

# Izbor projektnih parametara i definicija režima rada podmorskog ispusta UPOV-a Biloševac u Makarskoj

---

Raič, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:774051>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-02**

*Repository / Repozitorij:*



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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

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

# **DIPLOMSKI RAD**

**Ivana Raič**

**Split, 2021.**

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

**Ivana Raič**

**Izbor projektnih parametara i definicija režima rada  
podmorskog ispusta UPOV-a Biloševac u Makarskoj**

**Diplomski rad**

**Split, 2021.**

## **Izbor projektnih parametara i definicija režima rada podmorskog ispusta UPOV-a Biloševac u Makarskoj**

### ***Sažetak:***

Radom je obuhvaćena analiza pijezometrijskih stanja u podmorskom ispustu UPOV-a za varijabilne parametre cjevovoda i količine ispuštanja sa dozažnog bazena te analiza stanja recipijenta za različite parametre difuzora, duljine cjevovoda i količine dotoka u cjevovod. Potom su definirani rasponi projektnih parametara cjevovoda, difuzora i rasponi istjecanja u ispust koje će osigurati povoljna pijezometrijska stanja u podmorskom ispustu i povoljno stanje recipijenta.

### ***Ključne riječi:***

podmorski ispust, difuzor, hidrauličko dimenzioniranje, ekološko dimenzioniranje

## **Selection of project parameters and definition of the operational regimes of the subsea outfall of wastewater treatment plants Biloševac in Makarska**

### ***Abstract:***

This project includes analysis of piezometric conditions in the subsea outfall for variable pipeline parameters and the amount of discharge from the dosing basin and the analysis of the recipient condition for different diffuser parameters, pipeline length and amount of inflow into the pipeline. Then, the ranges of project parameters of pipelines, diffusers and outflow ranges were defined, which will ensure favorable piezometric conditions in the submarine outlet and favorable condition of the recipient.

### ***Keywords:***

subsea outfall, diffuser, hydraulic design, ecological design

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

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Ivana Raič

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083217533

KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**

PREDMET: Obalno inženjerstvo

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Izbor projektnih parametara i definicija režima rada podmorskog ispusta UPOV-a Biloševac u Makarskoj

Opis zadatka: Temeljem dostupnog Idejnog projekta UPOV-a Biloševac i podmorskog ispusta istog, diplomskim radom potrebno je:

- Dati pregled parametara projektnog rješenja prikazanog u sklopu Idejnog projekta;
- Usvojiti parametre idejnog projekta kao polazište;
- Sustavno prikazati teorijsku podlogu za hidrauličku analizu sustava dozažni bazen – podmorski ispust – difuzorska sekcija;
- Osigurati pregled teorijskih postavki ekološkog dimenzioniranja recipijenta;
- Izvršiti analizu pijeziometarskih stanja u sustavu u nestacionarnim uvjetima za varijabilne parametere cjevovoda podmorskog ispusta i količine ispuštanja iz dozažnog bazena u ispust uz osiguranje minimalnih brzina tečenja za samoispiranje cjevovoda i nepotopljenog istjecanja ispod zapornice u dozažnom bazenu;
- Izvršiti analizu stanja recipijenta za varijabilne parametere difuzora i količine ispuštanja iz dozažnog bazena u ispust u ljetnim (prisutna termohalinska stratifikacija) i zimskim uvjetima.
- Jasno i jednoznačno specificirati raspon projektnih parametara podmorskog ispusta i difuzorske sekcije kao i povoljne režime rada sustava za koje se osiguravaju povoljna pijeziometarska stanja u sustavu i povoljna stanja recipijenta.

U Splitu, 17.4.2021.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Veljko Srzić

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:

Doc. dr. sc. Ivo Andrić

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b>	<b>6</b>
<b>1.1. OBUHVAT IDEJNOG PROJEKTA</b>	<b>6</b>
1.1.1. PREDMET CJELOKUPNOG IDEJNOG PROJEKTA	6
<b>1.2. CILJ DIPLOMSKOG RADA</b>	<b>8</b>
<b>2. TEHNIČKI OPIS</b>	<b>9</b>
<b>2.1. TEHNIČKI OPIS CJELOKUPNOG RJEŠENJA IDEJNOG PROJEKTA</b>	<b>9</b>
<b>3. IZBOR PARAMETARA CJEVOVODA PODMORSKOG ISPUSTA DINAMIČKOM ANALIZOM RADA SUSTAVA DOZAŽNI BAZEN – PODMORSKI ISPUST - DIFUZOR</b>	<b>12</b>
<b>3.1. DOZAŽNI BAZEN</b>	<b>12</b>
3.1.1. ISTJECANJE IZ DOZAŽNOG BAZENA U REŽIMU UOBIČAJENOG RADA	13
3.1.2. ISTJECANJE IZ DOZAŽNOG BAZENA U REŽIMU INCIDENTNOG RADA	14
<b>3.2. KOPNENA I PODMORSKA DIONICA ISPUSTA</b>	<b>15</b>
3.2.1. DINAMIČKA ANALIZA PIJEZOMETARSKIH STANJA U PODMORSKOM ISPUSTU	15
<b>3.3. PROJEKTNI PARAMETRI IDEJNOG PROJEKTA PODMORSKOG ISPUSTA BILOŠEVAC</b>	<b>18</b>
3.3.1. KOPNENA DIONICA	20
3.3.2. PODMORSKA DIONICA	21
<b>3.4. IZBOR NAZIVNOG PROMJERA PODMORSKE I NADMORSKE DIONICE CIJEVI</b>	<b>22</b>
3.4.1. TEČENJE POD TLAKOM	22
3.4.2. TEČENJE SA SLOBODNIM VODNIM LICEM	27
<b>4. IZBOR PARAMETARA DIFUZORA TEMELJEM PROCJENE STANJA RECIPIJENTA NUMERIČKIM MODELOM</b>	<b>35</b>
<b>4.1. UVOD</b>	<b>35</b>
<b>4.2. MEHANIZMI RAZRJEĐENJA</b>	<b>36</b>
4.2.1. KARAKTERISTIKE EFLUENTA	37
4.2.2. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI NESTRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE BEZ DJELOVANJA MORSKIH STRUJA	38
4.2.3. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI NESTRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE UZ DJELOVANJE MORSKIH STRUJA	38
4.2.4. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI STRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE BEZ DJELOVANJA MORSKIH STRUJA	39
4.2.5. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI STRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE UZ DJELOVANJE MORSKIH STRUJA	39
4.2.6. RAZRJEĐENJE U DALEKOJ ZONI UZ ODUMIRANJE MIKROORGANIZAMA	40
<b>4.3. ZAKONSKA REGULATIVA</b>	<b>41</b>
<b>4.4. ULAZNI PARAMETRI</b>	<b>42</b>
<b>4.5. LJETO – STRATIFICIRANI RECIPIJENT</b>	<b>49</b>
<b>4.6. ZIMA – NESTRATIFICIRANI RECIPIJENT</b>	<b>57</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b>	<b>61</b>
<b>6. PRILOZI</b>	<b>63</b>
<b>6.1. POPIS PRILOGA</b>	<b>63</b>
<b>7. REFERENCE</b>	<b>64</b>
<b>7.1. POPIS LITERATURE</b>	<b>64</b>
<b>7.2. POPIS INTERNET VEZA</b>	<b>64</b>

## 1. UVOD

### 1.1. OBUHVAT IDEJNOG PROJEKTA

#### 1.1.1. PREDMET CJELOKUPNOG IDEJNOG PROJEKTA

Obuhvat ovog Idejnog projekta za ishođenje lokacijske dozvole je **izgradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda** (u nastavku: UPOV) "Biloševac" s **pristupnim putom, podmorskim ispustom i transportnim vodom od CS "Plišćevac" do UPOV-a "Biloševac"**. Također, projektom je obuhvaćena i izgradnja trafo stanice s priključnim SN kabelskim vodom te rekonstrukcija vode u koridoru planirane kanalizacije.

Namjeravan zahvat je dio projekta za poboljšanje vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska planiran tijekom izrade Studije izvodljivosti (studijske dokumentacije za sufinanciranje iz EU fondova).

Sustav odvodnje s uređajem za pročišćavanje otpadnih voda je **složena građevina**. Zahvat koji je obuhvaćen ovim idejnim projektom čine dvije zasebne cjeline:

- . Izgradnja UPOV-a "Biloševac" s pristupnim putom, podmorskim ispustom i transportnim vodom CS Plišćevac-CS Biokovka-CS Biloševac-UPOV Biloševac,
- . Izgradnja trafo stanice sa srednje naponskim elektro kabelskim vodom za priključenje nove TS na postojeću mrežu.

Ovaj idejni projekt za ishođenje lokacijske dozvole se sastoji od dvije (2) mape:

**MAPA 1/2** *Izgradnja vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska* **UREĐAJ ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA "BILOŠEVAC" S PRISTUPNIM PUTOM, PODMORSKIM ISPUSTOM I TRANSPORTNIM VODOM CS "PLIŠĆEVAC"-UPOV "BILOŠEVAC UPOV BILOŠEVAC S PRISTUPNIM PUTEM I TRAFU STANICOM** (vodeća mapa)  
Građevinski, arhitektonski, elektro-strojarski i tehnološki projekt

**MAPA 2/2 Izgradnja vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska UREĐAJ  
ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA "BILOŠEVAC" S  
PRISTUPNIM PUTOM, PODMORSKIM ISPUSTOM I TRANSPORTNIM  
VODOM CS "PLIŠĆEVAC"-UPOV "BILOŠEVAC  
  
**TRANSPORTNI VOD I PODMORSKI ISPUST****

Građevinski i elektrotehnički projekt

Planirana je izgradnja **novog transportnog voda** (gravitacija + tlačni) od postojeće CS Plišćevac na istoku prema UPOV-u Biloševac na zapadu.

Početak planiranog zahvata je kod postojeće CS Plišćevac, predviđeno je prilagođavanje rada crpne stanice tako da može crpiti u dva smjera: smjer prema postojećem UPOV-u Sv. Petar i prema planiranom UPOV-u Biloševac. Obzirom da se predmetno prilagođavanje rada odnosi samo na djelomičnu izmjenu cijevnog sustava unutar crpne stanice ona nije predmet ovog idejnog projekta.

Početak planiranog zahvata počinje izgradnjom okna mjerača uz postojeću CS Plišćevac. Okno mjerača se nalazi na novom tlačnom cjevovodu (T-1) (Prilog 1) kojim se otpadne vode iz postojeće CS Plišćevac precrpljuju do prekidnog okna iznad Hotela Dalmacija u kanal K-2.1 (Prilog 2 i 3) . Dalje otpadna voda teče planiranim gravitacijskim kanalom (K- 2.1) do rekonstruirane / nove CS Biokovka .

Nova CS Biokovka zamjenjuje postojeću koja se napušta. Od CS Biokovka gradi se novi tlačni cjevovod (T-2) (Prilog 4) kojim se otpadne vode iz CS Biokovka precrpljuju dalje na zapad do prekidnog okna u obalnoj šetnici odakle se nastavlja novi kanal (K-3.1) do planirane CS Biloševac (Prilog 5).

CS Biloševac je zadnja crpna stanica u sustavu koja prebacuje sve otpadne vode aglomeracije Makarska tlačnim cjevovodom (T-3) na UPOV Biloševac (Prilog 6).



## 1.2. CILJ DIPLOMSKOG RADA

Cilj ovog rada je hidrauličko i ekološko dimenzioniranje podmorskog ispusta koji je dio Mape 2/2, a koja obuhvaća izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (u nastavku: UPOV) "Biloševac" s pristupnim putom, podmorskim ispustom i transportnim vodom od CS "Plišćevac" do UPOV-a "Biloševac".

Podmorski ispust je dio planiranog kanalizacijskog sustava područja grada Makarske koji se nastavlja na UPOV Biloševac i služi za odlaganje pročišćenih otpadnih voda iz uređaja za pročišćavanje otpadnih u podmorje sukladno uvjetima u **Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda** (NN 80/13, 43/14, 27/15 i 3/16) i **Uredba o kakvoći mora za kupanje** (NN 073/08).

Pročišćena otpadna voda/efluent se preko dozažnog bazena (bazen pročišćene vode) ispušta u okno za uzorkovanje odakle gravitacijski, podmorskim ispustom otječe u podmorje, do dubine od cca 40 m, kod difuzora.

Početak podmorskog ispusta je od okna uzorka na parceli uređaja, a završetak na kraju difuzorske dionice. Podmorski ispust čini kopnena dionica duljine  $L_k = \text{cca } 157 \text{ m}$ , na koju se nastavlja podmorska dionica  $L_p = \text{cca } 700 \text{ m}$  i difuzor  $L_d = 60,3 \text{ m}$ , što je ukupno  $L_{uk} = 917,3 \text{ m}$ .

