

# Hidraulički proračun podmorskog ispusta Jelsa - Vrboska

---

**Komić, Tomislav**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:418104>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Komić**

**U Splitu, rujan 2022. godine**

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

**Tomislav Komić**

**Hidraulički proračun podmorskog ispusta  
Jelsa-Vrboska**

**Diplomski rad**

**U Splitu, rujan 2022. godine**

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

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: **Tomislav Komić**  
JMBAG: **0083217484**  
KATEDRA: **Katedra za hidromehaniku i hidrauliku**  
PREDMET: **Hidraulika**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema:

Hidraulički proračun podmorskog ispusta Jelsa-Vrboska

Opis zadatka:

U okviru diplomskog rada potrebno je provjeriti funkcionalnost prethodno projektiranog podmorskog ispusta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, na različite varijante i veličine dotoka otpadne vode.

Zadatak riješiti uporabom programa kojeg je potrebno izraditi u Fortran-u. Rezultate prikazati grafičkim putem uz pripadna objašnjenja.

U Splitu, 16. ožujka, 2022

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.

Predsjednik Povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Prof. dr. sc. Ivo Andrić, dipl.ing.građ.

# **Hidraulički proračun podmorskog ispusta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Jelsa-Vrboska**

## ***Sažetak:***

U ovom diplomskom radu izvršeni su hidraulički proračuni podmorskog ispusta UPOV-a Jelsa-Vrboska sa unaprijed zadanim veličinama svih elemenata cjelokupnog podmorskog ispusta. Proračuni su izvršeni za različite varijante i veličine dotoka otpadne vode iz navedenog uređaja u dozažni bazen podmorskog ispusta. Za potrebe ovog rada kreiran je program u FORTRAN-u 95 koji se zasniva na jednadžbi kontinuiteta i dinamičkoj jednadžbi posebno za dozažni bazen i posebno za podmorski ispust. Rezultati proračuna dobiveni modeliranjem prikazani su grafovima izrađenim u Microsoft Excel-u.

## ***Gljučne riječi:***

hidraulički proračun, podmorski ispust, dozažni bazen, dinamička jednadžba, jednadžba kontinuiteta

# **Hydraulic calculation of the underwater outlet of the Jelsa-Vrboska wastewater treatment plant**

## ***Abstract:***

In this thesis, hydraulic calculations of the submarine outlet of the waste water treatment device Jelsa-Vrboska were performed with predetermined sizes of all elements of the entire submarine outlet. Calculations were made for different variants and sizes of wastewater inflow, from the specified plant, into the dosing basin of the submarine outlet. For the purposes of this work, a program file was created in the FORTRAN 95 program based on the continuity equation and the dynamic equation, especially for the dosing basin and especially for the submarine outlet. The results of the calculation obtained by modelling are presented by graphs made in Microsoft Excel.

## ***Keywords:***

hydraulic calculation, submarine outlet, dosing basin, dynamic equation, continuity equation

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Opis podmorskog ispusta</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Situacija predmetnog ispusta</b>	<b>2</b>
<b>2. ELEMENTI PODMORSKOG ISPUSTA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Dozažni bazen</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Cjevovod podmorskog ispusta</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Difuzor</b>	<b>8</b>
<b>3. PROGRAMSKO RJEŠENJE U FORTRAN-u.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Jednadžba kontinuiteta i dinamička jednadžba</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Fortran 95 program</b>	<b>17</b>
<b>4. REZULTATI DINAMIČKE ANALIZE RADA PODMORSKOG ISPUSTA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. Varijanta 1 – Maksimalni satni protok od 50 (l/s)</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Varijanta 2 – maksimalni satni protok od 70 (l/s)</b>	<b>34</b>
<b>4.3. Varijanta 3 - Maksimalni satni protok od 15 (l/s)</b>	<b>38</b>
<b>4.4. Varijanta 4 – Konstantan protok od 40 (l/s) u razdoblju od 3 sata</b>	<b>42</b>
<b>4.5. Varijanta 5 - konstantan protok od 70 (l/s) u razdoblju od 3 sata</b>	<b>46</b>
<b>4.6. Varijanta 6 – porast protoka s 30 (l/s) na 50 (l/s) unutar 3 sata</b>	<b>50</b>
<b>4.7. Varijanta 7 – promjenjivi protok (20 (l/s) – 50 (l/s) - 20 (l/s))</b>	<b>54</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>58</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>59</b>

## 1. UVOD

### 1.1. Opis podmorskog ispusta

Karakteristike cjelokupnog podmorskog ispusta u ovom diplomskom radu preuzete su iz Idejnog projekta Podmorski ispust uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Jelsa-Vrboska. Projektiranim sustavom odvodnje prikupljat će se fekalne vode priključenih stanovnika i pročišćavati na planiranom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda. Ovaj planirani pothvat je od iznimne važnosti za otok Hvar. Njime bi se postiglo priključenje većeg broja stanovnika na sustav javne odvodnje, zaštita kvalitete površinskih i podzemnih voda, te očuvanje okolnih ekosustava s iznimnom bioraznolikošću. Cjelovitom izgradnjom sustava sva prikupljena otpadna voda će se pročišćavati na uređaju za pročišćavanje otpadne vode (UPOV), čime će se osigurati adekvatna zaštita recipijenta na predmetnom području (aglomeracija Jelsa-Vrboska).



Slika 1.1. Ortofotogram otoka Hvara s ucrtanom područjem predmetne odvodnje

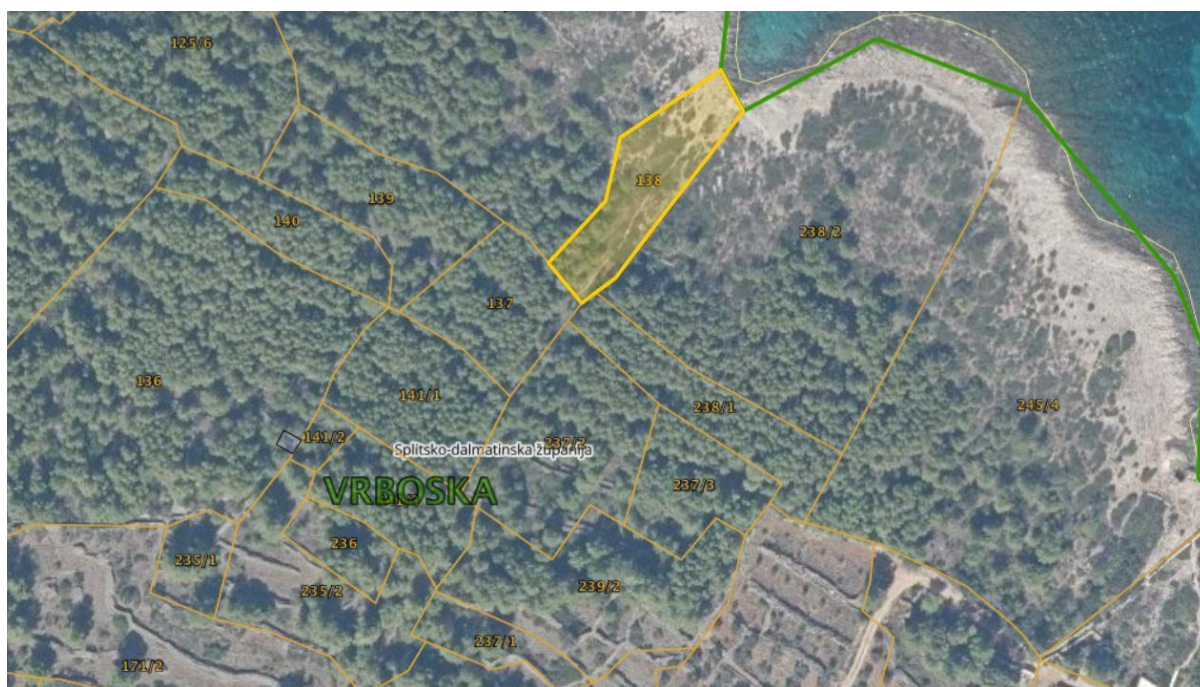
Sustav za odvodnju otpadne vode sačinjavat će:

- 1) Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda
- 2) Armirano-betonski dozažni bazen
- 3) Kopneni dio cjevovoda podmorskog ispusta
- 4) Odzračno okno
- 5) Podmorski dio cjevovoda podmorskog ispusta
- 6) Difuzor

Kopnena dionica podmorskog ispusta nastavlja se na cjevovod koji je spojen na armirano-betonski dozažni bazen. Kopnena dionica podmorskog ispusta završava spojem na armirano-betonsko odzračno okno na koje se nastavlja podmorska dionica podmorskog ispusta koja završava difuzorom.

## 1.2. Situacija predmetnog ispusta

Zahvat se nalazi na području općine Jelsa i to na lokaciji naselja Vrboska koje je dio katastarske općine K.O. Vrboska. Svi objekti predmetnog podmorskog ispusta položeni su unutar katastarskih čestica: 177, 171/2, 235/2, 141/3, 141/1, 137 i 138 u K.O. Vrboska te na pomorskom dobru (Jadransko more). Cjevovodi kopnene dionice podmorskog ispusta su smješteni u šumskom području i kamenjaru obraslim niskom i visokom vegetacijom, preko zemljanih terena ograđenih suhozidima te makadamskim i/ili zemljanim putevima. Podmorska dionica podmorskog ispusta predviđena je na kamenoj obali te dnu podmorja sjeveroistočno od uvale Lučina vala.



Slika 1.2. Prikaz katastarskih čestica planiranog podmorskog ispusta (žuto označeno mjesto ispusta)



## **2. ELEMENTI PODMORSKOG ISPUSTA**

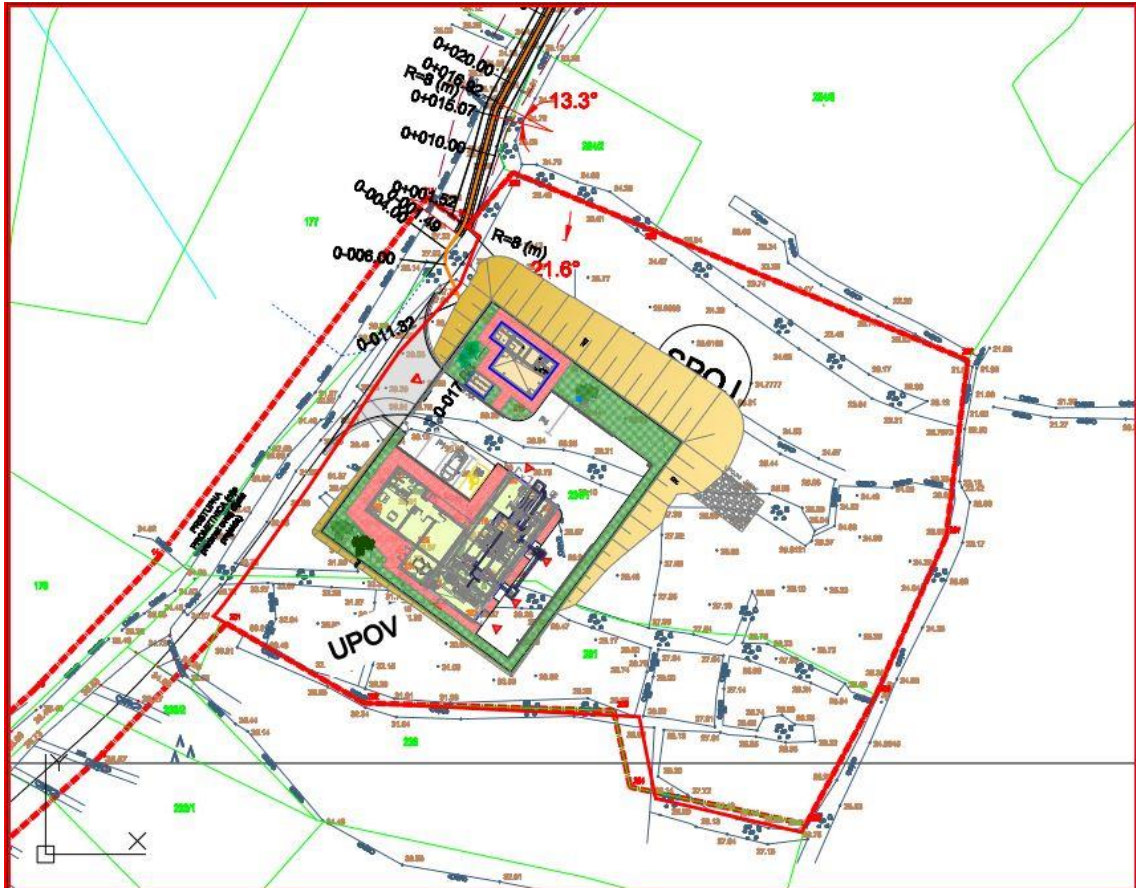
### **2.1. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda**

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda nije sastavni dio podmorskog ispusta, ali potrebno je dati kratki opis jer sve vode koje on ispušta ulaze direktno u kopneni dio podmorskog ispusta.

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) jest objekt koji posjeduje odgovarajuću elektrostrojarsku opremu i u kojemu se vrši pročišćavanje otpadne vode dospjele iz razdjelne ili mješovite kanalizacijske mreže. Na uređaju za pročišćavanje kanalizacijskog sustava Jelsa-Vrboska predviđen je samo mehanički sustav pročišćavanja koji se sastoji od filtriranja (kroz grube i fine rešetke) i odvajanja pijeska i masti iz otpadne vode.

Općenito, na uređajima za pročišćavanje otpadnih voda mogu biti primijenjeni primarni sustav pročišćavanja, sekundarni i tercijarni sustav pročišćavanja otpadnih voda.

Pod pojmom primarnog stupnja pročišćavanja otpadne vode podrazumijeva se mehanička obrada otpadne vode koja obuhvaća faze: rešetanje, usitnjavanje i taloženje suspendiranih tvari (ovi procesi provode se za otpadnu vodu dospjelu iz kućanstava). Nadalje, postoji sekundarni stupanj pročišćavanja koji podrazumijeva biološku obradu otpadne vode. Neki od procesa sekundarnog stupnja jesu: ponovno taloženje i mehaničko pročišćavanje, biološki procesi u aeriranim spremnicima s aktivnim muljem, dezinfekcija i dr. Izvršenjem ova dva stupnja pročišćavanja, zadovoljeni su propisi za tretiranje otpadnih voda koje nalaže Europska Unija. Uz primarni i sekundarni stupanj, postoji i tercijarni stupanj. U njemu se odvijaju radnje fizikalno-kemijskog tretiranja otpadne vode. Nakon odrađenog procesa tretiranja otpadne vode, tekućina koja istječe iz UPOV-a naziva se efluent.

