

# Rekonstrukcija vodovoda grada Splita iz 1880. godine

---

Radoš, Dražen

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*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:123:277472>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-24**



*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**

**Dražen Radoš**

**Split, 2018.**

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

**Rekonstrukcija vodovoda grada splita iz 1880. godine**

**Završni rad**

**Split, 2018.**

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

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **Dražen Radoš**

BROJ INDEKSA: **4244**

KATEDRA: **Katedra za gospodarenje vodama i zaštita voda**

PREDMET: **Vodoopskrba i kanalizacija**

**ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Rekonstrukcija vodovoda grada Splita iz 1880. godine

Opis zadatka: Student će temeljem raspoloživih povijesnih podloga rekonstruirati shemu, situaciju i uzdužne profile vodovoda grada Splita iz 1880. godine. Nakon rekonstrukcije vodoopskrbne mreže izračunati će hidrauličke značajke rada gravitacijskog sustava uvažavajući raspored i kapacitet fontana u gradu. Na kraju će ukratko komentirati razlike između modernih vodoopskrbnih mreža i vodovoda iz 1880. godine.

U Splitu, rujan 2018.

Voditelj završnog rada:

prof. dr . sc. Jure Margeta

***Sažetak:***

Pomoću povjesnih podloga rekonstruira se shema, situacija i uzdužni profili vodovoda grada Splita. Uočavamo da je vodoopskrbni sustav gravitacijskog tipa. Cijevi su od lijevanog željeza promjera: 73, 111, 153, 203 mm. Visina razine vode u spremniku je 20 m n.m. Računa se hidraulička značajka rada gravitacijskog sustava.

***Ključne riječi:***

grad Split, rekonstrukcija, vodovod, gravitacijski sustav

## **Reconstruction of Split water supply system from 1880**

***Abstract:***

By using historical substrate, the scheme, state and profile of longitudinal watercourses of the town of Split are reconstructed. We notice that the water supply system is a gravitational type. The tubes are of cast iron in diameter: 73, 111, 153, 203 mm. The water level in the tank is 20 m n.m. The hydraulic characteristic of the gravitational system is calculated.

***Keywords:***

town of Split, reconstruction, water system, gravity system

**Sadržaj**

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Vodovod i njegova uloga u održivosti življenja u naseljima.....                                       | 6  |
| 2. Osnovni koncept modernih vodoopskrbnih sustava.....                                                   | 9  |
| 3. Rekonstrukcija vodoopskrbnog sustava iz 1880. godine.....                                             | 11 |
| 3.1. Shema sustava.....                                                                                  | 11 |
| 3.2. Situacija vodovodne mreže i raspored fontana.....                                                   | 12 |
| 3.3. Uzdužni profil vodovodne mreže.....                                                                 | 14 |
| 4. Hidraulička analiza rada sustava.....                                                                 | 18 |
| 5. Komentar vezano uz rad gravitacijskog vodoopskrbnog sustava.....                                      | 21 |
| 6. Diskusija značajki u radu modernih i gravitacijskih vodoopskrbnih sustava, prednosti i nedostaci..... | 22 |
| 7. Zaključak.....                                                                                        | 23 |

## 1. Vodovod i njegova uloga u održivosti življenja u naseljima

Osnovne funkcije vodoopskrbnog sustava su:

- Zadovoljiti sve potrebe potrošača za vodom kakvoće vode za piće
- Osigurati potreban tlak u vodovodnoj mreži
- Osigurati (postavljanjem hidranata) vodu za gašenje požara na svim mogućim lokacijama, održavajući pritom zadani tlak u sustavu za sve druge korisnike
- Osigurati dovoljnu rezervu vode za sve incidentne situacije

Da bi vodoopskrbni sustav mogao ispunjavati sve ove zahtjeve, potrebno je izgraditi cijeli niz objekata. Svi oni čine jedinstvenu cjelinu kojoj je osnovni cilj trajno osiguranje dovoljnih količina kvalitetne vode, pod potrebnim tlakom i na najekonomičniji način. U skladu s njihovom funkcijom i položajem u sustavu, ove objekte možemo svrstati u sljedeće grupe:

1. Objekti za zahvaćanje vode: to su zahvatne građevine na rijekama, jezerima, moru, bunari i galerije za zahvaćanje vode, kaptaža izvorišta, sabirne površine i cisterne za oborinsku vodu te zahvati mora za desalinizaciju.
2. Objekti za povećanje kakvoće vode – obradu vode: voda koja se distribuira potrošačima mora imati kakvoću sandarda vode za piće. Ako zahvaćena voda ne udovoljava ovim standardima, treba ju obraditi nizom procesa koji se priomjenjuju ovisno o potrebama.
3. Objekti za dovođenje vode od postrojenja za obradu vode do naselja: ova grupa objekata obuhvaća cjevovode, kanale i sve druge objekte potrebne za dovođenje vode do naselja: crpne stanice, tunele, sifone, prekidne komore, mostove, itd.
4. Objekti za raspodjelu vode potrošačima u naseljima: to su gradske vodovodne mreže sa svim potrebnim objektima. Ovi su cjevovodi pod tlakom, opremljeni nizom manjih objekata nužnih za upravljanje.
5. Objekti za sabiranje i čuvanje vode: to su, prije svega, vodospremnici čiste vode koji služe za ujednačavanje dotjecanja i potrošnje, kao i za sigurnost u opskrbi i reguliranju

tlaka. Razlikujemo one koji se nalaze na terenu i one u zraku (vodotornjevi). Osim vodospremnika, objekti za sabiranje i čuvanje vode mogu biti druge retencije, akumulacije, cisterne, itd., koje uglavnom služe za spremanje sirove vode.

