

# Idejno rješenje vodovoda Grubišno Polje

---

**Bilosnić, Mate**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:544710>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-25**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

Građevinski fakultet

Mate Bilosnić

ZAVRŠNI RAD

IDEJNO RJEŠENJE VODOVODA GRUBIŠNO POLJE

Mentor:  
izv. prof. dr. sc. Ivan Halkijević

Zagreb, 2023.

**SADRŽAJ**

1. Uvod .....	2
2. Analiza ulaznih podataka i podloga .....	3
3. Hidraulički proračun .....	5
3.1. Specifična potrošnja vode: .....	5
3.2. Broj stanovnika na kraju projektnog razdoblja od 25 godina: .....	5
3.3. Srednja dnevna potrošnja vode: .....	6
3.4. Maksimalna dnevna potrošnja vode: .....	6
3.5. Maksimalna satna potrošnja vode: .....	6
3.6. Srednja satna potrošnja vode:.....	6
3.7. Privredna kategorija potrošnje vode:.....	7
3.8. Potrošnja vode za gašenje požara: .....	7
3.9. Potrošnja vode za vlastite potrebe vodovoda:.....	8
3.10. Potrebna instalirana snaga crpke:.....	8
3.10.1. Proračun statičke usisne visine: .....	9
3.10.2. Proračun hidrauličkih gubitaka u usisnoj cijevi: .....	9
3.10.3. Proračun statičke tlačne visine:.....	10
3.10.4. Proračun hidrauličkih gubitaka u tlačnoj cijevi:.....	10
3.10.5. Manometarska visina: .....	10
3.10.6. Proračun teoretske snage crpke:.....	10
3.10.7. Proračun instalirane snage crpke: .....	10
3.11. Potreban volumen vodospreme .....	11
3.12. Dimenzioniranje granate vodovodne mreže:.....	14
4. OBLIKOVNO-FUNKCIONALNO I TEHNIČKO RJEŠENJE .....	16
4.1. Koncept rješenja .....	16
4.2. Ugradnja, ispitivanje i dezinfekcija cjevovoda.....	17
5. Aproksimativni troškovnik.....	18

## 1. UVOD

Vodoopskrba je sustav objekata i mjera za osiguranje potreba vodom raznih potrošača. Osiguranjem i dovođenjem dovoljne količine vode u naseljeno mjesto omogućuje se podizanje općeg životnog standarda čovjeka i uređenje njegovog okoliša. Radi zdravstvene kvalitete vode, naročito je važno posvetiti pažnju izboru prirodnih izvorišta te njihovoj zaštiti od zagađenja.

Tri su glavne kategorije potrošača:

1. Potrošnja vode za kućanske potrebe (opskrbu stanovništva)
2. Potrošnja vode za industrijske (tehnološke) potrebe
3. Potrošnja vode za gašenje požara i vlastite potrebe vodovoda

Voda koju stanovništvo pije mora zadovoljavati zahtjeve sanitarnog karaktera, odnosno ne smije sadržavati patogene mikroorganizme, mora biti bistra i bez okusa, boje i mirisa. Industrijska poduzeća obično ne postavljaju visoke zahtjeve za kvalitetu vode, a voda za gašenje požara može biti bilo kakve kvalitete.

Voda se potrošačima dovodi vodoopkrbnim sustavom. Vodoopkrbni sustav čine sljedeće glavne grupe objekata:

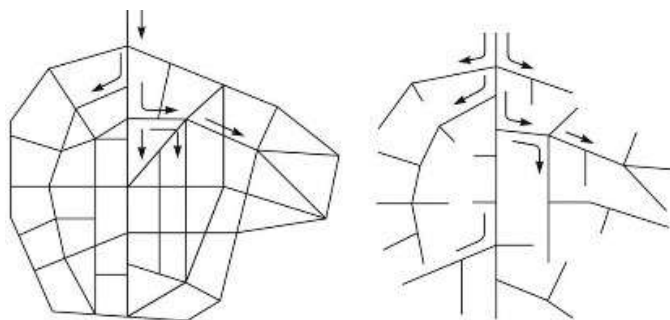
1. Vodozahvat
2. Crpna stanica
3. Uređaj za kondicioniranje vode
4. Vodosprema
5. Glavna i razdjelna vodoopkrbna mreža

Vodozahvati su osnovne građevine pomoću kojih se zahvaća voda i preusmjerava prema potrošačima. Pomoću crpne stanice voda se crpi i potiskuje na tlačnu visinu kako bi se osigurala raspodjela vode potrošačima. U uređaju za kondicioniranje iz vode se uklanja boja, mutnost, soli, plinovi, mikroorganizmi te ona postaje pitka. Nakon toga voda dolazi do vodospreme gdje se osigurava rezerva.

