,000780	-9,18558965	52,4296
37	0,000387558	2580,26	0,0015873	0,000953	2,459048172	58,7596
38	8,32992E-05	12004,9	-0,0004576	-0,000774	-9,29644851	52,4979
				RES		
				0,049157		

čvor	Posljednja iteracija					
	Suma Yoi	Delta oi	Suma Qoi	RES0	h=RES0* Delta	h0k+1
1	0.001196453	835.804	0.001196453	-0.0001671	-0.1396836	56.617551
2	0.002468246	405.146	-0.000570176	-0.001743	-0.70614926	57.846799
3	0.001494307	669.207	-0.000159306	-0.000938	-0.62772499	58.382352
4	0.000512454	1951.4	0.001327281	0.00046465	0.906710072	66.498036
5	0.000578798	1727.72	0.002169847	0.00059923	1.035299368	70.774803
6	0.000428607	2333.14	0.001171519	0.00024578	0.573436855	64.096761
7	0.001045066	956.877	-0.000296701	-0.0010339	-0.98934367	57.34108
8	0.001004014	996.002	-0.000319736	-0.0012162	-1.21130422	56.369708
9	8.18761E-05	12213.6	-6.24585E-06	-0.0005591	-6.82893877	25.233267
10	0.000123256	8113.21	0.000214294	-0.0005177	-4.19999292	37.883675
11	0.001869964	534.77	-0.000614733	-0.0015543	-0.83118641	56.337639
12	0.000785989	1272.28	0.000876039	-1.055E-05	-0.01341823	53.508738
13	0.00470622	212.485	0.000107895	-0.0005475	-0.11632976	60.392267
14	0.005547938	180.247	0.000202313	-0.0008397	-0.15134734	60.419914
15	0.006041533	165.521	0.000288057	-0.0013448	-0.22259708	60.681752
16	0.002319995	431.035	-0.000410413	-0.0008376	-0.36104842	60.720203
17	0.004614148	216.725	0.000107904	-0.0013636	-0.29552244	60.754861
18	0.000437654	2284.91	0.000637394	-0.0001882	-0.42998153	55.210791
19	0.000375028	2666.47	0.000443649	-0.0001375	-0.36666385	54.36133
20	0.002920467	342.411	0.000165061	-0.000469	-0.16060279	56.101979
21	0.001452261	688.581	-0.001104561	-0.0017922	-1.23410378	56.764787
22	0.00155516	643.021	0.000577984	-1.76E-05	-0.01131878	57.38088
23	0.00433995	230.417	0.000275745	-0.0009823	-0.2263342	56.186797
24	0.002427938	411.872	-0.002171085	-0.0031988	-1.31749499	57.759936
25	0.001021593	978.863	0.000971433	0.00056484	0.552902968	58.679433
26	0.001635442	611.455	0.001467775	0.00049368	0.30186361	58.685287
27	0.003273992	305.437	-0.001296113	-0.0018606	-0.56829166	60.850532
28	0.004341869	230.316	4.79657E-05	-0.0010361	-0.2386311	61.026082
29	0.002052023	487.324	-0.00087876	-0.0020894	-1.01821392	57.944893
30	0.001857933	538.233	-8.49873E-05	-0.0009791	-0.52699754	58.025418
31	0.000697994	1432.68	0.000550287	-1.189E-05	-0.01703604	53.397598
32	0.002445635	408.892	-0.000799501	-0.0017951	-0.73401223	56.797353
33	0.000265501	3766.47	0.000198582	-0.0001658	-0.62443551	56.158978
34	0.000668361	1496.2	0.000104311	-0.000262	-0.39204454	56.265932
35	0.000643138	1554.88	-6.64366E-05	-0.0006737	-1.04753411	52.220834
36	0.000403484	2478.42	-0.000105594	-0.0003832	-0.94972119	52.580353
37	0.000428918	2331.45	0.000619309	-1.498E-05	-0.03492762	58.495421
38	0.000108069	9253.38	-0.000352741	-0.0006695	-6.19512195	55.599269
				RES		
				0.03176825		

Tablica 3 Prikaz rezultata hidrauličkog proračuna za prvu i posljednju iteraciju

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu izvršen je hidraulički proračun vodovodne mreže koristeći metodu relaksacije. Provedenim proračunom odabranog dijela vodovodne mreže otoka Ugljana dobiveni su podaci temeljem kojih se zaključuje da se na promatram području može osigurati učinkovitu i pouzdanu opskrbu vodom. Korištenjem metode relaksacije utvrđene su veličine pojedinih cjevovoda i potrebni tlakovi za svaki potrošački priključak. Primijenjena metodologija omogućavaju efikasnu optimizaciju vodovodne mreže osiguravajući stabilnu opskrbu vodom, što je ključno za razvoj i održavanje infrastrukture na otoku.

6. POPIS TABLICA I SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz čvora u cijevnoj mreži	10
Slika 2. Vodoopskrbni sustav otoka Ugljana	13
Slika 3. Izdvojeni dio vodovodne mreže naselja Preko za hidraulički proračun	14
Slika 4. Preklop odabranog djela vodovodne mreže sa satelitskom podlogom Google Earth.....	17
Slika 5. Uzdužni profil terena odabrane dionice vodovodne mreže preuzet s Google Earth-a.....	18
Slika 6. Kod korišten za iteracijski proračun vodovodne mreže	19

Tablica 1. Ulazni podaci za hidraulički proračun vodovodne mreže	17
Tablica 2 Prikaz konačnih vrijednosti proračunatih tlakova u čvorovima.....	20
Tablica 3 Prikaz rezultata hidrauličkog proračuna za prvu i posljednju iteraciju.....	22

7. LITERATURA

[1] Sustav vodoopskrbe aglomeracije Preko-Kali, Glavni projekt, Via Factum d.o.o. Zagreb, 2019.

[2] Margeta, J., Vodoopskrba naselja, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2010.

[3] Jović, V., Hidraulika sustava pod tlakom, autorizirana predavanja

[4] Pravilnik o hidrantskoj mreži za gašenje požara, NN 8/2006