Sam ispust čine objekti na kopnu (dozažni bazen, cjevovod kopnenog dijela ispusta i odzračno okno) i objekti u moru (cjevovod podmorskog dijela ispusta i difuzor).

Zadatak je na pouzdan način disponirati pročišćene otpadne vode u more jugozapadno od uvale Vepric u središtu grada Makarske na dubini od cca. 40 (m n. m.) zadovoljavajući hidrauličke, tehničke, ekološke i druge tražene uvjete i standarde mora.

Diplomski rad u potpunosti se oslanja na tehničko rješenje definirano Idejnim projektom, uzimajući projektne parameter kao ishodišne vrijednosti u postupku definicije konačnih vrijednosti projektних parametara i režima rada sustava dozažni bazen – podmorski ispust – difuzor.

## 2. TEHNIČKI OPIS

### 2.1. TEHNIČKI OPIS CJELOKUPNOG RJEŠENJA IDEJNOG PROJEKTA

Sve kanalizacijske objekte treba projektirati u skladu s hrvatskim normama:

HRN EN 476 :	Opći zahtjevi za dijelove koji se upotrebljavaju u odvodnim
HRNEN 752-1 do 7:	cijevima, odvodnji i kanalizaciji za gravitacijske sustave Odvodni i
HRN EN 1433:	kanalizacijski sustavi izvan zgrada Odvodni kanali za prometna i
HRNEN 1610:	pješačka područja Polaganje i ispitivanje kanalizacijskih cjevovoda i
HRNEN 1671:	kanala Tlačni kanalizacijski sustavi izvan građevina

Način polaganja elektroenergetskih kabela u skladu s "Tehničkim uvjetima za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV" - Prve izmjene i dopune ( HEP Vjesnik - Bilten br. 130, od 31. prosinca 2003. godine).

Kanalizacijski objekti transportnog voda Mape 2/2 Idejnog projekta sastoji se od nekoliko građevina i instalacija:

Rekonstrukcija postojećeg fekalnog kanala - kanal K-1.10

Nazivi profil rekonstruiranog kanala je DN 250 mm, a duljina je  $L = \text{cca } 120 \text{ m}$ . Trasa kanala je u zajedničkom rovu s tlačnim cjevovodom T-1 na predjelu kod Hotela Dalmacija. Kanal se ulijeva u postojeći kanal u šetnici dr. F. Tuđmana.

Tlačni cjevovod postojeće CS Plišćevac (oznake T-1)

Nazivni profil cjevovoda je DN 400 mm i duljine je  $L = \text{cca } 913 \text{ m}$ . Trasa cjevovoda je obalnoj šetnici dr. F. Tuđmana i u ulici kralja Petra Krešimira IV. Početak cjevovoda je u oknu mjerača protoka uz postojeću CS Plišćevac, a kraj u prekidnom oknu u ulici kralja Petra Krešimira IV (pokraj hotela Dalmacija), na početku kanala K-2.1. Njihova namjena je transport fekalnih otpadnih voda.

Fekalni kanal K-2.1

Nazivi profil kanala je DN 500 mm, duljina je  $L = \text{cca } 502 \text{ m}$  Trasa kanala u ulici kralja Petra Krešimira IV i Putu Cvitačke. Početak kanala ju prekidnom oknu tlačnog cjevovoda CS Plišćevac (T-1), a kraj u crpnom bazenu CS Biokovka.

## Fekalni kanal K-2.2

Nazivi profil kanala je DN 500 mm, a duljina je  $L = \text{cca } 116 \text{ m}$ . Trasa kanala je u ulici Alberta Fortisa, predio Ratac (iznad hotela Dalmacija). Kanal počinje sa spajem na postojeći u ulici Ante Starčevića (koji se u nastavku blindira - vidi preglednu situaciju na HOK) i ulijeva se u početno okno na kanalu K-2.1.

### Crpna stanica Biokovka

Crpna stanica Biokovka je druga crpna stanica u nizu transportnog sustava kojim se otpadne vode precrpljuju prema novom uređaju na Biloševcu. Prikupljene otpadne vode precrpljuju se tlačnim cjevovodom T-2 u sliv sljedeće crpne stanice u nizu, a to je CS Biloševac.

Postojeća CS Biokovka koja se nalazi u šetnici Put Cvitačke na križanju s Ulicom Rosseto Degli Abruzzi se napušta a njene se otpadne vode preusmjeravaju u rekonstruiranu (novu) CS Biokovka koja je predmet ovog idejnog projekta. Sadašnja crpna stanica ima instalirane 2 crpke, režima 1+1 (1 radna + 1 rezervna).

Crpna stanica smjestit će se u javnoj (gradskoj) površini na križanju obalne šetnice Put Cvitačke i Rosseto Degli Abruzzi i to ispod (južno od) šetnice, bliže moru.

### Tlačni cjevovod rekonstruirane (nove) CS Biokovka (oznake T-2)

Nazivni profil cjevovoda DN 450 mm, duljine  $L = \text{cca } 398 \text{ m}$ . Trasa cjevovoda je obalnoj šetnici Put Cvitačke. Početak cjevovoda je u novoj CS Biokovka, a kraj u prekidnom oknu smještenom u obalnoj šetnici Put Cvitačke, na početku kanala K-3.1.

## Fekalni kanal K-3.1.

Nazivi profil kanala DN 500, a duljina je  $L = \text{cca } 560 \text{ m}$ . Trasa kanala u Putu Cvitačke. Početak kanala ju prekidnom oknu tlačnog cjevovoda CS Biokovka (T-2), koje je na križanju ove ulice s ulicom I.G. Kovačića, a kraj kanala je u crpnom bazenu CS Biloševac.

### Crpna stanica Biloševac

Crpna stanica Biloševac je treća i zadnja u nizu crpnih stanica transportnog sustava kojim se sve otpadne vode aglomeracije Makarska precrpljuju na novi uređaj za pročišćavanje otpadnih voda - Biloševac u Makarskoj. Prikupljene otpadne vode se precrpljuju tlačnim cjevovodom oznake T-3 na UPOV. Tlačni cjevovod T-3 ima dva voda odnosno profila je  $2 \times \text{DN } 355 \text{ mm}$ . Svaki od njih završava na zasebnom kanaluprije kompaktnog predtretmana UPOV-a Biloševac (pogonska zgrada).

## Podmorski ispust

### Namjena

Pripadaju u skupinu građevina za javnu odvodnju otpadnih voda. Njihova namjena je transport i odlaganje pročišćenih otpadnih voda u morski okoliš.

### Karakteristike podmorskog ispusta

Nazivni profil ispusta je DN 315 mm, a ukupna duljina podmorskog ispusta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) Biloševac, iznosi  $L = \text{cca } 917,3 \text{ m}$ .

Podmorski ispust ima dvije dionice:

- kopnena dionica
- podmorska dionica

Ukupna duljina kopnene dionice iznosi  $L = \text{cca } 157 \text{ m}$ .

Cjelokupna podmorska dionica se sastoji od ispusta duljine  $L = \text{cca } 700 \text{ m}$ , i difuzora duljine  $L = \text{cca } 60,3 \text{ m}$ .

Na spoju kopnene i podmorske dionice predviđeno je odzračno okno čije funkcija ozračivanje kopnene dionice ispusta prilikom punjenja vodom. Okno je predviđeno na plaži ispod Puta Cvitačke.

### Mjere zaštite okoliša

Podmorski ispusti moraju biti vodonepropusni što se dokazuje sukladno hrvatskoj normi -HRN EN 805 Opskrba vodom - zahtjevi za sustave i dijelove izvan zgrada. Ispitivanja vodonepropusnosti mora obavljati ovlaštena osoba za ispitivanje vodonepropusnosti građevina za odvodnju i pročišćavanje otpadnih voda sukladno članku 221. stavak 2. Zakona o vodama.

### **3. IZBOR PARAMETARA CJEVOVODA PODMORSKOG ISPUSTA DINAMIČKOM ANALIZOM RADA SUSTAVA DOZAŽNI BAZEN – PODMORSKI ISPUST - DIFUZOR**

#### **3.1. DOZAŽNI BAZEN**

Dozažni bazen je građevinski objekt u koji dotječe voda tretirana na UPOV-u, a iz kojeg se vrši regulirano istjecanje u nadmorsku dionicu ispusta tretirane otpadne vode. Na dozažni bazen nastavlja se nadmorska dionica podmorskog ispusta kojim se vrši dispozicija ispuštanja tretirane otpadne vode u more s ciljem postizanja željenog razrjeđenja. Parametri dozažnog bazena procijenjeni su na temelju iskustva.

Dotok vode u dozažni bazen vrši se iz mjernog kanala. S obzirom na parametre UPOV-a i dozažnog bazena, dotok vode u dozažni bazen ostvaruje se kroz cijev u uvjetima tečenja sa slobodnim vodnim licem.

Istjecanje iz dozažnog bazena predviđeno je na dva načina:

- U radnim uvjetima istjecanje se odvija kroz cijev položenu na koti cca. +10.0 m n.m.. Pretpostavljena je kota otvaranja zapornice na visini 11.85 m n.m., te kota zatvaranja na visini 10.60 m n.m.. Vrijeme trajanja podizanja i spuštanja zapornice iznosi 1 s. Dno cijevi na spoju sa ispustom nalazi se na koti +10. 0 m n.m..
- U incidentnim uvjetima moguća je aktivacija preljeva koji je pretpostavljen u obliku cijevi s kotom dna + 11.85 m n.m.. Uljevna kota je spuštena u odnosu na kotu dovodne cijevi zbog sprječavanja nastajanja uspora u cijevi kojom se ostvaruje dotok sa UPOV-a.

### 3.1.1. ISTJECANJE IZ DOZAŽNOG BAZENA U REŽIMU UOBIČAJENOG RADA

Protok kroz cijev DN 315 definirana je Bernoulli-jevom jednadžbom:

$$H_{DB} - 10.0m = \zeta_{ULAZ} \frac{V^2}{2g} + \zeta_{ZATVARAČ} \frac{V^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D_U} \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g}$$

pri čemu je:

$H_{DB}$  - maksimalna razina vode u dozažnom bazenu ( $H_{DB} = 11.8$  m n. m.)

10.0 m n. m. – kota tjemena cijevi DN 315

$\zeta_{ULAZ}$  - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu u cijev (odabrano 0.05 za oblikovani ulaz  $r > 0.5 D_U$  prema Anđelković, 2016. )

$\zeta_{ZATVARAČ}$  - koeficijent lokalnog gubitka na zasunskom zatvaraču kružnog oblika (u ovisnosti o visini otvora definira se prema Anđelković, 2016. )

Dozažni bazen predviđen je na kraju izlazne cijevi sa UPOV-a DN 315, a prije cjevovoda podmorskog ispusta. Kota spoja cjevovoda podmorskog ispusta na dozažni bazen jest 10.0 m n.m. Volumen dozažnog bazena dostatan je za zamjenu čitavog volumena vode u cijevi te je odabran temeljem iskustva i optimizacije rada sustava dozažni bazen – podmorski ispust – difuzor s primarnim ciljem osiguranja većih brzina tečenja u cijevi ispusta čime će se osigurati samoispiranje sustava.

U dinamičkoj analizi rada dozažnog bazena potrebno je definirati vodostaj u dozažnom bazenu i protok kroz cijev DN 315, za svaki vremenski korak. Osnovni kriterij u definiranju kapaciteta sustava dozažni bazen – podmorski ispust – difuzor jest da se osigura maksimalna količina istjecanja kojom će se postići:

- Osiguranje željenih brzina tečenja u podmorskom ispustu u pogledu samoispiranja i dugoročne funkcionalnosti sustava te evakuacije eventualno zarobljenog zraka u cijevi
- Osiguranje nepotopljenog istjecanja .Od ovog je moguće odstupiti u ekstremnim uvjetima s tim da dominantno ovisi o količini istjecanja iz dozažnog bazena. Stoga će se problem osiguranja nepotopljenog istjecanja riješiti prigušenjem istjecajnog protoka iz dozažnog bazena.

### 3.1.2. ISTJECANJE IZ DOZAŽNOG BAZENA U REŽIMU INCIDENTNOG RADA

Pod incidentnim uvjetima podrazumijeva se zatajenje rada zapornice kroz nemogućnost otvaranja/zatvaranja iste te servis ili remont iste. U ovom dijelu definirat će se kapacitet incidentnog preljeva kojim će se u slučaju nemogućnosti funkcioniranja zapornice osigurati istjecanje iz dozažnog bazena.