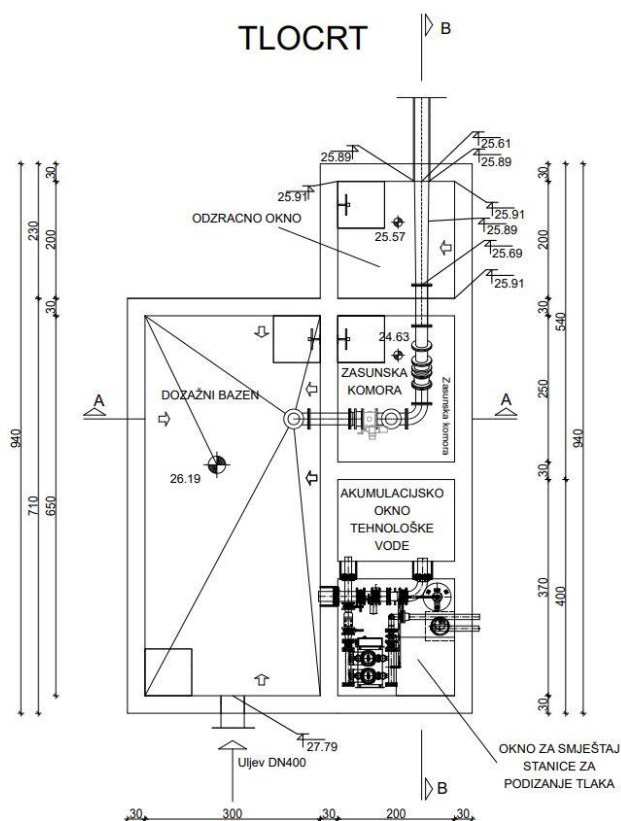


Slika 2.1. UPOV podmorskog ispusta Jelsa- Vrboska [1]

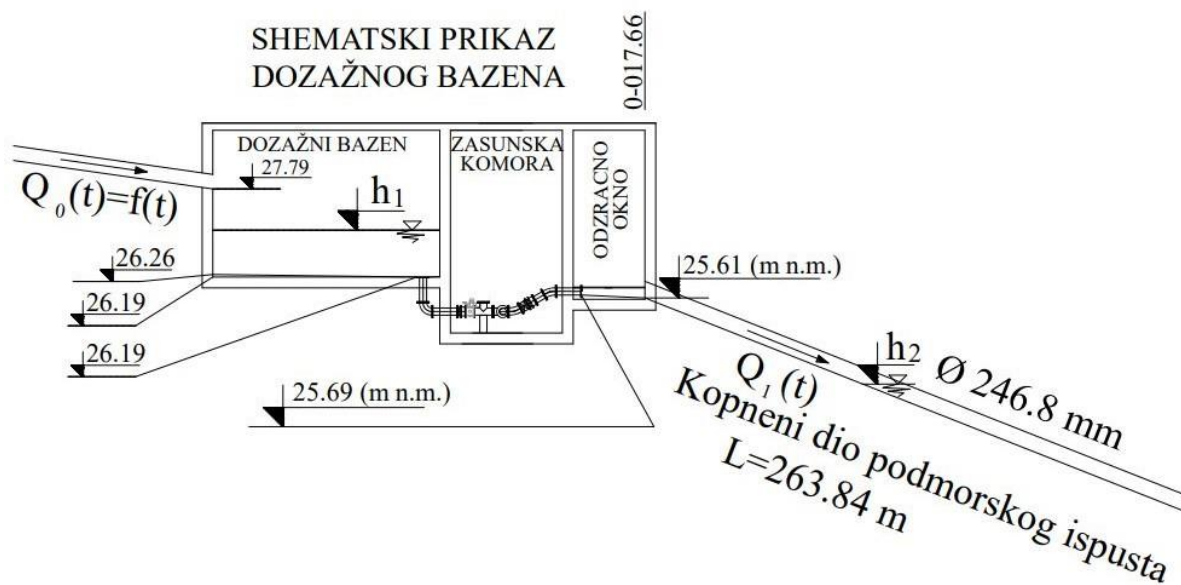
## 2.2. Dozažni bazen

Dozažni bazen je retencijska, armirano-betonska građevina koja služi za ostvarivanje približno ujednačenog protoka efluenta u kopneni dio podmorskog ispusta. Nalazi se neposredno ispred cjevovoda podmorskog ispusta. Na spoju bazena i cjevovoda, najčešće se nalazi zapornica ili ventil koji se aktiviraju dostizanjem povoljnog vodostaja unutar dozažnog bazena. Vodostaj mora imati dovoljnu visinu kako bi se pri otvaranju ventila (samim time pri početku tečenja efluenta) ostvarila povoljna veličina protoka koja sa sobom donosi i brzinu kretanja tekućine u podmorskom ispustu reda veličine 1.0 do 2.0 (m/s). Pri ovakvim brzinama postiže se željeni efekt ispiranja cjevovoda te sprječavanje daljnjeg taloženja krupnih čestica unutar cjevovoda podmorskog ispusta.

Pri projektiranju dozažnog bazena potrebno je obratiti pozornost na tlocrtne dimenzije bazena kako bi se ostvarilo pravovremeno punjenje, odnosno pražnjenje građevine. Slučajevi kvara ventila (nemogućnost otvaranja) neutraliziraju se izgradnjom sigurnosnog preljeva koji će svojom aktivacijom osigurati daljnji, neometani rad podmorskog ispusta.



Slika 2.2. Tlocrtni prikaz dozažnog bazena podmorskog ispusta Jelsa – Vrboska [1]



Slika 2.3. Shematski prikaz dozažnog bazena s pripadnim elementima i oznakama [1]

Tlocrtna površina bazena iznosi 19,50 (m<sup>2</sup>). U dnu dozažnog bazena nalazi se ispusna cijev, DN 200, na čijem se početku nalazi zatvarač (ventil). Zatvarač se otvara i započinje tečenje kroz cijev onda kada vodostaj u dozažnome bazenu dosegne kotu od 27,81 (m n.m.). U trenutku kada se vodostaj spusti do kote od 26.19 (m n.m.), odnosno kada se razina vode dosegne dno bazena, zatvarač se zatvara. Ispusna cijev na svomu kraju ima projektirano prigušenje kako bi se ograničio maksimalni protok koji se postiže za razinu vode od 27,81 (m n.m.). Bazen je projektiran tako da se potrebni broj otvaranja i zatvaranja zatvarača svede na minimum kako bi se smanjila vjerojatnost kvara zatvarača, što predstavlja prijetnju neometanom funkcioniranju sustava.

### 2.1.3. Cjevovod podmorskog ispusta

Kopneni dio cjevovoda podmorskog ispusta je objekt kojim se vrši tranzit efluenta do podmorskog dijela podmorskog ispusta na čijem se završetku nalazi difuzor. Kopneni dio cjevovoda prvi je dio tranzitnog sklopa odakle počinje kretanje efluenta prema recipijentu (u ovom slučaju Jadransko more).

Cijevi od polietilena visoke gustoće (PEHD) najčešći su izbor pri izgradnji cjevovoda podmorskih ispusta. Prednosti ovakvih cijevi su sljedeće: mala težina, fleksibilnost na niskim i visokim temperaturama, otpornost na habanje i udarce i dr. Pri odabiru promjera polietilenske cijevi, projektant treba voditi računa o ostvarivanju povoljnih brzina kako bi se cjevovod samoispirao. To se postiže odabirom nešto manjeg promjera PEHD cijevi. S druge strane, odabirom manjeg promjera PEHD cijevi, prijeti opasnost od nedostatka propusne moći cjevovoda. Cilj je, dakle, pronaći optimalno rješenje koje će zadovoljiti oba postavljena uvjeta. U slučaju podmorskog ispusta Jelsa-Vrboska, PEHD cijevi međusobno će se povezati sučeonim zavarivanjem ili elektrofuzijskim zavarivanjem. Kopneni dio podmorskog ispusta projektiran je u dužini od 246.14 (m). Započinje na stacionaži 0+000.04, a završava na stacionaži 0+246.18. Računajući i dio cjevovoda koji se nalazi u okviru UPOV-a, duljine 31.94 (m), ukupna duljina cijevi na kopnu iznosi 278.08 (m). Cjevovod fizički počinje na stac. 0-017.66, neposredno nakon odzračnog okna u objektu dozažnog bazena.

Podmorski dio podmorskog ispusta Jelsa – Vrboska započinje na stacionaži 0+000.00, a završava na stacionaži 1+962.66. Duljina podmorskog dijela cjevovoda iznosi 1962.66 (m), što skupa s duljinom kopnenog dijela podmorskog ispusta iznosi 2208.80 (m). Podmorski dio cjevovoda nastavlja se na odzračno okno, na kraju kopnenog dijela cjevovoda, koje osigurava sigurnu evakuaciju zračnih „džepova“ iz cijevi ispusta.

Odabrane karakteristike cijevi podmorskog ispusta za kopneni i podmorski dio ispusta su: cijev od PEHD, DN280, PN10, PE 100, SDR 17.

#### 2.1.4. Difuzor

Difuzorska sekcija je linijski cjevovod, s čeonim i bočnim otvorima, kojemu je svrha ostvarivanje veće izlazne brzine efluenta iz cjevovoda podmorskog ispusta. Najčešće se polaže okomito (povoljan smjer pružanja u odnosu na strujanje mora) na sami kraj podmorskog ispusta kako bi se dobilo što povoljnije raspršivanje efluenta, a samim time i koliformnih bakterija koje pristižu u recipijent. U ovom slučaju difuzor sr nastavlja gotovo točno u pravcu završnog dijela podmorskog ispusta.

Dimenzioniranje difuzora se sastoji od odabira profila cijevi difuzora po dionicama. Profil cijevi difuzorske dionice najveći je na početku difuzorske sekcije, odakle se smanjuje prema čeonom otvoru. To je praksa pri dimenzioniranju difuzorskih dionica zbog toga što se smanjenjem profila cijevi, na daljnjim difuzorskim dionicama, nastoji održati povoljna brzina u cijevi zbog smanjenja protoka zbog bočnog otjecanja dijela protoka. Uz navedeni odabir profila cijevi, također je potrebno odrediti ukupnu duljinu difuzora, te broj i raspored otvora. Za podmorski ispuš aglomeracije Jelsa-Vrboska, tehnički opis [1] difuzora glasi:

Difuzor je projektiran sa sljedećim cijevima:

- Od stac. 1+962.66 do stac. 1+997.66 cijev je PEHD PE100, DN250 PN10 SDR 17 (Dv=250 mm, Du=220,4 mm).
- Na stac. 1+997.66 projektirana je asimetrična redukcija PEHD PE100, PN10, SDR17, DN250/DN200.
- Od stac. 1+997.66 do stac. 2+030.66 cijev je PEHD PE100, DN200 PN10 SDR 17 (Dv=200 mm, Du=176,2 mm).
- Na stac. 2+030.66 projektirana je asimetrična redukcija PEHD PE100, PN10, SDR17, DN200/DN180.
- Od stac. 2+030.66 do stac. 2+062.66 cijev je PEHD PE100, DN180 PN10 SDR 17 (Dv=180 mm, Du=158.6 mm).

Otvori na difuzoru su projektirani naizmjenično na lijevoj i na desnoj strani cijevi, na polovini visine cijevi, na bokovima.

Otvori su projektirani na sljedećim stacionažama:

Prvi otvor je na stac. 1+963.66 (1 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 45.0 (mm), a nalazi se na lijevoj strani cijevi.

Drugi otvor je na stac. 1+974.66 (12 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 45.8 (mm), a nalazi se na desnoj strani cijevi.

Treći otvor je na stac. 1+985.66 (23 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 46.5 (mm), a nalazi se na lijevoj strani cijevi.

Četvrti otvor je na stac. 1+996.66 (34 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 48.1 (mm), a nalazi se na desnoj strani cijevi.

Peti otvor je na stac. 2+007.66 (45 (m) od poč. dif.). Promjer otvora iznosi 49.8 (mm), a nalazi se na lijevoj strani cijevi.

Šesti otvor je na stac. 2+018.66 (56 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 51.5 (mm), a nalazi se na desnoj strani cijevi.

Sedmi otvor je na stac. 2+029.66 (67 (m) od poč. dif.). Promjer otvora iznosi 52.9 (mm), a nalazi se na lijevoj strani cijevi.

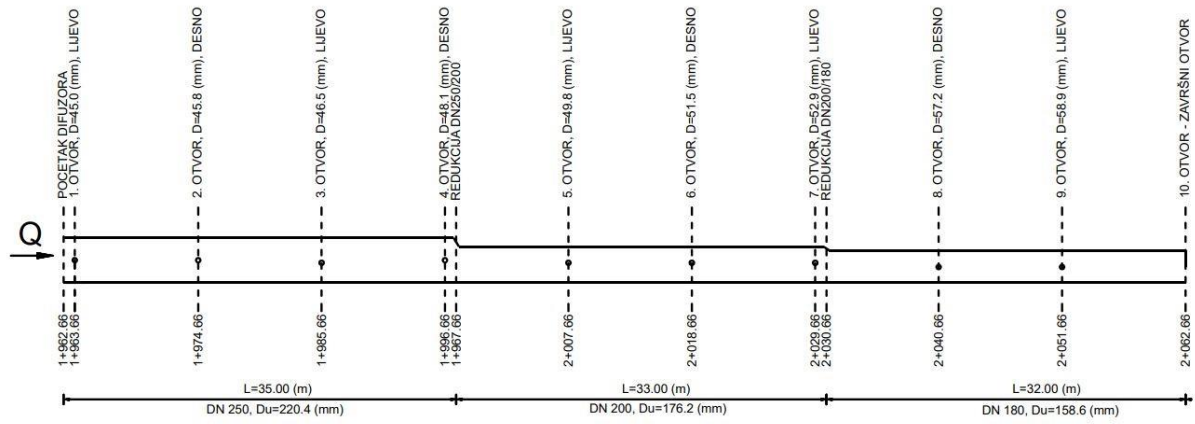
Osmi otvor je na stac. 2+040.66 (78 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 57.2 (mm), a nalazi se na desnoj strani cijevi.

Deveti otvor je na stac. 2+051.66 (89 (m) od početka difuzora). Promjer otvora iznosi 58.9 (mm), a nalazi se na lijevoj strani cijevi.

Deseti otvor je čelni otvor na kraju difuzora na stac. 2+062.66 (100 (m) od poč. dif.). Visina nezagrađenog dijela iznosi  $y=67.6$  (mm). Difuzor i podmorski ispust je dimenzioniran na maksimalni satni protok od  $Q_{max.}=50.00$  (l/s).

Ovakvim konceptom osiguravaju se tehničko-tehnološki ispravni hidraulički parametri tečenja u cjevovodu i istjecanja vode na otvorima difuzora.

Dimenzije cjevovoda i difuzora su odabrane tako da zadovoljavaju raspoložive visinske odnose u sustavu: dozažni bazen-ispust-difuzor.

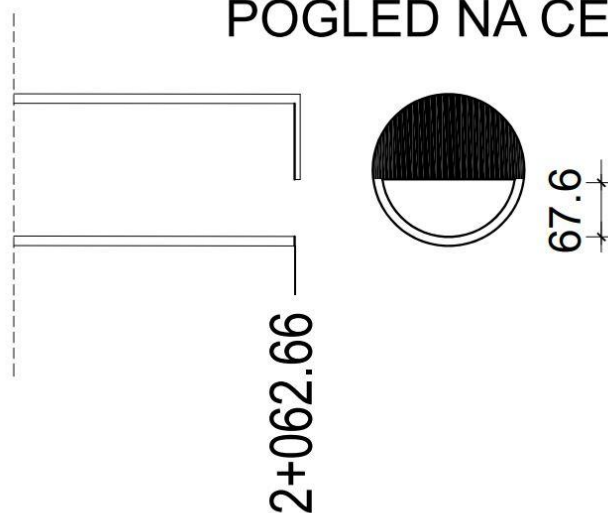


Slika 2.4. Shematski prikaz dionica difuzora [1]

## UZDUZNI PRESJEK

DN180, Du=158.6 (mm)

POGLED NA CELO



Slika 2. 5. Uzdužni presjek čelnog otvora difuzora [1]



### 3. PROGRAMSKO RJEŠENJE U FORTRAN-u

#### 3.1. Jednadžba kontinuiteta i dinamička jednadžba

Uspostavljanje jednadžbe kontinuiteta i dinamičke jednadžbe je neophodno kako bi se kreiralo rješenje problema u programskom jeziku FORTRAN 95. U dinamičkoj analizi potrebno je odrediti vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta, te protok u podmorskom dijelu podmorskog ispusta, za prethodno izračunate dotoke iz dozažnog bazena, na početku i na kraju svakog vremenskog intervala. Funkcioniranje dozažnog bazena također je obrađeno te su navedeni vodostaji u bazenu kao i protok otpadne vode iz bazena u cjevovod za svako od vremenskih stanja. Za određivanje vrijednosti protoka u podmorskom ispustu, kao i vodostaja u kopnenom dijelu podmorskog ispusta, postaviti će se jednadžba kontinuiteta i dinamička jednadžba. Svaki od navedenih hidrauličkih parametara biti će prikazan uz pomoć grafova za različite varijante i veličine dotoka tekućine s UPOV-a.