6. Objekti za regulaciju tlaka u vodoopskrbnoj mreži: to su uglavnom vodospremnici, prekidne komore i ventili za regulaciju tlaka. Osim ovim objektima, regulacija tlaka provodi se i precrpnicama, hidroforima i drugim tlačnim sustavima.

Da bi se do svih potrošača dovela voda potrebne količine, kakvoće i tlaka, sve ove grupe treba povezati u učinkovitu tehnološku cijelinu. Koji će se objekti primijeniti i kakav će biti njihov raspored, ovisi o nekolicini čimbenika:

- Količina potrebne vode
- Standard kakvoće vode za piće
- Kakvoća zahvaćene vode
- Tip i karakteristike zahvata, njegov visinski položaj u odnosu na potrošače
- Morfološke/topografske karakteristike područja od zahvata do potrošača
- Situacijski raspored korisnika i objekata u sustavu
- Geološke i geomehaničke karakteristike područja
- Namjena i korištenja zemljišta

Cilj je postići tehnološki siguran i ekonomski učinkovit vodoopskrbni sustav koji jamči:

- Neprekinutu opskrbu potrošača potrebnim količinama
- Vodu kakvoće vode za piće
- Tlak u traženim granicama
- Potrebnu sigurnost u odnosu na količine, kakvoću, tlak i sve incidentne situacije
- Minimalne troškove i cijenu vode, minimalan negativni utjecaj na okoliš

Osim navedenih glavnih grupa objekata, sustav ima i cijeli niz manjih objekata i elemenata: ventili i zatvarači različitih namjena, mjerači protoka i tlaka, crpne stanice u mreži za povećanje tlaka u određenom dijelu dana, za vrijeme požara ili kod viših objekata. Sustav je



opremljen i kućnim priključcima koji se sastoje od cjevovoda s priključkom na lokalnu mrežu i kućnog vodomjera.

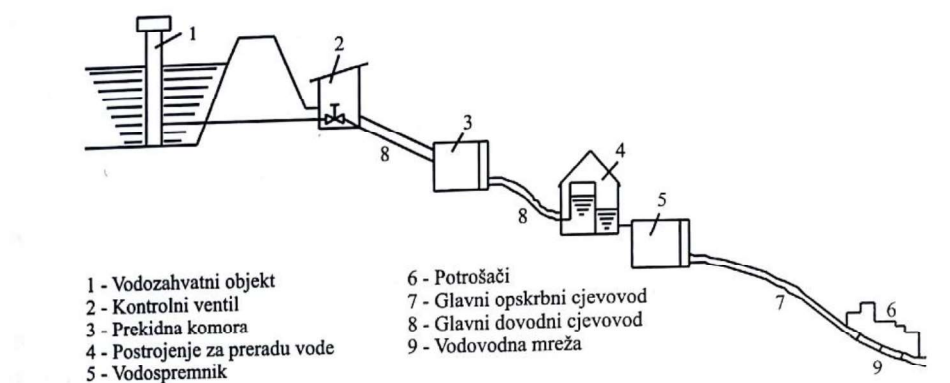
Međusobni raspored objekata u sustavu najviše ovisi o:

- Topografskim karakteristikama područja
- Visinskom položaju zahvata vode u odnosu na potrošače

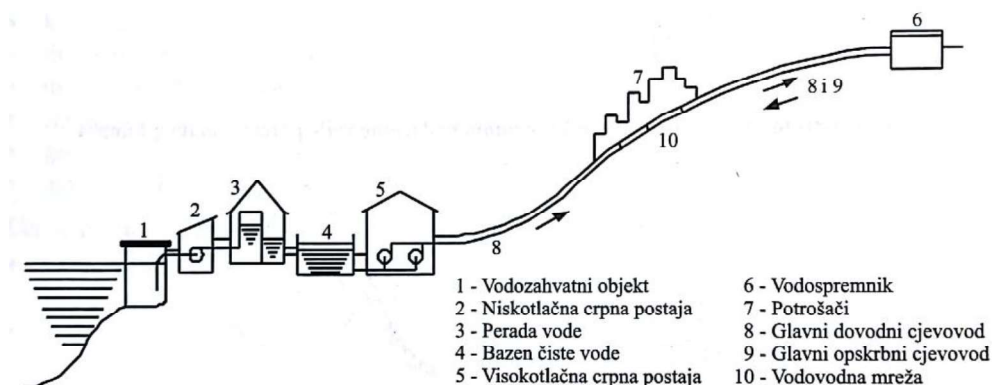
Ovi čimbenici reguliraju odnose u sustavu koji su definirani tehničkim i ekonomskim razlozima pogona vodoopskrbnog sustava.

## 2. Osnovni koncept modernih vodoopskrbnih sustava

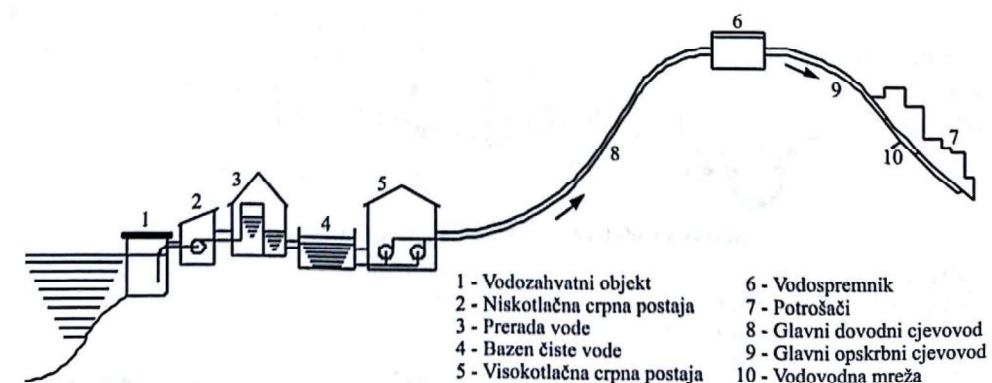
Objekti koji mogu postići tehnološki siguran i ekonomski učinkovit vodoopskrbni sustav su različiti, a na slici 3.1. prikazuju se tipični i najčešće korišteni objekti vodoopskrbnih sustava u skladu s tipom zahvata i topografijom prostora.