Razlikujemo dvije osnovne sheme vodoopkrbnih mreža:

1. Shema granate mreže – tečenje vode u jednom smjeru, a u slučaju pucanja cijevi ili nekog drugog kvara bez vode ostaje više potrošača
2. Shema prstenaste mreže – tečenje vode u dva smjera, a u slučaju kvara isključuje se usko područje potrošača

Za potrebe hidrauličkog proračuna razmatrat će se granata vodovodna mreža. [1]



Slika 1: Prstenasta i granata vodoopskrbna mreža

## 2. ANALIZA ULAZNIH PODATAKA I PODLOGA

Proračun vodoopskrbne mreže će se raditi za naselje Grubišno Polje koje se nalazi u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji, na jugozapadnim obroncima Bilogore. Dio je grada Grubišno Polje koji obuhvaća 24 naselja u svom sastavu. Naselje je prema posljednjem popisu stanovništva iz 2021. godine imalo 2588 stanovnika, a gustoća naseljenosti je bila 27.97 stanovnika/km<sup>2</sup>. Pretpostaviti ćemo rast stanovnika od 0.5% za povratno razdoblje od 25 godina.

VRSTA OBJEKATA	OSOBINE	PROJEKTNO RAZDOBLJE $R_p$ [godina]
Glavni cjevovodi, tuneli i otvoreni kanali	Skupo i teško povećanje kapaciteta	25 do 50
Vodozahvati, crpne stanice, vodospreme, uređaji za kondicioniranje vode	Uz pretpostavku manjeg porasta stanovništva i manje kamate ( $\leq 3$ [%] godišnje)	20 do 25
Vodoopskrbni cjevovodi profila preko 300 [mm]	Zamjena manjih cijevi je kroz dulja razdoblja skuplja	20 do 25

Tablica 1: Projektna razdoblja za objekte vodoopskrbnog sustava

Voda se zahvaća sa kote od 136 metara nadmorske visine te se potiskuje prema vodospremi koja se nalazi na koti od 183 metra nadmorske visine.

Specifična vrijednost potrošnje vode za naselja sa zgradama koja nisu opremljena vodovodima i kanalizacijom iznosi od 30 do 50 l/stanovnik\*d, a odabrana vrijednost za proračun je 50 l/stanovnik\*d.

Karakter opreme zgrade sanitarno - tehničkim uređajima	Specifična potrošnja $q_{sp}$ [l stanovnik <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
Naselja sa zgradama koje nisu opremljene vodovodima i kanalizacijom	30 do 50
Naselja sa zgradama opremljenim unutarnjim vodovodom i kanalizacijom bez kupaonice	125 do 150
Naselja sa zgradama opremljenim vodovodom, kanalizacijom i kupaonicom	150 do 230
Naselja sa zgradama opremljenim unutarnjim vodovodom, kanalizacijom i sistemom centralne opskrbe toplom vodom	250 do 400

Tablica 2: Specifična potrošnja vode

Analizom varijacije satne i dnevne potrošnje vode dolazi se do izraza za ukupni (dnevni i satni) koeficijent neravnomjernosti potrošnje  $K$  [1]:

$$K = \frac{2.69}{Q_{sr}^{0.121}}$$

Vidljivo je da vrijednost koeficijenta  $K$  opada povećanjem potrošnje, i obrnuto, što je sukladno i s trendom vrijednosti koeficijenata  $K_h$  i  $K_d$  iz tablice:

Veličina naselja (potrošača)	Koeficijent neravnomjernosti	
	$K_d$ [1]	$K_h$ [1]
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

Tablica 3: Vrijednost koeficijenata neravnomjernosti najveće dnevne i najveće satne potrošnje vode

Gašenje požara predviđa se vanjskom i unutarnjom hidrantskom mrežom, a za potrebe ovog završnog rada razmatrati će se sustav s vanjskom hidrantskom mrežom. Prema pravilniku, postoje 3 parametra koji se potrebno pridržavati:

1. Najmanji tlak na izlazu iz hidranta ne smije biti manji od 2.5 bara
2. Najmanji protok mora iznositi najmanje 10 l/s
3. Najmanje trajanje za koje je potrebno osigurati propisani protok i tlak od 2 h

Potrebna količina vode (protok) ovisi o specifičnom požarnom opterećenju [ $J/m^2$ ] i o tlocrtnoj površini objekta koji se štiti [ $m^2$ ]. Te vrijednosti dane su u tablici:

Specifično požarno opterećenje [ $MJ m^{-2}$ ]	Najmanji protok, [ $l s^{-1}$ ], ovisno o tlocrtnoj površini objekta, [ $m^2$ ], koji se štiti							
	$\leq 100$	101 do 300	301 do 500	501 do 1 000	1 001 do 3 000	3 001 do 5 000	5 001 do 10 000	$> 10 000$
$\leq 200$	10	10	10	10	10	10	10	15
$\leq 500$	10	10	10	10	15	20	20	25
$\leq 1 000$	10	10	10	15	20	20	25	30
$\leq 2 000$	10	10	15	20	25	30	35	*
$> 2 000$	10	15	20	30	30	35	*	*