##### 1. Jednadžba kontinuiteta

$$A_{tl} \cdot \frac{dh_2}{dt} = Q_1 - Q_2 \quad \rightarrow \quad dh_2 = \frac{Q_1 - Q_2}{A_{tl}} \cdot dt \quad \rightarrow \quad \int_{h_2^k}^{h_2^{k+1}} dh_2 = \int_t^{t+\Delta t} \frac{Q_1 - Q_2}{A_{tl}} \cdot dt$$

Nakon integracije dobije se približno rješenje:

$$h_2^{k+1} = h_2^k + (1 - \vartheta) \cdot \frac{Q_1^k - Q_2^k}{A_{tl}^k} \cdot \Delta t + \vartheta \cdot \frac{Q_1^{k+1} - Q_2^{k+1}}{A_{tl}^{k+1}} \cdot \Delta t$$

gdje je:

$h_2^k$  - razina vode u kopnenom dijelu podmorskog ispusta u trenutku k,

$h_2^{k+1}$  - razina vode u kopnenom dijelu podmorskog ispusta u trenutku k+1,

$Q_1^k$  - dotok iz dozažnog bazena u trenutku k,

$Q_1^{k+1}$  - dotok iz dozažnog bazena u trenutku k+1,

$Q_2^k$  - protok u podmorskom ispustu u trenutku k,

$Q_2^{k+1}$  - protok u podmorskom ispustu u trenutku k+1,

$A_d^k$  - horizontalna površina vodnog lica u kopnenom dijelu podmorskog ispusta na početku tlačnog tečenja u trenutku  $k$ ,

$A_d^{k+1}$  - horizontalna površina vodnog lica u kopnenom dijelu podmorskog ispusta na početku tlačnog tečenja u trenutku  $k+1$ ,

## 2. Dinamička jednadžba

$$h_2 = h_{ekv} + \left( \xi_u + \lambda \cdot \frac{(L'+L)}{D} + \xi_d \right) \cdot \frac{v^2}{2g} + \frac{(L'+L)}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

gdje je:

$h_2$  - razina vode u kopnenom dijelu podmorskog ispusta,

$h_{ekv}$  - ekvivalentna razina mora. Za maksimalnu plimu (0.90 (m n.m.))  $h_{ekv}=2.7822$  (m n.m.).

Za minimalnu razinu mora (-0.90 (m n.m.))  $h_{ekv}=0.9318$  (m n.m.).

$\xi_u$  - koeficijent lokalnog gubitka energije, odabrano 0.00,

$L'$  - dio kopnenog dijela podmorskog ispusta koji je pod tlakom,

$\lambda$  - koeficijent otpora trenja u kopnenom (dio koji je pod tlakom) i u podmorskom dijelu podmorskog ispusta,

$L$  - dužina podmorskog dijela podmorskog ispusta,  $L= 1962.66$  (m),

$D$  - unutrašnji promjer cijevi kopnenog i podmorskog dijela podmorskog ispusta  $D= 0.2468$  (m),

$v$  - brzina tečenja u kopnenom (dio koji je pod tlakom) i u podmorskom dijelu podmorskog ispusta,

$\xi_d$  - koeficijent lokalnog gubitka energije na difuzoru, izračunato  $\xi_d = 18.7957$ .

$$h_2 = h_{ekv} + \left( \xi_u + \lambda \cdot \frac{(L'+L)}{D} + \xi_d \right) \cdot \frac{Q_2^2}{2g \cdot A_c^2} + \frac{(L'+L)}{g \cdot A_c} \cdot \frac{dQ_2}{dt}$$

Ako se član  $\frac{dQ_2}{dt}$  prebaci na lijevu stranu, a sve ostalo na desnu stranu, dobije se:

$$\frac{dQ_2}{dt} = \left( h_2 - h_{ekv} - \left( \xi_u + \lambda \cdot \frac{(L' + L)}{D} + \xi_d \right) \cdot \frac{Q_2^2}{2g \cdot A_c^2} \right) \cdot \frac{g \cdot A_c}{(L' + L)}$$

Nakon približne integracije mješovitim postupkom, dobije se:

$$Q_2^{k+1} = Q_2^k + (1 - \vartheta) \cdot \Delta t \cdot \frac{g \cdot A_c}{(L'^k + L)} \cdot \left( h_2^k - h_{ekv} - \left( \xi_u + \lambda^k \cdot \frac{(L'^k + L)}{D} + \xi_d \right) \cdot \frac{Q_2^k \cdot |Q_2^k|}{2g \cdot A_c^2} \right) + \vartheta \cdot \Delta t \cdot \frac{g \cdot A_c}{(L'^{k+1} + L)} \cdot \left( h_2^{k+1} - h_{ekv} - \left( \xi_u + \lambda^{k+1} \cdot \frac{(L'^{k+1} + L)}{D} + \xi_d \right) \cdot \frac{Q_2^{k+1} \cdot |Q_2^{k+1}|}{2g \cdot A_c^2} \right)$$

Gdje je:

$Q_2^k$  - protok u kopnenom (dio pod tlakom) i podmorskom dijelu podmorskog ispusta u trenutku k,

$Q_2^{k+1}$  - protok u kopnenom (dio pod tlakom) i podmorskom dijelu podmorskog ispusta u trenutku k+1,

$\vartheta$  - parametar integracije, odabrano  $\vartheta=0.50$ ,

$\Delta t$  - vremenski interval. Za sve analize  $\Delta t$  iznosi 5 i 10 (s),

$A_c$  - površina poprečnog presjeka cijevi kopnenog i podmorskog dijela podmorskog ispusta,

$L'^k$  - dio kopnenog dijela podmorskog ispusta koji je pod tlakom u trenutku k,

$L'^{k+1}$  - dio kopnenog dijela podmorskog ispusta koji je pod tlakom u trenutku k+1,

$\lambda^k$  - koeficijent otpora trenja u kopnenom (dio pod tlakom) i u podmorskom dijelu podmorskog ispusta u trenutku k,

$\lambda^{k+1}$  - koeficijent otpora trenja u kopnenom (dio pod tlakom) i u podmorskom dijelu podmorskog ispusta u trenutku k+1.

Rješenje navedenih nelinearnih jednažbi dobiveno je Newton-ovom metodom. Za sve proračune odabran je vremenski interval  $\Delta t=5$  i  $10$  (s). Odabran je koeficijent integracije  $\vartheta =0.5$ .

Nastavno na postavljene dvije jednačbe podmorskog ispusta, nužno je uspostaviti dinamičku jednačbu i jednačbu kontinuiteta za dozažni bazen. Ono što povezuje dozažni bazen i kopneni dio podmorskog ispusta jest protok koji istječe iz dozažnog bazena a istovremeno utječe u kopneni dio podmorskog ispusta odnosno predstavlja dotok u cjevovod.

Jednačba koja definira stanje u dozažnom bazenu je jednačba kontinuiteta:

$$A_{BAZ} \cdot \frac{dh}{dt} = Q_0(t) - Q_1$$

$$dh = \frac{Q_0(t) - Q_1}{A_{BAZ}} \cdot dt$$

Nakon numeričke integracije gornjeg izraza uz primjenu mješovitog postupka numeričke integracije dobije se:

$$h_1^{k+1} = h_1^k + (1 - \vartheta) \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_0^k - Q_1^k}{A_{BAZ}} + \vartheta \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_0^{k+1} - Q_1^{k+1}}{A_{BAZ}}$$

gdje je:

$h_1^k$  - razina vode u dozažnom bazenu u trenutku k,

$h_1^{k+1}$  - razina vode u dozažnom bazenu u trenutku k+1,

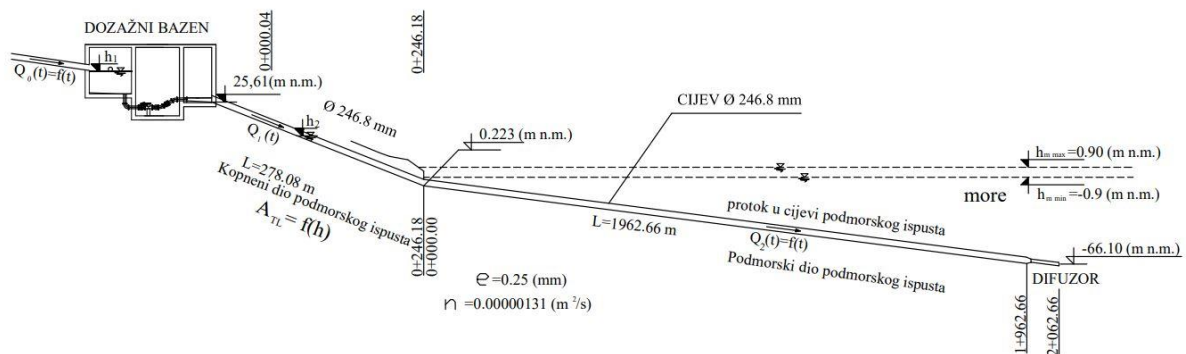
$Q_0^k$  - dotok u dozažni bazen u trenutku k,

$Q_0^{k+1}$  - dotok u dozažni bazen u trenutku k+1,

$Q_1^k$  - protok iz dozažnog bazena u trenutku k,

$Q_1^{k+1}$  - protok iz dozažnog bazena u trenutku k+1,

$A_{BAZ}$  - površina dozažnog bazena u iznosu od 19.5 (m<sup>2</sup>).



Slika 3.1. Shematski prikaz cjelokupnog sustava podmorskog ispusta

Sustav prikazan na slici 3.1. sastoji se od dva podsustava. Prvi podsustav predstavlja dozažni bazen. Funkcioniranje tog podsustava opisano je sa dvije nelinearne jednadžbe sa dvije nepoznanice u dozažnom bazenu (vodostaj u dozažnom bazenu i protok iz dozažnog bazena).

Drugi podsustav jest cjevovod podmorskog ispusta. Njegov rad također opisuju dvije nelinearne jednadžbe sa dvije nepoznanice. Te dvije nepoznanice su vodostaj u cijevi kopnenog dijela podmorskog ispusta i protok u cijevi podmorskog ispusta.

### 3.2. Fortran 95 program

Kako bi se prikazao centralni zadatak ovog diplomskog rada, proračun različitih varijanti i veličina protoka u vidu funkcionalnosti podmorskog ispusta, potrebno je napisati program koji će izvršiti dinamičku analizu rada ispusta i njegovih komponenti. Program je prikazan u nastavku.

```
PROGRAM ISPUST
COMMON /P1/
NQ1,Q01(100),TT1(100),NL1,HAL(30),XL1(30),NHA1,A1(30),HA1(30),HEKV
COMMON /P2/ L,D,EPSI,NI,KSIU,KSID,THETA,DT,NDT
REAL L,NI,KSIU,KSID,LDB

IZNAK=0
! IZNAK=0 KADA JE ZATVOREN ZATVARAČ IZ DOZAZNOG BAZENA
! IZNAK=1 KADA JE ZATVARAC OTVOREN IZ DOZAZNOG BAZENA

CALL OPEN(LUNU,LUNIZL)
CALL CITA(H11,H21,Q21,H1MAX,H1MIN,ABAZ,A0,LDB,Z0,LUNU)
T1=0.0
PI=3.1415926
WRITE(*,133)
133 FORMAT(' ZAPISUJE SE SVAKO KOJE STANJE ')
READ(*,*) NPIS
! NPIS=1
RPIS=FLOAT(NPIS)

S1=0.0
Q011=BH(NQ1,TT1,Q01,T1)
XL11=BH(NL1,HAL,XL1,H21)
T1H=T1/3600.0
```

AC=D\*\*2\*PI/4.

Q11=0.0

V21=Q21/AC

WRITE(LUNIZL,446) T1,T1H,H11,H21,HEKV,Q011,Q11,Q21,V21,S1

446 FORMAT(9F10.4,F12.4)

ACPI=D\*\*2\*3.1415926/4.0

DO I=1,NDT

WRITE(\*,666) I

666 FORMAT(' KORAK ',I5)

T2=T1+DT

Q012=BH(NQ1,TT1,Q01,T2)

CALL

SIMUL(H11,H12,H21,H22,Q011,Q012,XL11,XL12,Q11,Q12,Q21,Q22,T1,T2,IZNAK,ABAZ,A0,LDB,Z0,V22)

V21=Q21/ACPI

V22=Q22/ACPI

S2=S1+(V21+V22)/2.0\*DT

RR=FLOAT(I/NPIS)

R1=FLOAT(I/RPIS)

T2H=T2/3600.0

IF(RR.EQ.R1) WRITE(LUNIZL,446) T2,T2H,H12,H22,HEKV,Q012,Q12,Q22,V22,S2



H11=H12

H21=H22

Q11=Q12

Q21=Q22

Q011=Q012

XL11=XL12

S1=S2

IF(S1.GT.1962.66) S1=0.0

T1=T2

IF(H12.GE.H1MAX.AND.IZNAK.EQ.0) IZNAK=1

IF(H12.GE.H1MAX.AND.IZNAK.EQ.1) IZNAK=1

IF(H12.GT.H1MIN.AND.H12.LT.H1MAX.AND.IZNAK.EQ.0) IZNAK=0

IF(H12.GT.H1MIN.AND.H12.LT.H1MAX.AND.IZNAK.EQ.1) IZNAK=1

IF(H12.LE.H1MIN.AND.IZNAK.EQ.1) IZNAK=0

IF(H12.LE.H1MIN.AND.IZNAK.EQ.0) IZNAK=0

END DO

STOP

END

SUBROUTINE CITA(H11,H21,Q21,H1MAX,H1MIN,ABAZ,A0,LDB,Z0,LUNU)

!

COMMON /P1/

NQ1,Q01(100),TT1(100),NL1,HAL(30),XL1(30),NHA1,A1(30),HA1(30),HEKV

COMMON /P2/ L,D,EPSI,NI,KSIU,KSID,THETA,DT,NDT

REAL L,NI,KSIU,KSID,LDB

READ(LUNU,\*) L,D,EPSI,NI,KSIU,KSID,HEKV,A0,LDB,Z0

!

! CITANJE ODNOSA VODOSTAJ-POVRSINA ZA ULAZNI BAZEN, ODNOSNO  
KOSU CIJEV

!

```
READ(LUNU,*) NHA1
DO I=1,NHA1
READ(LUNU,*) HA1(I),A1(I)
END DO
```

!

! CITANJE ODNOSA VODOSTAJ-DUZINA CIJEVI XL1

!

```
READ(LUNU,*) NL1
DO I=1,NL1
READ(LUNU,*) HAL(I),XL1(I)
END DO
```

!

