

# Rekonstrukcija cjevovodnog sustava

---

**Opetuk, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:276012>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Filip Opetuk**

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Mario Šavar, dipl. ing.

Student:

Filip Opetuk

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svima koji su mi pomogli u izradi ovog rada i tijekom cjelokupnog studija.

Filip Opetuk



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Filip Opetuk**

Mat. br.: 0035199208

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Rekonstrukcija cjevovodnog sustava**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Reconstruction of the pipeline network**

Opis zadatka:

Naselje od 8000 stanovnika osigurava potrebu za vodom iz obližnjeg jezera koje se nalazi 42 metra niže od razine naselja. Voda se pumpom transportira do naselja cjevovodom duljine 12 km. Ukoliko bi se ugradila vodosprema voda bi se mogla pumpati u vodospremu tijekom jeftinije noćne tarife električne energije, a tijekom dana zaustaviti pumpe i koristiti gravitacijsku dobavu vode.

U radu je potrebno ispitati:

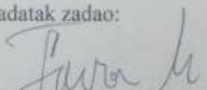
1. Na kojoj visini je potrebno ugraditi vodospremu da se u svim točkama cjevovodne mreže osigura barem 2 bara pretlaka.
2. Koja je veličina vodospreme koja bi osigurala dovoljnu opskrbu vode tijekom dnevne tarife električne energije (skuplja struja).
3. Ekonomsku isplativost rekonstrukcije cjevovodnog sustava, ako se sredstva za radove osiguravaju putem kredita banke na 20 godina.

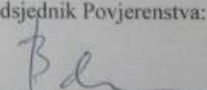
Rezultate proračuna prikazati odgovarajućim tablicama, dijagramima i slikama.  
U radu treba navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:  
1. rok: 23. veljače 2018.  
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.  
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.  
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.  
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:  
  
Prof. dr. sc. Mario Šavar

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Igor Balen

# SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Konstrukcija vodospreme .....	1
1.2. Cilj rada.....	2
2. TEHNIČKA ANALIZA .....	3
2.1. Dnevne potrebe vode .....	3
2.2. Matematičko modeliranje cijevne mreže .....	4
2.3. Rezultati hidrodinamičkog proračuna vodovodne mreže .....	8
3. EKONOMSKA ANALIZA .....	13
3.1. Metode .....	13
3.2. Cijene .....	14
3.3. Financiranje vodospreme vlastitim sredstvima.....	15
3.4. Financiranje vodospreme kreditom i bespovratnim EU sredstvima .....	16
4. ZAKLJUČAK.....	18
LITERATURA.....	19
PRILOZI.....	20

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Vodotoranj, Turnu-Severin, Rumunjska [3].....	2
Slika 2.	Warner Bros. vodotoranj, Durbank, SAD [4] .....	2
Slika 3.	Satna potrošnja vode .....	3
Slika 4.	Geografski raspored cijevne mreže .....	9
Slika 5.	Tlak u čvorovima na 25 % dnevnog opterećenja .....	10
Slika 6.	Količina vode u vodospremi tokom jednog dana .....	11
Slika 7.	Tlakovi u čvorovima pri pražnjenju vodospreme.....	11
Slika 8.	Kretanje neto dobiti prvog slučaja po godinama .....	15
Slika 9.	Kumulativna neto sadašnja vrijednost projekta u prvom slučaju.....	16
Slika 10.	Kumulativna neto sadašnja vrijednost projekta u drugom slučaju.....	17

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Satna potrošnja vode .....	4
---------------------------------------	---



## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$V_d$	$m^3$	dnevni potrebni volumen vode
$\rho$	$kg/m^3$	gustoća fluida
$h$	m	piezometrička visina
$\Delta p_f$	Pa	pad tlaka u cijevi uslijed trenja
$\lambda$	–	Darcy-Weisbachov koeficijent trenja
$L$	m	duljina cijevi
$v$	m/s	brzina strujanja u cijevi
$D$	m	promjer cijevi
$h_f$	m	visina pada tlaka uslijed trenja
$Q$	$m^3/s$	volumni protok u cijevi
$g$	$m/s^2$	gravitacijska konstanta, $g = 9,80665 m/s^2$
$Re$	–	Reynoldsov broj
$k$	m	srednja visina neravnina u cijevi
$Q_i$	$m^3/s$	volumni protok u i-toj cijevi čvora
$h_{f,i}$	m	visina pada tlaka uslijed trenja u i-toj cijevi čvora
$Q_i^k$	$m^3/s$	volumni protok u i-toj cijevi čvora u k-toj iteraciji
$Q_i^{k-1}$	$m^3/s$	volumni protok u i-toj cijevi čvora u iteraciji prije k-te
$\Delta Q^k$	$m^3/s$	korekcija volumnog protoka u k-toj iteraciji
$h_p$	m	visina dobave pumpe
$V_b$	$m^3$	volumen betona
$a$	m	širina vodospreme
$b$	m	duljina vodospreme
$c$	m	visina vodospreme
$\delta$	m	debljina stijenke vodospreme
$P_p$	W	pnaga pumpe

## SAŽETAK

Zadatak ovog rada bio je izraditi studiju izvedivosti izgradnje vodospreme – tehničku i ekonomsku analizu njene izgradnje u pretežito nizinskom naselju s 8000 stanovnika. Korištenjem modela izotermičkog, stacionarnog strujanja nestlačivog fluida u složenom cjevovodu, metodom Hardy Crossa potvrđeno je da vodosprema osigurava potreban tlak od 2 bara u svim čvorovima cijevne mreže i da ju je moguće napuniti za vrijeme noćnih sati, kada je jeftinija cijena električne energije. Ekonomskom analizom pokazano je da je projekt, ukoliko bi 50 % bio financiran vlastitim sredstvima komunalnog poduzeća, a 50 % sredstvima banke neisplativ i generira gubitke, ali ako se financiranje kreditom zamijeni bespovratnim sredstvima Europske unije, projekt generira 260.046,31 kn sadašnje vrijednosti dobiti uz stopu povrata od 9,82 %.

Ključne riječi: vodosprema, cijevna mreža

## **SUMMARY**

The goal of this paper was to perform a feasibility study of a water tank – a technical and economical analysis of constructing a water tank in a mostly lowlands settlement with a population of 8000. Using the model of isothermic, stationary incompressible flow in a complex pipe network, the method of Hardy Cross has proven that the water tank is capable of creating at least 2 bar of pressure in all junctions of the network and that it's possible to fill the water tank during nighttime, when the electricity prices are lower. Economical analysis has proven that the project, if funded by utility company's own funds with a share of 50 %, and using the bank loan to cover the other 50 % of expenses, generated losses. Using the funding from European Union's structural and cohesion funds to replace the bank loan, the project generates a net present profit of 260 046.31 kn and its internal return rate is 9.82 %.

Key words: water tank, pipe network

# 1. UVOD

Vodosprema je građevina za spremanje i pričuvu vode u sklopu vodovodne mreže. Glavna joj je svrha izjednačavanje dnevnih oscilacija potrošnje i ostvarivanje stabilnosti pogonskih tlakova u mreži. [1] Vodospreme se koriste i radi uštede energije na način da vodu akumuliraju noću, za vrijeme jeftinijih cijena električne energije, a vodu distribuiraju danju anulirajući time potrebu za radom pumpe u periodu skuplje električne energije. Iako su ulaganja u infrastrukturu na razini cijele države značajno pala početkom krize prije 10-ak godina, pozitivni trendovi u Hrvatskoj ali i cijeloj Europskoj Uniji ponovo čine ulaganja u infrastrukturne projekte aktualnima i atraktivnima.

Manje nizinsko naselje s obližnjim brežuljkom na kojem se gradi vodosprema, sa svojih par tisuća ljudi i svojim geografskim i demografskim svojstvima, zorno opisuje nizinski gradić u Slavoniji što je i ciljano područje uzevši u obzir slabije razvijenu slavonsku vodnu infrastrukturu i brojna mjesta za poboljšanja. Ukopana izvedba ili izvedba na terenu [2] ove vodospreme ne čini ju atraktivnom vizurom poput mnogo poznatijih vodotornjeva (izvedba iznad terena) u Turnu Severinu (Rumunjska), *Kuće u oblacima* u engleskom Suffolku ili pak raznih američkih šaljivih izvedbi, međutim zbog forme ničime nije umanjena važnost vodospreme za naselje u pitanju.

## 1.1. Konstrukcija vodospreme

Vodospreme se uglavnom izvide kao prizemne, ukopane ili djelomično ukopane konstrukcije sa dvije komore na prirodnim uzvisinama, jer u idealnom slučaju za svoje funkcioniranje u fazi distribucije vode vodospremi ne treba rad pumpe – sva energija sadržaja je u gravitacijskoj potencijalnoj energiji fluida. Ukoliko to nije izvedivo (primjerice, nepostojanje takve uzvisine u blizini ili gusto urbano područje) moguće su još dvije izvedbe: jedna nadzemna na kojoj je sam spremnik vode podignut od zemlje na visokim nosačima i do nekoliko desetaka metara, i jedna podzemna u kojoj se tada koriste pumpe za distribuciju vode. Daleko najisplativija, dakle i za hrvatske uvjete najizglednija izvedba je ona prva, prizemna izvedba na uzvisini, zato se takva i obrađuje u radu.