Slika 2.1. Tipična shema opskrbe vodom u sustavu s gravitacijskim tečenjem vode



Slika 2.2. Tipična shema opskrbe vodom u sustavu s dotokom radom crpki



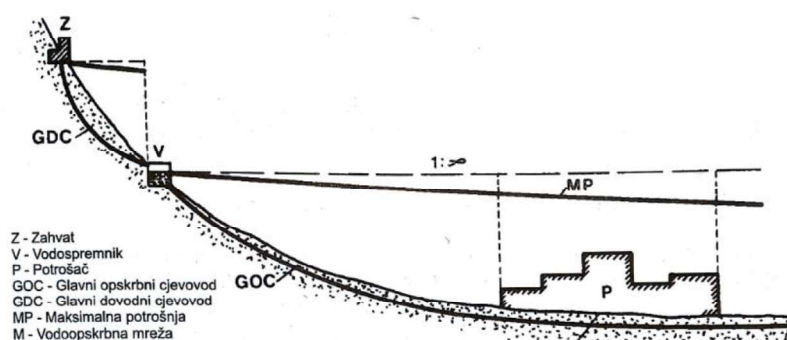
Slika 2.3. Tipična shema opskrbe vodom u sustavu s gravitacijskim dotokom i dotokom radom crpki

Da bi se postigli traženi visinski odnosi i svi drugi uvjeti, treba izgraditi niz objekata spojenih s ostalim elementima vodoopskrbnog sustava, koji zajedno čine osnovnu shemu sustava. Glavni elementi koji određuju podjelu vodoopskrbnog sustava s obzirom na način dovođenja vode u vodoopskrbno područje, odnosno njegove tehnološko-tehničke karakteristike su:

- Pogonske karakteristike sustava i tečenje vode u sustavu
- Položaj vodospremnika ili vodotornja u odnosu na naselje
- Kretanje vode u vodoopskrbnom sustavu

Vodoopskrbni sustav koji je zadan u zadatku je gravitacijski sustav.

U gravitacijskom sustavu opskrba se odvija u prirodnom padu, odnosno tečenje se u sustavu odvija samo pod djelovanjem sile teže. Tlak u vodoopskrbnoj mreži određuje vodno lice u vodospremniku.



Slika 2.4. Tipična gravitacijska shema vodoopskrbnog sustava

Razlika između antičkog gravitacijskog sustava kojeg su konstruirali Rimljani, i modernih gravitacijskih sustava je u tlaku u cijevi. Tada je maksimalni tlak bio do 2 bara, dok se danas maksimalni tlak u cijevima kreće između 6 i 8 bara.

### **3. Rekonstrukcija vodoopskrbnog sustava iz 1880. godine**

#### **3.1. Shema sustava**

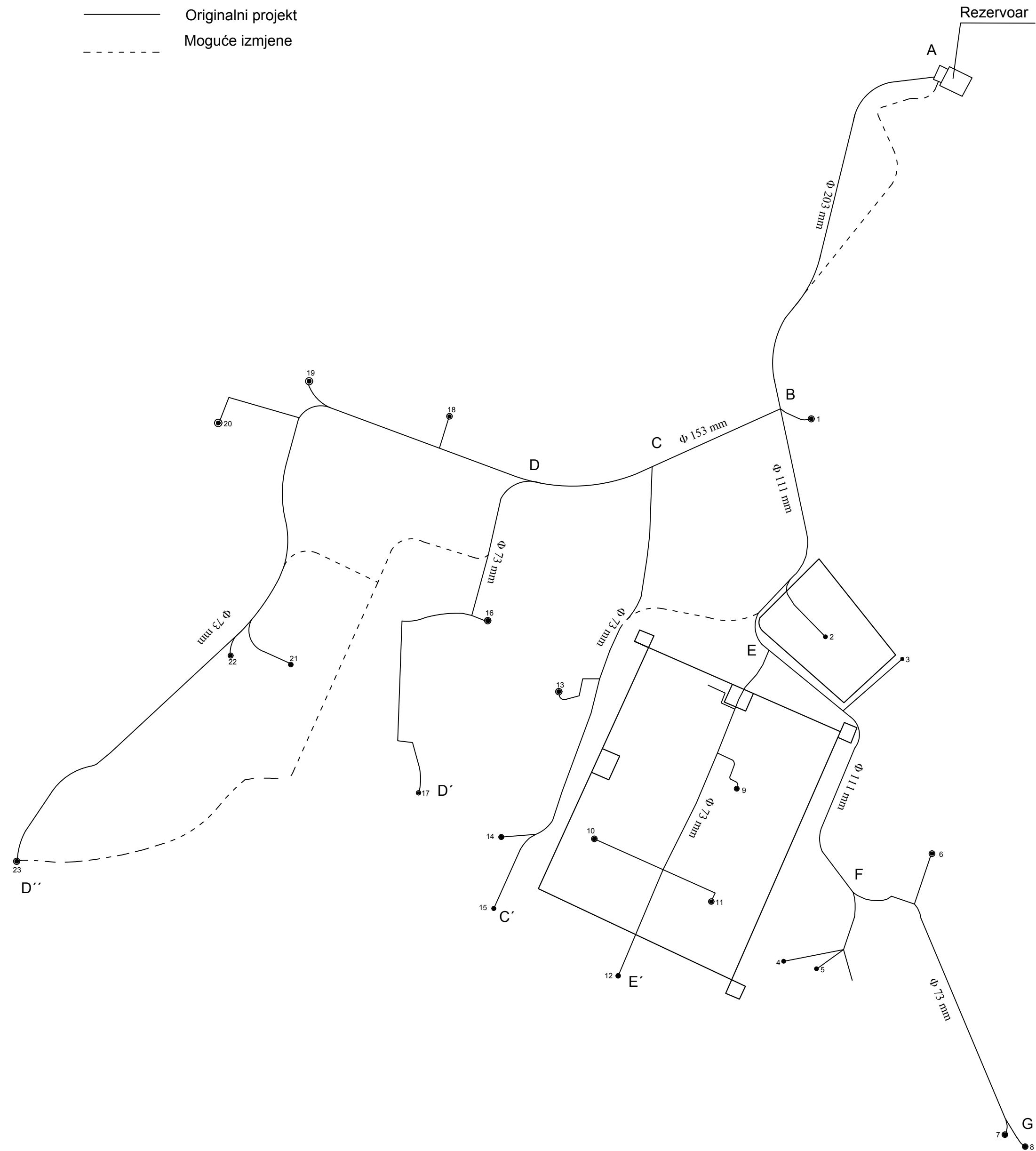
Vodovodne mreže se razlikuju po karakteru kretanja vode u mreži. Ukoliko se voda u mreži uvijek kreće jednosmjerno, govorimo o razgranatom obliku vodovodne mreže.