Za potrebe evakuacije vode, Idejnim projektom UPOV-a aglomeracije Makarska u dozažnom bazenu predviđen je preljev s vrhom na koti 11.85 m n.m.. Kada razina vode u dozažnom bazenu dosegne kotu 11.85 m n.m. preljev se aktivira. Da bi se definirala maksimalna količina prelijevanja preljevna visina definira se prema:

$$Q_{PR} = m\sqrt{2g(H_{DB} - H_{PR})}D\pi(H_{DB} - H_{PR})$$

pri čemu je:

m - koeficijent prelijevanja (m=0.25)

D. – unutarnji promjer redukcijskog komada

Ostale vrijednosti u izrazu uzimaju se kako je prethodno objašnjeno u tekstu.

## 3.2. KOPNENA I PODMORSKA DIONICA ISPUSTA

### 3.2.1. DINAMIČKA ANALIZA PIJEZOMETARSKIH STANJA U PODMORSKOM ISPUSTU

Po tretiranju otpadnih voda na Uređaju za pročišćavanje (UPOV) tretirana voda kao efluent se ispušta u prijemnik ili recipijent (u ovom slučaju more). Za potrebe postizanja propisanih ekoloških kriterija za prijemnik potrebno je postići brzine istjecanja na otvorima difuzorske sekcije. U ovisnosti o tehnologiji samog UPOV-a razlikuju se tehnologije koje osiguravaju jednolike količine istjecanja sa UPOV-a, ali i tehnologije koje rezultiraju nejednolikim istjecanjem sa UPOV-a. Za potrebe izravnjanja izlaznog protoka sa UPOV-a, uobičajeno je na izlazu iz UPOV-a, a prije početka nadmorske dionice podmorskog ispusta, postaviti dozažni bazen. Dozažnim bazenom osigurava se akumuliranje dotoka sa UPOV-a i kontrolirano periodičko upuštanje u ispust, s ciljem osiguranja minimalnih brzina tečenja u ispustu potrebnih za

osiguranje samoispiranja. U nastavku je prikazana matematička osnova za razvijeni numerički model sa definicijom korištenih varijabli.

U dinamičkoj analizi potrebno je odrediti vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta, te protok u podmorskom dijelu podmorskog ispusta. Za rješavanje navedenog problema koriste se jednačba kontinuiteta i dinamička jednačba.

1. Jednačba kontinuiteta:

$$A_{CIJEV} \cdot \frac{dH_{CIJEV}}{dt} = Q_{CIJEV} + Q_{PRELJEV} - Q_{ISPUST}$$

pri čemu su:

$H_{CIJEV}$  ..... - razina vode u kopnenom dijelu cijevi

$Q_{ISPUST}$ - protok kroz podmorski ispust

$Q_{CIJEV}$  ..... - protok iz dozažnog bazena

$Q_{PRELJEV}$ - protok iz dozažnog bazena incidentnim preljevom

$A_{CIJEV}$  ..... - površina horizontalnog presjeka kopnenog dijela cijevi

Kako je vidljivo, radi se o početnom problemu za čije rješenje je moguće koristiti neku od metoda numeričke integracije uz uvjet poznavanja početnih uvjeta.



## 2. Jednadžba kontinuiteta:

$$\frac{dQ}{dt} = \left[ h - h_{ekv} - \left[ \left( \sum \xi_{lok} + \lambda' \cdot \frac{L'}{D'} \right) \cdot \left( \frac{D'}{D'} \right)^4 + \lambda'' \cdot \frac{L''}{D''} \cdot \left( \frac{D'}{D''} \right)^4 + \left( \lambda \cdot \frac{L}{D} + \xi_{dif} \right) \right] \cdot \frac{Q^2}{2gA_c^2} \right] \cdot \frac{gA_c}{L' \cdot \left( \frac{D'}{D'} \right)^2 + L'' \cdot \left( \frac{D'}{D''} \right)^2 + L}$$

gdje su:

- h - razina vode u kopnenom dijelu podmorskog ispusta,
- $h_{ekv}$  - ekvivalentna razina mora,
- $\sum \xi_{lok}$  - suma svih lokalnih koeficijenata gubitka energije,
- $\lambda'$  - koeficijent otpora trenja u dijelu kopnenog dijela podmorskog ispusta),
- $L'$  - duljina dijela kopnenog dijela podmorskog ispusta koji je pod tlakom,
- $D'$  - unutarnji promjer cijevi dijela kopnenog dijela podmorskog ispusta
- $v'$  - brzina tečenja u dijelu kopnenog dijela podmorskog ispusta koji je pod tlakom,
- $\lambda''$  - koeficijent otpora trenja u kopnenom dijelu podmorskog ispusta,
- $L''$  - duljina kopnenog dijela podmorskog ispusta,
- $D''$  - unutarnji promjer cijevi kopnenog dijela podmorskog ispusta,
- $v''$  - brzina tečenja u kopnenom dijelu podmorskog ispusta,
- $\lambda$  - koeficijent otpora trenja u podmorskom dijelu podmorskog ispusta,
- L - podmorski dio podmorskog ispusta,
- D - unutarnji promjer cijevi podmorskog dijela podmorskog ispusta,
- v - brzina tečenja u podmorskom dijelu podmorskog ispusta,
- $\xi_{dif}$  - koeficijent lokalnog gubitka energije na difuzoru,

Iz uvjeta kontinuiteta slijedi:

$$v' \cdot A' = v'' \cdot A'' = v \cdot A$$

$$v' = v \cdot \frac{A}{A'} = v \cdot \left( \frac{D}{D'} \right)^2$$

$$v'' = v \cdot \frac{A}{A''} = v \cdot \left( \frac{D}{D''} \right)^2$$

Za potrebe rješenja nelinearnog sustava jednažbi za prikazane oblike rješenje je dobiveno eksplicitnim postupkom Runge-Kutta četvrtog reda sa korakom integracije  $\Delta t = 1$  s. Za apsolutnu hrapavost PEHD cijevi usvojeno je  $\varepsilon = 0.20$  mm, koeficijenti linijskog gubitka uslijed trenja definirani su prema THRS-u, dok je gubitak na difuzoru usvojen iskustveno  $\xi_{\text{dif}} = 55$ , s obzirom na brzine u cjevovodu i parametre difuzora. Uvidom u brzine tečenja u cijevi i duž dionica difuzora ne očekuje se veća odstupanja vrijednosti koeficijenta lokalnog gubitka na difuzoru.

### 3.3. PROJEKTNI PARAMETRI IDEJNOG PROJEKTA PODMORSKOG ISPUSTA BILOŠEVAC

U nastavku je prikazan sažetak projektnih parametara podmorskog ispusta šireg područja grada Makarske definiranih Idejnim projektom vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska.

Makarska je smještena u srednjoj Dalmaciji, na dodiru Biokova i Jadranskog mora. Nalazi se na  $43^{\circ} 17' 38''$  sjeverne zemljopisne širine i na  $17^{\circ} 1' 20''$  istočne zemljopisne dužine te zauzima središnji položaj u Makarskom primorju, ne samo zbog zemljopisnog smještaja, nego ponajprije zbog gospodarskih i društvenih čimbenika koji su taj grad učinili drugom po veličini gospodarskom i demografskom okosnicom srednje Dalmacije (odmah nakon Splita), zbog čega se za Makarsko primorje u zadnje vrijeme sve više koristi naziv Makarska rivijera.

Grad od unutrašnjosti oštro dijeli planina Biokovo (najveći vrh Sv. Jure, 1762 m), a sa srednjodalmatinskim otocima Bračom i Hvarom povezuje ga Jadransko more, koje je upravo na području Makarskog primorja izmodeliralo neke od najljepših hrvatskih plaža.

Sam grad se smjestio u prirodnoj luci između dva poluotoka, Osejave i Sv. Petra. Flišna zona između planine i mora široka je svega nekoliko kilometara, tako da daljnje širenje grada ide prema istoku i zapadu, odnosno prema susjednim naseljima Tučepima i Krvavici.

Osim stalnih stanovnika Makarske i okolice, potrošači, odnosno korisnici sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda su turisti smješteni u tzv. 'kućnoj radinosti', vikend-posjetitelji te gosti u hotelima duž rivijere koji su 2019. ostvarili rekordan broj od 1.490.954 noćenja .

S obzirom na sezonske varijacije karakteristične za to područje, optimalno rješenje za izravnavanje neravnomjernosti dotoka postiže se dozažnim bazenom u koji dotječe voda tretirana na uređaju za pročišćavanje (UPOV „Biloševac“) , a iz kojeg se nastavlja cjevovod kopnenog ispusta na nadmorskoj visini 10 m n.m.. Ispuštanje vode iz dozažnog bazena regulirano je radom zapornice, a tečenje ispod zapornice je nepotopljeno.

Projektiran je podmorski ispust s jednim cjevovodom. Tečenje u ispustu je gravitacijsko, a za simulaciju rada sustava korišten je matematički model. Model je izrađen u skladu s pravilima struke, isključivo za slučaj nepotopljenog istjecanja ispod zapornice. Odabranim hidrauličkim parametrima postignute su preporučene minimalne brzine tečenja u cjevovodu kako bi se osiguralo samoispiranje cjevovoda.

Odabrani materijal cijevi je polietilen visoke gustoće koji je zbog svojih značajki najprihvatljiviji za ovakvu vrstu objekta. PEHD cijevi odlikuje mala specifična težina i visoka savitljivost što ih čini

pogodnima za rukovanje i polaganje. Glatka stijenka cijevi spriječava taloženje. Takve cijevi su vodonepropusne, otporne na kemikalije i kiseline te imaju visoku čvrstoću i žilavost.

Na temelju Idejnog projekta ,zadano je područje obuhvata te ukupna dužina ispusta, kao i opisi i zaključci bitni za projektiranje i izgradnju podmorskog ispusta, uz odluku prema zakonskim odrednicama o potrebnom stupnju pročišćavanja otpadnih voda kanalizacijskog sustava.

Podmorski ispust sastavljen je od kopnene i podmorske dionice, čija je trasa usvojena iz Idejnog projekta .

Trasa kopnenog dijela ispusta je od lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na predjelu Biloševca do prijelaza na podmorsku dionicu na području zapadnog kraja uvale Vepric.

Trasu podmorskog dijela ispusta čini cjevovod od točke prijelaza sa kopnene dionice - 'odzračnog okna' u smjeru jugozapada do kraja difuzorske sekcije.

Radi osiguranja povoljnih hidrauličkih uvjeta tečenja i postizanja optimalne brzine tečenja kroz cjevovod podmorskog ispusta, biti će potrebno osigurati doziranje određene količine otpadne vode u cjevovod podmorskog ispusta u odgovarajućim intervalima. Crpna stanica za doziranje je obrađena u sklopu projekta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda Biloševac.

#### ULAZNI PARAMETRI:

- Kapacitet crpne stanice za doziranje na UPOV Biloševac  $Q= 2*100.00$  l/s
- Dotok je kontinuiran
- Kota spoja dozažnog bazena i ispusta se nalazi na koti 10,00 m n.m.
- Dotok iz dozažnog bazena razmatran u rasponu 50-100 l/s
- Promjeri cijevi ispusta su analizirani u rasponu 250 - 450 mm
- Pretpostavljena je PEHD cijev, parametara PN10, SDR 17, promjera kako je prethodno navedeno
- Koeficijent kinematičke viskoznosti iznosi  $1,14 * 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s
- Apsolutna hrapavost cijevi iznosi 0,2 mm
- Ekvivalentna visina mora odgovara ostvarenju najveće plime od 1,00 m n.m.
- Duljina nadmorske i podmorske dionice, zajedno sa difuzorom iznosi 917.3 m ( 157 m + 700 m + 60.3 m)
- Dubina na kojoj se nalazi kraj difuzora je cca. 40.0 m

Usvojene ukupne količine otpadnih voda biti će pročišćavane na uređaju za pročišćavanje, a zatim transportirane predmetnim cjevovodom.

### 3.3.1. KOPNENA DIONICA

Hidrauličkim proračunom podmorskog ispusta kopnena dionica je predviđena u ukupnoj dužini od 157.00 m. U skladu s maksimalnim količinama dotoka sa UPOV-a te mogućnostima doziranja i obrade otpadnih voda na hidromehaničkoj opremi uz postizanje optimalne brzine tečenja u cjevovodu određuje je nazivni promjer cjevovoda ispusta.

Obzirom na tlačno-gravitacijske uvjete tečenja u ispustu te potrebnu tjemenu nosivost cjevovoda zbog dubina iskopa i sl., određeno je da cjevovod bude za tlak od PN = 10 bar-a.

Trasa kopnenog dijela ispusta PEHD cijevi, PN 10 bar-a, SDR 17, biti će položena u nagibu vrijednosti  $I_0=0.0556$ , prateći terenske prilike od lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda prema završnom oknu (odzračno okno) kopnene dionice ispusta na priobalnom području zapadne obale naselja, ukupne duljine 157m.