Tablica 4: Potrebna količina vode za gašenje požara vanjskom hidrantskom mrežom

Potrošnja vode za vlastite potrebe vodovoda predstavlja količinu vode koja se troši na održavanje i popravak vodotoka, a iznosi 5-10 [%] srednje dnevne potrošnje. [1]

Tijekom hidrauličkog proračuna dimenzionirati će se crpna stanica, cjevovodi i vodosprema.

### 3. HIDRAULIČKI PRORAČUN

#### 3.1. Specifična potrošnja vode:

$$q_{sp} = 130 \left[ \frac{l}{stanovnik * d} \right]$$

#### 3.2. Broj stanovnika na kraju projektnog razdoblja od 25 godina:

$$N_k = N_0 \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^{Pr} [stanovnik], \text{ gdje su:}$$

- $N_0$  – sadašnji broj stanovnika
- $p$  [%] – godišnji postotak prirasta stanovništva
- $P_r$  [god] – projektno razdoblje

$$N_k = 2588 \left(1 + \frac{0.5}{100}\right)^{25} = 2931.67 \approx 2932 \text{ stanovnika}$$

### 3.3. Srednja dnevna potrošnja vode:

- Na osnovi podataka o specifičnoj potrošnji vode i broju stanovnika, moguće je odrediti srednju dnevnu potrošnju vode primjenom izraza:

$$Q_{sr} = q_{sp} * N_k = 130 * 2932 = 381160 \frac{l}{d}$$

### 3.4. Maksimalna dnevna potrošnja vode:

$$Q_{max} = K_d * Q_{sr} \left[\frac{l}{d}\right], \text{ gdje je:}$$

- $K_d [1]$  – koeficijent neravnomjernosti najveće dnevne potrošnje vode

$$Q_{max} = 1.5 * 381160 = 571740 \frac{l}{d}$$

### 3.5. Maksimalna satna potrošnja vode:

$$q_{max} = \frac{K_h * Q_{max}}{24} \left[\frac{l}{h}\right]$$

- $K_h [1]$  – koeficijent neravnomjernosti najveće satne potrošnje vode

$$q_{max} = \frac{2.0 * 571740}{24} = 47645 \frac{l}{h}$$

### 3.6. Srednja satna potrošnja vode:

$$q_{sr} = \frac{Q_{sr}}{24} = \frac{381160}{24} = 15881.67 \frac{l}{h}$$



## 3.7. Privredna kategorija potrošnje vode:

- Pod ovu kategoriju podrazumijevamo razne obrte, kafiće, restorane i druge objekte koji se nalaze u naselju.

- Srednja dnevna potrošnja vode:

$$Q_{sr} = 3 \frac{l}{s}$$

- Koeficijent neravnomjernosti najveće dnevne potrošnje vode:  $K_d = 1.3$

- Koeficijent neravnomjernosti najveće satne potrošnje vode:  $K_h = 1.5$

- Maksimalna dnevna potrošnja vode:

$$Q_{max} = K_d * Q_{sr} = 1.3 * 3 = 3.9 \frac{l}{s}$$

- Maksimalna satna potrošnja vode:

$$q_{max} = K_h * Q_{max} = 1.5 * 3.9 = 5.85 \frac{l}{s}$$

## 3.8. Potrošnja vode za gašenje požara:

- Odabrana je vanjska hidrantska mreža za koju je potrebno predvidjeti nadzemni hidrant.
- Prema preporuci, specifično požarno opterećenje  $P_{sp}$  [J/m<sup>2</sup>] za obiteljske kuće iznosi  $\leq 1000$  MJ/m<sup>2</sup>, a pretpostavlja se da je tlocrtna površina najvećeg obiteljskog objekta manja ili jednaka 500 m<sup>2</sup>. Iz ta 2 uvjeta dobivamo najmanji protok koji je potrebno osigurati u slučaju požara:

$$q_{pož} = 10 \frac{l}{s}$$

- Satno:  $q_{pož}^h = q_{pož} * 3600 = 10 * 3600 = 36000 \frac{l}{h}$

- Dnevno:  $q_{pož}^d = q_{pož} * 86400 = 10 * 86400 = 864000 \frac{l}{d}$

### 3.9. Potrošnja vode za vlastite potrebe vodovoda:

- Predstavlja količinu vode koja se troši na održavanje i popravak vodotoka.
- Iznosi 5-10% srednje dnevne potrošnje vode

$$Q_{vl} = Q_{sr} * 0.1 = 381160 * 0.1 = 38116 \frac{l}{d}$$

### 3.10. Potrebna instalirana snaga crpke:

Potrebni podaci:

- Protok crpljenja (maksimalna dnevna potrošnja):  $Q_{max} = 10.96 \frac{l}{s}$
- Kota osi crpke:  $H_{cs} = 140$  m n.m.
- Kota vode u vodozahvatu:  $H_A = 136$  m n.m.
- Kota vode u vodospremi:  $H_B = 183$  m n.m.
- Duljina usisne cijevi:  $L_{us} = 298$  m
- Duljina tlačnog cjevovoda:  $L_{tl} = 2972$  m
- Promjer usisnog cjevovoda:  $D_{us} = 110$  mm
- Promjer tlačnog cjevovoda:  $D_{tl} = 110$  mm
- Apsolutna hrapavost cijevi:  $\varepsilon = 0.1$  mm
- Koeficijent lokalnog gubitka na usisnoj košari:  $\zeta_{koš} = 3.5$
- Koeficijent lokalnog gubitka na koljenu cjevovoda:  $\zeta_{kolj} = 0.6$
- Koeficijent korisnog djelovanja (učinkovitosti) crpke:  $\eta = 75$  %
- Kinematski koeficijent viskoznosti vode:  $\nu = 1.308 * 10^{-6} \frac{m}{s^2}$  pri 10°C

3.10.1. Proračun statičke usisne visine:

$$H_{st,us} = H_{cs} - H_A = 140 - 136 = 4 \text{ m}$$

3.10.2. Proračun hidrauličkih gubitaka u usisnoj cijevi:

$$\Delta H_{us} = \Delta H_{us,lin} + \Delta H_{us,lok}$$

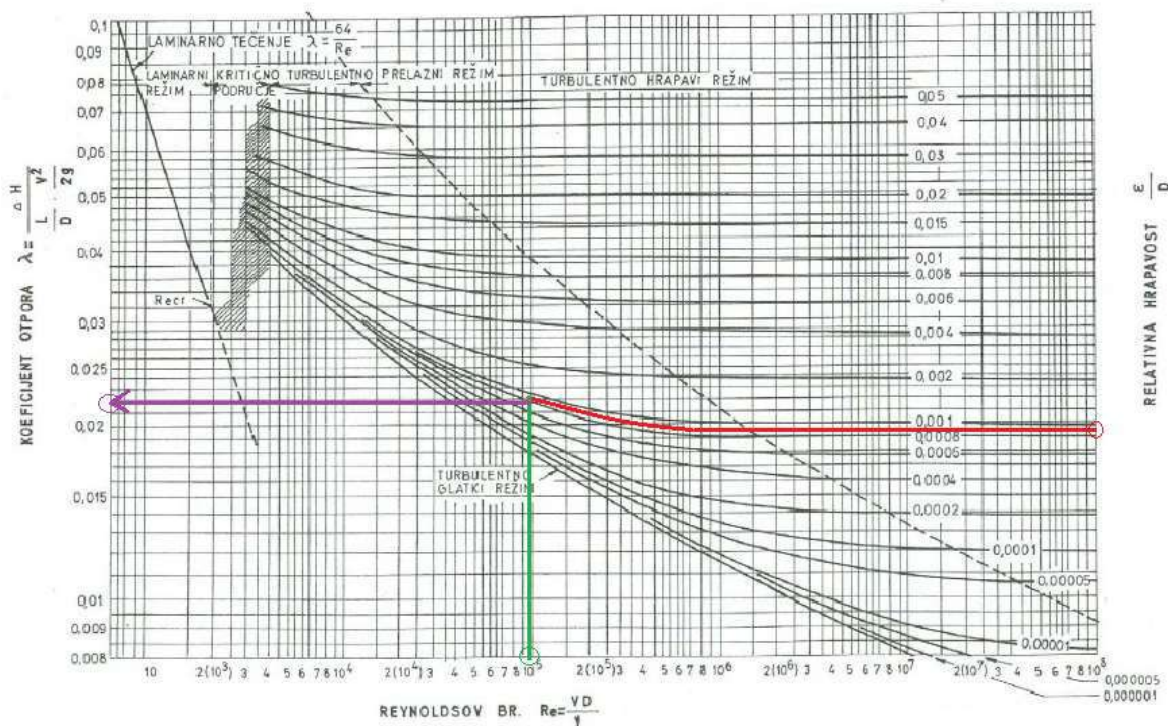
- Lokalni gubici:  $\Delta H_{us,lok} = \zeta_{koš} \frac{v^2}{2g} + \zeta_{kolj} \frac{v^2}{2g}$
- Linijski gubici:  $\Delta H_{us,lin} = \lambda \frac{L_{us}}{D} \frac{v^2}{2g}$