**Slika 1. Vodotoranj, Turnu-Severin, Rumunjska [3]**



**Slika 2. Warner Bros. vodotoranj, Durbank, SAD [4]**

## 1.2. Cilj rada

Cilj ovog rada je izraditi ekonomsku analizu isplativosti konstrukcije vodospreme u naselju sa već izgrađenom vodovodnom mrežom napajanom iz obližnjeg jezera u cilju uštede energije, ali eksploatirajući i druge pogodnosti koje dolaze s vodospremom – stabilnost pogonskih tlakova u mreži (osiguranja tlaka od dva bara u svim čvorovima mreže), umanjeње oscilacija, pružanje rezerve vode za gašenje požara i krizne situacije. Provodi se tehnička analiza cijevne mreže, potom se na nju priključuje vodosprema i promatra se njezina dinamika, a nakon postizanja zadovoljavajućih tehničkih parametara dimenzioniranjem vodospreme izvrši se i ekonomska analiza isplativosti projekta, u dva slučaja: u prvom slučaju komunalno poduzeće samo gradi vodospremu dijelom financirano kreditom, a dijelom vlastitim sredstvima dok je u drugom slučaju komunalno poduzeće uspješno apliciralo za fondove Europske unije, te Unija pokriva polovicu troškova izgradnje vodospreme.

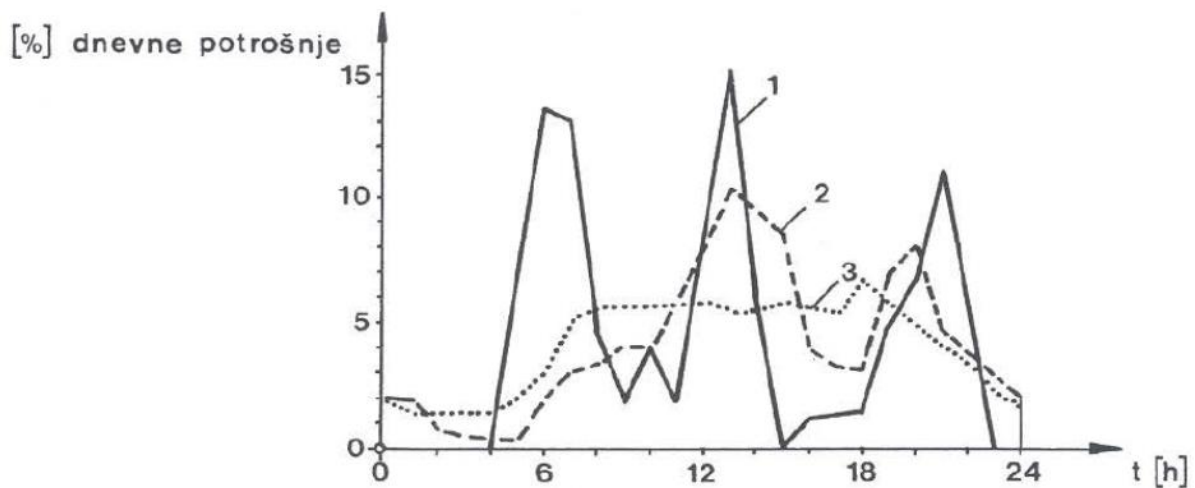
## 2. TEHNIČKA ANALIZA

### 2.1. Dnevne potrebe vode

Po današnjim standardima, dnevne potrebe za vodom po glavi stanovnika iznose  $V_s = 150$  litara. Tipično naselje u pitanju ima  $n_s = 8000$  stanovnika, što čini dnevne potrebe za vodom

$$V_d = n_s \cdot V_s = 8000 \cdot 150 \text{ l} = 1.200.000 \text{ l} = 1200 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Prema dijagramu dnevne potrošnje vode za grad bez industrije [5] prikazanom na Slici 3. crtkanom krivuljom označenom brojem 2 izrađena je Tablica 1. koja pokazuje razdiobu dnevne potrošnje vode po satima.



Slika 3. Satna potrošnja vode

Navedena dnevna potrošnja ne mora točno odgovarati spomenutom naselju, ali primjećen je trend takvih razdioba za naselja slične veličine, a ovakva razdioba pomaže i dobrom okvirnom određivanju proračuna vodospreme

**Tablica 1. Satna potrošnja vode**

Sat	Udio dnevne potrošnje, %	Sat	Udio dnevne potrošnje, %
1	2	13	10,25
2	1	14	9,38
3	0,75	15	8,50
4	0,50	16	4,00
5	0,25	17	3,00
6	2	18	3,00
7	2,50	19	7,00
8	3,25	20	8,00
9	4,00	21	4,75
10	4,00	22	3,83
11	6,00	23	2,92
12	8,00	24	2,00

Navedeni podatci koristit će se prilikom proračuna dinamike punjenja vodospreme. Pretpostavljeno je da se svi zadani izlazni protoci u vodovodnoj mreži skaliraju faktorom iz Tablice 1. Vidljivo je da je vodospremu najučinkovitije puniti u satima s najmanjom potrošnjom vode, a ujedno i za vrijeme trajanja niže tarife električne energije (24 – 6 h).

## **2.2. Matematičko modeliranje cijevne mreže**

Prilikom matematičkog modeliranja i proračuna cijevne mreže koristi se model jednodimenzijskog izotermičkog stacionarnog strujanja slabo nestlačivog fluida. Jednodimenzijsko strujanje pretpostavlja da su sve fizikalne veličine funkcija koordinate u smjeru strujanja. Kod cjevovoda ta aproksimacija je dobra jer cijevi imaju jako izraženu linearnu dimenziju te su promjene fizikalnih veličina fluida poprečno na smjer strujanja zanemarive u usporedbi sa promjenama u smjeru strujanja, poprečni presjek pojedinih cijevi je konstantan i cijevi su ravne (imaju beskonačne radijuse zakrivljenosti). Izotermičko strujanje osigurava da cijeli fluid ima istu unutarnju energiju, stoga ne postoji potreba za posebnim korištenjem energijske jednadžbe jer intenzitet izmjene topline ne donosi nikakvu novu informaciju ovom proračunu. Stacionarnost strujanja znači da se veličine koje određuju

strujanje u vremenu ne mijenjanju. Pretpostavlja se da se, po promjeni opterećenja mreže, odmah uspostavi stacionarno strujanje sa novim vrijednostima i da traje cijeli sat, tj. prijelazne pojave u cjevovodu se zanemaruju jer imaju minimalan utjecaj na krajnje korisnike i dimenzioniranje sustava. Pretpostavka nestlačivog strujanja govori nam da se tlačni poremećaji u fluidu koji označavaju prisutnost nestacionarnih pojava – hidrauličkih udara zanemaruju iz istih pobuda kao i pretpostavka stacionarnosti. Dvije jednačbe korištene u proračunu cijevne mreže su jednačba kontinuiteta (2)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j)}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

i jednačba količine gibanja (3)

$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial x_j} = \rho f_i + \frac{\partial \sigma_{ji}}{\partial x_j} \quad (3)$$

(prema Virag, Šavar, Džijan [6]). Matematička formulacija ovih jednačbi nakon uvođenja pretpostavke o nestlačivosti i stacionarnosti strujanja izgleda, za jednačbu kontinuiteta (4) je

$$v \frac{\partial h}{\partial x} - v \frac{\partial z}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

a za jednačbu očuvanja količine gibanja (5) je

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\lambda v |v|}{2gD} = 0 \quad (5)$$

gdje  $h$  označava piezometričku visinu – zbroj geodetske visine i visine tlaka,  $v$  postaje komponenta brzine uzduž cijevi,  $D$  je promjer cijevi, a  $\lambda$  označava faktor trenja iz Darcy-Weisbachove jednačbe koja modelira linijske gubitke tlaka u cijevi uslijed trenja:

$$\Delta p_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} \quad (6)$$

gdje  $L$  označava duljinu cijevi (ili segmenta cijevi) istog poprečnog presjeka.

Navedeni matematički model numerički je proračunat u programskom paketu *Pipeline*. *Pipeline* svoj numerički proračun vrši Hardy Cross metodom za proračun stacionarnog strujanja u složenim cijevnim mrežama. Cijevne mreže sastoje se od čvorova (mjesto gdje se spaja više cijevi) i elemenata – samih cijevi konstantnih presjeka, pumpi, ventila. Složene cijevne mreže su mreže koje imaju barem jednu cijevnu petlju u sebi, uvjet koji vodovodna mreža gradića u pitanju ispunjava. Jednačba (6) dijeljenjem tlakom i gustoćom prelazi u oblik gdje članovi imaju dimenzije visine:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}. \quad (7)$$



Budući da je za tehničku praksu puno korisniji i praktičniji podatak o volumnom protoku, brzina uzduž cijevi  $v$  je zamijenjena volumnim protokom kroz cijev  $Q$ . Radi povezivanja predznaka visine gubitaka mehaničke energije sa smjerom protoka, član  $Q^2$  prethodne jednadžbe (7) zamijenjen je članom  $Q|Q|$ , stoga je konačna formulacija Darcy-Weisbachove jednadžbe gdje svi članovi imaju dimenziju visine izgleda:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D^5} \frac{8Q|Q|}{\pi^2 g}. \quad (8)$$

Poteže se problematika određivanja faktora trenja  $\lambda$  jer on nije univerzalan između dvije površine (ili u ovom slučaju između fluida i površine) poput faktora trenja mirovanja  $\mu$ , već ovisi i o režimu strujanja spomenutog fluida. Matematički model korišten u programu *Pipeline* pretpostavlja dva načina izračunavanja faktora trenja ovisno o režimu strujanja: u slučaju laminarnog strujanja (Reynoldsov broj  $Re \leq 2320$ ) faktor trenja se izračunava prema (9):

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

Dok se u slučaju turbulentnog strujanja, sa Reynoldsovim brojevima  $Re \in [5 \cdot 10^3, 10^8]$  primijenjuje Swamee-Jain jednadžba (10) koja vrijedi kada je relativna hrapavost  $\frac{k}{D} \in (10^{-6}, 10^2)$ :

$$\lambda = \frac{1,325}{\left[ \ln \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}. \quad (10)$$

Hardy Cross metoda formulira stacionarno strujanje kroz ispunjavanje dvaju uvjeta:

- a) suma volumnih protoka koji ulaze u čvor mora biti jednaka sumi protoka koja izlazi iz čvora:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad (11)$$

gdje  $n$  predstavlja ukupni broj volumnih protoka  $Q_i$  koji prolaze kroz čvor (protok kroz ulazne cijevi, izlazne cijevi, izlazni protok vode iz čvora za distribuciju prema kućanstvima);

- b) za svaku cijev mora biti zadovoljena Darcy-Weisbachova jednadžba; ili drugačije, suma padova visine gubitaka mehaničke energije  $h_f$  svake petlje sa  $m$  elemenata mora biti jednaka ničiti:

$$\sum_{i=1}^m h_{f,i}. \quad (12)$$

Prvi korak proračuna ove metode jest postavljanje početnih protoka tako da jednadžba kontinuiteta bude zadovoljena u svakom čvoru. Potom se iterativnim postupkom određuje korekcija protoka i dodaje se (ili oduzima za protoke u smjeru suprotnom od pretpostavljenog smjera obilaženja petlje) sve dok se ne izjednače padovi tlaka u petlji do određene točnosti, tj. dok korekcija ne pade ispod željene tolerirane greške  $\varepsilon$ . Stoga se u svakoj iteraciji za svaku cijev petlje na kojoj je potrebno primijeniti korekciju primjenjuje formula (13):

$$Q_i^k = Q_i^{k-1} + \Delta Q^k \quad (13)$$

gdje je  $Q_i^k$  protok kroz element petlje  $i$  u  $k$ -toj iteraciji,  $Q_i^{k-1}$  protok kroz isti taj element petlje u prethodnoj iteraciji, a  $\Delta Q^k$  korekcija protoka u  $k$ -toj iteraciji koju dijele sve cijevi iste petlje. Uvrštavanjem jednadžbe (13) u jednadžbu (8) dobije se:

$$h_{f,i} = \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8[Q^k]^2}{\pi^2 g} = \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8}{\pi^2 g} [Q_i^{k-1} + \Delta Q^k]^2 \quad (14)$$

a kvadriranjem zbroja na desnoj strani jednadžbe (13) nastaje

$$[Q_i^{k-1} + \Delta Q^k]^2 = (Q_i^{k-1})^2 + 2Q_i^{k-1} \cdot \Delta Q^k + (\Delta Q^k)^2 \quad (15)$$

a zbog toga što je korekcija  $\Delta Q^k$  značajno manja od protoka, njezin kvadrat je zanemarivo velik (prema Šavar [7]), te se zanemaruje, te stoga uvrštavanjem jednadžbe (15) u (14) i primjenom ove pretpostavke dobivamo

$$h_{f,i} = \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8}{\pi^2 g} [(Q_i^{k-1})^2 + 2Q_i^{k-1} \cdot \Delta Q^k] \quad (16)$$

i njegovim sumiranjem prema (12) dobiva se sljedeća jednadžba:

$$\sum_{i=1}^m h_{f,i} = \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8}{\pi^2 g} (Q_i^{k-1})^2 + \Delta Q^k \sum_{i=1}^m 2 \cdot \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8}{\pi^2 g} Q_i^{k-1} \quad (17)$$

te tako konačni izraz za korekciju protoka  $\Delta Q^k$  ima oblik:

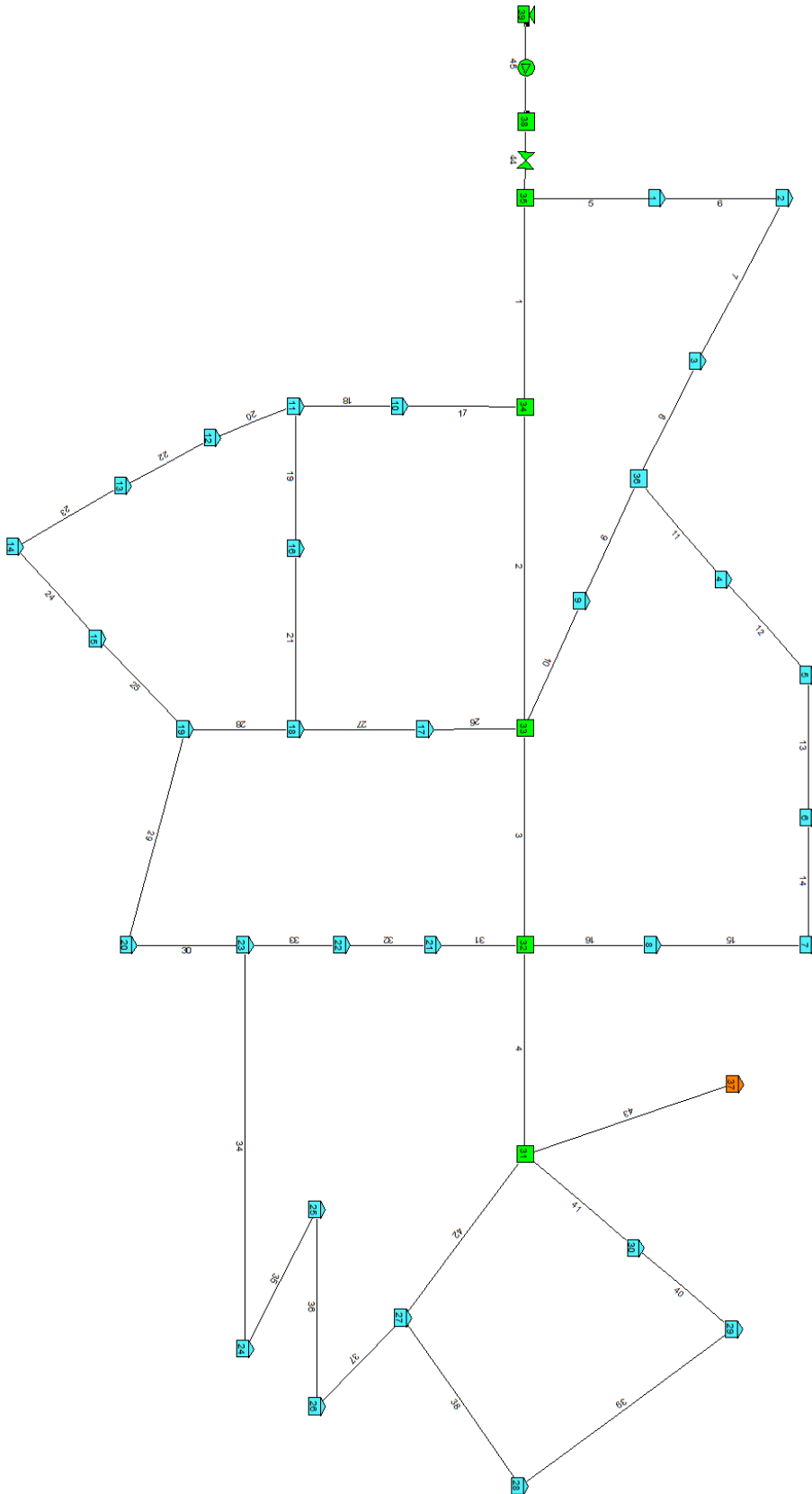
$$\Delta Q^k = - \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8}{\pi^2 g} Q_i^{k-1} |Q_i^{k-1}|}{\sum_{i=1}^m 2 \cdot \lambda_i \frac{L_i}{D_i^5} \frac{8}{\pi^2 g} Q_i^{k-1}} \quad (18)$$

ili u preglednijem, općenitom obliku:

$$\Delta Q^k = - \frac{\sum h_{f,i}}{\sum \frac{\partial h_{f,i}}{\partial Q_i}} \quad (19)$$

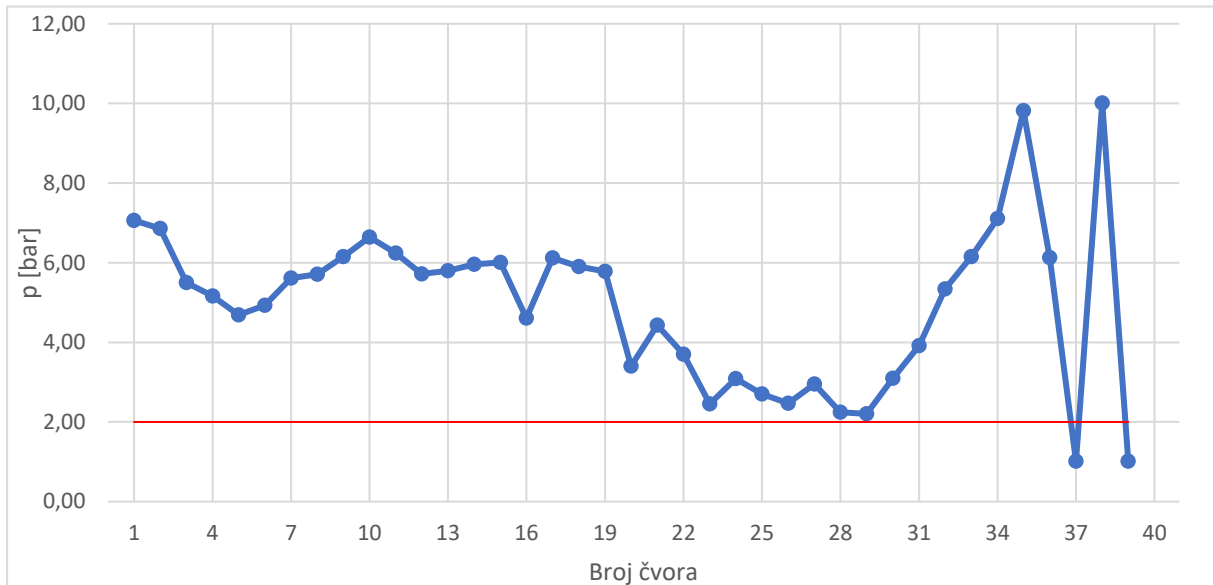
### **2.3. Rezultati hidrodinamičkog proračuna vodovodne mreže**

Prema podacima iz zadatka konstruirana je vodovodna mreža koja simulira naselje od 8000 stanovnika. Prostorno-geografski raspored mreže prikazan je na Slici 4. Zeleni čvorovi predstavljaju pumpu i magistralni vod, plavi čvorovi predstavljaju distribucijski dio mreže, a narančasti čvor je vodosprema. Popis svih čvorova i njihovih pripadajućih visina nalazi se u Prilogu I, a izrađena mreža u programskom paketu *Pipeline* (gdje je i izrađena Slika 4.) nalazi se u Prilogu II.