! CITANJE Q01(t)

!

```
READ(LUNU,*) NQ1
DO I=1,NQ1
READ(LUNU,*) TT1(I),Q01(I)
END DO
```

```
READ(LUNU,*) H11,H21,Q21,THETA,DT,NDT
      READ(LUNU,*) H1MAX,H1MIN,ABAZ
END
```

```
SUBROUTINE OPEN(LUNU,LUNIZL)
CHARACTER*15 IME
LUNU=7
LUNIZL=8
WRITE(*,1)
1  FORMAT(' UPISI IME ULAZNE DATOTEKE')
READ(*,2) IME
2  FORMAT(A)
OPEN(UNIT=LUNU,FILE=IME,STATUS='OLD')
WRITE(*,3)
3  FORMAT(' UPISI IME IZLAZNE DATOTEKE')
READ(*,2) IME
OPEN(UNIT=LUNIZL,FILE=IME,STATUS='REPLACE')
RETURN
END

FUNCTION BH(N,X,Y,XX)
!  returns ordinate of polygonal function
!
DIMENSION X(N),Y(N)
NI=1
IF(XX.LE.X(1)) GO TO 10
DO 1 I=1,N
IF(X(I)-XX) 2,4,3
2  NI=I
1  CONTINUE
IF(NI.EQ.N) GO TO 5
3  BH=Y(NI)+(Y(NI+1)-Y(NI))*(XX-X(NI))/(X(NI+1)-X(NI))
RETURN
4  BH=Y(I)
```

```
RETURN
5  BH=Y(N)
RETURN
10 BH=Y(1)
RETURN
END

SUBROUTINE
SIMUL(H11,H12,H21,H22,Q011,Q012,XL11,XL12,Q11,Q12,Q21,Q22,T1,T2,IZNAK,ABA
Z,A0,LDB,Z0,V22)

DIMENSION FF(2,2),F(2)

COMMON /P1/
NQ1,Q01(100),TT1(100),NL1,HAL(30),XL1(30),NHA1,A1(30),HA1(30),HEKV

COMMON /P2/ L,D,EPSI,NI,KSIU,KSID,THETA,DT,NDT

REAL L,NI,KSIU,KSID,LDB

T=0.000001

ITER=0

H12=H11
H22=H21
Q12=Q11
    Q22=Q21

PI=3.1415926

G=9.81

AC=D**2*PI/4.

A11=BH(NHA1,HA1,A1,H21)
XL11=BH(NL1,HAL,XL1,H21)

Q011=BH(NQ1,TT1,Q01,T1)
Q012=BH(NQ1,TT1,Q01,T2)
```

! DOZAZNI BAZEN

IF(IZNAK.EQ.0) THEN

Q12=0.0

GO TO 1

ENDIF

V12=1.0

XLC1=LDB

DC1=0.2

ALFA=1.1

AC1=0.2\*\*2\*PI/4.0

A0C=0.61\*A0

DO II=1,10

CALL LAMBDA(V12,DC1,EPSI,NI,ALAM1)

BR=19.62\*(H12-Z0)

XNAZ=1.3+(AC1/A0C)\*\*2+ALAM1\*XLC1/DC1

V12=SQRT(BR/XNAZ)

END DO

Q12=V12\*DC1\*\*2\*PI/4.0

1 CONTINUE

H12=H11+(1.0-THETA)\*DT\*(Q011-Q11)/ABAZ+THETA\*DT\*(Q012-Q12)/ABAZ

!

! KRAJ PRORACUNA DOZAZNOG BAZENA

V21=Q21/AC

CALL LAMBDA(ABS(V21),D,EPSI,NI,ALAM21)

20 CONTINUE

ITER=ITER+1

IF(ITER.GT.50) THEN

WRITE(\*,1300)

1300 FORMAT(' U SIMUL BROJ ITERACIJA VECI OD 50')

GO TO 400

ENDIF

A12=BH(NHA1,HA1,A1,H22)

XL12=BH(NL1,HAL,XL1,H22)

V22=Q22/AC

CALL LAMBDA(ABS(V22),D,EPSI,NI,ALAM22)

X1=KSIU+ALAM21\*(L+XL11)/D+KSID

X2=KSIU+ALAM22\*(L+XL12)/D+KSID

F(1)=Q22-Q21-(1.0-THETA)\*DT\*G\*AC/(L+XL11)\*(H21-HEKV-  
X1\*Q21\*ABS(Q21)/(2.\*G\*AC\*\*2))-&

THETA\*DT\*G\*AC/(L+XL12)\*(H22-HEKV-X2\*Q22\*ABS(Q22)/(2.\*G\*AC\*\*2))

FF(1,1)=1.0+THETA\*DT\*X2\*Q22/((L+XL12)\*AC)

FF(1,2)=-THETA\*DT\*G\*AC/(L+XL12)

F(2)=H22-H21-(Q11-Q21)\*(1.0-THETA)\*DT/A11-(Q12-Q22)\*THETA\*DT/A12

FF(2,1)=THETA\*DT/A12

FF(2,2)=1.0

F(1)=-F(1)

F(2)=-F(2)

```
NJED=2
CALL SOLVER(FF,F,NJED)

Q22=Q22+F(1)
H22=H22+F(2)

DO I=1,2
IF(ABS(F(I)).GT.T) GO TO 20
END DO
400 CONTINUE

WRITE(*,959) XL11,XL12,ALAM21,ALAM22
959 FORMAT(4F12.6)

RETURN
END

SUBROUTINE SOLVER(A,B,N)
DIMENSION A(N,N),B(N),X(30)
N1=N-1
DO 3 K=1,N
I1=K+1
DO 2 I=I1,N
FAK=-A(I,K)/A(K,K)
DO 1 J=K,N
1 A(I,J)=A(I,J)+FAK*A(K,J)
2 B(I)=B(I)+B(K)*FAK
3 CONTINUE
X(N)=B(N)/A(N,N)
DO 4 K=1,N1
```

```
I=N-K
S=0.
DO 5 L=1,K
J=I+L
5 S=S+A(I,J)*X(J)
4 X(I)=(B(I)-S)/A(I,I)
DO 6 I=1,N
B(I)=X(I)
6 CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE LAMBDA(V,D,EPSI,NI,ALAM)
REAL NI
TOC=0.0000001
RE=V*D/NI
IF(RE.LT.2320.) THEN
ALAM=64./RE
RETURN
ENDIF
ALAM=0.02
DO 1 I=1,100
IF(I.EQ.100) THEN
WRITE(*,99)
99 FORMAT(' U PROGRAMU LAMBDA BROJ ITERACIJA VECI OD 100')
STOP
ENDIF
C=EPSI/(3.71*D)+2.51/(RE*SQRT(ALAM))
F=ALAM-1./(4.*ALOG10(C)**2)
```



```
DFDLAM=1.-0.25*2.51/(ALOG(10.)*C*ALOG10(C)**3*RE*ALAM**1.5)
BALAM=ALAM-F/DFDLAM
DEL=ABS(BALAM-ALAM)
IF(DEL.LT.TOC) GO TO 2
ALAM=BALAM
1  CONTINUE
2  ALAM=BALAM
RETURN
END
```

Uz prikazani program, potrebno je izraditi i ulaznu Notepad datoteku u koju se zadanim redoslijedom upisuju podaci neophodni za proračun u FORTRAN-u.

To su:

L,D,EPSI,NI,KSIU,KSID,HEKV,A0,LDB,Z0 , itd.

Značenje pojedinih varijabli je sljedeće:

L - dužina podmorskog dijela ispusta s početkom od 20 (m) od stac. 0+000.00,  
D - unutrašnj promjer cijevi podmorskog ispusta,  
EPSI - apsolutna pogonska hidraulička hrapavost cijevi podmorskog ispusta,  
NI - kinematički koeficijent viskoznosti otpadne vode,  
KSIU - koeficijent lokalnog gubitka energije na početku tečenja pod tlakom u kopnenom dijelu podmorskog ispusta,  
KSID - koeficijent lokalnog gubitka energije na difuzoru,  
HEKV - ekvivalentna razina mora,  
A0 - površina suženja na kraju izlazne cijevi iz dozažnog bazena,  
LDB - dužina cijevi iz dozažnog bazena,  
Z0 - kota kraja cijevi koja izlazi iz dozažnog bazena.

Rezultat proračuna, uz pomoć navedenog programa, je Notepad izlazna datoteka koja prikazuje parametre na kraju svakog proračunatog vremenskog intervala. Izlazna datoteka redom prikazuje:

T2,T2H,H12,H22,HEKV,Q012,Q12,Q22,V2,S2

Značenje pojedinih varijabli je:

T2 - vrijeme na kraju vremenskog intervala (s),

T2H - vrijeme na kraju vremenskog intervala (h - sati),

H12 - vodostaj u dozažnom bazenu na kraju vremenskog intervala,

H22 - vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta na kraju vremenskog intervala,

HEKV - ekvivaletna razina u moru,

Q012 - dotok u dozažni bazen na kraju vremenskog intervala ( $m^3/s$ ),

Q12 - protok iz dozažnog bazena na kraju vremenskog intervala ( $m^3/s$ ),

Q22 - protok u podmorskom ispustu na kraju vremenskog intervala ( $m^3/s$ ),

V2 – brzina u cijevi podmorskog ispusta na kraju vremenskog intervala (m/s),

S2 - dužina prevaljenog puta čestice vode od početka podmorskog ispusta, na kraju vremenskog intervala.

U idućem poglavlju varijable izlazne datoteke biti će prikazane, u funkciji vremena, za različite varijante i veličine protoka (grafovi) i pojašnjene što je glavni zadatak ovog diplomskog rada.

## 4. REZULTATI DINAMIČKE ANALIZE RADA PODMORSKOG ISPUSTA

### 4.1. Varijanta 1 – Maksimalni satni protok od 50 (l/s)

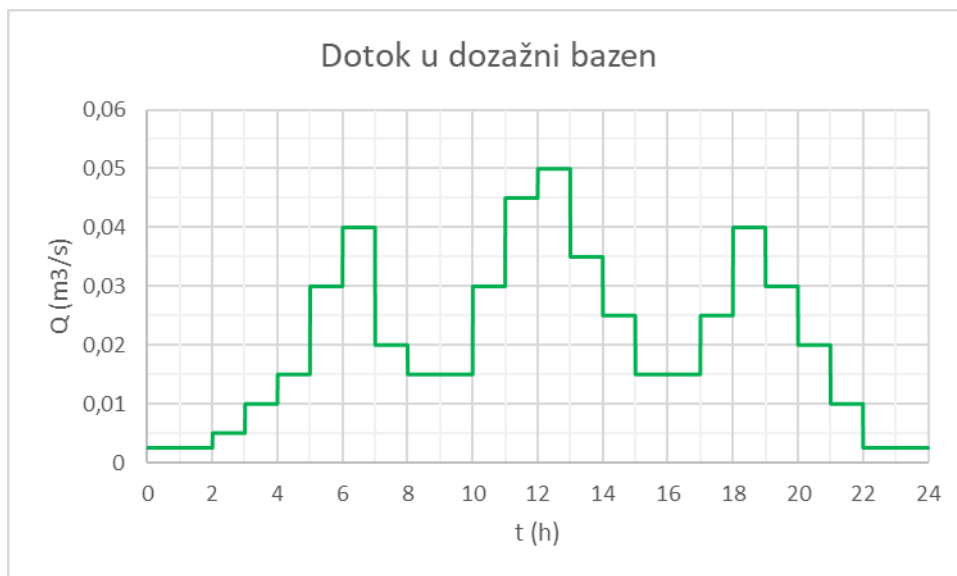
U ovoj varijanti (kao i u idućim varijantama s egzaktno navedenim maksimalnim satnim protokom) modelirana su dinamička stanja u dozažnom bazenu i u podmorskom ispustu za cjelodnevni dotok, s maksimalnom vrijednosti satnog dotoka od 50 (l/s), a promjene dotoka tijekom dana usvojene su prema literaturi (J. Margeta; Vodoopskrba naselja - Građevinski fakultet Split, 2010).

U dinamičkoj analizi funkcioniranja cjelokupnog sustava koji uključuje dozažni bazen i podmorski ispust, usvojena je aproksimacija da protok koji izlazi iz dozažnog bazena istovremeno dolazi u kontakt sa vodom pod tlakom u podmorskom ispustu, čime je zanemarena određena transformacija toka od dozažnog bazena do vode pod tlakom u podmorskom ispustu, a također je zanemarena vremenska razlika od 30 do 50 sekundi. Ova aproksimacija predstavlja inženjersko rješenje i zanemarivo malo utječe na rezultate dinamičkih proračuna.



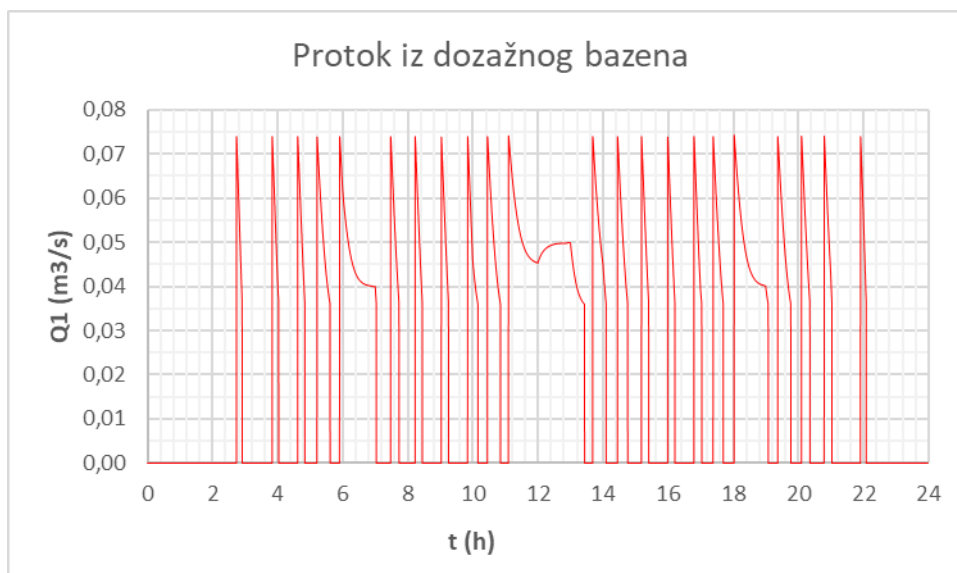
*Slika 4.1. Vodostaj u dozažnom bazenu za maksimalni satni protok od 50 (l/s) u funkciji vremena*

Na prikazanome grafu (slika 4.1.) prikazana je ovisnost vodostaja  $h$  (m n. m.) o vremenu (sati). Prema rezultatima modeliranja, može se iščitati da će se dozažni bazen napuniti 22 puta unutar 24 sata što sugerira da će se zatvarač na ispusnoj cijevi dozažnog bazena otvoriti i zatvoriti 22 puta tijekom jednog dana.

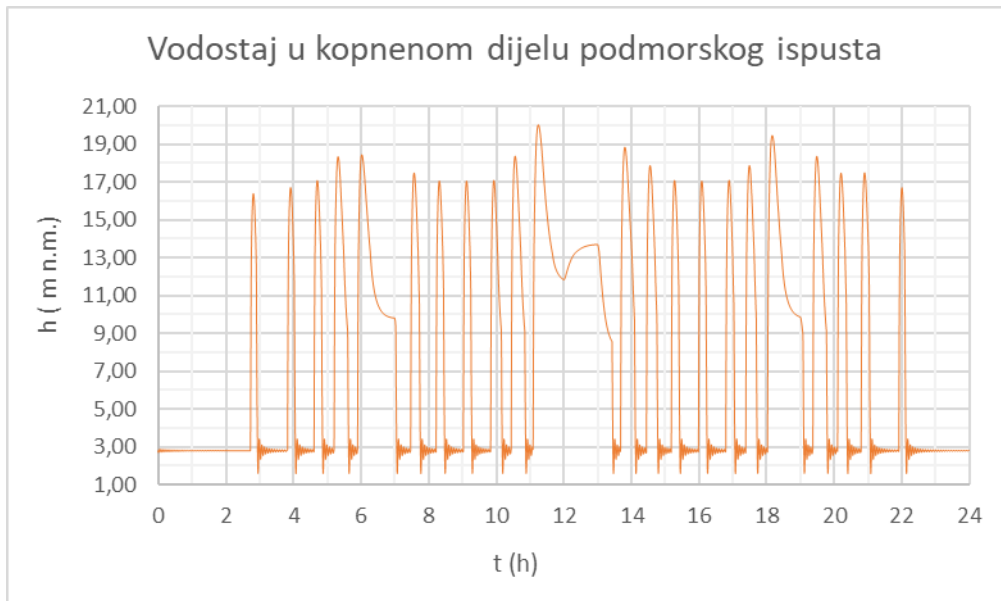


Slika 4.2. Dotok u dozažni bazen za maksimalni satni protok od 50 (l/s)

Na slici 4.2. vidljivo je kako je uporaba vodnih resursa, u kućanstvima na području aglomeracije Jelsa-Vrboska, najviša u periodima od 6 do 7 h, od 11 do 14 h, te od 18 do 20 h.