**Kota spoja PEHD cijevi kopnene dionice ispusta na dozažni bazen predviđena je na +10,00 m n.m. te se kao takva usvaja mjerodavnom. Kopnena dionica za potrebe ove analize preuzeta je iz Idejnog projekta vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska. Parametri cijevi nadmorske dionice ispusta odnose se na PEHD cijev, PN 10, SDR 17.**

### 3.3.2. PODMORSKA DIONICA

Podmorska dionica podmorskog ispusta postavljena je od lokacije 'završnog (odzračnog/prijelaznog)' armiranobetonskog okna kopnene dionice na priobalnom području odnosno prijelaz na podmorsku dionicu, do završetka podmorske dionice 760.3 m u more (700 m 'transportnog' cjevovoda + 60.3 m difuzorske sekcije).

Hidrauličkim proračunom podmorskog ispusta - kopnena i podmorska dionica ukupne dužine  $L = 157.0 + 760.3 = 917.3$  m - u skladu s maksimalnim količinama te mogućnostima postavljanja dozažnog bazena na izlazu iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda na određenoj visinskoj koti, izračunat će se promjer cjevovoda ispusta; Projektom pretpostavljen promjer cijevi iznosi DN 315 mm.

Obzirom na tlačno-gravitacijske uvjete tečenja u podmorskom dijelu ispusta, potrebne karakteristike cjevovoda tijekom potapanja i manipulacije cjevovoda ispusta i sl. određeno je da cjevovod bude slijedećih karakteristika:

- MATERIJAL CIJEVI: ..... PEHD PE 100
- NAZIVNI TLAK: ..... PN 10 bar-a
- OMJER PROMJERA I DEBLJINE STIJENKE: ..... SDR 17

Navedena kvaliteta cjevovoda odnosi se na:

- 'osnovnu' cijev ispusta, u duljini od 700 m i
- difuzorsku sekciju, u duljini od 60,3 m.

Trasa planiranog podmorskog dijela cjevovoda ispusta biti će položena od završnog okna kopnene dionice ispusta na priobalnom području do završetka difuzora u ukupnoj duljini od  $L = 760.3$  m.

**Trasa podmorskog dijela cijevi ispusta preuzeta je iz Idejnog projekta vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska. Za ovako definiranu trasu u nastavku su izvršene analize piezometarskih stanja iz kojih proizlaze projektni parametri. Parametri cijevi podmorske dionice ispusta odnose se na PEHD cijev, PN 10, SDR 17.**

### 3.4. IZBOR NAZIVNOG PROMJERA PODMORSKE I NADMORSKE DIONICE CIJEVI

#### 3.4.1. TEČENJE POD TLAKOM

##### ULAZNI PARAMETRI:

- Promatrani dotoci iz dozažnog bazena u ispust su u rasponu 50 – 100 l/s
- Dotok je kontinuiran
- Trajanje numeričkih simulacija pokriva period od 24 sata što je više nego dovoljno kada se uzme u obzir da se krajnje stacionarno stanje postiže unutar jednog sata neovisno o dotoku iz dozažnog bazena
- Promjeri cijevi su analizirani u rasponu 250 - 450 mm
- Pretpostavljena je PEHD cijev, parametara PN10, SDR 17, promjera kako je prethodno navedeno
- Koeficijent kinematičke viskoznosti iznosi  $1,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Apsolutna hrapavost cijevi iznosi 0,2 mm
- Koeficijenti linijskog gubitka uslijed trenja definirani su prema turbulentno hrapavom režimu strujanja
- Ekvivalentna visina mora odgovarati ostvarenju najveće plime od 1.00 m n.m.
- Parametri nadmorske dionice usvojeni su prema Tablici 3.1.:

K	Dionica	Kota	Dužina (m)
0	1	10	
1	2	2,54	102
2	3	2,03	35
3	4	-40	760,3

Tablica 3.1. Duljine i nagibi nadmorske dionice ispusta

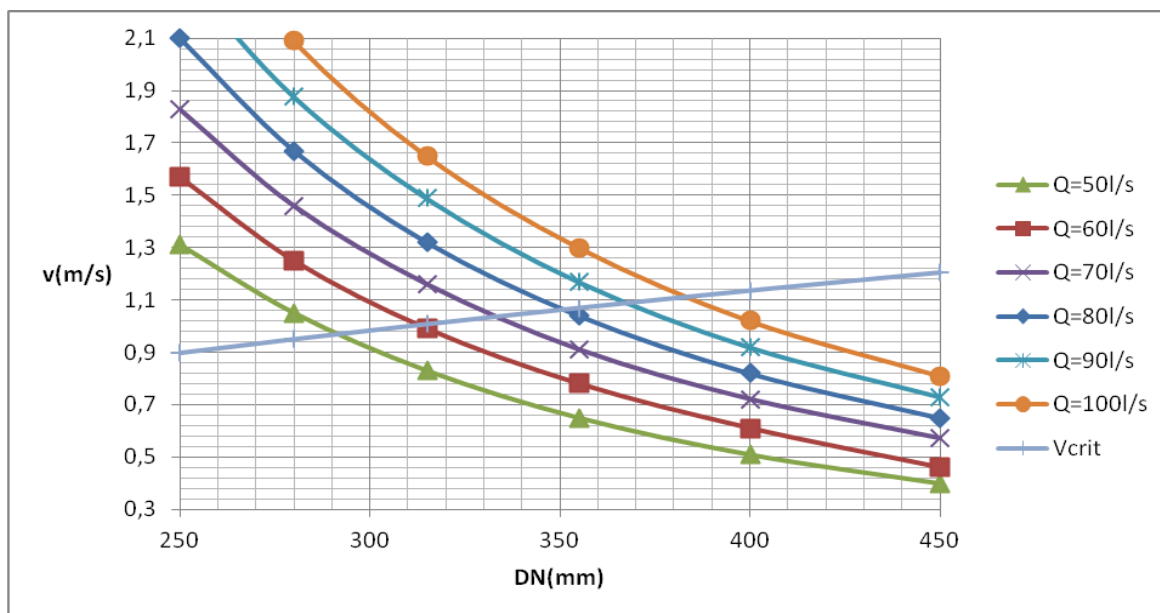
Prvi kriterij hidrauličkog dimenzioniranja cjevovoda je osiguravanje minimalne brzine tečenja u cijevi, koja će spriječiti taloženje suspendiranih čestica i osigurati evakuaciju zraka iz cijevi

- Minimalna brzina potrebna za evakuaciju zraka sadržanog u cijevi definirana je prema Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems (2010.):

Profil	DN 250	DN 280	DN 315	DN 355	DN 400	DN 450
Du(mm)	0,2204	0,2468	0,2776	0,3128	0,3526	0,3966
Vzrak	0,896954	0,949155	1,00664	1,068557	1,134503	1,203208

Tablica 3.2. Kritične brzine za evakuaciju zraka iz potopljenog dijela cijevi ispusta

Na Slici 3.1. prikazana je ovisnost maksimalnih brzina ostvarenih u nestacionarnim uvjetima u potopljenom dijelu cijevi ispusta u ovisnosti o dotoku iz dozažnog bazena. Plava linija predstavlja minimalnu potrebnu brzinu za evakuaciju zraka sadržanog u cijevi. Ista je definirana za najkritičniji nagib dionica podmorske trase cjevovoda te time ujedno predstavlja jedinstveno rješenje. Vidljivo je kako za dotoke manje od 50 l/s gotovo nemoguće zadovoljiti traženu brzinu. Također, može se zaključiti kako veći promjeri (DN 400 i DN 450) ne predstavljaju kvalitetno rješenje u pogledu evakuacije zraka iz cijevi.



Slika 3.1. Brzine u potopljenom dijelu cijevi ispusta za promatrane profile cijevi i varijabilan dotok iz dozažnog bazena

Drugi kriterij kojim je definiran kapacitet cijevi je razina vode u nadmorskom dijelu cijevi ispusta. Rad sustava zamišljen je u dva zasebna režima tečenja:

- Tečenje sa slobodnim vodnim licem u nadmorskoj dionici cijevi do prelaska u tečenje pod tlakom. Prijelaz se odvija u nadmorskom dijelu cijevi u obliku vodnog skoka koji se u krajnjem stacionarnom stanju stabilizira na određenoj koti. Za potrebe osiguranja nepotopljenog istjecanja tj. osiguranja nepotapanja odzračnog okna u dozažnom bazenu,



potrebno je osigurati da kota vodnog lica u cijevi ne prijeđe kotu spoja dna cjevovoda na dozažni bazen +10.0 m n.m.. Za radnu kotu u nadmorskom dijelu cjevovoda stoga se usvaja +9.0 m n.m. pri čemu se osigurava određena rezerva u nadmorskoj dionici cijevi ispusta za slučaj incidentnih situacija, ostvarenja maksimalne plime u moru i odstupanja vrijednosti pogonskih parametara u razdoblju rada sustava. Ekstremna razina vodnog lica u cijevi koju je moguće ostvariti u incidentnim situacijama jest +10.0 m n.m. pri čemu će se još uvijek osigurati nepotapanje odzračnog okna u dozažnom bazenu.

- Tečenje pod tlakom u potopljenom dijelu cijevi

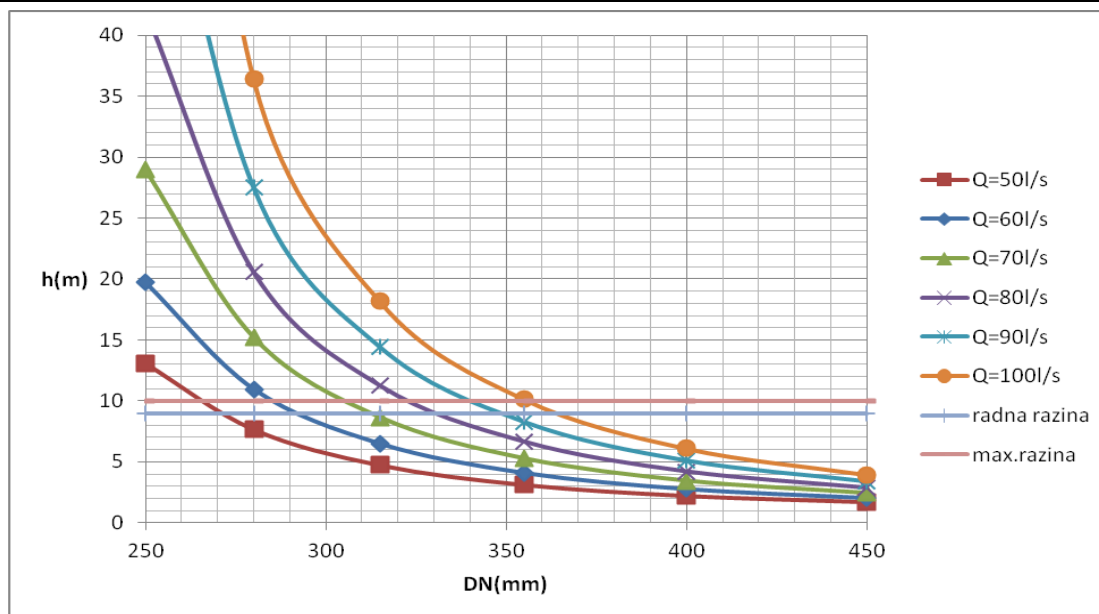
Na Slici 3.2. prikazane su maksimalne razine vodnog lica u nadmorskom dijelu cijevi, ostvarene u nestacionarnim uvjetima za varijabilan dotok iz dozažnog bazena kako je definirano na slici.

Uočava se kako, za potrebe osiguranja pijezometarskih stanja i minimalnih potrebnih brzina u potopljenoj dionici cijevi, manji promjeri (DN 250 i DN 280) uopće ili gotovo ne zadovoljavaju kriterij tečenja sa slobodnim vodnim licem. Odatle se može zaključiti da promjeri cijevi DN 315 i DN 355 zadovoljavaju te međusobno oprečne kriterije određenim rasponom dotoka sa dozažnog bazena.