Oblik vodovodne mreže iz zadatka je razgranati oblik vodovodne mreže.

Kod razgranatog oblika vodovodne mreže voda se uvijek kreće jednosmjerno, od izvora do svakog pojedinog potrošača. To znači da je jednostavno opisati ili prepoznati putove tečenja vode do svakog pojedinog potrošača. Ova činjenica rezultira jednostavnošću mreže i lakim projektiranjem.

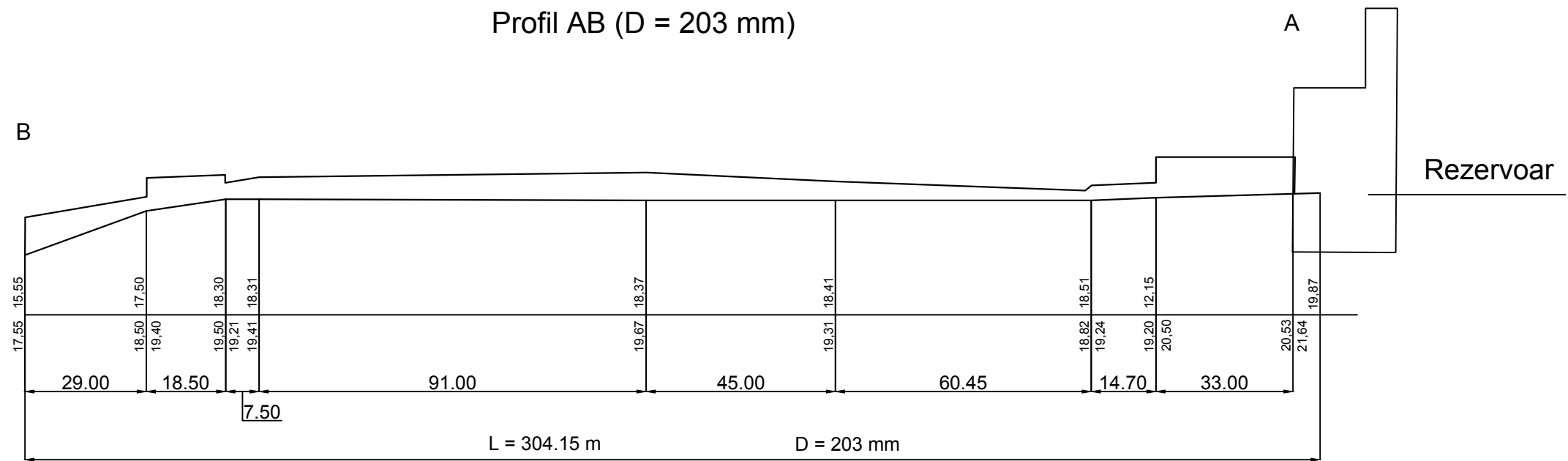
### **3.2. Situacija vodovodne mreže i raspored fontana**