Brzina vode u usisnom cjevovodu:  $v = \frac{Q}{A} = \frac{0.01096}{\frac{0.11^2 \cdot \pi}{4}} = 1.15 \frac{m}{s}$

Reynoldsov broj:  $Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1.15 \cdot 0.11}{1.308 \cdot 10^{-6}} = 96712.54 \approx 9.7 \cdot 10^4$

Relativna hrapavost:  $\frac{\epsilon}{D} = \frac{0.1[\text{mm}]}{110[\text{mm}]} = 0.00091 \approx 9.1 \cdot 10^{-4}$

MOODYJEV DIJAGRAM



- Koeficijent otpora tečenju uslijed trenja:  $\lambda = 0.0217$  (očitano iz Moodyevog dijagrama)

Stoga, hidraulički gubici u usisnom cjevovodu iznose:

$$\Delta H_{us} = \zeta_{koš} * \frac{v^2}{2g} + \zeta_{kolj} * \frac{v^2}{2g} + \lambda * \frac{L_{us}}{D} * \frac{v^2}{2g} = \frac{1.15^2}{2 * 9.81} (0.0217 * \frac{298}{0.11} + 3.5 + 0.6) = 4.24 \text{ m}$$

3.10.3. Proračun statičke tlačne visine:

$$H_{st,tl} = H_B - H_{cs} = 183 - 140 = 43 \text{ m}$$

3.10.4. Proračun hidrauličkih gubitaka u tlačnoj cijevi:

$$\Delta H_{tl} = \Delta H_{tl,lok} + \Delta H_{tl,lin} = \lambda \frac{L_{tl}}{D} \frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{2g}$$

- D, Q i  $\varepsilon$  isti za tlačni i usisni cjevovod
- v, Re,  $\varepsilon/D$  isti  $\rightarrow \lambda = 0.0217$

$$\Delta H_{tl} = \frac{1.15^2}{2 * 9.81} (0.0217 * \frac{2972}{0.11} + 1) = 39.59 \text{ m}$$

3.10.5. Manometarska visina:

$$H_{man} = H_{st,us} + \Delta H_{us} + H_{st,tl} + \Delta H_{tl} = 4 + 4.24 + 43 + 39.59 = 90.83 \text{ m}$$

3.10.6. Proračun teoretske snage crpke:

$$P = \frac{9.81 * Q * H_{man}}{\eta} = \frac{9.81 * 0.01096 * 90.83}{0.75} = 13.02 \text{ kW}$$

3.10.7. Proračun instalirane snage crpke:

$$P_i = 1.15 * P = 1.15 * 13.02 = 14.97 \text{ kW}$$

## 3.11. Potreban volumen vodospreme

a) Operativni volumen vodospreme ( $V_{RO}$ )

- Iznos volumena vodospreme potreban da osigura neprekidnost vodoopskrbe u slučaju kada postoje neravnomjernosti između dotoka vode u sustav i potrošnje vode naselja.
- Maksimalni dnevni dotok, uključujući kućansku i privrednu kategoriju, potrebno je podijeliti s 24 kako bi dobili potreban satni dotok koji iznosi iznosi  $37.86 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$ , pa ćemo pretpostaviti da volumen vode koji dotječe u vodospremu svaki sat iznosi  $40 [m^3]$ .
- Razlika između dotoka (D) u vodospremu i potrošnje (P) naselja ( $\Delta V_t$ ):  $\Delta V_t = D - P$
- Računski volumen vode u vodospremi na kraju svakog četverosatnog perioda ( $V_{t,r}$ ):

$$V_{t,r} = \Delta V_t * \Delta t$$

$$V_{12,r} = -32 * 4 = -128 [m^3]$$

- Stvarni prikaz promjene volumena vode ( $V_t$ ) u vodospremi:

$$V_t = V_{t,r} + |\min(V_{t,r})| = V_{t,r} + |-435.2| = V_{t,r} + 435.2$$

Slučaj u kojem crpka radi cijeli dan (24 sata):

$\Delta t$ [h]	D [ $m^3$ ]	P [ $m^3$ ]	$\Delta V_t$ [ $m^3$ ]	t [h]	$V_{t,r}$ [ $m^3$ ]	$V_t$ [ $m^3$ ]
0-4	160	64	96	0	384	819.2
4-8	160	204.8	-44.8	4	-179.2	256
8-12	160	268.8	-108.8	8	-435.2	0
12-16	160	192	-32	12	-128	307.2
16-20	160	166.4	-6.4	16	-25.6	409.6
20-24	160	64	96	20	384	819.2
$\Sigma$	960	960	0	24	0	435.2

Slučaj u kojem crpka radi kada je najveća potrošnja vode (8 sati):