Nakon zadovoljenja traženih kriterija za hidrauličko dimenzioniranje, potrebno je osigurati i isplativost, što čini **promjer cijevi DN 315 najoptimalnijim izborom, za dotok iz dozažnog bazena u rasponu 60.0 – 75.5 l/s.**

Navedeni promjer zadovoljava u pogledu:

- Postizanja minimalne brzine tečenja potrebne za evakuaciju zraka sadržanog u cijevi
- Osiguranja nepotopljenog istjecanja u odzračnom oknu
- Ostvarenje brzina tečenja koje osiguravaju samoispiranje cijevi



Slika 3.2. Razine vodnog lica u nadmorskom dijelu cijevi ispusta za profil cijevi DN 315i varijabilan dotok iz dozažnog bazena

S obzirom kako je za cjevovod DN 315 (nadmorska i podmorska dionica izvedena u istom profilu) moguće zadovoljiti navedene kriterije osiguranja za dotok iz dozažnog bazena ne veći od 75 l/s, u nastavku su analizirani i slučajevi:

- Podmorska dionica izvedena od cijevi promjera DN 315, nadmorska dionica izvedena od cijevi promjera DN 355
- Podmorska dionica izvedena od cijevi promjera DN 315, nadmorska dionica izvedena od cijevi promjera DN 400

S ciljem definiranja kapaciteta i željenih pjezometarskih stanja analizirana je cijev nazivnog promjera DN 315 čija je ugradnja predviđena u podvodnoj trasi cjevovoda. U nadmorskom dijelu analizirana je mogućnost izvedbe cijevi nazivnih promjera DN 315, DN 355 i DN 400. U tehničkom smislu, na dubini -1.00 m n.m. predviđena je ugradnja redukcijskog komada od PEHD-a (DN 400/315, DN 355/315, DN 315/315). Za navedene kombinacije izrađena je analiza dinamičkih stanja u sustavu numeričkim modelom opisanim u prethodnom poglavlju, a rezultati kojih su prikazani u Tablici 3.3..

Q(l/s)	DN 315/315		DN 315/355		DN 315/400	
	Hcijevi(m)	v(m/s)	Hcijevi(m)	v(m/s)	Hcijevi(m)	v(m/s)
0,06	6,5	0,99	6,25	0,99	6,12	0,99
0,07	8,65	1,16	8,23	1,16	8,02	1,16
0,08	11,27	1,32	10,57	1,32	10,23	1,32
<b>0,0755</b>	<b>10,00</b>	<b>1,241</b>				
<b>0,0778</b>			<b>10,00</b>	<b>1,285</b>		
<b>0,079</b>					<b>10,00</b>	<b>1,32</b>

Tablica 3.3. Maksimalne razine vode u nadmorskom dijelu cijevi i brzine u potopljenom dijelu podmorskog ispusta za profil nazivnog promjera DN 315 u podmorskom dijelu

Za varijante kontinuiranog dotoka iz dozažnog bazena u cjevovod za iznose  $Q = 60, 70$  i  $80$  l/s utvrđuje se slijedeće:

- U pogledu osiguranja minimalnih brzina potrebnih za osiguranje evakuacije zraka iz cijevi poželjan je dotok u cjevovod veći od  $60$  l/s
- Za dotoke veće od  $80$  l/s u nadmorskom dijelu cijevi ostvaruju se kote veće od maksimalne kote koja je definirana na koti  $+ 10.00$  m n.m. što se ne može prihvatiti kao željeni režim rada sustava

Stoga se definiraju kapaciteti sustava za svaku od tri kombinacije podmorskog i nadmorskog dijela cijevi:

- Za podmorsku dionicu nazivnog promjera DN 315, a nadmorskog DN 315 utvrđuje se propusna moć  $Q = 75.5$  l/s za ostvareni krajnji stacionarni položaj vodnog lica u nadmorskoj dionici ispusta  $h = 10.00$  m n.m.
- Za podmorsku dionicu nazivnog promjera DN 315, a nadmorskog DN 355 utvrđuje se propusna moć  $Q = 77.78$  l/s za ostvareni krajnji stacionarni položaj vodnog lica u nadmorskoj dionici ispusta  $h = 10.00$  m n.m.
- Za podmorsku dionicu nazivnog promjera DN 315, a nadmorskog DN 400 utvrđuje se propusna moć  $Q = 79.0$  l/s za ostvareni krajnji stacionarni položaj vodnog lica u nadmorskoj dionici ispusta  $h = 10.00$  m n.m.

- U slučaju kombinacija DN315/315, DN 355/315 i DN 400/315 osigurane su brzine za evakuaciju zraka i za samoispiranje cijevi prema Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems (2010.)

Nakon dokaza osiguranja potrebnih uvjeta tečenja u režimu tečenja pod tlakom, u nastavku je provedena analiza tečenja u uvjetima sa slobodnim vodnim licem.

### 3.4.2. TEČENJE SA SLOBODNIM VODNIM LICEM

Za kapacitete cijevi podmorskog ispusta definirane u režimu tečenja pod tlakom potrebno je osigurati i željene uvjete tečenja u nadmorskoj dionici cijevi, u dijelu u kojem se tečenje odvija u režimu slobodnog vodnog lica. Ključan parametar u ovom dijelu jest ispunjenost profila, koju je zbog evakuacije zraka iz cijevi potrebno zadržati u vrijednostima do 50 % (Margeta, 2009.).

Za potrebe definiranja pogonske hrapavosti cijevnih elemenata korišteni su izrazi za definiranje kapaciteta zatvorenih i otvorenih cijevnih sustava u uvjetima tečenja sa slobodnim vodnim licem.

U uvjetima tečenja u otvorenim presjecima koji se može koristiti u općem slučaju i za proračun djelomično ispunjenih kanala uobičajeno se koristi Manning-ov izraz kojim se opisuju karakteristika toka u uvjetima jednolikog tečenja.

Normalna brzina vode u cijevi za maksimalni projektni protok definira se prema Manningu:

$$V_N = K \cdot R^{2/3} \cdot I_0^{1/2}$$

pri čemu je:

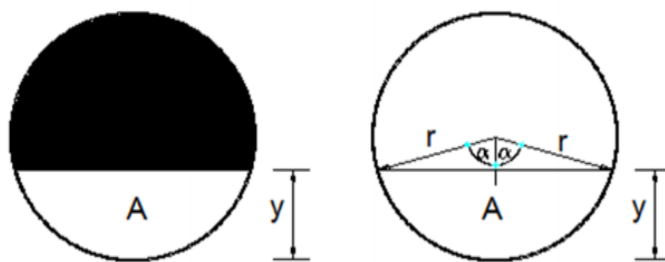
K – Stricklerov koeficijent hrapavosti (1/n),

R - hidraulički radijus  $R = A/O$  (m)

A – površina omočenog dijela cijevi (m<sup>2</sup>)

O – omočeni opseg cijevi (m)

I<sub>0</sub> - uzdužni pad nivelete cijevi



Slika 3.3. Parametri za proračun normalne brzine po Manningu

$\alpha$ -kut u radijanima

$$\cos(\alpha) = \left(\frac{r-y}{r}\right)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{r-y}{r}\right)$$

$$A = r^2\left[\alpha - \sin(\alpha)\right]\left(1 - \frac{y}{r}\right)$$

Za normalnu brzinu vode u cijevi protok ( $Q$ - $y_N$ ) se definira prema:

$$Q = A \cdot K \cdot R^{2/3} \cdot I_0^{1/2}$$

Kritična dubina dobije se iz uvjeta  $Fr=1$ :

$$Fr = \frac{\alpha \cdot Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3} = 1$$

pri čemu je:

$\alpha$  – Coriolisov broj 1,05

$Q$  – maksimalni projektni protok ( $m^3/s$ )

$B$  – širina vodnog lica u cijevi (m)

Kritične brzine taloženja suspenzija računata su prema izrazu Fedorova:

$$V_{FEDOROV} = 1.57 \cdot \sqrt[3]{R}; \quad n = 3.5 + 0.5 \cdot R,$$

Prikazanim postupcima Manning-a moguće je kvantificirati kapacitete cijevi i utvrditi pogonsku hrapavost istih.

Tipične vrijednosti Manning-ove hrapavosti za cijevi izrađene od različitih materijala prikazane su u Tablici ispod u kojima se vidi ako se vrijednosti Manning-ove hrapavosti kreću u intervalu:

- 0.009 – 0.015 za korugirane PE cijevi sa glatkom unutrašnjom stijjenkom
- 0.018 – 0.025 za korugirane PE cijevi sa korugiranom unutrašnjom stijjenkom

Surface Material	Manning's Roughness Coefficient - $n$ -
Asbestos cement	0.011
Asphalt	0.016
Brass	0.011
Brick	0.015
Canvas	0.012
Cast-iron, new	0.012
Clay tile	0.014
Concrete - steel forms	0.011
Concrete (Cement) - finished	0.012
Concrete - wooden forms	0.015
Concrete - centrifugally spun	0.013
Copper	0.011
Corrugated metal	0.022
Earth, smooth	0.018
Earth channel - clean	0.022
Earth channel - gravelly	0.025
Earth channel - weedy	0.030
Earth channel - stony, cobbles	0.035
Floodplains - pasture, farmland	0.035
Floodplains - light brush	0.050
Floodplains - heavy brush	0.075
Floodplains - trees	0.15
Galvanized iron	0.016
Glass	0.010
Gravel, firm	0.023
Lead	0.011
Masonry	0.025
Metal - corrugated	0.022
Natural streams - clean and straight	0.030
Natural streams - major rivers	0.035
Natural streams - sluggish with deep pools	0.040
Natural channels, very poor condition	0.060
Plastic	0.009
Polyethylene PE - Corrugated with smooth inner walls	0.009 - 0.015
Polyethylene PE - Corrugated with corrugated inner walls	0.018 - 0.025
Polyvinyl Chloride PVC - with smooth inner walls	0.009 - 0.011
Rubble Masonry	0.017
Steel - Coal-tar enamel	0.010
Steel - smooth	0.012
Steel - New unlined	0.011
Steel - Riveted	0.019
Vitrified Sewer	0.013 - 0.015
Wood - planed	0.012
Wood - unplanned	0.013
Wood stove pipe, small diameter	0.011 - 0.012
Wood stove pipe, large diameter	0.012 - 0.013

Tablica 3.4. Prikaz vrijednosti Manning-ove hrapavosti ovisno o materijalu cijevi ([https://www.engineeringtoolbox.com/mannings-roughness-d\\_799.html](https://www.engineeringtoolbox.com/mannings-roughness-d_799.html))

U ovisnosti o Froudovom broju razlikuju se mirni i siloviti režimi tečenja sa pripadajućim karakteristikama toka.

Hidraulički proračun cjevovoda zasniva se na definiranju protočne moći za površinsko otjecanje generirano dotokom iz dozažnog bazena.

Uzdužni nagibi preuzeti su iz projektne dokumentacije, nominalni promjeri usvajaju se prema projektnoj dokumentaciji te se za PP cijevi nominalni promjer smatra svijetla dimenzija (DN 315). Podaci o korištenim Manningovim hrapavostima nisu definirani, stoga se za projektnom definicijom definirani sustav usvajaju slijedeće vrijednosti prema (*Kanalizacija naselja; Margeta; GAF; 2009.*):

- PP cijevi DN 315,  $n = 0,01$

U ovisnosti o postignutim uvjetima u cijevi provjerava se razina vode u nadmorskom dijelu cijevi. Na ovaj način u obzir se uzima eventualno stvaranje uspora u cijevi i definira smanjenje protočne moći.

$$h = y_c + \frac{\alpha V_c^2}{2g} + \xi \frac{\alpha V_c^2}{2g} \text{ (m)}$$

pri čemu su:

$v_c$  – kritična brzina (m/s)

$y_c$  – kritična dubina (m)

$h$  – razina vodnog lica u oknu (m)

$\alpha$  - Coriolisov broj

Ako apsolutna kota vodnog lica u nadmorskom dijelu cijevi ne raste sustav funkcionira bez utjecaja uspora uzvodno.

U nastavku je dan prikaz rezultata analiza tečenja sa slobodnim vodnim licem u nadmorskom dijelu cijevi za cijev sa nagibom  $I_0 = 0.0556$  za tri kombinacije nazivnog promjera cijevi kako je prethodno definirano.

Rezultati proračuna za podmorsku dionicu nazivnog promjera DN 315, u nadmorsku dionicu DN 315 prikazani su u Tablici 3.7.. Za slučaj kapaciteta cijevi ( $Q = 75.5$  l/s) u potopljenom dijelu cijevi normalna dubina iznosi  $y_N = 0.10672$  m. Tečenje je u silovitom režimu, a ispunjenost profila 38.44 %.

Rezultati proračuna za podmorsku dionicu nazivnog promjera DN 315, u nadmorsku dionicu DN 355 prikazani su u Tablici 3.8.. Za slučaj kapaciteta cijevi ( $Q = 77.78$  l/s) u potopljenom dijelu cijevi normalna dubina iznosi  $y_N = 0.10312$  m. Tečenje je u silovitom režimu, a ispunjenost profila 32.97 %.