Originalni projekt  
Moguće izmjene

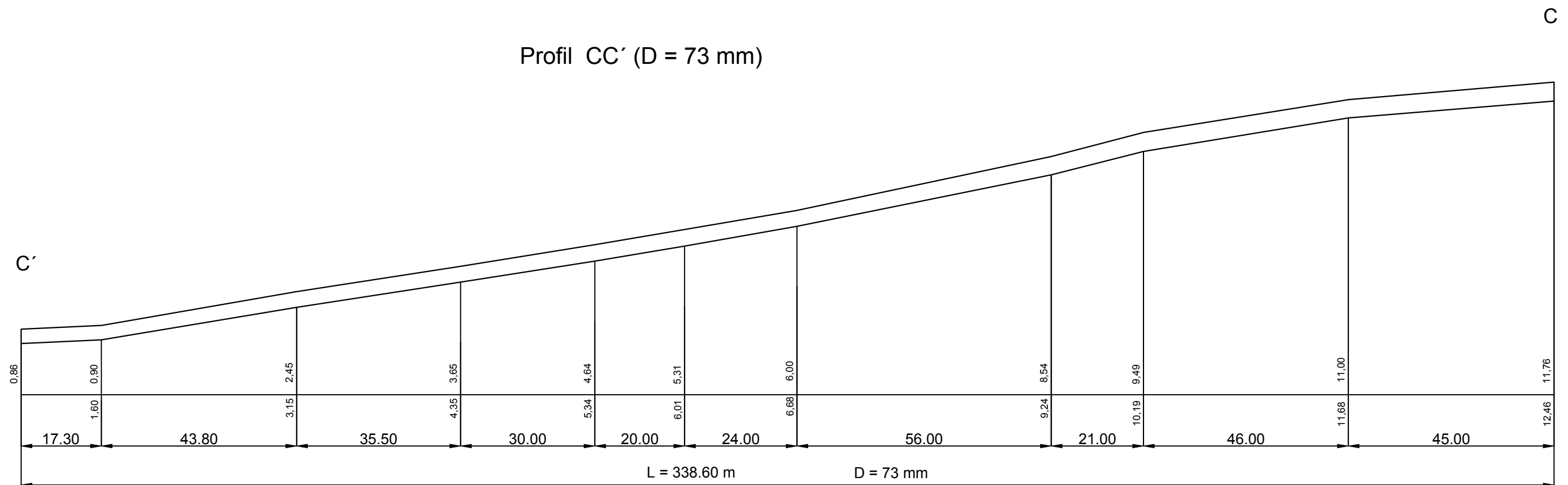


### **3.3. Uzdužni profil vodovodne mreže**

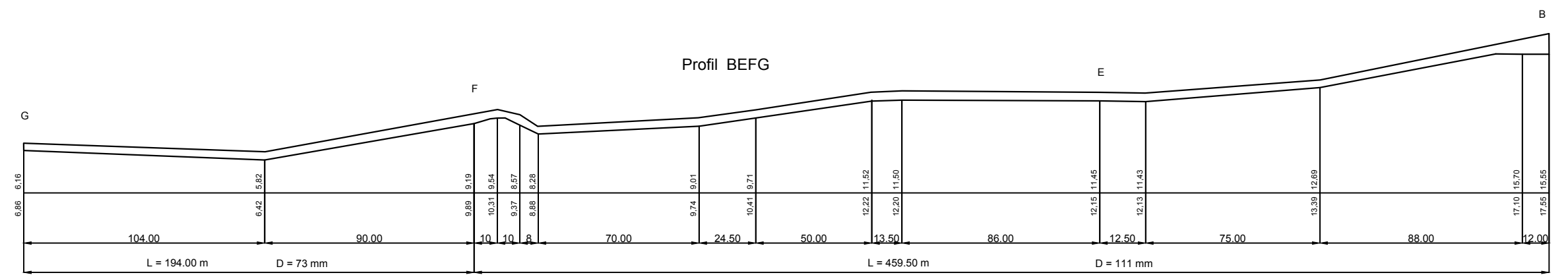
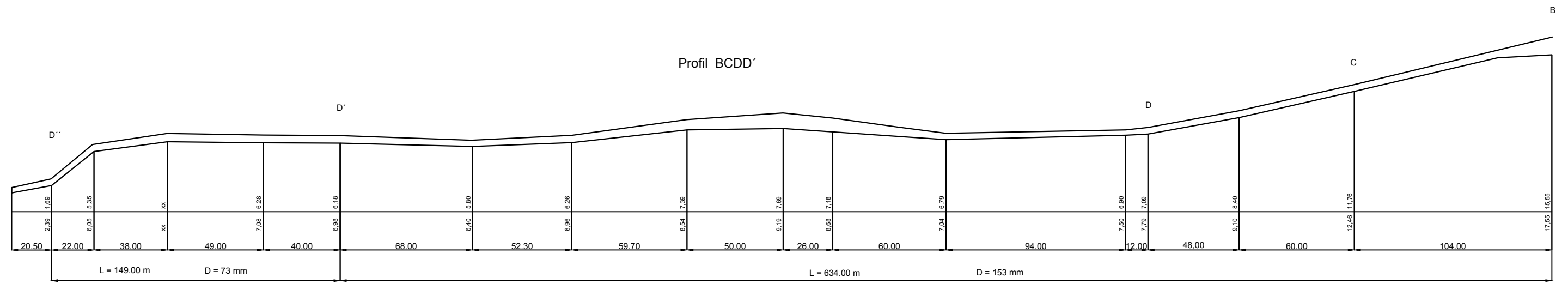
Profil AB (D = 203 mm)