**Slika 4. Geografski raspored cijevne mreže**

Pumpa koja se koristi za postizanje traženog tlaka u cjevovodu ima visinu dobave  $h_p = 100$  m. Na Slici 5. prikazana je razdioba tlakova po čvorovima za projektno satno opterećenje vodovodne mreže (25 % dnevnog opterećenja u 1 satu), što se – kao što je vidljivo iz dijagrama dnevne potrošnje vode – ne postiže u normalnim uvjetima, ali je nužno osigurati radom pumpe u slučaju elementarnih nepogoda ili neplaniranih događaja. Iz tog razloga je pumpa predimenzionirana za zadani cjevovod, tj. u uvjetima normalne potrošnje vode dovoljna bi bila i pumpa slabije visine dobave.

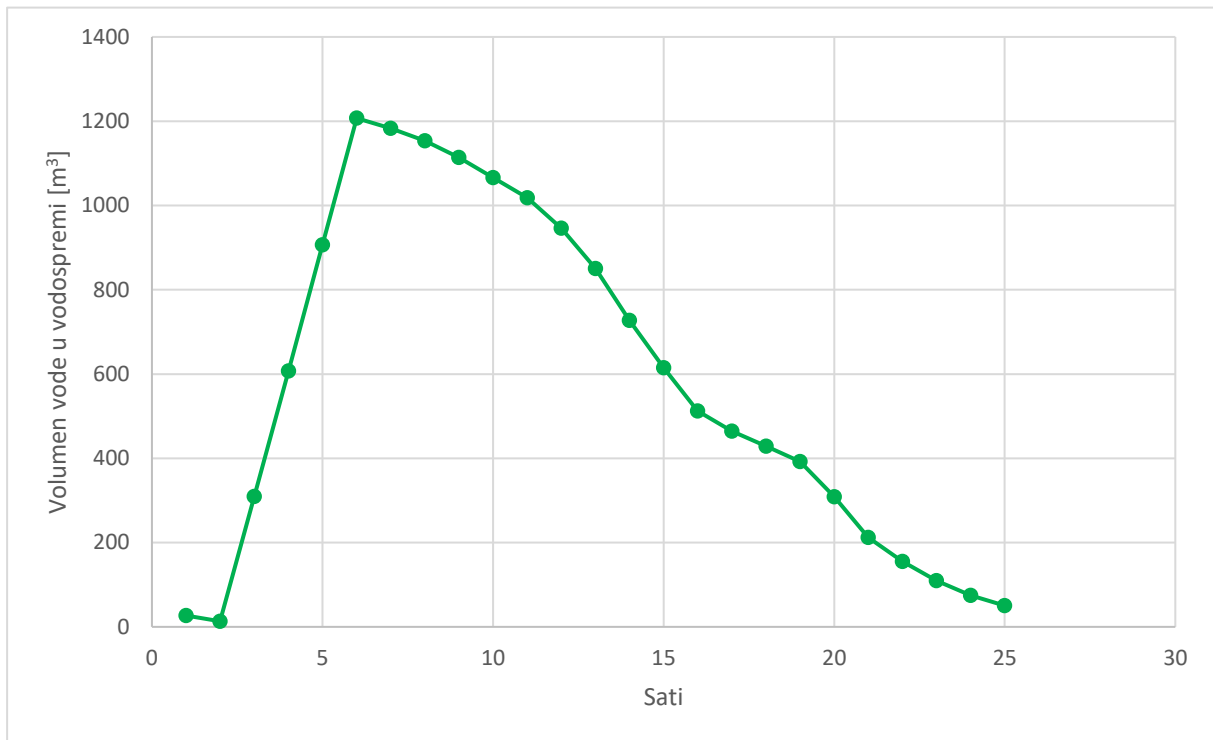


**Slika 5. Tlak u čvorovima na 25 % dnevnog opterećenja**

Na Slici 5. vidljivo je da tlak ni u jednoj točki cjevovoda ne pada ispod 2 bara što je zahtijevani minimum prema standardima projektiranja vodovoda. Primjetna su dva izrazito velika tlaka, a to su tlakovi odmah nakon pumpe i nakon ventila, kao i dva izrazito niska tlaka, što su atmosferski tlakovi u vodospremi i na ulazu u pumpu, tj. na jezeru odakle se crpi pitka voda za naselje.

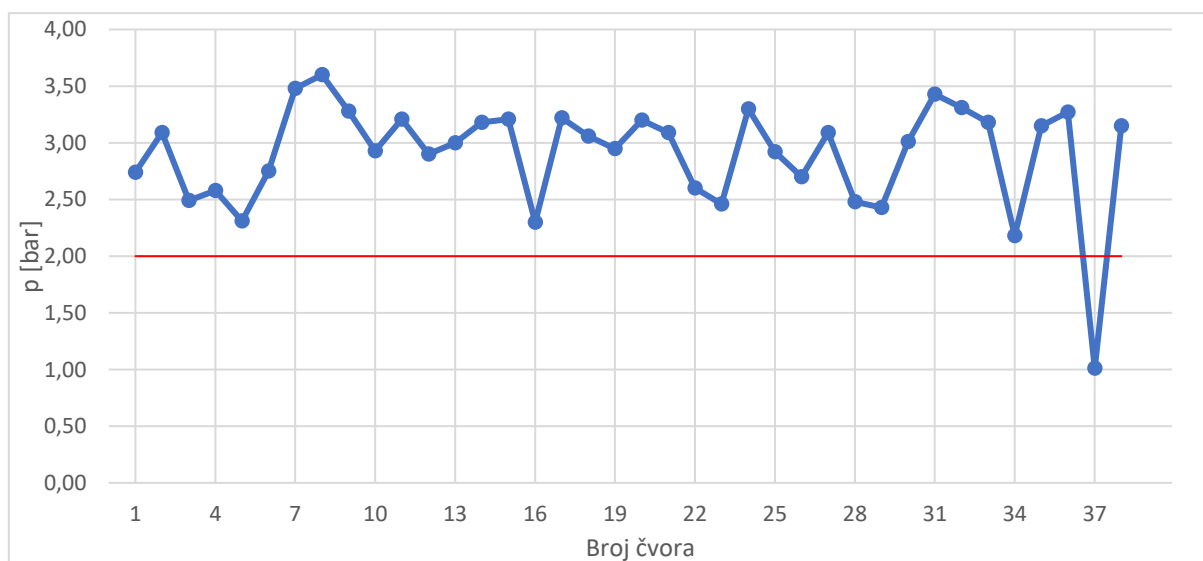
Dinamika punjenja vodospreme nalazi se u Prilogu III. Proračun se vrši na način da se u *Pipelineu* skalira potrošnja vode u svim čvorovima koeficijentom iz Tablice 1. počevši od sata s najmanjim faktorom potrošnje (5 h ujutro) i prati se protok vode u vodospremu. Za sve ostale sate (u kojima nema protoka u vodospremu) se računa potrebni volumen vode za zadovoljavanje potreba za vodom. Ukoliko je količina vode u vodospremi veća ili jednaka od te zahtijevane količine, prekida se proračun jer se postigla dinamika da vodosprema punjenjem u jednom periodu dana akumulira dovoljno vode za ostatak dana. Ukoliko količina vode nije dovoljna, proračun se ponovo provodi, ali ovaj put se vodosprema puni i tokom sata s drugom najmanjom potrošnjom vode. Proračun se ponavlja dok se ne postigne točka ravnoteže u kojoj

se vodosprema dovoljno napuni da se ne stigne isprazniti do kraja tijekom ostalih sati. Slika 6. prikazuje grafički volumen vode u vodospremi tijekom jednog dana.



**Slika 6. Količina vode u vodospremi tokom jednog dana**

Sa Slike 6. može se iščitati da se vodosprema na potrebnu količinu vode napuni tijekom noćnih sati za samo 4 sata: od 2 do 6 u noći kada je potražnja za vodom najmanja, stoga se postižu najveći tlakovi u sustavu i protok u vodospremu je najveći. To punjenje odvija se za vrijeme jeftinije cijene električne energije, a pražnjenje se odvija tokom dana bez rada pumpe, štedeći tako električnu energiju.



**Slika 7. Tlakovi u čvorovima pri pražnjenju vodospreme**

Slika 7. govori nam da vodosprema pri 15 % dnevnog opterećenja (što je i dalje veće opterećenje od maksimalnog za naselje takve veličine i strukture) i dalje osigurava potreban tlak od minimalno 2 bara kako bi se osigurala normalna i pouzdana opskrba stanovništva pitkom vodom, što će reći da je izvedba vodospreme na trenutnom položaju (i visini) tehnički opravdana. Ukoliko bi, pak, vršno satno opterećenje prešlo 15 % dnevnog opterećenja, potrebno bi bilo uključiti pumpu koja bi potom pokrenula punjenje vodospreme i osigurala dovoljan tlak u svim točkama cjevovoda. Jedina točka cijevne mreže u kojoj je tlak ispod dva bara je sama vodosprema jer je ona izložena atmosferskom tlaku.