Rezultati proračuna za podmorsku dionicu nazivnog promjera DN 315, u nadmorsku dionicu DN 400 prikazani su u Tablici 3.9.. Za slučaj kapaciteta cijevi ( $Q = 79.01$  l/s) u potopljenom dijelu cijevi normalna dubina iznosi  $y_N = 0.09932$  m. Tečenje je u silovitom režimu, a ispunjenost profila 28.17 %.

$\alpha$ [°]	$y$ [m]	$\alpha$ [RAD]	$B$ [m]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$O$ [m]	$R$ [m]	$n$	$t_0$	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$y/D_0$ [%]	$A/A_0$ [%]	$Fr$	$V_n$ [m/s]
43,7638	0,01000	0,76382	0,10346	0,00069	0,10602	0,00655	0,01000	0,05560	0,00057	3,602	1,148	10,86821	0,82581
62,2797	0,02000	1,08699	0,14355	0,00194	0,15087	0,01288	0,01000	0,05560	0,00252	7,205	3,211	13,27357	1,29573
76,769	0,03000	1,33987	0,17237	0,00353	0,18597	0,01898	0,01000	0,05560	0,00592	10,807	5,832	14,71292	1,67771
89,2343	0,04000	1,55743	0,19498	0,00537	0,21617	0,02484	0,01000	0,05560	0,01078	14,409	8,873	15,66211	2,00761
100,451	0,05000	1,75320	0,21335	0,00742	0,24334	0,03047	0,01000	0,05560	0,01706	18,012	12,252	16,29705	2,3004
110,817	0,06000	1,93412	0,22853	0,00963	0,26846	0,03586	0,01000	0,05560	0,02469	21,614	15,906	16,70562	2,56417
120,571	0,07000	2,10436	0,24110	0,01198	0,29209	0,04101	0,01000	0,05560	0,03358	25,216	19,789	16,93909	2,8039
129,872	0,08000	2,26669	0,25146	0,01444	0,31462	0,04590	0,01000	0,05560	0,04366	28,818	23,861	17,03040	3,0229
138,831	0,09000	2,42307	0,25988	0,01700	0,33632	0,05055	0,01000	0,05560	0,05480	32,421	28,087	17,00215	3,22351
147,535	0,10000	2,57496	0,26653	0,01963	0,35741	0,05493	0,01000	0,05560	0,06690	36,023	32,439	16,87054	3,40741
153,273	0,10672	2,67513	0,27008	0,02144	0,37131	0,05773	0,01000	0,05560	0,07550	38,444	35,418	16,73017	3,52224
156,049	0,11000	2,72357	0,27156	0,02232	0,37803	0,05906	0,01000	0,05560	0,07983	39,625	36,886	16,64758	3,57585
164,431	0,12000	2,86986	0,27504	0,02506	0,39834	0,06291	0,01000	0,05560	0,09346	43,228	41,404	16,34238	3,72977
172,73	0,13000	3,01471	0,27704	0,02782	0,41844	0,06649	0,01000	0,05560	0,10766	46,830	45,966	15,96188	3,86985
180,991	0,14000	3,15888	0,27759	0,03060	0,43845	0,06978	0,01000	0,05560	0,12228	50,432	50,550	15,51143	3,9966
189,257	0,15000	3,30315	0,27669	0,03337	0,45848	0,07278	0,01000	0,05560	0,13715	54,035	55,131	14,99505	4,11034
197,571	0,16000	3,44827	0,27434	0,03612	0,47862	0,07548	0,01000	0,05560	0,15213	57,637	59,686	14,41565	4,21124
205,98	0,17000	3,59504	0,27050	0,03885	0,49899	0,07786	0,01000	0,05560	0,16703	61,239	64,189	13,77510	4,29933
214,535	0,18000	3,74434	0,26509	0,04153	0,51971	0,07991	0,01000	0,05560	0,18167	64,841	68,616	13,07428	4,3745
223,293	0,19000	3,89719	0,25802	0,04415	0,54093	0,08161	0,01000	0,05560	0,19585	68,444	72,939	12,31296	4,43647
232,325	0,20000	4,05484	0,24916	0,04668	0,56281	0,08295	0,01000	0,05560	0,20936	72,046	77,132	11,48965	4,48474
241,723	0,21000	4,21887	0,23829	0,04912	0,58558	0,08389	0,01000	0,05560	0,22196	75,648	81,162	10,60117	4,51856
251,608	0,22000	4,39139	0,22514	0,05144	0,60952	0,08440	0,01000	0,05560	0,23338	79,251	84,994	9,64194	4,53684
262,152	0,23000	4,57542	0,20927	0,05362	0,63507	0,08443	0,01000	0,05560	0,24330	82,853	88,586	8,60262	4,5379
273,623	0,24000	4,77562	0,18999	0,05562	0,66286	0,08390	0,01000	0,05560	0,25134	86,455	91,890	7,46731	4,51914
286,481	0,25000	5,00003	0,16613	0,05740	0,69400	0,08271	0,01000	0,05560	0,25694	90,058	94,840	6,20687	4,47619
301,665	0,26000	5,26505	0,13529	0,05892	0,73079	0,08062	0,01000	0,05560	0,25925	93,660	97,342	4,75943	4,40044
321,904	0,27000	5,61828	0,09060	0,06006	0,77982	0,07702	0,01000	0,05560	0,25638	97,262	99,237	2,94165	4,26853

Tablica 3.5. Parametri toka sa slobodnim vodnim licem za kombinaciju DN315/315



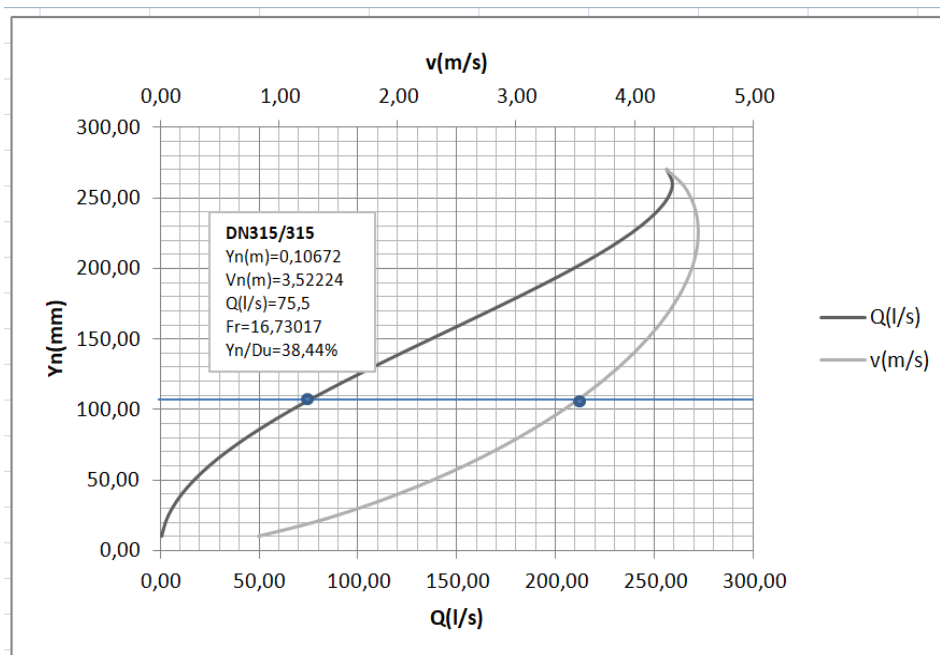
$\alpha$ [°]	$\gamma$ [m]	$\alpha$ [RAD]	B [m]	A [m <sup>2</sup> ]	O [m]	R [m]	n	$l_0$	Q [m <sup>3</sup> /s]	$y/D_0$ [%]	A/A <sub>0</sub> [%]	Fr	V <sub>N</sub> [m/s]
41,1994	0,01000	0,71907	0,11005	0,00074	0,11246	0,00657	0,01000	0,05560	0,00061	3,197	0,961	10,90562	0,82688
58,5875	0,02000	1,02254	0,15305	0,00207	0,15993	0,01293	0,01000	0,05560	0,00269	6,394	2,691	13,36808	1,29916
72,1622	0,03000	1,25947	0,18422	0,00376	0,19698	0,01910	0,01000	0,05560	0,00634	9,591	4,895	14,87563	1,68456
83,8113	0,04000	1,46278	0,20892	0,00573	0,22878	0,02505	0,01000	0,05560	0,01157	12,788	7,458	15,90158	2,01882
94,2647	0,05000	1,64523	0,22926	0,00793	0,25731	0,03080	0,01000	0,05560	0,01836	15,985	10,313	16,62050	2,3169
103,897	0,06000	1,81335	0,24632	0,01031	0,28361	0,03634	0,01000	0,05560	0,02666	19,182	13,411	17,11947	2,58688
112,932	0,07000	1,97104	0,26074	0,01284	0,30827	0,04166	0,01000	0,05560	0,03639	22,379	16,712	17,44924	2,83373
121,517	0,08000	2,12087	0,27294	0,01551	0,33170	0,04677	0,01000	0,05560	0,04748	25,575	20,187	17,64242	3,06079
129,755	0,09000	2,26466	0,28321	0,01830	0,35419	0,05165	0,01000	0,05560	0,05983	28,772	23,808	17,72139	3,27042
137,724	0,10000	2,40374	0,29175	0,02117	0,37595	0,05632	0,01000	0,05560	0,07335	31,969	27,550	17,70226	3,46435
140,165	0,10312	2,44634	0,29409	0,02209	0,38261	0,05772	0,01000	0,05560	0,07778	32,967	28,740	17,67819	3,52186
145,484	0,11000	2,53917	0,29872	0,02413	0,39713	0,06075	0,01000	0,05560	0,08791	35,166	31,394	17,59703	3,64388
153,084	0,12000	2,67181	0,30421	0,02714	0,41787	0,06495	0,01000	0,05560	0,10341	38,363	35,318	17,41488	3,81
160,564	0,13000	2,80237	0,30831	0,03020	0,43829	0,06891	0,01000	0,05560	0,11972	41,560	39,305	17,16298	3,96349
167,962	0,14000	2,93149	0,31108	0,03330	0,45848	0,07264	0,01000	0,05560	0,13671	44,757	43,337	16,84694	4,10494
175,31	0,15000	3,05973	0,31254	0,03642	0,47854	0,07611	0,01000	0,05560	0,15424	47,954	47,396	16,47122	4,23479
182,638	0,16000	3,18763	0,31272	0,03955	0,49855	0,07933	0,01000	0,05560	0,17217	51,151	51,465	16,03932	4,35337
189,977	0,17000	3,31573	0,31162	0,04267	0,51858	0,08229	0,01000	0,05560	0,19035	54,348	55,529	15,55394	4,46089
197,358	0,18000	3,44454	0,30922	0,04578	0,53873	0,08497	0,01000	0,05560	0,20863	57,545	59,570	15,01710	4,55748
204,812	0,19000	3,57464	0,30550	0,04885	0,55907	0,08738	0,01000	0,05560	0,22683	60,742	63,571	14,43012	4,64315
212,374	0,20000	3,70662	0,30040	0,05188	0,57972	0,08950	0,01000	0,05560	0,24477	63,939	67,515	13,79372	4,71782
220,084	0,21000	3,84119	0,29386	0,05486	0,60076	0,09131	0,01000	0,05560	0,26228	67,136	71,383	13,10789	4,7813
227,989	0,22000	3,97916	0,28577	0,05775	0,62234	0,09280	0,01000	0,05560	0,27914	70,332	75,156	12,37185	4,83329
236,145	0,23000	4,12151	0,27600	0,06056	0,64460	0,09396	0,01000	0,05560	0,29515	73,529	78,813	11,58387	4,87329
244,624	0,24000	4,26949	0,26436	0,06327	0,66775	0,09475	0,01000	0,05560	0,31006	76,726	82,331	10,74092	4,90064
253,52	0,25000	4,42476	0,25060	0,06585	0,69203	0,09515	0,01000	0,05560	0,32359	79,923	85,684	9,83816	4,91437
262,967	0,26000	4,58964	0,23433	0,06827	0,71782	0,09511	0,01000	0,05560	0,33543	83,120	88,842	8,86793	4,9131
273,161	0,27000	4,76756	0,21500	0,07052	0,74565	0,09458	0,01000	0,05560	0,34518	86,317	91,769	7,81793	4,89474