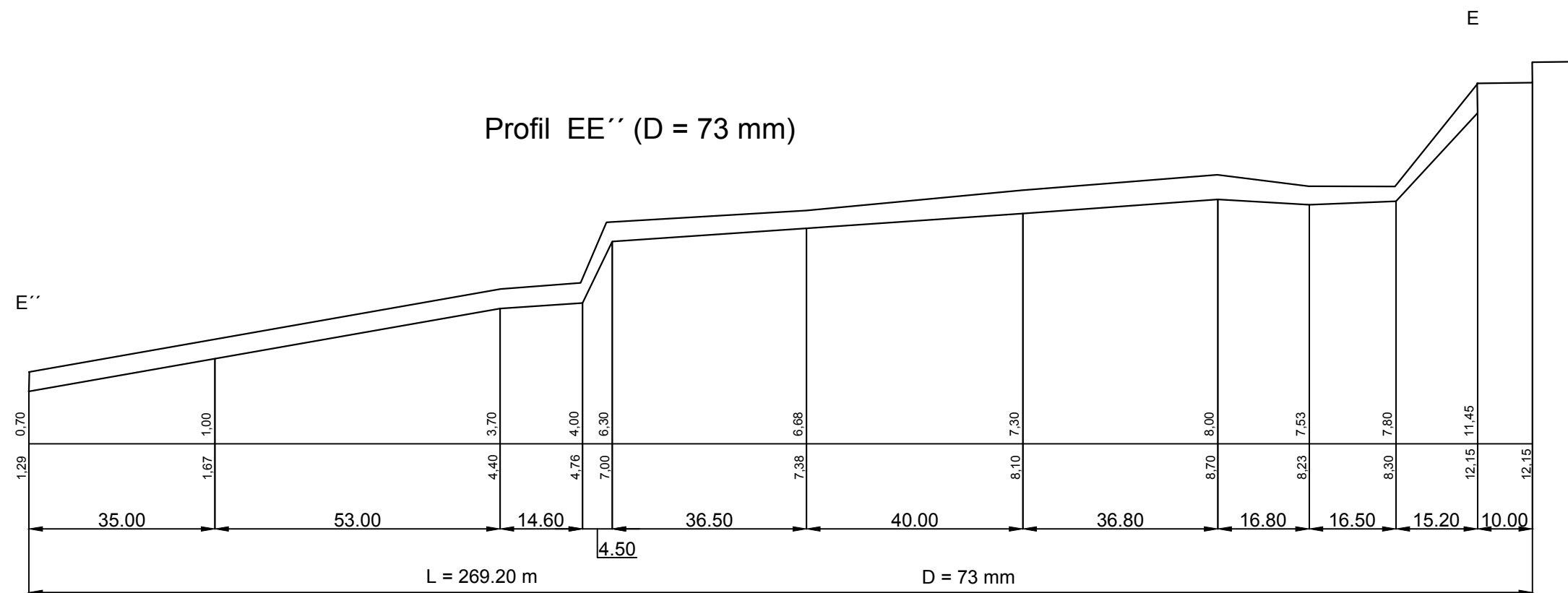
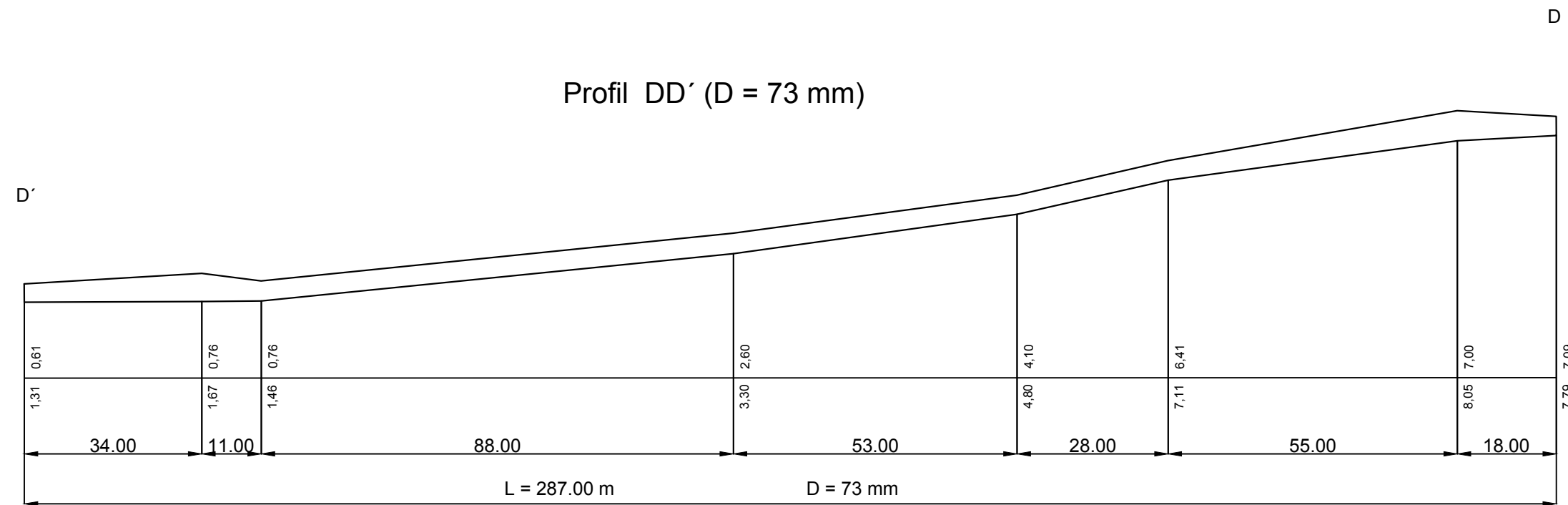


Profil CC' (D = 73 mm)



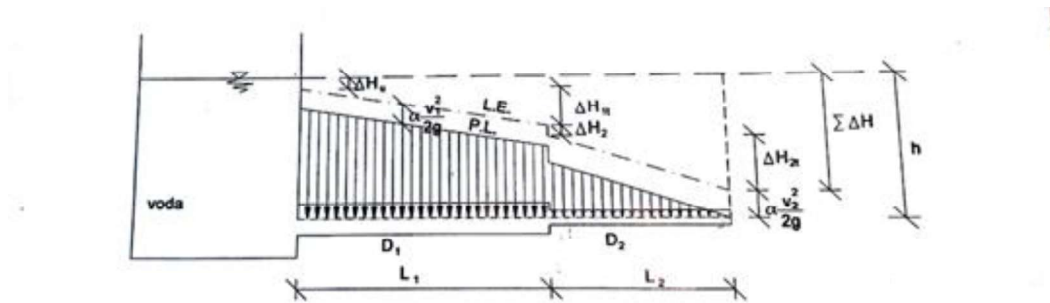






#### 4. Hidraulička analiza rada sustava

U nastavku ćemo na običnom primjeru preko Bernoulli-eve jednadžbe pokazati koncept proračuna količine vode koja istječe iz vodospreme kroz složeni cijevovod.