Slika 4.3. Protok iz dozažnog bazena u cjevovod podmorskog ispusta za maksimalni satni protok od 50 (l/s)



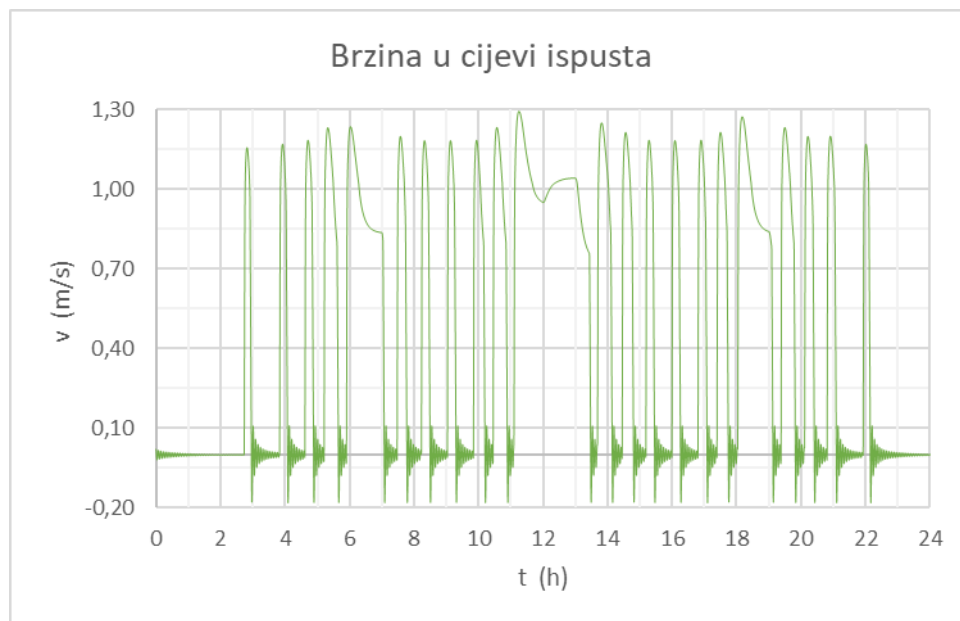
Slika 4.4. Vodostaj u kopnenom dijelu ispusta za maksimalni satni protok od 50 (l/s)

Maksimalni vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta iznosi 20,02 (m n.m.) te se ostvaruje malo poslije 11 sati. Utvrđena maksimalna kota vode daje na zaključak da u niti jednom trenutku ne postoji opasnost da se efluent iz kopnenog dijela ispusta vrati u dozažni bazen, odnosno da smanji protok istjecanja iz dozažnog bazena.



Slika 4.5. Protok u podmorskom dijelu ispusta za maksimalni satni protok od 50 (l/s)

Vrijednosti protoka, u nekim vremenskim periodima, na grafu sa slike 4.5. poprimaju negativne vrijednosti. Negativne vrijednosti označavaju gibanje efluenta u smjeru suprotnom od gravitacijskog tečenja koje je posljedica punjenja podmorskog dijela ispusta morem.



Slika 4.6. Brzina u cijevi ispusta za maksimalni satni protok od 50 (l/s)

Negativne vrijednosti na grafu brzine u cijevi (slika 4.6.) su u korelaciji s gibanjem protoka u smjeru suprotnom od gravitacijskog tečenja. Maksimalna vrijednost na grafu brzine jest 1,3 (m/s) što predstavlja dostatnu veličinu brzine potrebnu za samoispiranje cijevi ispusta, te je na taj način osigurano samoispiranje ispusta i sprječavanje taloženja krutih čestica u cijevi ispusta.



Slika 4.7. Prijedeni put čestice efluenta u cijevi ispusta za maksimalni satni protok od 50 (l/s)

Prijedeni put čestice u iznosu od 1 972 (m) je ostvaren već u petom satu dana što ukazuje da se cijev i pripadni efluent u ispustu isprazni više puta tijekom jednog dana. Također vidljivi su periodi titranja čestice što ukazuje da u tim periodima nema dotoka efluenta sa UPOV-a u dozažni bazen.

#### 4.2. Varijanta 2 – maksimalni satni protok od 70 (l/s)

Ova varijanta predstavlja maksimalni satni protok kojeg se eventualno može očekivati nakon projektnog razdoblja i projektnog maksimalnog satnog protoka (50 (l/s)) koji je prikazan u prethodnom potpoglavlju.



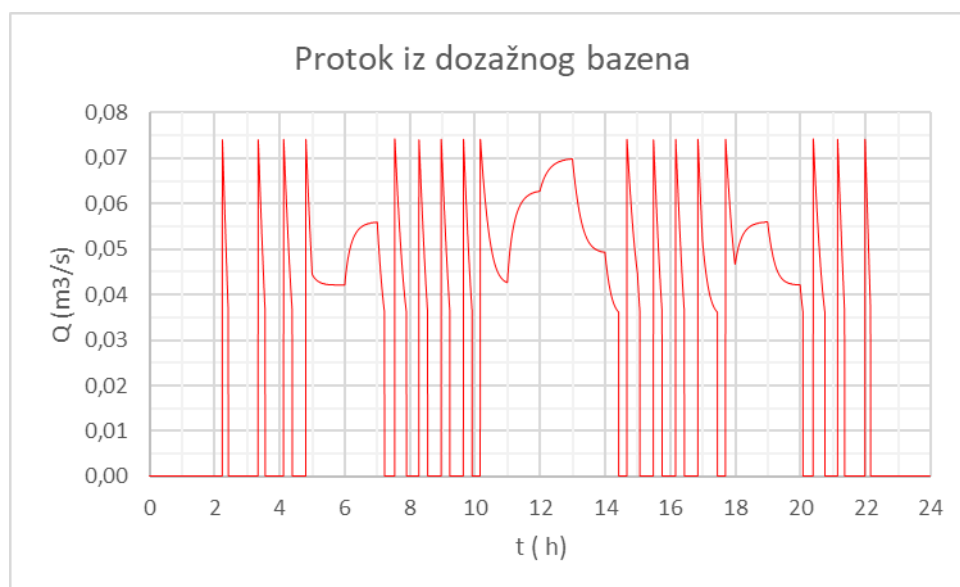
Slika 4.8. Vodostaj u dozažnom bazenu za maksimalni satni protok od 70 (l/s)

Prvo punjenje bazena ostvaruje se nešto poslije 2 sata što je znatno brže nego u slučaju maksimalnog satnog protoka od 50 (l/s). U ovom slučaju, bazen će se napuniti 17 puta što je za 5 punjenja manje nego u prethodnoj varijanti. Zbog velikog iznosa maksimalnog dnevnog protoka, kao i ukupnog volumena dotoka, zatvarač s ispusnom cijevi će biti dulje vrijeme otvoren što rezultira manjim brojem punjenja bazena.

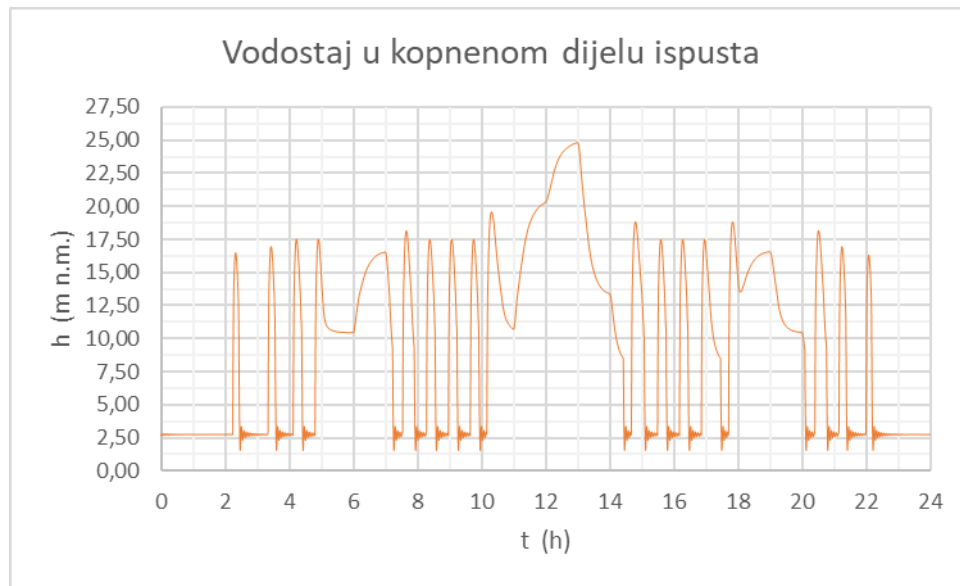




Slika 4.9. Dotok u dozažni bazen za maksimalni satni protok od 70 (l/s)

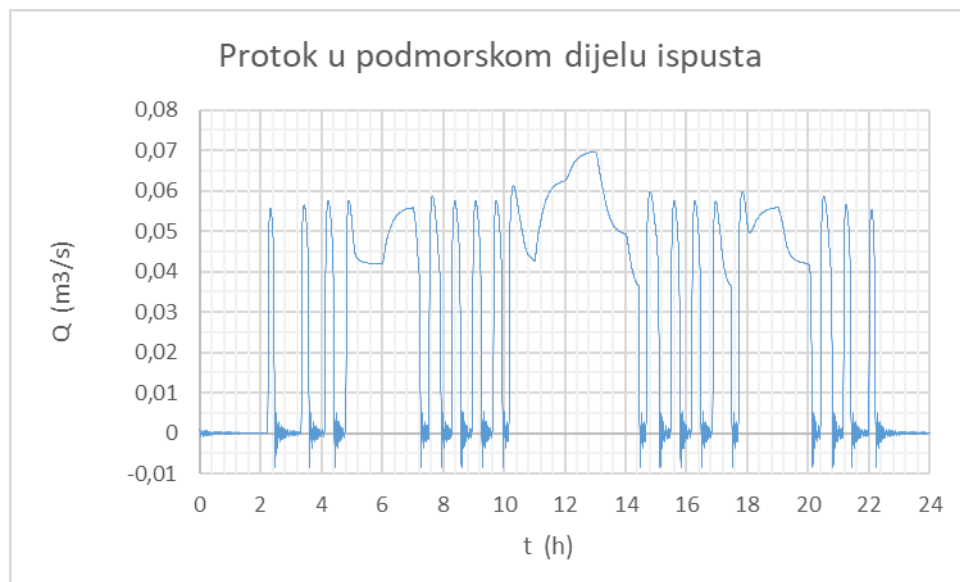


Slika 4.10. Protok iz dozažnog bazena za maksimalni satni protok od 70 (l/s).

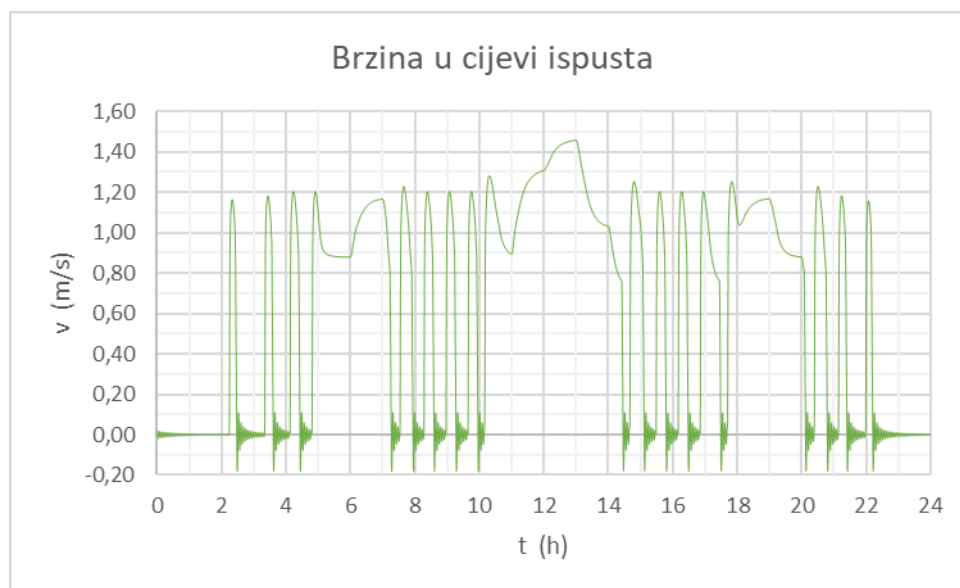


Slika 4.11. Vodostaj u kopnenom dijelu ispusta za maksimalni satni protok od 70 (l/s)

Maksimalna kota vode u kopnenom dijelu ispusta iznosi 25,00 (m n.m.) (slika 4.11.) te se može zaključiti da i za maksimalni satni protok od 70 (l/s) (što se može, eventualno, očekivati u dalekoj budućnosti) projektirani podmorski ispust ima povoljne parametre, te ni u jednom trenutku nije ugroženo funkcioniranje sustava u vidu preopterećenja protokom otpadne vode.



Slika 4.12. Protok u podmorskom dijelu ispusta za maksimalni satni protok od 70 (l/s)



Slika 4.13. Brzina u cijevi ispusta za maksimalni satni protok od 70 (l/s)

Na grafu iznad (slika 4.13.) mogu se primijetiti periodi titranja otpadne vode u ispustnoj cijevi. Titranje ne predstavlja problem za pravilno funkcioniranje podmorskog ispusta jer se može uočiti da se više puta dnevno ostvaruju brzine veće od 1,0 (m/s) te dolazi do ispiranja krutih čestica unutar cijevi.



Slika 4.14. Gibanje čestice kroz cijevi ispusta za maksimalni satni protok od 70 (l/s)

Iz gornjeg grafa vidljivo je da se kompletan volumen ispusta isprazni čak 26 puta u danu što sprječava povećano stvaranje bakterija unutar samog ispusta. Najkraće vrijeme putovanja, jedne čestice, kroz cjelokupnu duljinu cjevovoda ispusta iznosi 24 minute.

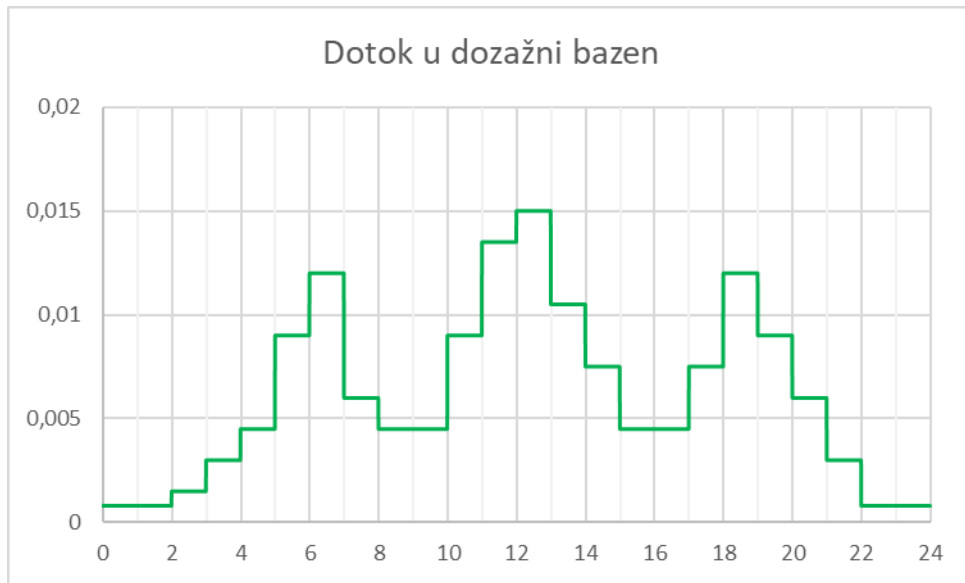
### 4.3. Varijanta 3 - Maksimalni satni protok od 15 (l/s)

U ovom potpoglavlju prikazat će se opterećenje podmorskog ispusta maksimalnim satnim protokom od 15 (l/s). Takav protok predstavlja znatno manju veličinu od one na koju je projektiran ovaj ispust (maksimalni satni protok od 50 (l/s)). Provjerit će se funkcionalnost sustava na ovo opterećenje jer ono približno predstavlja minimalni iznos maksimalnog satnog protoka u zimskom periodu za aglomeraciju Jelsa -Vrboska.