$\Delta t$ [h]	D [m <sup>3</sup> ]	P [m <sup>3</sup> ]	$\Delta V_t$ [m <sup>3</sup> ]	t [h]	$V_{t,r}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_t$ [m <sup>3</sup> ]
0-4	0	64	-64	0	-256	512
4-8	480	204.8	275.2	4	1100.8	1868.8
8-12	480	268.8	211.2	8	844.8	1612.8
12-16	0	192	-192	12	-768	0
16-20	0	166.4	-166.4	16	-665.6	102.4
20-24	0	64	-64	20	-256	512
$\Sigma$	960	960	0	24	0	768

Slučaj u kojem crpka radi kada je struja najjeftinija (8 sati):

$\Delta t$ [h]	D [m <sup>3</sup> ]	P [m <sup>3</sup> ]	$\Delta V_t$ [m <sup>3</sup> ]	t [h]	$V_{t,r}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_t$ [m <sup>3</sup> ]
0-4	480	64	416	0	1664	2739.2
4-8	0	204.8	-204.8	4	-819.2	256
8-12	0	268.8	-268.8	8	-1075.2	0
12-16	0	192	-192	12	-768	307.2
16-20	0	166.4	-166.4	16	-665.6	409.6
20-24	480	64	416	20	1664	2739.2
$\Sigma$	960	960	0	24	0	1075.2

- Operativni volumen vodospreme predstavlja najveću vrijednost volumena vode u vodospremi, tj. maksimalnu vrijednost  $V_t$ :

$$V_{RO} = \max(V_t) = 819.2 [m^3] \rightarrow \text{crpka radi cijeli dan}$$

$$V_{RO} = \max(V_t) = 1868.8 [m^3] \rightarrow \text{razdoblje najveće potrošnje vode (crpka radi 8 h)}$$

$$V_{RO} = \max(V_t) = 2739.2 [m^3] \rightarrow \text{razdoblje najjeftinije struje (crpka radi 8 h)}$$

b) Potreban protupožarni volumen ( $V_{RP}$ ) te ukupni potrebni volumen vodospreme ( $V_{RU}$ ):

- Potreban požarni volumen ( $V_{RP}$ ) – pravilnikom o hidrantskoj mreži za gašenje požara definiran je kriterij trajanja protupožarnog protoka ( $t_p$ ). Ukoliko se projektira vodoopskrbni sustav, on mora biti osmišljen na način da osigura tečenje protupožarnog protoka ( $q_p$ ) na mjestu pojave požara tijekom vremena od  $t_p = 2[h]$ .






$$V_{RP} = q_p * t_p = \left( 10 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] \right) * (2 * 3600 [s]) = 72 [m^3]$$

- Ukupni volumen vodospreme iznosi:

$$V_{RU} = 1.25 * (V_{RO} + V_{RP}) = 1.25 * (2739.2 + 72) = 3514 [m^3]$$

# SITUACIJSKI PRIKAZ VODOVODA GRUBIŠNO POLJE

## LEGENDA:

-  VODOZAHVAT
-  ČVOR
-  VODOSPREMA
-  TLAČNI CJEVOVOD
-  CJEVOVOD DO VODOSPREME





## 3.12. Dimenzioniranje granate vodovodne mreže:

- Hidraulički proračun vodovodne mreže

a1) Raspodjela protoka unutar vodoopskrbne mreže u satu najveće potrošnje vode

- Maksimalna satna potrošnja vode (kućanstvo + privreda + vlastite potrebe vodovoda):

$$q_{max} = 19.52 \left[ \frac{l}{s} \right]$$

- $q_{k,i} = 10 \left[ \frac{l}{s} \right]$

- Specifični protok:  $q = \frac{q_{max} - \sum q_k}{\sum L_i} = \frac{19.52 -}{9204.9} = 0.0010342 \text{ [l/s/m]}$

- Distribuirana potrošnja vode u čvoru:  $q_{d,i} = q * L_i$

- Ukupna potrošnja vode u čvoru:  $q_i = q_{k,i} + q_{d,i}$

- Kontrola proračuna raspodjele potrošnje po čvorovima:

$$\begin{aligned} q_{max} &= \sum q_i = 0 + 1.34 + 1.16 + 10.77 + 0.9 + 1.95 + 1.1 + 0.51 + 0.53 + 1.26 \\ &= 19.52 \left[ \frac{l}{s} \right] \end{aligned}$$

a2) Odabir potrebnih promjera cjevovoda vodoopskrbne mreže

- Proračun protoka cjevovodima vodoopskrbne mreže:  $Q_i = \sum (q_i)_{nizvodno}$

- Kriterij: brzina tečenja vode kroz cjevovod u trenutku maksimalne satne potrošnje vode  $\approx 1 \text{ m/s}$