### 3. EKONOMSKA ANALIZA

Iako neki projekti često imaju smisla iz tehničkog aspekta i tehnički su izvedivi, oni ne moraju nužno biti isplativi. Često je i jedini faktor koji određuje hoće li se neki inženjerski projekt provesti ili ne isključivo ekonomski faktor – tako da postoje nužni, bitni i neophodni projekti koji se ne provode, a provode se pak besmisleni projekti isključivo zato što su jeftiniji. Kako bi se dobio dojam o isplativosti nekog projekta i odnosa troškova i koristi od tog projekta, nužno je za takav projekt izraditi studiju izvedivosti, tj. izraditi i tehničku i ekonomsku analizu. Kako se projekt vodospreme u nizinskom gradiću pokazao tehnički izvedivim i bez sumnje korisnim, potrebno je još vidjeti može li se oko njega zatvoriti financijska konstrukcija koja bi ga učinila isplativim i, u krajnjoj liniji, realiziranim.

#### 3.1. Metode

Ekonomska analiza sastoji se od dva dijela: u prvom dijelu izrađuju se financijski i ekonomski novčani tok, dok se u drugom dijelu vrši analiza projekta metodama procjene ekonomske isplativosti projekta – neto sadašnjom vrijednošću projekta i unutarnjom stopom povrata. Financijski novčani tok je pokazatelj likvidnosti projekta, koliko novaca projekt ostvaruje za financiranje svojih troškova, obaveza prema vjerovnicima, državi i bankama. Ekonomski novčani tok služi za ocjenu ekonomskog potencijala projekta, neovisno o izvorima financiranja. Iz ekonomskog toka se dobivaju sve metode procjene isplativosti projekta. Neto sadašnja vrijednost je metoda procjene ekonomske isplativosti projekta i označava svu dobit koju projekt ostvari pretvorenu u sadašnju vrijednost po nekoj željenoj diskontnoj (kamatnoj) stopi, dok unutarnja stopa povrata pokazuje kolika bi trebala biti ta diskontna stopa da bi neto sadašnja vrijednost projekta iznosila 0 kuna. Unutarnja stopa povrata predstavlja onu kamatnu stopu koju bi trebali imati da novac, u iznosu početne investicije, oročen u banci, ostvari dobit ostvarenu projektom. Unutarnja stopa povrata uspoređuje se sa minimalnom atraktivnom stopom povrata, tj. stopom povrata koju investitor očekuje. Ta stopa uvijek je veća od kamatne stope jer investitor očekuje veću zaradu zbog preuzetog rizika, ali ovisi i u kojem području je investicija ostvarena – primjerice, minimalna atraktivna stopa povrata je niska u naftnoj industriji, ali velika kod *startupa*. U projektu postoji i amortizacija, tj. postupno otpisivanje vrijednosti imovine koje proizlazi iz korištenja same te imovine. Zakonom Republike Hrvatske, stopa amortizacije na građevinske objekte iznosi 5 % godišnje, tj. pretpostavlja se da objekt nakon 20 godina izgubi 100 % svoje vrijednosti, stoga se i tokom tog vremenskog razdoblja prate financijski i ekonomski novčani tokovi.



### 3.2. Cijene

Cijene građevinskih radova i materijala vodospreme aproksimirane su pregledom tehničke dokumentacije više projekata jednog našeg građevinskog poduzeća. Poduzeće ima 20 godina iskustva u radu sa kanalizacijskim i vodovodnim sustavima. Na temelju tehničke i ekonomske dokumentacije dobivene na uvid zaključeno je da je najveća stavka u izgradnji vodospreme izrada betonskih komora – koristi se velik volumen betona i potrebne su velike količine armature. Upravo iz tog razloga je izvršen grubi proračun količine betona i količine potrebnog željeza za armaturu, dok su troškovi izgradnje aproksimirani na temelju omjera troškova i veličine vodospremi drugih projekata. Cijene električne energije određene su prema važećim cjenicima HEP Elektre d.o.o. i HEP ODS-a. [8] Prosječna cijena kubnog metra betona za projekte u pitanju bila je  $450 \text{ kn/m}^3$ , a u svaki kubni metar betona išlo je 25 kilograma željeza po nabavnoj cijeni od 7,50 kn po kilogramu. Po normi, vodospreme imaju debljinu stijenke  $\delta = 30 \text{ cm}$ , a uzevši u obzir da se uvijek grade u dvije komore, potrebni volumen betona dat je formulom (20)

$$V_b = 2 \cdot (a + 2\delta)(b + 2\delta)(c + 2\delta) - (a + 2\delta)\delta(c + 2\delta) \quad (20)$$

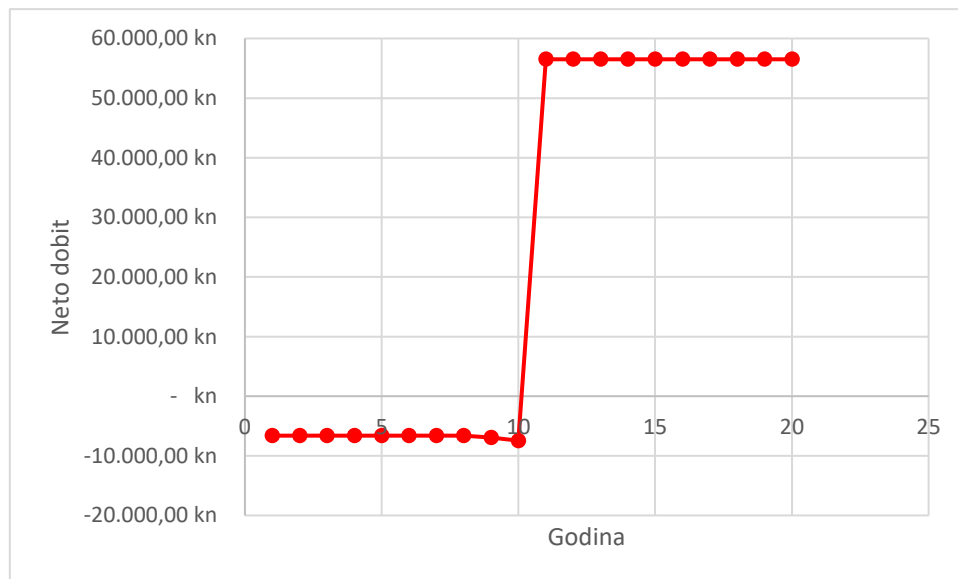
gdje je  $a$  širina vodospreme,  $b$  dužina vodospreme a  $c$  visina vodospreme. Komore vodospreme su dimenzionirane tako da svaka ima volumen od  $600 \text{ m}^3$  što znači da ukupni volumen vodospreme sadržava jednodnevnu zalihu vode za naselje u pitanju ako bi se vodosprema napunila do vrha. Kako bi se to postiglo, za dimenzije svake komore odabrano je  $a = 12 \text{ m}$ ,  $b = 10 \text{ m}$ ,  $c = 5 \text{ m}$  čime je potrebna količina betona prema (20)  $V_b = 874,70 \text{ m}^3$ , a zbog potrebne rezerve zaokruženo je na  $880 \text{ m}^3$ . Sa već određenom cijenom betona, sredstva za beton koštaju 396.000 kuna, a za željezo 165.000 kuna. Potrebno je ukopati i dva kilometra vodovodne cijevi od mjesta priključka vodospreme na gradsku mrežu do samog uzvišenja gdje se gradi vodosprema; cijena ukopa jednog metra sa materijalom (cijevi) je 50 kuna, stoga je ukupna cijena ukopa cijevi 100.000 kuna. Time su ukupno troškovi izgradnje vodospreme 1.021.000,00 kuna. Postojeći proračun cijena nalazi se u Prilogu IV. Nakon određivanja cijena izgradnje vodospreme, za dva slučaja financiranja (financiranje vlastitim sredstvima i bankovnim kreditom te financiranje bankovnim kreditom i novcem Europske unije) izrađeni su financijski i ekonomski novčani tokovi i metodama procjene isplativosti projekta opisanima u poglavlju 3.1. uspoređene obje varijante.

### 3.3. Financiranje vodospreme vlastitim sredstvima

U izvedbi financiranja u kojoj komunalno društvo s 50 % sudjeluje vlastitim kapitalom, a 50 % se financira bankovnim kreditom na 10 godina iznosa je 510.500 kn. Prihod je ušteda u cijeni električne energije jer se koristi jeftinija, noćna tarifa od opskrbljivača. Detaljan prikaz proračuna uštede u cijeni električne energije dan je u Prilogu IV – za svaki sat se iz satnog opterećenja mreže proračuna snaga pumpe  $P_p$  prema formuli (21)