Slika 4.1. Primjer sheme vodospreme i odvodnog cijevovoda

Linija energije postavlja se na sljedeći tok vode.

Postoje sljedeći gubici energije:

- lokalni:  $\Delta H_u$  – gubitak na ulazu  
 $\Delta H_k$  – gubitak na koljenu
- linijski  $\Delta H_{1t}$  – gubitak na trenju na dionici  $L_1$   
 $\Delta H_{2t}$  – gubitak na trenju na dionici  $L_2$

Ukupni gubitak energije jednak je sumi lokalnih i linijskih gubitaka:

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_u + \Delta H_k + \Delta H_{1t} + \Delta H_{2t}$$

Lokalni gubici daju se kao postotak lokalne brzinske visine u odgovarajućem presjeku „i“

$$\Delta H_{iL} = \xi_i \frac{v_i^2}{2g}$$

Vrijednost gubitaka na trenju izražava se preko lokalne brzinske visine:

$$\Delta H_{it} = \lambda_i \frac{L_i}{D_i} \frac{v_i^2}{2g}$$

Prema tome:  $\Sigma \Delta H = \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{L_j}{D_j} \frac{v_j^2}{2g}$

gdje je n – broj lokalnih gubitaka, m – broj cijevi

Kako je:  $h = \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \Sigma \Delta H$ , potrebno je iz uvjeta kontinuiteta izraziti lokalne brzine preko izlazne brzine  $v_2$ :

$$Q = A_i \cdot v_i = A_2 \cdot v_2, \quad v_i = v_2 \frac{A_2}{A_i}$$

$$h = \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{i=1}^n \xi_i \left( \frac{A_2}{A_i} \right)^2 \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{L_j}{D_j} \frac{v_2^2}{2g} \left( \frac{A_2}{A_i} \right)^2$$

$$h = \frac{v_2^2}{2g} \left[ \alpha + \sum_{i=1}^n \xi_i \left( \frac{A_2}{A_i} \right)^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{L_j}{D_j} \left( \frac{A_2}{A_i} \right)^2 \right]$$

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum_{i=1}^n \xi_i \left( \frac{A_2}{A_i} \right)^2 + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{L_j}{D_j} \left( \frac{A_2}{A_i} \right)^2}} \cdot \sqrt{2gh}$$

$$v_0 = \mu \sqrt{2gh}$$

Prema tome, kod cjevovoda sa složenim profilima cijevi i raznim tipovima lokalnih gubitaka potrebno je koeficijente gubitaka reducirati na izlazni profil s kvadratom odnosa površina.

Slijedi računanje koeficijenta otpora tečenja  $\lambda$  iterativnim postupkom. U specijalnim slučajevima otpori površine se računaju preko graničnog sloja. U slučaju tečenja kroz cijev, gubici se računaju prema Moody-jevom dijagramu.

Koeficijent otpora tečenju  $\lambda$  ovisi o relativnoj hrapavosti i o Reynolds-ovom broju:

$$\lambda = \lambda \left( \frac{\varepsilon}{D_j}, \text{Re} \right)$$

Kao prvu apoksimaciju najpogodnije je uzeti da  $\lambda$  ne ovisi o Reynolds-ovom broju, tj da se radi o turbulentno hrapavom režimu strujanja tekućine.

Nakon toga dobivamo vrijednost  $\mu$  i  $v_0$

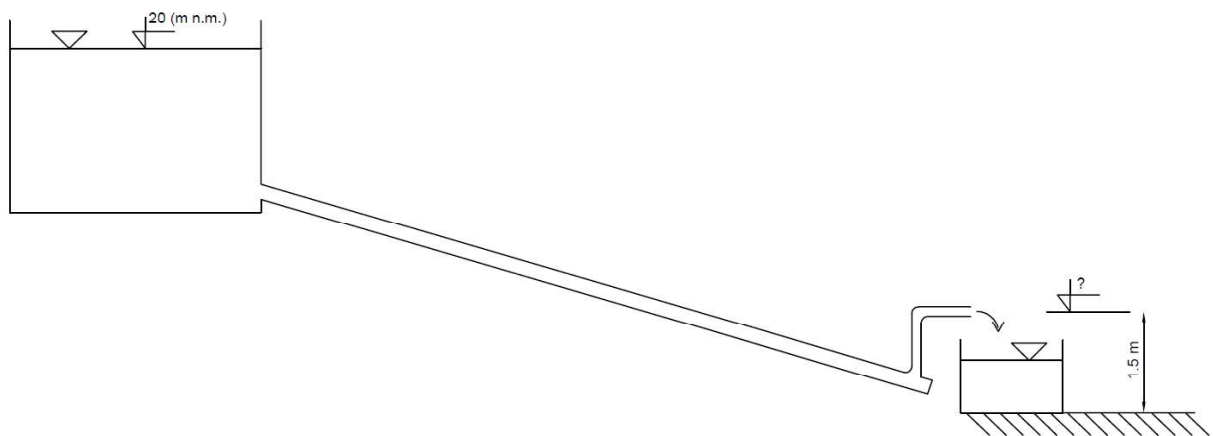
Sada treba odrediti  $\lambda$ , dakle:

$Re = \frac{v_0 \cdot D}{\nu} \rightarrow$  pomoću  $Re$  i  $\frac{\varepsilon}{D}$  iz Moody-eva dijagrama učitava se  $\lambda$ , koji je približan pretpostavljenom  $\lambda$ . U protivnom slučaju treba ponoviti račun s novim  $\lambda$ , izračunati novu brzinu i postupak ponavljati sve dok se ne zadovolji određeni kriterij točnosti.