- Poprečna površina cjevovoda ( $A_{4-3}$ ):

$$npr: A_{4-3} = \frac{Q_{4-3}}{v_{4-3}} = \frac{0.01667 \text{ [m}^3/\text{s]}}{1 \text{ [m/s]}} = 0.01667 \text{ m}^2$$

- Promjer cjevovoda ( $D_{4-3}$ ):  $D_{4-3} = \sqrt{\frac{4 * A_{4-3}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.01667}{\pi}} = 0.146 \text{ m} = 146 \text{ mm}$

ODABRANI PROMJER:  $D_{4-3} = 180 \text{ mm}$  [2]

- Brzina tečenja u cjevovodu s odabranim promjerom:

$$v_{4-3} = \frac{Q_{4-3}}{A_{4-3}} = \frac{Q_{4-3}}{\frac{(D_{4-3})^2 * \pi}{4}} = \frac{0.01667}{\frac{0.18^2 * \pi}{4}} = 0.84 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

#### b1) Proračun hidrostatskog tlaka u čvoru

- Hidrostatička tlačna visina u čvoru predstavlja razliku između razine vode u vodospremi ( $H_v$ ) i nadmorske visine čvora ( $H_i$ ):

$$H_{st,i} = H_v - H_i$$

- Hidrostatički tlak u čvoru:

$$p_{st,i} [bar] = \frac{H_{st,i} [m]}{10.19}$$

#### b2) Proračun hidrodinamičkog tlaka u čvoru

- Hidrodinamička tlačna visina u čvoru se proračuna na način da se od hidrostatičke tlačne visine oduzmu svi hidraulički gubici koji se javljaju prilikom tečenja vode do čvora:

$$H_{d,i} = H_{st,i} - \sum \Delta H_{lin}$$

- Hidrodinamički tlak u čvoru

$$p_{d,i} [bar] = \frac{H_{d,i} [m]}{10.19}$$

- Proračun hidrauličkih gubitaka:

$$\Delta H_{lin} = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

- Tlak u vodoopskrbnoj mreži ne smije pasti ispod vrijednosti od 2.5 [bar] (kriterij protupožarne zaštite), niti je preporučljivo prelaziti vrijednost od 7 [bar] zbog povećane opasnosti od puknuća cjevovoda te povećanih vodnih gubitaka (curenje vode kroz spojeve i pukotine na cjevovodima). [1]



## 4. OBLIKOVNO-FUNKCIONALNO I TEHNIČKO RJEŠENJE

### 4.1. Koncept rješenja

Rješenje vodoopskrbe naselja Grubišno polje predviđeno je cjevovodom čiji promjer iznosi DN 180, a hidrodinamički tlak na čvoru iznosi  $p = 2.5$  [bar]. Ukupna duljina vodoopskrbne mreže iznosi 9204.9 metara. Izvedba cijelog opskrbnog vodovoda obavlja se plastičnim vodovodnim cijevima (PEHD) promjera DN 110 i DN 180 te nazivnog tlaka PN 10. [2] Sastojci PE su jedino ugljik i vodik bez drugih dodatnih sastojaka, što znači da nema utjecaja na okoliš. Karakterizira ih mala masa i faktor trenja, fleksibilnost, postojanost prema utjecajima okoliša, kemijska postojanost, dugotrajna hidrostatska čvrstoća i nepropusni spojevi te sposobnost zavarivanja. Na karakteristike polietilena ne utječe slana voda, razni otpadi te slani i kiseli tereni što znači da se može ugraditi i u agresivnim sredinama. PE cijevi mogu biti jednoslojne ili višeslojne, a ako su višeslojne potrebna je vanjska zaštitna obloga od polipropilena. Također, razlikujemo dva načina spajanja PE cijevi: rastavljivi spojevi (rastavljivi fitting, spajanje prirubnicom...) i nerastavljivi spojevi (elektrospojnice, sučeono zavarivanje...). [2][3] Za protupožarnu zaštitu izvode se nadzemni hidranti promjera DN 110 na maksimalnom razmaku od 300 [m] prema *Pravilniku o hidrantskoj mreži za gašenje požara* („Narodne novine RH“, broj 8/06). [4]



Slika 2: PEHD cijev

#### 4.2. Ugradnja, ispitivanje i dezinfekcija cjevovoda

Najznačajnija stavka prilikom ugradnje cijevi je njezina dubina ugradnje. Dubina ugradnje ovisi o dubini smrzavanja, vanjskom opterećenju, vanjskom zagrijavanju i temperaturi vode u cijevi. Također, ona je približno jednaka za kompletnu mrežu, čime vodovodne linije prate liniju terena. Prilikom ugradnje, potrebno je obratiti pozornost i na izvedbu posteljice i nadsloja. Kako nakon iskopa može doći do pojave neravnina i krupnijih komada lomljenog kamena koji mogu uzrokovati oštećenje ili lom cijevi, potrebno je napraviti poravnanje dna rova. To poravnanje se izvodi nasipavanjem temeljnog sloja, koji je najčešće šljunčani čija debljina nakon zbijanja iznosi oko 10 [cm], i izravnavajućeg sloja koji zajedno čine posteljicu u koju se cijev polaže. U slučaju većih vanjskih opterećenja potrebno je izvesti dodatnu zaštitu, kao što je oblaganje betonom. Također, bitan parametar je i širina rova  $B_r$  koja ovisi o promjeru cijevi.