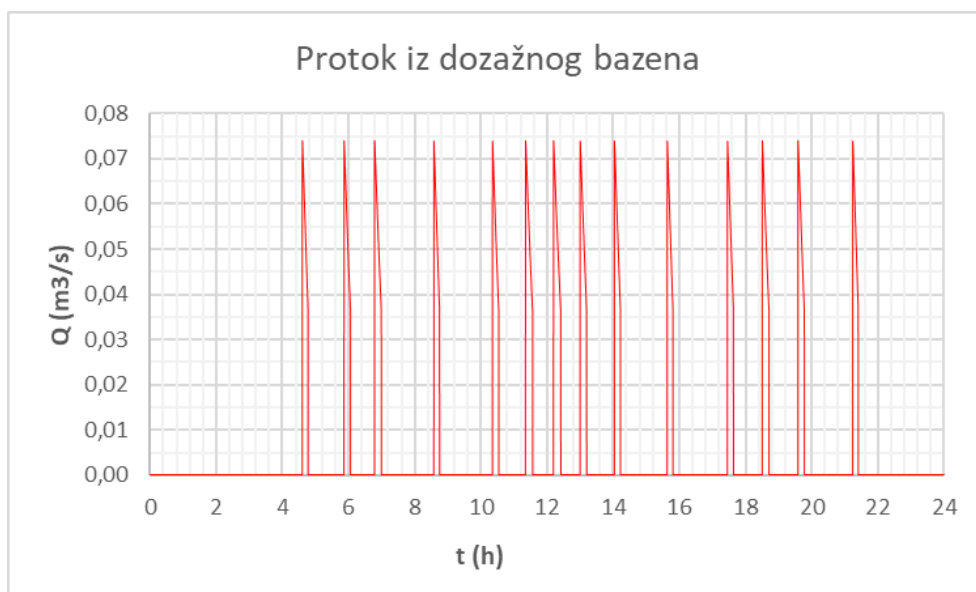


Slika 4.15. Vodostaj u dozažnom bazenu za maksimalni satni protok od 15 (l/s)

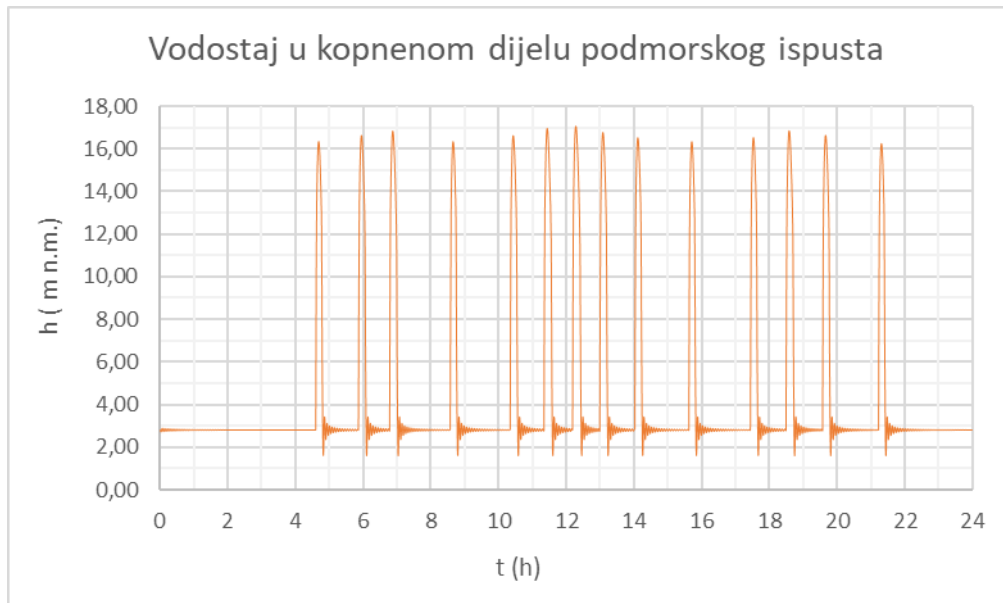
Na grafu iznad vidljiv je manji broj punjenja dozažnog bazena u odnosu na prethodne dvije varijante, no ostvaren je dovoljan broj aktiviranja zatvarača na ispusnoj cijevi kako bi se očuvala njegova funkcionalnost i u zimskom periodu. Zatvarač će se otvoriti, odnosno zatvoriti, 14 puta unutar 24 sata.



Slika 4.16. Dotok efluenta u dozažni bazen za maksimalni satni protok od 15 (l/s)



Slika 4.16. Protok iz dozažnog bazena u cjevovod ispusta za maksimalni satni protok od 15 (l/s)



Slika 4.17. Vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta za maksimalni satni protok od 15 (l/s)

Vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta za maksimalni satni protok od 15 (l/s), zasigurno neće predstavljati prijetnju funkcioniranju sustava podmorskog ispusta jer to nije bio slučaj ni za prethodne varijante s mnogo većim iznosima maksimalnog satnog protoka. To je vidljivo na slici 4.17. gdje se može primijetiti da maksimalni vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta iznosi 17,00 (m n.m.).



Slika 4.18. Protok u podmorskom dijelu ispusta za maksimalni satni protok od 15 (l/s)

Vidljivi su periodi titranja protočne mase (slika 4.18.) što je normalna pojava za periode u kojima nema istjecanja iz dozažnog bazena.



Slika 4.19. Brzina u cijevi ispusta za maksimalni satni protok od 15 (l/s)

Uspješnost projektiranja sustava dokazuje se na slici 4.19. Na gornjem grafu vidljivo je ostvarivanje brzina koje su dostatne za samoispiranje ispusta u zimskim periodima.



Slika 4.20. Gibanje čestice kroz cijev ispusta za maksimalni satni protok od 15 (l/s)

Kompletno pražnjenje cjevovoda, u jednom danu, ostvaruje se 5 puta. To predstavlja dovoljan broj pražnjenja sustava i ispravno funkcioniranje sustava je ostvareno i u tom segmentu za zimski period.

#### 4.4. Varijanta 4 – Konstantan protok od 40 (l/s) u razdoblju od 3 sata

U ovom potpoglavlju, kao i u nekoliko idućih, prikazani su proizvoljni protoci koji svojim načinom i veličinom opterećenja predstavljaju izazov na funkcionalnost podmorskog ispusta. Prvi primjer jest konstantan protok od 40 (l/s) u trajanju od 3 sata.



Slika 4.21. Vodostaj u dozažnom bazenu za varijantu 4

Na slici 4.21. vidljiv je samo jedan maksimum u grafu vodostaja. To je rezultat značajnog i konstantnog protoka od 40 (l/s) u trajanju od 3 sata. Nakon što se dozažni bazen napuni, otvori se zatvarač na ispusnoj cijevi iz dozažnog bazena, te postupno opada razina vode u dozažnom bazenu. Nakon nešto više od jednog sata uspostavlja se stacionarno stanje u sustavu dozažnog bazena, kao i u sustavu podmorskog ispusta. Ostvareni stacionarni vodostaj u dozažnom bazenu iznosi 26.32 (m n.m.). Budući da se dozažni bazen ne isprazni za cijelo vrijeme trajanja ove analize, ne dolazi do zatvaranja zatvarača na ispusnoj cijevi iz dozažnog bazena. Ovom varijantom pokazuje se dobra propusna moć projektiranog ispusta.



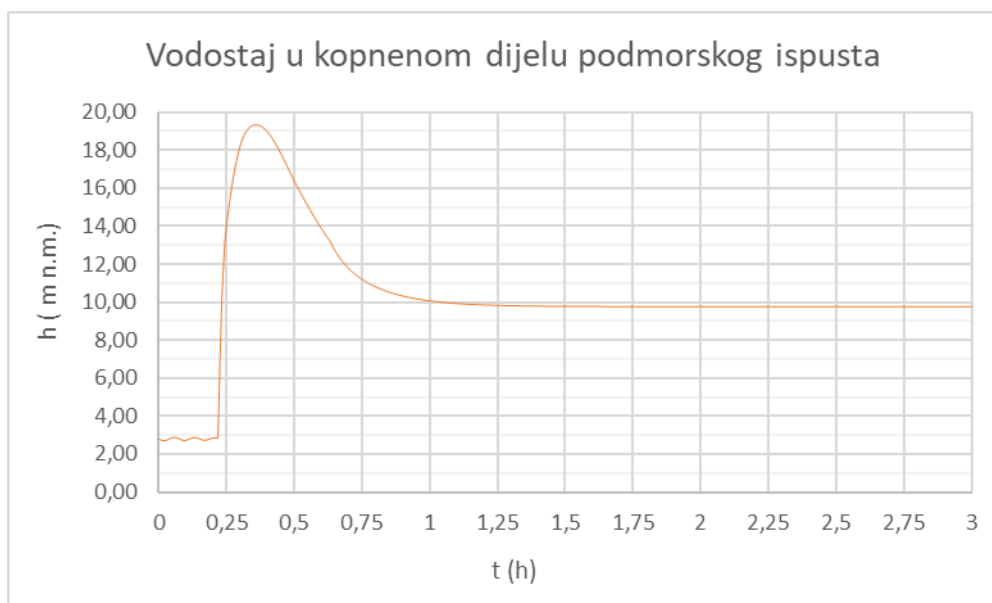


Slika 4.22. Dotok u dozažni bazen za varijantu 4



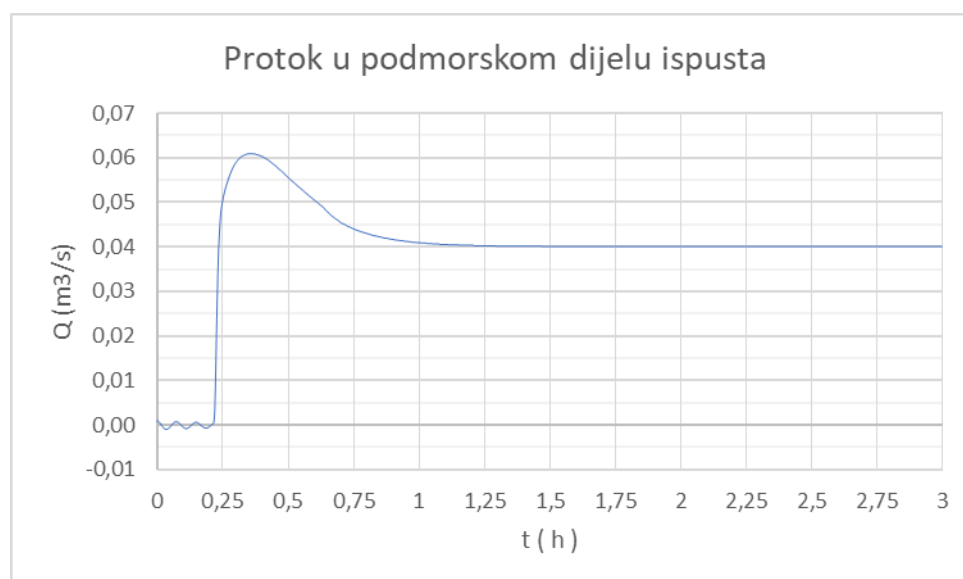
Slika 4.23. Protok iz dozažnog bazena za varijantu 4

Na grafu sa slike 4.23. vidljivo je da je zatvarač na ispusnoj cijevi zatvoren u prvih 14 minuta. Nakon tog perioda, zatvarač se otvara i započinje tečenje efluenta kroz cijev ispusta.



Slika 4.24. Vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta za varijantu 4

Za varijantu 4, kao i za prethodne varijante, ne postoji opasnost od uzdizanja efluenta do kote vrha cijevi kopnenog dijela podmorskog ispusta (26.19 (m n. m.)) te ne postoji mogućnost stvaranja potopljenog istjecanja efluenta u cijev ispusta.



Slika 4.25. Protok u podmorskom dijelu ispusta za varijantu 4

U grafu protoka u podmorskom ispustu za varijantu 4, vidljiv je period od 14 minuta titranja protoka. Nakon toga ostvaruje se protok maksimalne veličine 61 (l/s), te se nakon približno jednog sata od početka analize stabilizira na vrijednosti od 40 (l/s) što je jednako dotoku u dozažni bazen od 40 (l/s).

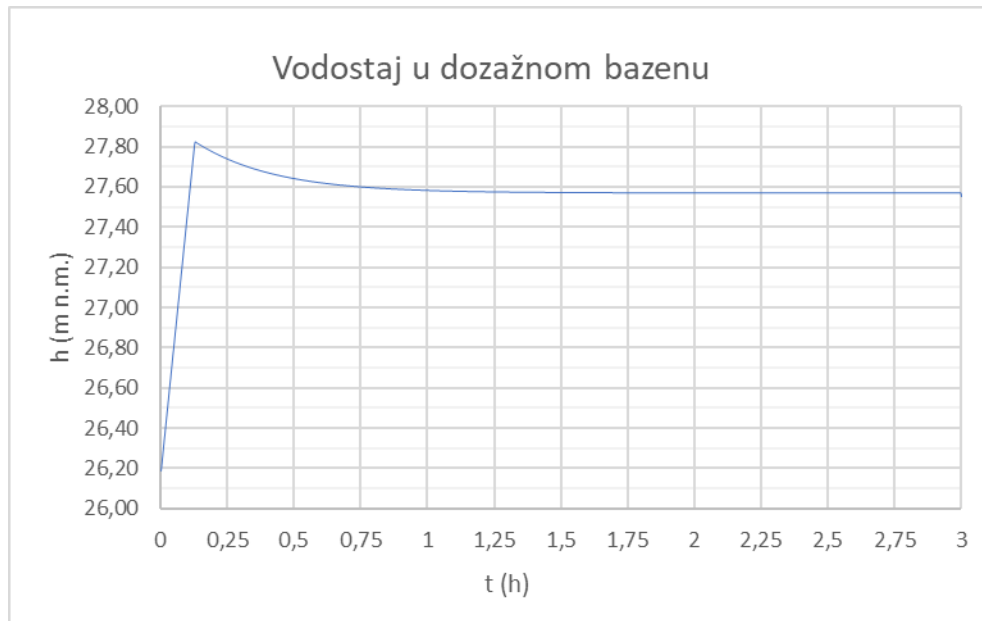


Slika 4.26. Gibanje čestice efluenta kroz cijev ispusta za varijantu 4

Budući da varijantu 4 definira konstantan protok od 40 (l/s), linearni i međusobno usporedni pravci na grafu, gibanja čestice kroz cijev ispusta, logičan su ishod. Zbog konstantne vrijednosti protoka, čestica u jednakim vremenskim intervalima prevaljuje jednak put, odnosno duljinu cjevovoda podmorskog ispusta.