Tablica 3.6. Parametri toka sa slobodnim vodnim licem za kombinaciju DN315/355

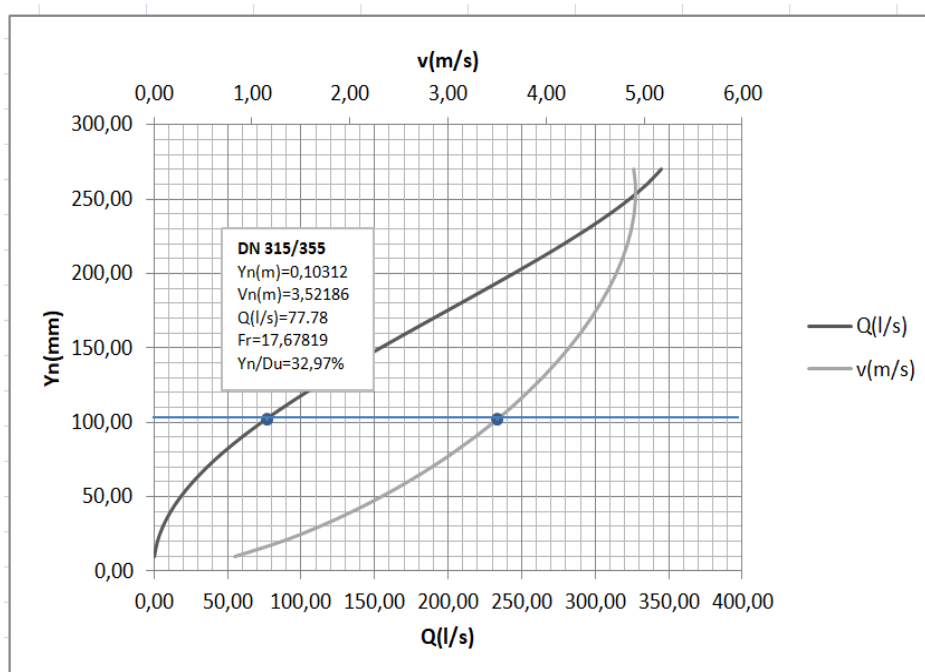
$\alpha$ [°]	$\gamma$ [m]	$\alpha$ [RAD]	B [m]	A [m <sup>2</sup> ]	O [m]	R [m]	n	$l_0$	Q [m <sup>3</sup> /s]	$y/D_0$ [%]	A/A <sub>0</sub> [%]	Fr	V <sub>N</sub> [m/s]
38,7807	0,01000	0,67685	0,11706	0,00078	0,11933	0,00658	0,01000	0,05560	0,00065	2,836	0,804	10,93892	0,82783
55,1125	0,02000	0,96189	0,16312	0,00220	0,16958	0,01298	0,01000	0,05560	0,00287	5,672	2,254	13,45217	1,30221
67,8363	0,03000	1,18397	0,19675	0,00401	0,20873	0,01920	0,01000	0,05560	0,00677	8,508	4,104	15,02035	1,69062
78,7313	0,04000	1,37412	0,22364	0,00611	0,24226	0,02524	0,01000	0,05560	0,01240	11,344	6,261	16,11447	2,02873
88,4851	0,05000	1,54436	0,24601	0,00847	0,27227	0,03109	0,01000	0,05560	0,01974	14,180	8,669	16,90792	2,33146
97,4504	0,06000	1,70083	0,26500	0,01102	0,29986	0,03676	0,01000	0,05560	0,02873	17,016	11,288	17,48703	2,60688
105,837	0,07000	1,84721	0,28130	0,01376	0,32566	0,04224	0,01000	0,05560	0,03934	19,853	14,088	17,90205	2,85995
113,783	0,08000	1,98588	0,29535	0,01664	0,35011	0,04753	0,01000	0,05560	0,05149	22,689	17,042	18,18526	3,09402
121,384	0,09000	2,11855	0,30747	0,01966	0,37350	0,05263	0,01000	0,05560	0,06509	25,525	20,131	18,35881	3,31146
128,22	0,09932	2,23787	0,31721	0,02257	0,39454	0,05720	0,01000	0,05560	0,07901	28,168	23,113	18,43593	3,50068
128,711	0,10000	2,24643	0,31787	0,02278	0,39605	0,05753	0,01000	0,05560	0,08007	28,361	23,334	18,43865	3,51402
135,82	0,11000	2,37050	0,32672	0,02601	0,41792	0,06223	0,01000	0,05560	0,09631	31,197	26,636	18,43673	3,70303
142,754	0,12000	2,49152	0,33414	0,02931	0,43926	0,06674	0,01000	0,05560	0,11373	34,033	30,021	18,36220	3,87954
149,549	0,13000	2,61012	0,34022	0,03269	0,46016	0,07103	0,01000	0,05560	0,13220	36,869	33,475	18,22226	4,04434
156,236	0,14000	2,72683	0,34504	0,03611	0,48074	0,07512	0,01000	0,05560	0,15161	39,705	36,985	18,02264	4,1981
162,841	0,15000	2,84212	0,34865	0,03958	0,50107	0,07900	0,01000	0,05560	0,17185	42,541	40,538	17,76797	4,34132
169,39	0,16000	2,95642	0,35109	0,04308	0,52122	0,08266	0,01000	0,05560	0,19277	45,377	44,122	17,46201	4,4744
175,904	0,17000	3,07011	0,35237	0,04660	0,54126	0,08610	0,01000	0,05560	0,21426	48,213	47,726	17,10778	4,59766
182,405	0,18000	3,18357	0,35252	0,05013	0,56126	0,08931	0,01000	0,05560	0,23617	51,049	51,336	16,70776	4,71133
188,914	0,19000	3,29717	0,35153	0,05365	0,58129	0,09229	0,01000	0,05560	0,25835	53,885	54,942	16,26389	4,81558
195,451	0,20000	3,41127	0,34940	0,05715	0,60141	0,09503	0,01000	0,05560	0,28066	56,721	58,532	15,77767	4,91049
202,04	0,21000	3,52626	0,34610	0,06063	0,62168	0,09753	0,01000	0,05560	0,30293	59,558	62,095	15,25016	4,9961
208,703	0,22000	3,64256	0,34160	0,06407	0,64218	0,09977	0,01000	0,05560	0,32500	62,394	65,617	14,68203	5,07238
215,468	0,23000	3,76062	0,33585	0,06746	0,66300	0,10175	0,01000	0,05560	0,34669	65,230	69,087	14,07351	5,13921
222,362	0,24000	3,88095	0,32878	0,07078	0,68421	0,10345	0,01000	0,05560	0,36783	68,066	72,491	13,42434	5,19642
229,421	0,25000	4,00416	0,32031	0,07403	0,70593	0,10487	0,01000	0,05560	0,38820	70,902	75,816	12,73374	5,24372
236,687	0,26000	4,13097	0,31033	0,07719	0,72829	0,10598	0,01000	0,05560	0,40760	73,738	79,047	12,00026	5,28073
244,211	0,27000	4,26229	0,29868	0,08023	0,75144	0,10677	0,01000	0,05560	0,42579	76,574	82,167	11,22158	5,3069

Tablica 3.7. Parametri toka sa slobodnim vodnim licem za kombinaciju DN315/400

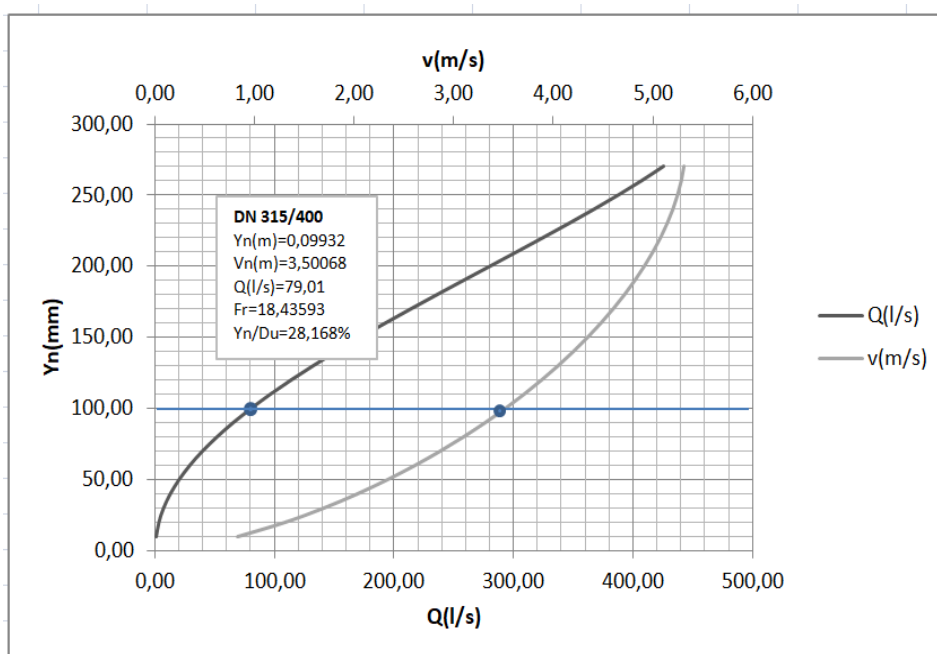
Na Slici 3.4., 3.5. i 3.6. prikazani su hidraulički parametri toka u nepotopljenom dijelu cijevi za slučaj odabira cijevi DN 315, DN 355 i DN 400 na kopnenoj dionici. Iako se u slučaju manjih profila radi o nešto financijski povoljnijoj opciji, kapaciteti cijevi nešto su manji nego u slučaju cijevi DN 400 u kopnenoj dionici. S obzirom kako su u sva tri slučaja zadovoljeni kriteriji minimalnih brzina potrebnih za evakuaciju zraka i samoispiranja odabir, u funkcionalnom smislu najbolje opcije, izvršen je temeljem parametara tečenja u nadmorskoj dionici.



Slika 3.4. Parametri tečenja u nadmorskoj dionici sustava za slučaj kada se nadmorska dionica izvodi od DN 315



Slika 3.5. Parametri tečenja u nadmorskoj dionici sustava za slučaj kada se nadmorska dionica izvodi od DN 355



Slika 3.6. Parametri tečenja u nadmorskoj dionici sustava za slučaj kada se nadmorska dionica izvodi od DN 400

Kriterij u izboru parametara cijevi, u smislu funkcionalnosti i osiguranja željenog režima rada primarno je temeljen na hidrauličkim svojstvima piježometarskih stanja, a potom na ekonomskim što predloženo rješenje čini optimalnim.

**Za ugradnju cijevi ispusta, sa dotokom u rasponu 60.0 – 75.5 l/s u isti, na podmorskom dijelu trase predlaže se PEHD cjevovod, DN 315, PN 10, SDR = 17, dok se u nadmorskom dijelu trase također predlaže ugradnja PEHD cijevi, DN 315, PN 10, SDR = 17.**

## 4. IZBOR PARAMETARA DIFUZORA TEMELJEM PROCJENE STANJA RECIPIJENTA NUMERIČKIM MODELOM

### 4.1. UVOD

Mjerodavne količine otpadnih voda za hidrauličko i ekološko dimenzioniranje podmorskog ispusta naselja Makarske i okolice su definirane:

- Idejnim projektom: Izgradnja vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska podmorskog ispusta - Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda "Biloševac" s pristupnim putom, podmorskim ispustom i transportnim vodom CS Plišćevac – UPOV Biloševac (Hidro-ing d.o.o, 2016.)

Za završnu fazu (faza II.) planiran je maksimalni projektni protok (maksimalna satna vrijednost):

Godina - period	Q (l/s)
2016. - ljetni period	200,00

Navedena količina predstavlja maksimalni satni dotok na UPOV Biloševac.

Naglašava se kako je navedena vrijednost ona koja pristiže iz crpne stanice Biloševac transportnim vodom na UPOV Biloševac, i retencira se s obzirom na usvojenu tehnologiju obrade otpadnih voda.

Maksimalna količina obrađene vode koja se ispušta u dozažni bazen i pritom predstavlja opterećenje sustava dozažni bazen – podmorski ispust – difuzor iznosi 75.5 (l/s), te su svi pogonski parametri u nastavku dimenzionirani s obzirom na navedenu vrijednost.

Prethodnim hidrauličkim proračunom definirano je maksimalno satno opterećenje u vidu hidrauličkog opterećenja UPOV-a na sustav dozažni bazen – podmorski ispust – difuzor:

Q (l/s)
75.5

Prethodna vrijednost mjerodavna je količina istjecanja sa UPOV-a Biloševac u dozažni bazen podmorskog ispusta, kako je prikazano Idejnim projektom. Pretpostavljeno je pročišćavanje otpadnih voda drugog stupnja. Kako režim rada UPOV-a, kojim se otpadna voda tretira i odvodi prema dozažnom bazenu te podmorskom ispustu, nije predmet razrade ovog projekta aglomeracije

Makarska, parametri difuzora u nastavku su definirani s obzirom na regulirani dotok iz dozažnog bazena, a neovisno o dotoku sa UPOV-a koji se treba utvrditi budućim Glavnim projektom UPOV-a, a u skladu s parametrima definiranim ovom studijskom analizom

## 4.2. MEHANIZMI RAZRJEĐENJA

Za potrebu proračun kvalitete recipijenta u uvjetima ispuštanja otpadnih voda na raspolaganju su mnoge metode; od analitičkih pristupa pa do složenih modela u prostornoj i vremenskoj domeni. U nastavku je dan prikaz uobičajenog pristupa Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems (2010.). Zasebno se analizira bliska zona, a zasebno daleka zona miješanja efluenta s morskom vodom. U bliskoj zoni, zbog manje gustoće efluenta u odnosu na gustoću mora, dominantne su sile uzgona i sile inercije. U dalekoj zoni oblak efluenta se rasprostire uglavnom pod utjecajem morskih struja.