Promjer cijevi $D$ [mm]	Širina rova $B_r$ [m]
do 200	$D + 0.4$
200 do 400	$D + 0.6$
450 do 800	$D + 0.8$
850 do 1 500	$D + 1.0$
od 1 500	$D + 1.2$

Tablica 5: Potrebna širina rova

Na mjestima horizontalnih i vertikalnih lomova trase pojavljuje se sila tlaka s tendencijom kidanja spojeva i fasadnih komada. Osiguranje takvih mjesta se postiže izvedbom uporišnih blokova.

Jako je bitno provesti tlačnu probu vodovodne mreže prije njezine upotrebe. Tlačnom probom se ispituje čvrstoća i vodonepropusnost. Isto tako, potrebno je posebno ispitati kritične dionice mreže kako ne bi došlo do raskopavanja cijele mreže u budućnosti prilikom saniranja nekog kvara.

Dezinfekcija cjevovoda se također mora provesti prije upotrebe vodovodne mreže. Provodi se tako da se dionice puno vodom koja sadrži 20 do 30 [mg] klora na litru. Takav proces traje najmanje 24 [h], a nakon toga se vodovodna mreža ispere čistom vodom.

## 5. APROKSIMATIVNI TROŠKOVNIK

Na razini idejnog projekta moguća je samo aproksimacija očekivanih troškova, što znači da jedinične cijene unutar ovog rada predstavljaju okvirne vrijednosti, a točna vrijednost investicijskih troškova ovisi o brojnim lokalnim i vremenski promjenjivim faktorima. Tu su nam uključeni svi pripremni, zemljani, betonski, tesarski, vodovodni, asfaltni i ostali radovi, a to nam podrazumijeva:

- iskolčenje trase cjevovoda i objekata
- pregled trase i detektiranje postojećih instalacija
- označavanje lokacije radova prometnim znakovima i signalnim uređajima
- raskopavanje postojećeg kolnika i strojni iskop rova za polaganje cjevovoda
- strojno-ručni iskop za proširenje rova na mjestima čvorova s ograncima
- izvedba pješčane posteljice te bočnog i iznad tjemelog zatrpavanja cjevovoda
- odvoz preostalog materijala od iskopa na deponiju
- izvedba armirano-betonskih zasunskih okana
- nabava, doprema i montaža PEHD cijevi DN 50, DN 63, DN 75, DN 180
- nabava, doprema i montaža fasonskih komada i vodovodnih armatura
- provedba tlačne probe
- izvedba kućnih priključaka
- izvedba nosivog sloja i tampona kolničke konstrukcije
- asfaltiranje kolničkih ploha i ispitivanje na vodonepropunost
- izrada elaborata katastra izvedenih instalacija [6]

Nazivni promjer cijevi	Duljina [m]	Jedinična cijena [€/m']	Ukupna cijena [€]
DN 110	7595.41	265.45	2016201.59
DN 180	1609.49	298.63	480642
UKUPNO:			2496843.59

Tablica 6: Aproximativni prikaz troškova izgradnje [5][6]

Ukupna cijena izgradnje projektiranog vodovoda za naselje Grubišno Polje procjenjuje se oko 2454079.67 €.

## LITERATURA

- [1] Halkijević, I: „Opskrba vodom i odvodnja 1“ – skripta iz istoimenog predmeta
- [2] Vodokok, Sustavi vodoopskrbe, dostupno na: <https://www.vodoskok.hr/prodajni-program/sustavi-vodoopskrbe/cijevi-za-opskrbu-pitkom-vodom/>
- [3] Pipelife, PE cijevni sustav za vodoopskrbu, dostupno na: <https://www.pipelife.hr/niskogradnja/vodoopskrba/pe-cijevi.html>
- [4] *Pravilnik o hidrantskoj mreži* za gašenje požara („Narodne novine RH“, broj 8/06)
- [5] Pipelife, dostupno na: <https://www.pipelife.hr/preuzimanje.html>
- [6] Vodovod Biograd, Troškovnik, dostupno na: <http://www.komunalac.com/wp-content/uploads/2017/03/Troskovnik-kanalizacija-Podsustav-Biograd.pdf>