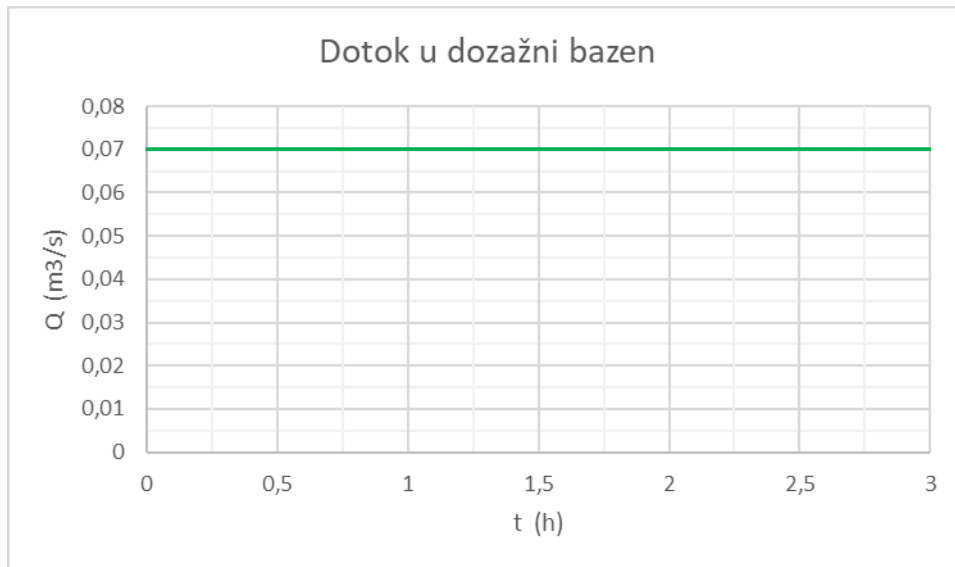
#### 4.5. Varijanta 5 - konstantan protok od 70 (l/s) u razdoblju od 3 sata

Varijanta 5 predstavlja varijantu s konstantnim i velikim opterećenjem podmorskog ispusta protokom otpadne vode od 70 (l/s) u razdoblju od 3 sata. Kao i u prethodnim slučajevima, prikazat će se različiti hidraulički parametri.

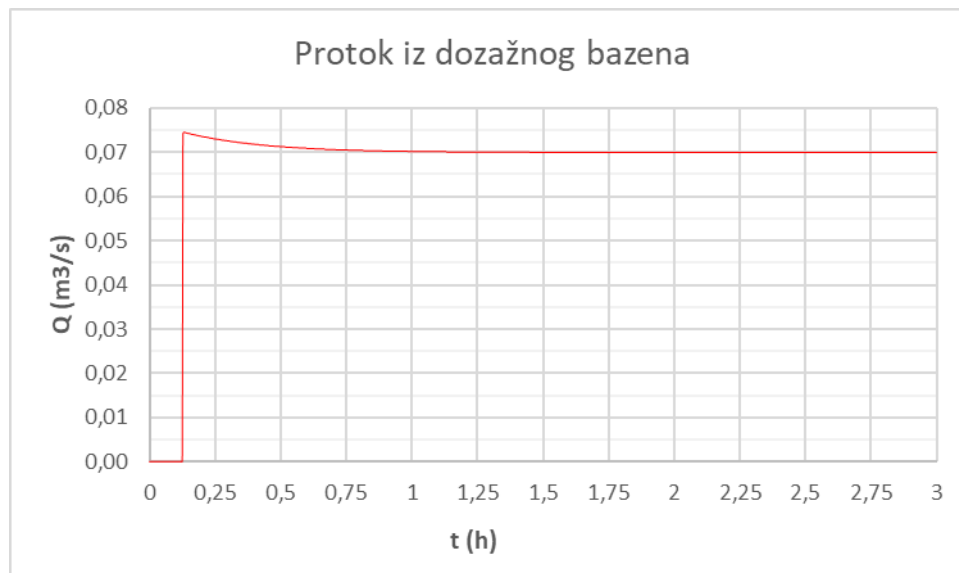


Slika 4.27. Vodostaj u dozažnom bazenu za varijantu 5

Nakon što se aktiviralo otvaranje zatvarača, vidljivo je zadržavanje konstantnog vodostaja od 27,55 (m n.m.) što znači da se razina površine otpadne vode nalazi blizu kote dna ispusne cijevi kojom voda dotječe s UPOV-a u dozažni bazen. Dozažni bazen se uspjeva pravovremeno prazniti s projektiranom ispusnom cijevi uz konstantno otvoren zatvarač.

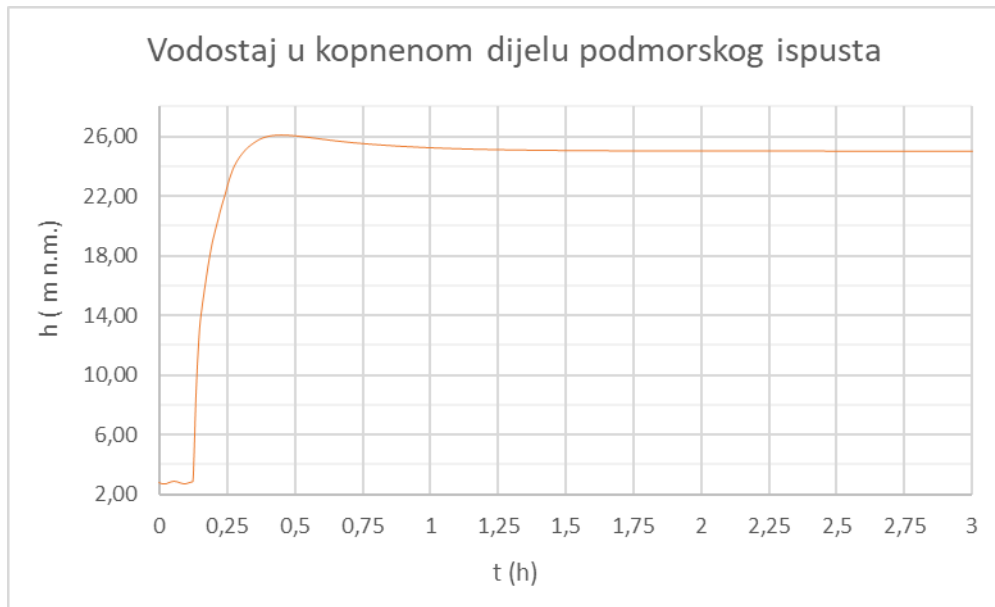


Slika 4.28. Dotok u dozažni bazen za varijantu 5



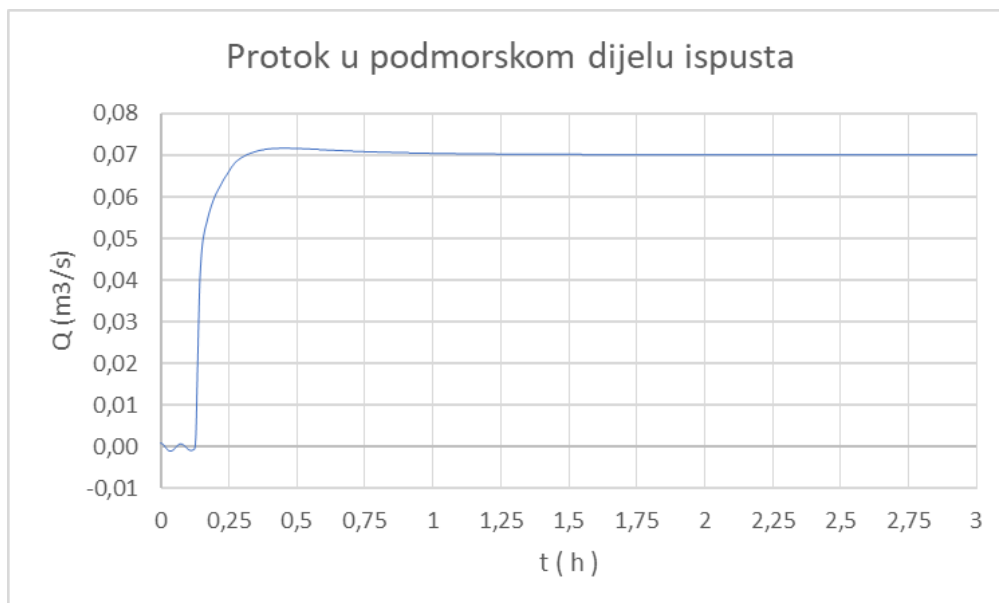
Slika 4.29. Protok iz dozažnog bazena za varijantu 5

Dozažni bazen se napuni u roku od 440 (s). Nakon toga otvara se zatvarač na ispusnoj cijevi s početnim protokom od oko 74 (l/s). Protok istjecanja iz dozažnog bazena se postupno smanjuje i nakon približno 45 minuta dostiže konstanti iznos od 70 (l/s), koji je jednak dotoku u dozažni bazen.



Slika 4.30. Vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta za varijantu 5

Na grafu sa slike 4.30. vidljivo je dosezanje kote od 26,00 m n.m. To znači da u jednom jako kratkom periodu (od 0,5 do 1 min) dolazi do potopljenog istjecanja otpadne vode u cjevovod ispusta. Nakon približno jednog sata dolazi do stacioniranja tečenja u podmorskom ispustu. Stacionarni vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta iznosi 25,03 (m n.m.).



Slika 4.31. Protok u podmorskom dijelu ispusta za varijantu 5



*Slika 4.32. Gibanje čestice kroz cijev ispusta za varijantu 5*

Graf gibanja čestice kroz cijev ispusta, za ovu varijantu, prikazuje jako strme i međusobno paralelne pravce što ukazuje da se cijev ni u jednom trenutku ne ispražnjuje već značajne vodene mase istječu iz cjevovoda u cijelom promatranom razdoblju.

#### 4.6. Varijanta 6 – porast protoka s 30 (l/s) na 50 (l/s) unutar 3 sata

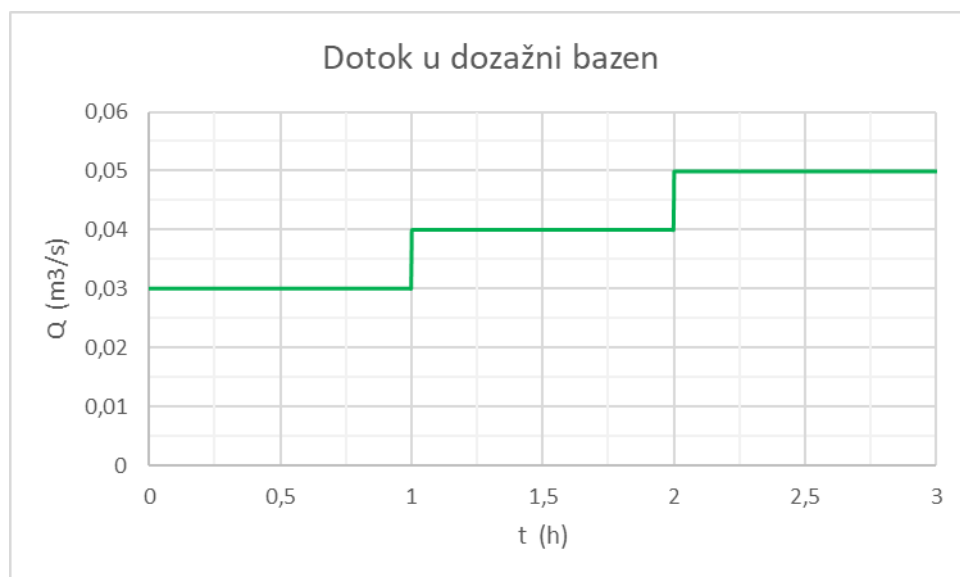
U varijanti 6 prikazani su konstantni protoci od 30, 40 te 50 (l/s) koji pojedinačno traju po jedan sat i nastavljaju se jedan na drugog. Uz pomoć ove varijante prikazat će se kolika je granična, konstantna vrijednost protoka pri kojoj će se još uvijek zatvarati zatvarač na ispusnoj cijevi dozažnog bazena što nije bio slučaj pri velikom konstantnom protoku od 70 l/s.



Slika 4.33. Vodostaj u dozažnom bazenu za varijantu 6

Graf vodostaja u dozažnom bazenu, za varijantu 6, dva puta postiže maksimalnu vrijednost od 27,80 (m n.m.) unutar prvog sata promatranog razdoblja. Nakon toga, u preostala dva sata, vodostaj se ne podiže u značajnoj mjeri s donje kote bazena od 26,19 (m n.m.). Stoga, može se zaključiti da je konstantni protok od 30 (l/s) približno granična vrijednost konstantnog protoka pri kojoj dolazi do povremenog zatvaranja zatvarača na ispusnoj cijevi dozažnog bazena. Za takav protok, propusna moć cjevovoda podmorskog ispusta je puno veća od dotoka efluenta koji pristiže sa UPOV-a.





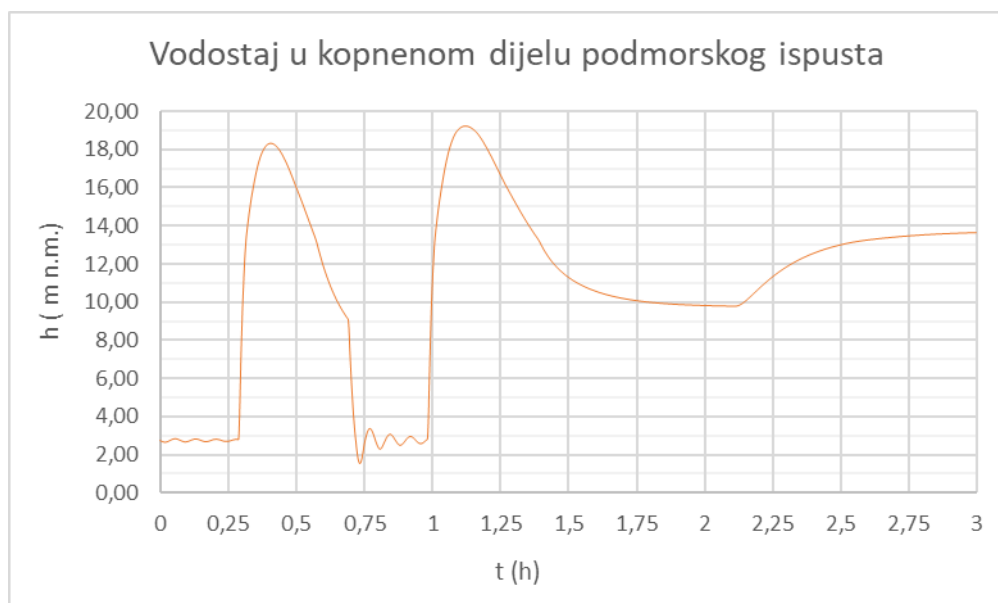
Slika 4.34. Dotok u dozažni bazen za varijantu 6

Slika (4.34.) prikazuje porast dotoka otpadne vode u dozažni bazen u razdoblju od 3 sata. Minimalna vrijednost iznosi 0,03 (m<sup>3</sup>/s), dok je maksimalna vrijednost 0,05 (m<sup>3</sup>/s).



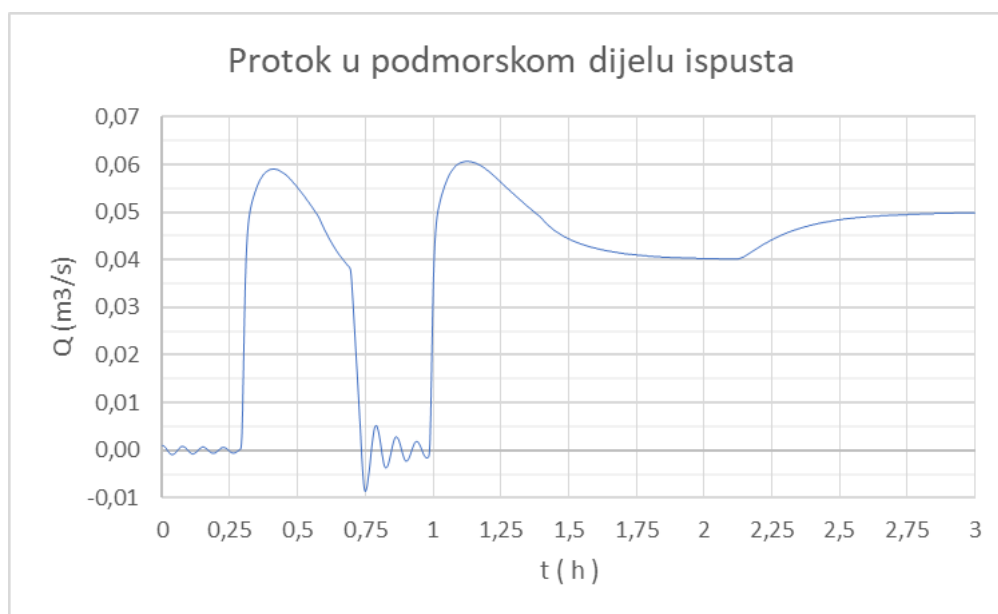
Slika 4.35. Protok iz dozažnog bazena za varijantu 6

Kao što je već definirano, podmorski ispust se bez ikakvih poteškoća nosi s konstantnim protokom od 30 (l/s) te se za to vrijeme dozažni bazen puni vodom i onda, kada se dostigne kota aktivacije otvaranja zatvarača, počinje pražnjenje bazena. Nakon prvog sata, zatvarač se više ne zatvara. Za to vrijeme s UPOV-a pristiže 40 (l/s) otpadne vode, odnosno 50 (l/s).