Količina vode koja istječe dobije se iz uvjeta kontinuiteta:

$$Q = A_2 \cdot v_2$$

Rubni uvjeti za ovaj hidraulički proračun bili bi visinska kota razine vode u vodospremi i visinska kota izljeva na fontani



Promjeri otvora na fontama su oko 30 mm ili nešto manji. Ovakav sustav je „gravitacijski protočni sustav“, u kojem je voda iz izvora dotjecala do vodospreme, odakle je dalje strujala prema fontanama iz kojih je slobodno tekla. Stoga smatramo da ventili na fontanama nisu postojali.

## 5. Komentar vezano uz rad gravitacijskog vodoopskrbnog sustava

Gravitacijski sustavi djeluju na principu djelovanja sile teže, tako da smještaj toga sustava nije moguć u ravničarskom terenu. Kod gravitacijski sustava voda s većih nadmorskih visina stiže do naselja koji se nalazi na nižem dijelu terena. Strujanje kod ovakvih sustava može biti pod tlakom ili sa slobodnim vodnim licem. Strujanje sa slobodnim vodnim lice nije preporučljivo zbog mogućeg onečišćenja vode, koja je ujedno i voda za piće. Ovakav sustav je vrlo pouzdan s jednostavnim rad i ne zahtjeva potrošnju energije što rezultira minimalnim troškovima distribucije vode, a time i nižom cijenom vode za piće.

Sustav u zadatku je funkcionirao s konstantnim protokom od izvora, koji se nalazio na 33 m n.v., do vodospreme pa sve do fontana. Ovo je prikaz klasičnog gravitacijskog sustava u kojem je tlak u vodovodnoj mreži bio manji od 18 m V.S.

Ovakav sustav sa slobodnim protjecajem danas nebi bio moguć. Razlog tome je nepostojanost hidranta koji zahtjevaju tlak od minimalno 25 m. Uz takav sustav gašenje požara se vršilo uzimanjem vode s fontana sićevima i „ručnim“ polijevanjem vatre.

Što se tiče korištenja vode u kućanstvu, potrošači su imali vlastiti spremnik iz kojeg se voda upotrebljavala po potrebi. U slučaju da se voda iz kućnog spremnika potroši, potrošači su trebali sićevima prenositi vodu iz fontana i napuniti spremnik u kućanstvu.

## **6. Diskusija značajki u radu modernih i gravitacijskih vodoopskrbnih sustava, prednosti i nedostaci**

Izbor osnovne sheme vodoopskrbe prvi je korak u rješavanju vodoopskrbe nekog područja, tako da konačnoj odluci treba prethoditi svestrana analiza svih čimbenika koji mogu utjecati na rješenje. Pritom je prvi korak pregled mogućih shema. Kod izbora sheme vodoopskrbe moraju se uvažiti svi kriteriji: ekonomski, ekološki, tehnološki, sigurnosni, društveni i drugi.

Izbor sheme (konfiguracije) najvažniji je korak u kreiranju rješenja vodoopskrbe. Ako konfiguracija nije dobra neće biti dobar ni cijeli sustav, a posljedice pogrešnog odabira su velike i trajne. Zbog toga postupak izbora konfiguracije mora biti cjelovit i detaljan.

Postoje 3 tipa vodoopskrbnih sustava:

- 1) gravitacijski sustav (sustav s gravitacijskim dotokom vode)
- 2) crpni sustav
- 3) cirkulacijski sustav

Gravitacijski sustav, s obzirom na crpni i cirkulacijski imaju minimalne pogonske troškove, visoku pouzdanost opskrbe i jednostavniji rad i kontrolu rada.

Kod crpnog sustava vodoopskrba uvelike ovisi od jačini i modelu pumpe (crpke), a sama održivost sustava je skupa. Drugi nedostatak crpnog sustava je otkazivanje pumpe. Sam popravak ili zamjena pumpe nije jednostavna i može zahijevati veliki trošak.

Cirkulacijski sustav koristi već upotrebljenu vodu. Takav sustav se koristi u industriji, a ne u opskrbljivanju naselja. Osnovni razlozi za upotrebu cirkulacijskog sustava su:

- nedovoljan kapacitet zahvata za kontinuiranu opskrbu
- zahtjevi kakvoće vode koja se vraća iz tehnološkog procesa
- ekonomski razlozi

## **7. Zaključak**

Budući da nisu potrebne crpne stanice, utrošak energije je minimalan, a sustav vrlo pouzdan u svom radu i jednostavan za pogon i održavanje, tj. opskrba je neovisna o mehaničkim uređajima i električnoj energiji zbog samostalne funkcije. Zbog toga se primjena ovakvih shema preporučuje.

Jedna od glavnih uloga vodospremnika je gravitacijskih sustava osiguranje potrebnog (dozvoljenog) tlaka u sustavu.

Gravitacijski sustav ne troši energiju, što znači da ne ispušta CO<sub>2</sub>, odnosno ne utječe na klimatske promjene, pa je samim time i ekološki prihvatljiviji od ostali vodoopskrbni sustava.



## **Literatura**

Jure Margeta – Vodoopskrba naselja: planiranje, projektiranje, upravljanje, obrada vode  
Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta, 2010 Split

[hr.wikipedia.org](http://hr.wikipedia.org)