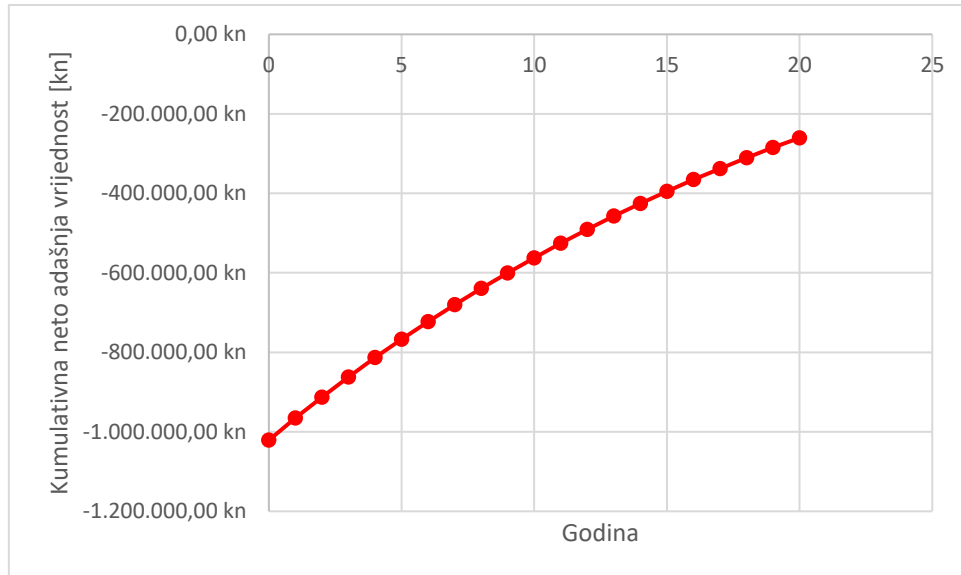
$$P_p = \rho g h_p Q \quad (21)$$

gdje je  $\rho$  gustoća fluida koji se pumpa – vode, a zbog pretpostavke nestlačivog strujanja iz 2.2 gustoća se uzima za konstantnu i iznosi  $\rho = 998,6 \text{ kg/m}^3$ ;  $g$  je gravitacijska konstanta i iznosi  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ ,  $h_p$  je visina dobave pumpe, dok  $Q$  predstavlja protok kroz pumpu proračunat kao suma satne potrošnje cijevne mreže i protoka u vodospremu. Ta snaga se potom množila sa vremenom na kojem je pumpa radila na određenoj snagi, što je uvijek 1 sat i dobivena energija se pretvarala u obračunsku jedinicu struje – kilovat-sate. Posebno su zbrajane potrebne količine električne energije tijekom više tarife električne energije, a posebno tijekom niže i množene odgovarajućim cijenama – cijenama struje od HEP Elektre i cijenama upotrebe mreže od HEP – ODS-a. Izračunata godišnja ušteda u financijskom novčanom toku je prikazana kao prihod, dok su rashodi cijena godišnjeg održavanja vodospreme, procijenjeno na 2000 kn. U financijskog novčanom toku od bruto dobiti nastale oduzimanjem prihoda i rashoda oduzeo se porez na dobit (zaračunat na poreznu osnovicu), kamata kredita i iznos godišnje amortizacije da se dobije neto dobit. Slika 8. prikazuje kretanje neto dobiti po godinama.



Slika 8. Kretanje neto dobiti prvog slučaja po godinama

Vidljivo je da je neto dobit negativna, tj. da projekt posluje s gubitcima prvih deset godina, tj. dok je opterećen ratom kredita (64.513,39 kn). Nakon otplate kredita, projekt postaje likvidan i godine ne završava generirajući gubitke. Slika 9. pokazuje neto sadašnju vrijednost projekta dobivenu iz ekonomskog novčanog toka.

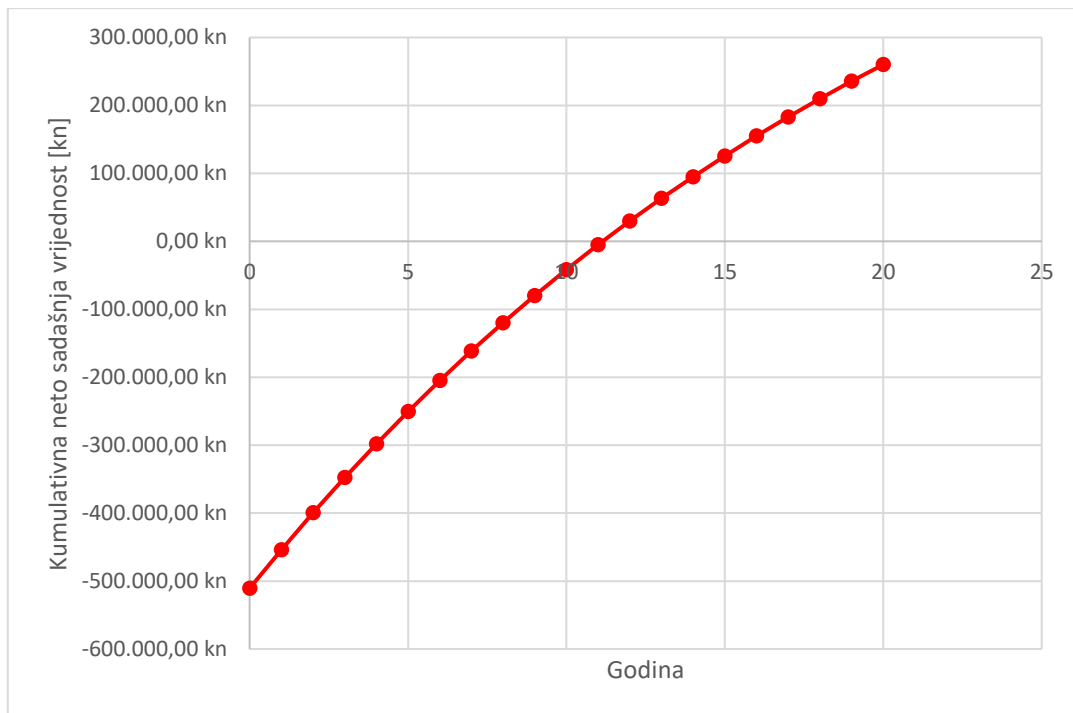


**Slika 9. Kumulativna neto sadašnja vrijednost projekta u prvom slučaju**

Neto sadašnja vrijednost projekta ni u jednom trenutku ne prelazi u pozitivne vrijednosti, dakle projekt nije isplativ čak ni kada počinje zarađivati novac, tj. poslovati s dobiti., već gubitak izražen u sadašnjoj vrijednosti novca padne na 260.542,85 kn. Razlog tomu je relativno mala dobit u odnosu na početnu investiciju.

### 3.4. Financiranje vodospreme kreditom i bespovratnim EU sredstvima

Potrebno je bilo sagledati i drugu mogućnost, hoće li projekt biti isplativ ako komunalno poduzeće aplicira za fondove Europske unije i dobije bespovratna sredstva u iznosu od 50 % vrijednosti projekta. Takvi projekti mogu tražiti financiranje iz kohezijskih fondova jer se provode na mjestima sa slabije razvijenom vodnom infrastrukturom. Provodeći isti proračun, ali uzevši u obzir drugačiju strukturu financiranja – 50% sredstava je iz komunalnog poduzeća, a 50% iz EU fondova dobiveni su rezultati prikazani na slici 10, a u Prilogu IV je sadržan sav sadržaj proračuna. Neto dobit iz financijskog toka je svake godine pozitivna i iznosi 56.507,75 kn. Slika 10. prikazuje kumulativnu neto dobit po godinama dobivenu iz ekonomskog novčanog toka.



**Slika 10. Kumulativna neto sadašnja vrijednost projekta u drugom slučaju**

Drugi projekt, kao što je vidljivo na Slici 10., u 12. godini prelazi u pozitivne vrijednosti neto toka novaca. Ta pozitivna vrijednost nastavlja rasti, dosežući vrijednost od 260.046,31 kn nakon 20 godina. Unutarnja stopa povrata u tom slučaju iznosi 9,82% što je više od minimalne atraktivne stope povrata. Vidljivo je da projekt zarađuje više novaca no što bi poduzeće zaradilo kada bi novac držalo u banci uvećano za rizik ulaganja, a ujedno je i omogućio bolje uvjete života 8000 ljudi.

## 4. ZAKLJUČAK

Cilj zadatka bio je izraditi tehničko-ekonomsku analizu izgradnje vodospreme za dva slučaja – u jednom je sav kapital vlastiti i posuđen od banke, u drugom je pola sredstava dodijeno iz Europske unije, a pola je vlastito. Tehničkom analizom Hardy Cross metodom izračunata je dinamika punjenja vodospreme i je li moguće u svim točkama cijevne mreže, pri povećanom maksimalnom satnom opterećenju (u iznosu 15 % dnevnog opterećenja) vodospremom ostvariti tlak od minimalno 2 bara. Izračunato je da vodosprema, koja se nalazi 30 – 40 metara iznad naselja ispunjava navedeni uvjet, i moguće ju je napuniti postojećom pumpom samo tijekom noći, za vrijeme jeftinije struje. Potom se pristupilo ekonomskoj analizi isplativosti projekta koja je trebala ustvrditi jesu li uštede struje toliko značajne da se isplati ulaziti u investiciju. Izračunato je da u prvom slučaju, kada se ne koriste sredstva Europske unije, projekt kroz 20 godina ostvaruje gubitak izražen u sadašnjoj vrijednosti od 260.542,85 kn jer uštede struje nisu dovoljne da se pokrije puni iznos investicije. U slučaju da se 50 % sredstava osigura bespovratno iz europskih kohezijskih fondova čime bi se u potpunosti zaobišao kredit, projekt ostvaruje dobit od 260.046,31 kn svedeno na sadašnju vrijednost novaca. U tom slučaju, unutarnja stopa povrata iznosi 9,82 %, dakle tolika bi trebala biti kamatna stopa da bi početna investicija, oročena u banku, ostvarila istu dobit. Navedena stopa povrata veća je od minimalne atraktivne stope povrata, tj. stope povrata koju investitor očekuje od svoj projekta. Iz svega navedenog zaključujem da se projekt i sa tehničkog i sa ekonomskog stajališta opravdan uz uvjet da se osiguraju sredstva Europske unije i provede pošten javni natječaj za izgradnju vodospreme.