Slika 4.36. Vodostaj u kopnenom dijelu ispusta za varijantu 6

Vodostaj u kopnenom dijelu ispusta varira s veličine od 2,50 (m n.m.) (pri kojemu se događa titranje vodene mase unutar cijevi) pa sve do 19,10 (m n.m.). Pri ovakvim uvjetima ne postoji opasnost prelijevanja vode iz kopnenog dijela ispusta u bazen jer je profil cjevovoda zadovoljavajućeg promjera.



Slika 4.37. Protok u podmorskom dijelu ispusta za varijantu 6

Uzrok većeg iznosa protoka u prvom satu (kada je dotok otpadne vode u bazen jednak 30 (l/s) u odnosu na protok u preostala dva sata jest zadržavanje, odnosno punjenje dozažnog bazena do vrha. Otvaranjem zatvarača na ispusnoj cijevi počinje istjecati maksimalni protok iz dozažnog bazena koji iznosi oko 74 (l/s). U sljedeća dva sata dozažni bazen se neće napuniti do vrha pa ni ispusni protok iz dozažnog bazena neće postići vrijednost veću od 50 (l/s).

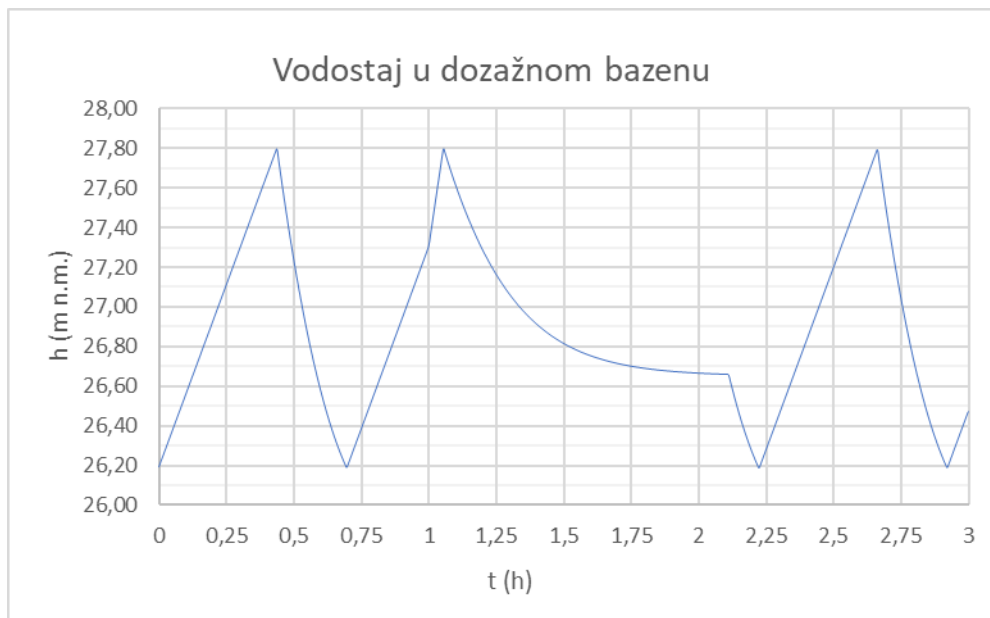


Slika 4.38. Gibanje čestice kroz cijev ispusta za varijantu 6

Strmiji i međusobno bliži pravci, vidljivi su nakon prvog sata jer se protok povećao za 10 (l/s) u prvom satu, odnosno za 20 (l/s) u drugom satu. Na grafu su vidljiva četiri maksimuma. To znači da se četiri puta, u promatranom razdoblju, ispraznio kompletan cjevovod podmorskog dijela podmorskog ispusta.

#### 4.7. Varijanta 7 – promjenjivi protok (20 (l/s) – 50 (l/s) - 20 (l/s))

U ovoj varijanti prikazat će se opterećenje ispusta početnim protokom od 20 (l/s) u trajanju jednog sata, zatim protokom od 50 (l/s) u trajanju od jednog sata, te protokom od 20 (l/s) u trajanju od jednog sata. Pokazat će se funkcioniranje sustava u ovoj varijanti dotoka u dozažni bazen.

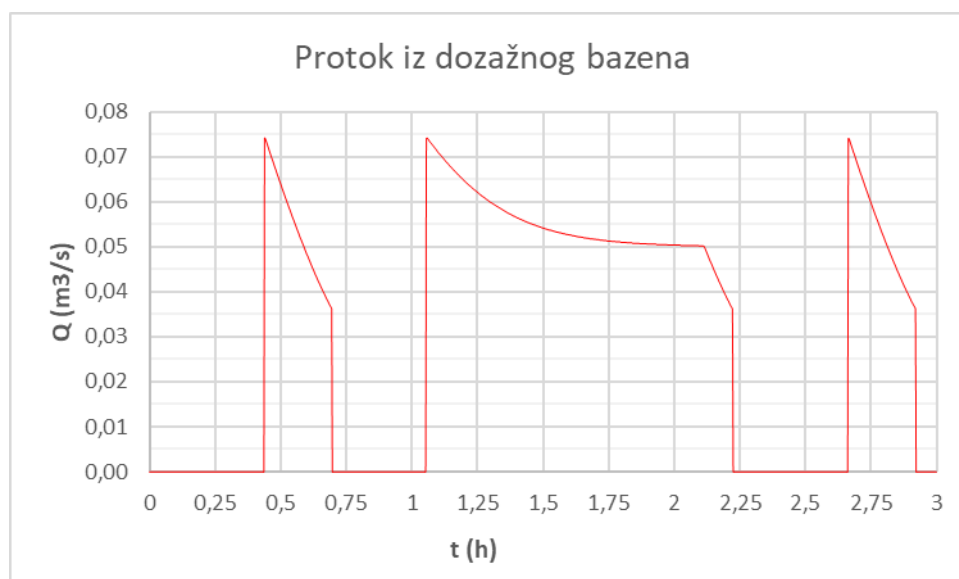


Slika 4.39. Vodostaj u dozažnom bazenu za varijantu 7

Najznačajnije karakteristike, na gornjem grafu, su tri maksimuma grafa vodostaja u funkciji vremena. Početno opterećenje od 20 (l/s) aktivira otvaranje zatvarača na ispusnoj cijevi nakon 25 minuta. Nakon prvog sata, u sustav ispusta dotječe 50 (l/s) otpadne vode s UPOV-a. Budući da je u tom trenutku u cjevovodu vodena masa od prethodnog opterećenja, zatvarač na ispusnoj cijevi je otvoren jer trenutno opterećenje od 50 (l/s) predstavlja veliki protok kojeg nije potrebno zadržavati u bazenu.

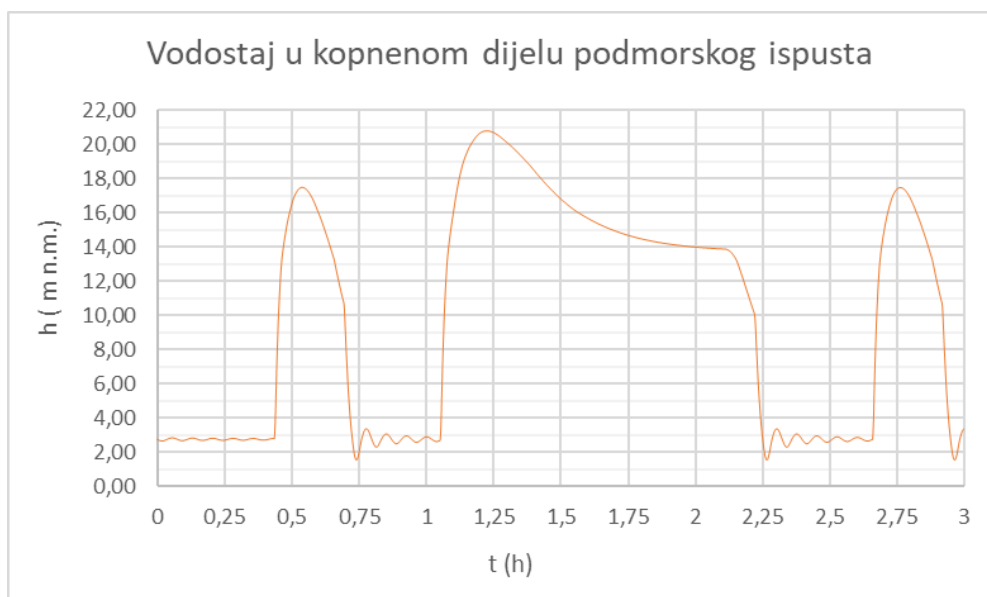


Slika 4.40. Dotok u dozažni bazen za varijantu 7



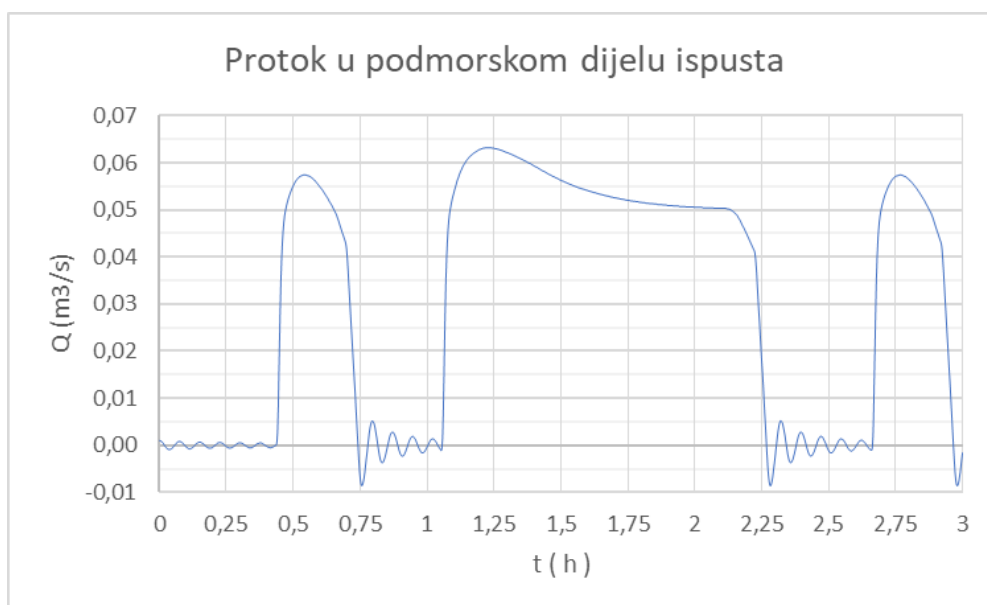
Slika 4.41. Protok otpadne vode iz dozažnog bazen za varijantu 7

Otvaranje zatvarača ispusne cijevi nakon 25 minuta vidljivo je na grafu iznad, kao što je isti događaj vidljiv na grafu vodostaja (slika 4.39.) Nakon dvadeset i pete minute počinje slobodno tečenje otpadne vode kroz cjevovod sve do četrdesete minute. Nakon četrdesete minute, kada je još uvijek prisutan dotok od 20 (l/s), zatvarač na cijevi se zatvara, pa se dozažni bazen puni. Nešto poslije prvog sata događa se drugo otvaranje zatvarača, te se taj događaj ranije dogodi zbog povećanog opterećenja dotoka s UPOV-a. Za protok od 50 (l/s) zatvarač je otvoren što je vidljivo na grafu iznad.



Slika 4.42. Vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta za varijantu 7

Maksimalna vrijednost grafa vodostaja otpadne vode u kopnenom dijelu ispusta iznosi 20,70 (m n.m.) što ne predstavlja prijetnju funkcionalnosti sustava i ne dolazi do potopljenog istjecanja otpadne vode u cjevovod ispusta.



Slika 4.43. Protok otpadne vode u podmorskom dijelu ispusta za varijantu 7

Na grafu iznad vidljivi su značajniji periodi titranja vodene mase. Pojava titranja usko je povezana sa zatvaranjem zatvarača na ispusnoj cijevi ispusta jer u tom periodu nastaju oscilacije vodene mase u cijevi podmorskog ispusta, bez dotoka iz dozažnog bazena. Negativni protoci u cijevi podmorskog ispusta znače da more ulazi u cjevovod kroz difuzor.



Slika 4.44. Gibanje čestice kroz cijev ispusta za varijantu 7

Nakon 45 minuta tečenja, vidljivo je da promatrana čestica prelazi u stanje titranja unutar cijevi što daje na zaključak da se u tom periodu dozažni bazen puni vodom. Kasnije, u promatranom razdoblju, protok se povećava na 50 (l/s) što osigurava konstantno gibanje čestice kroz cjevovod i samim time ubrzano pražnjenje sustava.

## 5. ZAKLJUČAK

Svrha ovog diplomskog rada bila je provjeriti i potvrditi funkcionalnost sustava na različite varijante i veličine protoka. Nakon što su se uspostavile po dvije nelinearne jednadžbe za oba podsustava (dozažni bazen i cjevovod ispusta), stvorili su se preduvjeti za kreiranje programskog rješenja u programskom jeziku FORTRAN 95. Nakon provedenih dinamičkih analiza rada sustava mogu se izvući neki zaključci. Projektirani podmorski ispušt, sa svojim cjevovodom DN 280, zadovoljava po svim hidrauličkim parametrima kada je opterećen maksimalnim satnim protokom od 50 (l/s). Ne postoji mogućnost pojave potopljenog istjecanja kao ni mogućnost pojave puknuća cijevi uslijed djelovanja tečenja otpadne vode kroz ispušt sustava. Također, dokazana je funkcionalnost sustava i na opterećenje maksimalnim satnim protokom od 70 (l/s), što predstavlja maksimalni satni protok ovog naselja u daljnjoj budućnosti. Analiza je napravljena i za maksimalni satni protok od 15 (l/s) čime je dokazana funkcionalnost sustava u zimskom periodu. Drugim varijantama i veličinama protoka prikazane su neke zanimljivosti sustava i hidrauličke pojave unutar samog ispusta iz kojih se može vidjeti da sustav ispravno funkcionira i pri značajnim razlikama dotoka u kratkom vremenskom razdoblju od nekoliko sati. Dokazana je i optimalna uporaba zatvarača na ispusnoj cijevi unutar dozažnog bazena čime se minimalizira mogućnost pojave kvarova zatvarača. Samoispiranje ispusta ostvareno je za sve varijante što ovom sustavu daje zavidnu razinu funkcionalnosti.



## 6. LITERATURA

[1] „*Idejni projekt podmorskog ispusta kanalizacijskog sustava Jelsa – Vrboska (izmjena i dopuna)*“ –(prof.dr.sc. Davor Bojanić), 2021. godine u Splitu

[2] „*Obalno inženjerstvo – predavanja : Podmorski ispusti i cjevovodi*“ (prof.dr.sc. Veljko Srzić ), Split, ožujak/travanj 2020. godine

[3] „*Kratke osnove rada s programskim jezikom FORTRAN*“, (prof.dr.sc.Alen Harapin), Split: Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2009. godine

[4] „*Osnove hidromehanike*“ (prof.dr.sc. Vinko Jović) , Split, 2006. godine