## LITERATURA

- [1] *Hrvatska enciklopedija*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža (2017.), [www.enciklopedija.hr](http://www.enciklopedija.hr) (14. 2. 2018.)
- [2] Đurin, B.: *Uloga, značajke i dijelovi vodospreme*, Geotehnički fakultet Varaždin, 2015.
- [3] *Turnu-Severin Water tower* (2014.) URL: [www.tripadvisor.com](http://www.tripadvisor.com), (16. 2. 2018.)
- [4] *WB Water Tower*, TripAdvisor, URL: [www.tripadvisor.com](http://www.tripadvisor.com), (16. 2. 2018.)
- [5] Šavar, M. *Projektiranje pumpne stanice*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2017.
- [6] Virag, Z., Šavar, M., Džijan, I. *Mehanika fluida II – predavanja*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015.
- [7] Šavar, M. *Hidrodinamika cijevnih mreža*, Zagreb, 2005.
- [8] *Tarifne stavke (cijene)*, HEP Elektra, URL: [www.hep.hr/elektra](http://www.hep.hr/elektra)

## **PRILOZI**

- I. Popis čvorova, elemenata i njihovih svojstava
- II. Proračun dinamike vodospreme i potrebne energije
- III. Ekonomska analiza bez EU fondova
- IV. Ekonomska analiza s EU fondovima

## PRILOG I.

OPĆI PODATCI	
Broj stanovnika	8000
Potrošnja po stanovniku [l/stan.]	150
Dnevna potrošnja [l/dan]	1200000
Dnevna potrošnja [m3/dan]	1200
Maksimalna potrošnja kao postotak dnevne	25%
Maksimalna satna potrošnja [m3/h]	300
Maksimalna potrošnja [l/s]	83,33333

Čvor	Udio potrošnje [%]	Udio zaokr.	Stvarna potrošnja [l/s]	Postotak visinske razlike	Razlika visina [m]	Visina [m]	Tlak (25%) [bar]
1	0,92%	0,92%	1,75	0,95	17	49	7,06
2	3,82%	3,82%	3,18	0,19	3	45	6,86
3	1,20%	1,20%	1,00	0,53	9	51	5,50
4	4,13%	4,13%	3,44	0,45	8	50	5,16
5	2,39%	2,39%	1,99	0,60	11	53	4,69
6	0,19%	0,19%	0,26	0,99	18	50	4,93
7	0,75%	0,75%	0,63	0,05	1	43	5,61
8	6,81%	6,81%	5,27	0,01	0	42	5,71
9	5,86%	5,86%	5,15	0,20	4	46	6,15
10	4,32%	4,32%	3,60	0,83	15	47	6,64
11	2,27%	2,27%	1,89	0,42	8	43	6,24
12	4,40%	4,40%	3,67	0,24	4	46	5,72
13	6,33%	6,33%	5,28	0,19	3	45	5,80
14	3,60%	3,60%	3,00	0,34	6	45	5,96
15	5,47%	5,47%	4,56	0,78	14	46	6,01
16	2,40%	2,40%	2,00	0,92	17	49	4,61
17	0,37%	0,37%	0,31	0,84	15	47	6,12
18	4,55%	4,55%	3,79	0,34	6	48	5,90
19	3,72%	3,72%	3,10	0,36	7	49	5,78
20	4,29%	4,29%	2,60	0,71	13	42	3,40
21	4,64%	4,64%	3,87	0,83	15	47	4,43
22	5,92%	5,92%	4,93	0,60	11	51	3,70
23	0,34%	0,34%	0,28	0,94	17	52	2,45
24	1,65%	1,65%	1,38	0,11	2	44	3,09
25	2,14%	2,14%	1,78	0,32	6	48	2,70
26	4,45%	4,45%	3,71	0,48	9	51	2,47
27	1,87%	1,87%	1,56	0,37	7	49	2,95
28	3,98%	3,98%	3,32	0,74	13	55	2,24
29	6,06%	6,06%	5,05	0,79	14	56	2,20
30	1,17%	1,17%	0,98	0,60	11	53	3,10
31	0,00%	0	0	0,05	1	52	3,92
32	0,00%	0	0	0,58	10	48	5,34
33	0,00%	0	0	0,88	16	48	6,15
34	0,00%	0	0	0,34	6	58	7,11
35	0,00%	0	0	0,60	11	48	9,82
36	0,00%	0	0	0,08	1	43	6,13
37	0,00%	0	0		40	80	1,01
38	0,00%	0	0	0,42	8	48	10,01
39	0,00%	0	0	0,42	8	48	1,01



Tlak (VS) [bar]	Čvor
2,74	1
3,09	2
2,49	3
2,58	4
2,31	5
2,75	6
3,48	7
3,60	8
3,28	9
2,93	10
3,21	11
2,90	12
3,00	13
3,18	14
3,21	15
2,30	16
3,22	17
3,06	18
2,95	19
3,20	20
3,09	21
2,60	22
2,46	23
3,30	24
2,92	25
2,70	26
3,09	27
2,48	28
2,43	29
3,01	30
3,43	31
3,31	32
3,18	33
2,18	34
3,15	35
3,27	36
1,01	37
3,15	38
	39

Element	Random	Duljina
1	0,173745	400
2	0,233529	500
3	0,732301	400
4	0,401391	800
5	0,73613	1400
6	0,15443	400
7	0,545366	1100
8	0,129416	300
9	0,718122	400
10	0,091218	300
11	0,153234	400
12	0,492112	1000
13	0,798481	1500
14	0,151762	400
15	0,566944	100
16	0,598545	500
17	0,884147	700
18	0,87548	700
19	0,495495	1000
20	0,243698	500
21	0,298912	600
22	0,109032	300
23	0,808287	600
24	0,62719	200
25	0,466978	900
26	0,302112	600
27	0,278392	600
28	0,636497	200
29	0,449411	900
30	0,274552	600
31	0,846554	600
32	0,23118	500
33	0,957258	800
34	0,60118	200
35	0,60883	200
36	0,534519	600
37	0,249559	500
38	0,811756	1600
39	0,77707	1500
40	0,428436	900
41	0,792495	800
42	0,896666	900
43	0,720263	2000

## PRILOG II.

DINAMIKA VODOSPREME				
Sat	Udio	Korekcija	Vodosprema [l/s]	Vodosprema kumulativno [m <sup>3</sup> ]
1	2,00%	8,00%	-6,67	13,296
2	1,00%	4,00%	82,31	309,612
3	0,75%	3,00%	82,71	607,368
4	0,50%	2,00%	83,10	906,528
5	0,25%	1,00%	83,49	1207,092
6	2,00%	8,00%	-6,67	1183,092
7	2,50%	10,00%	-8,33	1153,092
8	3,25%	13,00%	-10,83	1114,092
9	4,00%	16,00%	-13,33	1066,092
10	4,00%	16,00%	-13,33	1018,092
11	6,00%	24,00%	-20,00	946,092
12	8,00%	32,00%	-26,67	850,092
13	10,25%	41,00%	-34,17	727,092
14	9,38%	37,50%	-31,25	614,592
15	8,50%	34,00%	-28,33	512,592
16	4,00%	16,00%	-13,33	464,592
17	3,00%	12,00%	-10,00	428,592
18	3,00%	12,00%	-10,00	392,592
19	7,00%	28,00%	-23,33	308,592
20	8,00%	32,00%	-26,67	212,592
21	4,75%	19,00%	-15,83	155,592
22	3,83%	15,33%	-12,78	109,592
23	2,92%	11,67%	-9,72	74,592
24	2,00%	8,00%	-6,67	50,592

DINAMIKA VODOSPREME				
Sat	Udio	Korekcija	Vodosprema [l/s]	Vodosprema kumulativno [m <sup>3</sup> ]
1	2	2	-6,67	26,592
2,00	1,00%	4,00%	82,31	13,296
3,00	0,75%	3,00%	82,71	309,612
4,00	0,50%	2,00%	83,10	607,368
5,00	0,25%	1,00%	83,49	906,528
6,00	2,00%	8,00%	-6,67	1207,092
7,00	2,50%	10,00%	-8,33	1183,092
8,00	3,25%	13,00%	-10,83	1153,092
9,00	4,00%	16,00%	-13,33	1114,092
10,00	4,00%	16,00%	-13,33	1066,092
11,00	6,00%	24,00%	-20,00	1018,092
12,00	8,00%	32,00%	-26,67	946,092
13,00	10,25%	41,00%	-34,17	850,092
14,00	9,38%	37,50%	-31,25	727,092
15,00	8,50%	34,00%	-28,33	614,592
16,00	4,00%	16,00%	-13,33	512,592
17,00	3,00%	12,00%	-10,00	464,592
18,00	3,00%	12,00%	-10,00	428,592
19,00	7,00%	28,00%	-23,33	392,592
20,00	8,00%	32,00%	-26,67	308,592
21,00	4,75%	19,00%	-15,83	212,592
22,00	3,83%	15,33%	-12,78	155,592
23,00	2,92%	11,67%	-9,72	109,592
24,00	2,00%	8,00%	-6,67	74,592
25,00	2,00%	2,00%	-6,67	50,592

Cijene struje	
VT	1,02
NT	0,57
MVT	0,35
MNT	0,17
UVT	1,37
UNT	0,74

kWh	
Dnevna E	264,0008
Noćna E	65,28614

Cijena bez VS	
0,006666667	6,528613793
0,003333333	3,264306897
0,0025	2,448230173
0,001666667	1,632153448
0,000833333	0,816076724
0,006666667	6,528613793
0,008333333	8,160767242
0,010833333	10,60899741
0,013333333	13,05722759
0,013333333	13,05722759
0,02	19,58584138
0,026666667	26,11445517
0,034166667	33,45914569
0,03125	30,60287716
0,028333333	27,74660862
0,013333333	13,05722759
0,01	9,79292069
0,01	9,79292069
0,023333333	22,85014828
0,026666667	26,11445517
0,015833333	15,50545776
0,012777778	12,51317644
0,009722222	9,520895115
0,006666667	6,528613793

kWh	329,2869582
kn/d	409,9928658
kn/g	149.647,40

Cijena sa VS	
0	0
0,085643333	83,81944464
0,08521	83,39533972
0,084766667	82,96144776
0,084323333	82,5275558
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

kWh	332,7037879
kn/d	246,2008031
kn/g	89863,29312

UŠTEDA 59.784,10

### PRILOG III.

CIJENE		
Cijena betona [kn/m <sup>3</sup> ]	450,00	
Cijena željeza [kn/kg]	7,50	
Cijena radova	360.000,00 kn	
Godišnje održavanje	2.000,00 kn	

DRUGI PODATCI	
Stopa poreza na dobit	20%
MARR	7,50%

VODOSPREMA	
Broj komora	2
Visina komore [m]	5
Širina komore [m]	10
Dužina komore [m]	12
Volumen [m <sup>3</sup> ]	600
Debljina stijenke [cm]	30
Volumen betona [m <sup>3</sup> ]	880
Ukupna cijena betona	396.000,00 kn
Potrebno željeza [kg/m <sup>3</sup> betona]	22000
Ukupna cijena željeza	165.000,00 kn
Duljina cijevi [m]	2000
Ukupna cijena ukopa	100.000,00 kn
<b>UKUPNA CIJENA</b>	<b>1.021.000,00 kn</b>

PORIJEKLO KAPITALA	
Vlastiti kapital	50%
Bankin kredit	50%
EU fondovi	0

KREDIT	
Iznos kredita	510.500,00 kn
Kamatna stopa	4,50%
Vrijeme zaduživanja [god]	10
Rata kredita	64.516,39 kn

Godina	Glavnica	Kamata
1	41.543,89 kn	22.972,50 kn
2	43.413,36 kn	21.103,03 kn
3	45.366,96 kn	19.149,42 kn
4	47.408,48 kn	17.107,91 kn
5	49.541,86 kn	14.974,53 kn
6	51.771,24 kn	12.745,15 kn
7	54.100,95 kn	10.415,44 kn
8	56.535,49 kn	7.980,90 kn
9	59.079,59 kn	5.436,80 kn
10	61.738,17 kn	2.778,22 kn

	Godina	0	1	2
Prihodi	Ušteda struje		59.872,19 kn	59.872,19 kn
	Održavanje		2.000,00 kn	2.000,00 kn
<b>Bruto dobit</b>			<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
Amortizacija		51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn
Kamata		22.972,50 kn	21.103,03 kn	21.103,03 kn
Rata kredita		64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn
Porezna osnovica		- 16.150,31 kn	- 14.280,83 kn	- 14.280,83 kn
Porez na dobit		0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn
<b>Neto dobit</b>		<b>- 6.644,20 kn</b>	<b>- 6.644,20 kn</b>	<b>- 6.644,20 kn</b>

	Godina	0	1	2
Prihod		59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
Rashod		- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn
Porez		0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn
Investicije				
	Vodosprema	- 1.021.000,00 kn		
<b>Neto vrijednost toka</b>		<b>-1.021.000,00 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
Kumulativni sadašnji neto		-1.021.000,00 kn	<b>-965.619,91 kn</b>	<b>-912.624,61 kn</b>
<b>Neto sadašnja vrijednost toka novca</b>		<b>-260.542,85 kn</b>	<b>IRR</b>	<b>0%</b>

AMORTIZACIJA	
Amortizacija vodospreme [god]	20
Iznos amortizacije	51.050,00 kn
UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE	
Potrebna dnevna energija, bez VS [kWh]	264
Potrebna energija noću, bez VS [kWh]	65,28
Potrebna dnevna energija, s VS [kWh]	0
Potrebna energija noću, s VS [kWh]	332,37
HEP tarifni model	Bijeli
Cijena više tarife [po kWh]	1,02
Cijena niže tarife [po kWh]	0,57
Naknada za korištenje mreže više tarife [po kWh]	0,35
Naknada za korištenje mreže niže tarife [po kWh]	0,17
Ukupna cijena više tarife	1,37
Ukupna cijena niže tarife	0,74
Ukupna godišnja cijena el. e. bez VS	149.645,33 kn
Ukupna godišnja cijena el. e. s VS	89.773,14 kn
<b>Godišnja ušteda električne energije</b>	<b>59.872,19 kn</b>

## FINANCIJSKI NOVČANI TOK

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn
<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn
19.149,42 kn	17.107,91 kn	14.974,53 kn	12.745,15 kn	10.415,44 kn	7.980,90 kn	5.436,80 kn	2.778,22 kn					
64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn	64.516,39 kn					
- 12.327,23 kn -	- 10.285,72 kn -	- 8.152,34 kn -	- 5.922,95 kn -	- 3.593,25 kn -	- 1.158,71 kn -	1.385,39 kn	4.043,97 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn
0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	277,08 kn	808,79 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn
<b>- 6.644,20 kn -</b>	<b>- 6.644,20 kn -</b>	<b>- 6.644,20 kn -</b>	<b>- 6.644,20 kn -</b>	<b>- 6.644,20 kn -</b>	<b>- 6.644,20 kn -</b>	<b>- 6.921,28 kn -</b>	<b>- 7.452,99 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>

## EKONOMSKI NOVČANI TOK

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -	- 2.000,00 kn -
0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	277,08 kn	808,79 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn
<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>58.149,27 kn</b>	<b>58.680,99 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>
<b>-861.911,41 kn</b>	<b>-813.382,03 kn</b>	<b>-766.942,43 kn</b>	<b>-722.502,62 kn</b>	<b>-679.976,49 kn</b>	<b>-639.281,62 kn</b>	<b>-600.152,72 kn</b>	<b>-562.366,41 kn</b>	<b>-525.864,87 kn</b>	<b>-490.935,17 kn</b>	<b>-457.509,62 kn</b>	<b>-425.523,45 kn</b>	<b>-394.914,67 kn</b>

	16	17	18	19	20
	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn

	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn
	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn

	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn
	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn
	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>

	16	17	18	19	20
	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
-	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn
	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn

	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>
	<b>-365.623,98 kn</b>	<b>-337.594,60 kn</b>	<b>-310.772,24 kn</b>	<b>-285.104,90 kn</b>	<b>-260.542,85 kn</b>

## PRILOG IV.

CIJENE		
Cijena betona [kn/m <sup>3</sup> ]		450,00
Cijena željeza [kn/kg]		7,50
Cijena radova	360.000,00 kn	
Godišnje održavanje	2.000,00 kn	

DRUGI PODATCI	
Stopa poreza na dobit	20%
MARR	7,50%

VODOSPREMA	
Broj komora	2
Visina komore [m]	5
Širina komore [m]	10
Dužina komore [m]	12
Volumen [m <sup>3</sup> ]	600
Debljina stijenke [cm]	30

Volumen betona [m <sup>3</sup> ]	880
Ukupna cijena betona	396.000,00 kn
Potrebno željeza [kg/m <sup>3</sup> betona]	22000
Ukupna cijena željeza	165.000,00 kn

Duljina cijevi [m]	2000
Ukupna cijena ukopa	100.000,00 kn

<b>UKUPNA CIJENA</b>	<b>1.021.000,00 kn</b>
----------------------	------------------------

PORIJEKLO KAPITALA	
Vlastiti kapital	50,0%
Bankin kredit	0,0%
EU fondovi	50%

KREDIT	
Iznos kredita	- kn
Kamatna stopa	4,50%
Vrijeme zaduživanja [god]	10
Rata kredita	0,00 kn

AMORTIZACIJA	
Amortizacija vodospreme [god]	20
Iznos amortizacije	51.050,00 kn

	Godina	0	1	2
Prihod	Ušteda struje		59.872,19 kn	59.872,19 kn
	Održavanje		2.000,00 kn	2.000,00 kn
<b>Bruto dobit</b>			<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
Amortizacija			51.050,00 kn	51.050,00 kn
Kamata			0,00 kn	0,00 kn
Rata kredita			0,00 kn	0,00 kn
Porezna osnovica			6.822,19 kn	6.822,19 kn
Porez na dobit			1.364,44 kn	1.364,44 kn
<b>Neto dobit</b>			<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>

	Godina	0	1	2	
Prihod			59.872,19 kn	59.872,19 kn	
Rashod			- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	
Porez			1.364,44 kn	1.364,44 kn	
Investicije					
	Vodosprema	-	510.500,00 kn		
<b>Neto vrijednost toka</b>			<b>-510.500,00 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>
Kumulativni sadašnji neto			-510.500,00 kn	-453.814,23 kn	-399.569,47 kn
<b>Neto sadašnja vrijednost toka novca</b>			<b>260.046,31 kn</b>	<b>IRR</b>	<b>9,82%</b>

UŠTEDA ELEKTRIČNE ENERGIJE	
Potrebna dnevna energija, bez VS [kWh]	264
Potrebna energija noću, bez VS [kWh]	65,28
Potrebna dnevna energija, s VS [kWh]	0
Potrebna energija noću, s VS [kWh]	332,37
HEP tarifni model	Bijeli
Cijena više tarife [po kWh]	1,02
Cijena niže tarife [po kWh]	0,57
Naknada za korištenje mreže više tarife [po kWh]	0,35
Naknada za korištenje mreže niže tarife [po kWh]	0,17
Ukupna cijena više tarife	1,37
Ukupna cijena niže tarife	0,74
Ukupna godišnja cijena el. e. bez VS	149.645,33 kn
Ukupna godišnja cijena el. e. s VS	89.773,14 kn
<b>Godišnja ušteda električne energije</b>	<b>59.872,19 kn</b>

## FINANCIJSKI NOVČANI TOK

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn
<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn
0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn
0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn	0,00 kn
6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn
1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn
<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>

## EKONOMSKI NOVČANI TOK

3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn	- 2.000,00 kn
1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn
<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>
-347.660,62 kn	-297.987,07 kn	-250.452,58 kn	-204.965,02 kn	-161.436,26 kn	-119.781,94 kn	-79.921,35 kn	-41.777,25 kn	-5.275,71 kn	29.653,99 kn	63.079,54 kn	95.065,71 kn	125.674,49 kn	154.965,18 kn



	17	18	19	20
	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn

	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn
	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>	<b>57.872,19 kn</b>
	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn	51.050,00 kn

	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn	6.822,19 kn
	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn
	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>	<b>56.507,75 kn</b>

	17	18	19	20
	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn	59.872,19 kn
-	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn	2.000,00 kn
	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn	1.364,44 kn

	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>	<b>59.236,63 kn</b>
	182.994,56 kn	209.816,93 kn	235.484,26 kn	260.046,31 kn