Proračun koncentracija bakterija potrebno je provesti za kombinaciju ljetnog mjerodavnog protoka i stratificiranog stupca morske vode s izraženom piknoklinom te za kombinaciju zimskog mjerodavnog protoka bez razvijene piknoklina.

Ukupno smanjenje koncentracije bakterija jednako je:

$$S = S_n \cdot S_f,$$

gdje je :

$S_n$  - razrjeđenje u bliskoj zoni,

$S_f$  - razrjeđenje u dalekoj zoni uz uginuće mikroorganizama (bakterija).

Najveća koncentracija bakterija dobije se kao:

$$c_{\max} = \frac{c_o + c_m}{S} + c_m$$

gdje je:

$c_o$  - početna koncentracija bakterija u otpadnoj vodi,

$c_m$  - koncentracija bakterija u moru prije ispuštanja otpadnih voda.

#### 4.2.1. KARAKTERISTIKE EFLUENTA

Oblak efluenta ispušten kroz otvore na difuzoru ovisi o odnosu  $s/H$ , gdje je  $s$  razmak među bočnim otvorima, a  $H$  je dubina na kojoj je postavljen difuzor. Za odnos:

$$\frac{s}{H} < 0.3 \quad \text{ispuštanje je linijsko,}$$

$$\frac{s}{H} > 1 \quad \text{ispuštanje je točkasto.}$$

Veličine koje karakteriziraju linijski oblak efluenta su:

$$q = \frac{Q_T}{L} \quad \text{- tok volumena,}$$

$$m = u_j \cdot q \quad \text{- tok inercijalne sile}$$

$$b = g_o' \cdot q, \quad \text{tok sile uzgona,}$$

gdje je:

$$Q_T \text{ - mjerodavni protok (m}^3\text{/s),}$$

$$L \text{ - dužina difuzora (m),}$$

$$u_j \text{ - izlazna brzina (m/s),}$$

$$g_o' \text{ - modificirano gravitacijsko ubrzanje (m/s}^2\text{).}$$

Ako je razlika između gustoće efluenta i gustoće mora mala, one se mogu kombinirati u jedan parametar. Navedena pretpostavka poznata je kao Boussinesq-ova pretpostavka :

$$g_o' = g \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} = \frac{\Delta \rho_o}{\rho_a}$$

gdje je:

$$\rho_a \text{ - gustoća mora,}$$

$$\rho_o \text{ - gustoća efluenta koja je prema (MW) za 2.5% manja od gustoće mora.}$$

#### 4.2.2. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI NESTRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE BEZ DJELOVANJA MORSKIH STRUJA

Razrjeđenje se definira prema:

$$\frac{S_n q}{b^{1/3} H} = 0.49$$

Debljina zahvaćenog površinskog sloja jednaka je:

$$h_n = 0.36 \cdot H$$

dok je dužina zahvaćenog sloja:

$$x_n = 0.9 \cdot H$$

#### 4.2.3. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI NESTRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE UZ DJELOVANJE MORSKIH STRUJA

Dinamičko djelovanje morskih struja izražava se Froudovim brojem:

$$F = \frac{u^3}{b},$$

gdje je  $u$  brzina strujanja.

Za  $F \leq 1$ , dominiraju sile uzgona, a za  $F \geq 1$ , dominiraju sile inercije.

Prisutnost morskih struja implicira uvođenje nove varijable  $\Theta$  koja predstavlja kut nailaska morske struje u odnosu na od difuzora.

Razrjeđenje se računa iz izraza:

$$\frac{S_n q}{uH} = f(F, \Theta)$$

#### 4.2.4. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI STRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE BEZ DJELOVANJA MORSKIH STRUJA

Razrjeđenje se određuje iz izraza:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = 0.86$$

$N$  predstavlja učestalost uzgona i definira se kao:

$$N = \sqrt{-\frac{g \Delta \rho_a}{\rho H}},$$

gdje je:

$\Delta \rho_a$  - razlika gustoća mora po dubini,

$\rho$  - gustoća vode na dubini difuzora.

Uvode se nove veličine koje se odnose na ponašanje toka efluenta:

$$l_m = \frac{m}{b^{2/3}} \quad \text{- dužina zahvaćenog područja pod utjecajem inercijalnih sila}$$

$$l_b = \frac{b^{1/3}}{N} \quad \text{- dužina zahvaćenog područja pod utjecajem sila uzgona.}$$

Utjecaj inercijalnih sila može se zanemariti ako vrijedi  $l_m / l_b < 0.2$ .

Karakteristike oblaka efluenta računaju se iz:

$$\frac{x_n}{l_b} = 2.3 \quad \frac{h_n}{l_b} = 1.5 \quad \dots \dots \dots \quad \frac{z_n}{l_b} = 1.7 \quad \frac{z_m}{l_b} = 2.5$$

#### 4.2.5. RAZRJEĐENJE U BLISKOJ ZONI STRATIFICIRANOG STUPCA MORSKE VODE UZ DJELOVANJE MORSKIH STRUJA

Razrjeđenje se određuje iz izraza:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = f(F, \Theta)$$



#### 4.2.6. RAZRJEĐENJE U DALEKOJ ZONI UZ ODUMIRANJE MIKROORGANIZAMA

Razrjeđenje rasprostiranjem u dalekoj zoni određuje se prema Brooks-ovom modelu za dominantno strujanje u moru.

Koeficijent rasprostiranja dobije se iz:

$$\varepsilon = \alpha \cdot L^{4/3},$$

gdje je:

$$\alpha - \text{konstanta difuzije} = 0.000464 \text{ (m}^{2/3}\text{/s)},$$

$L$  - dužina difuzora (m).

Koeficijent uginuća mikroorganizama računa se za vrijeme u kojem uquine 90 % mikroorganizama prema:

$$k = \frac{1}{T_{90} \log_{10} e}$$

Najveća koncentracija bakterija u smjeru 'x' jednaka je:

$$c_m(x) = c_o e^{-kx/u} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{\left(1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{L}\right)^3 - 1}},$$

gdje je:

$c_o$  - početna koncentracija koliformnih bakterija u otpadnoj vodi,

$u$  - brzina površinske morske struje (m/s),

$x$  - udaljenost proračunskog presjeka od difuzora (m),

$\operatorname{erf}$  - funkcija pogreške,

$$\beta = \frac{12\varepsilon}{uL}.$$

Razrjeđenje rasprostiranjem uz uginuće mikroorganizama dobije se iz odnosa:

$$S_f = c_o / c_m$$

### 4.3. ZAKONSKA REGULATIVA

Temeljem Uredbe o kakvoći mora za kupanje (Narodne novine br. 73/08, članak 5.) definirani su rasponi vrijednosti koncentracije Escherichia Coli prema kojima se provodi i razvrstavanje kakvoće mora (Tablica 4.1.):

Escherichia coli (E.C.)	<100 EC/100ml	izvrсна kvaliteta
	101-200 EC/100ml	dobra kvaliteta
	201-300 EC/100ml	zadovoljavajuća kvaliteta

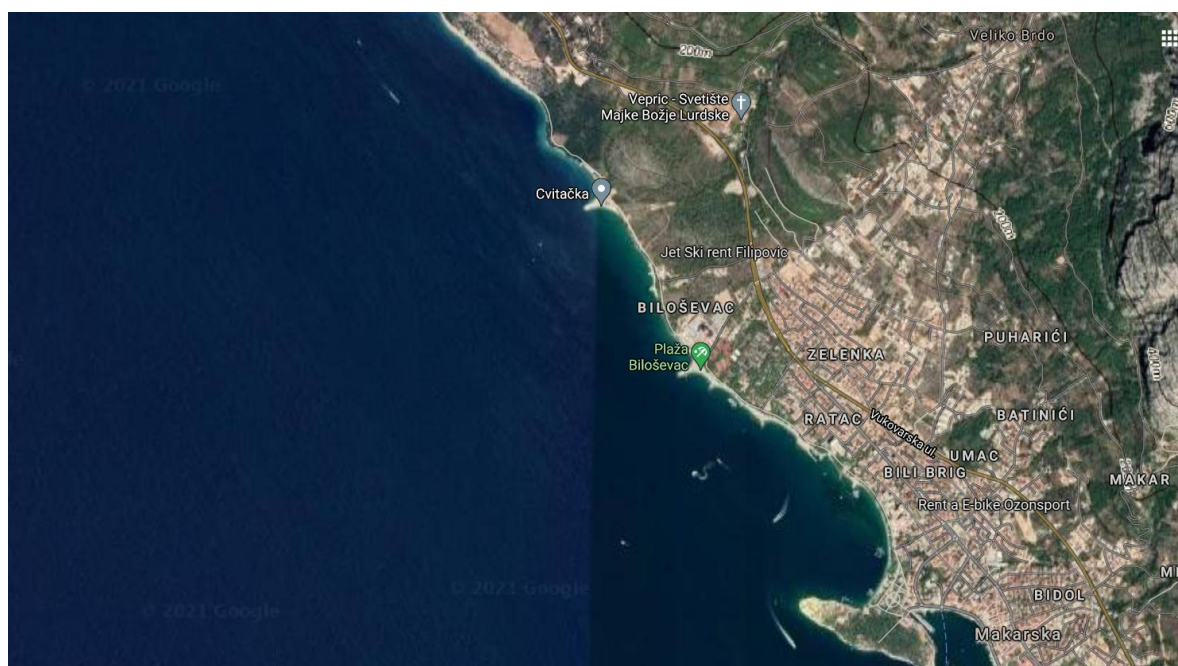
*Tablica 4.1. razredi kakvoće mora ovisno o koncentraciji E.C.*

Mjerodavna usvojena udaljenost od obalne crte, a na kojoj se teži postizanju navedenih vrijednosti jest 300 m od obale.

#### 4.4. ULAZNI PARAMETRI

Procjena kvalitete recipijenta u zoni utjecaja podmorskog ispusta UPOV-a aglomeracije Makarska izvršena je za ulazne podatke numeričkim modelom UM3 (USEPA, 2003). Riječ je o 3D modelu koji simulira prethodno navedene mehanizme razrijeđenja u recipijentu Lagrange-ovim pristupom.

U nastavku je dan pregled ulaznih parametara za ljetno i zimsko razdoblje, uvjete stabilnog i nestabilnog vodnog stupca recipijenta, a prema podacima državnih institucija (DHMZ, IOR, AZU). Podaci koji nisu dostupni, procijenjeni su na temelju iskustva projektanta. S obzirom kako se radi o uređaju za pročišćavanje otpadnih voda drugog stupnja, predviđena je 90% - na učinkovitost u redukciji bakterija roda E.C..



Slika 4.1. Područje akvatorija recipijenta otpadne vode tretirane na UPOV-u Biloševac

Batimetrijski podaci nisu poznati pa se pretpostavlja da stijena podloge dolazi do površine morskog dna samo uz obalu, pri manjim dubinama te da dno blago ponire do dubine na kojoj se nalazi difuzor. Zbog

nekadašnjih potapanja planinskih reljefnih oblika obala je razvedena i neravnog morskog dna, koja se stalno mijenja uslijed sedimentacije organskog i anorganskog materijala koji velikim dijelom dopijeva s kopna.

Obalni dio istraživanog područja tvore vapnenci. Vapnenci su izražene slojevitosti, nagnuti uglavnom prema sjeveroistoku, a zbog nabiranja prostorni položaj slojeva je različit.

*Marinski sediment* (bliže obali) je po sastavu pretežito sitnozrnati pijesak, karakterističan za obalni dio južnog Jadrana.

*Klimatska obilježja* područja ispusta otpadnih voda kanalizacijske infrastrukture analizirana su na osnovi mjerenja meteoroloških elemenata na meteorološkoj postaji Split-Marjan i Sv.Jure-Biokovo. Godišnji hod srednje mjesečne vrijednosti temperature zraka ima oblik sinusoidnog vala s jednim maksimumom ( $26.0^{\circ}\text{C}$  u srpnju) i jednim minimumom ( $7.9^{\circ}\text{C}$  u siječnju). Iz toga se može zaključiti da se radi o tipičnom maritimnom hodu temperature zraka.

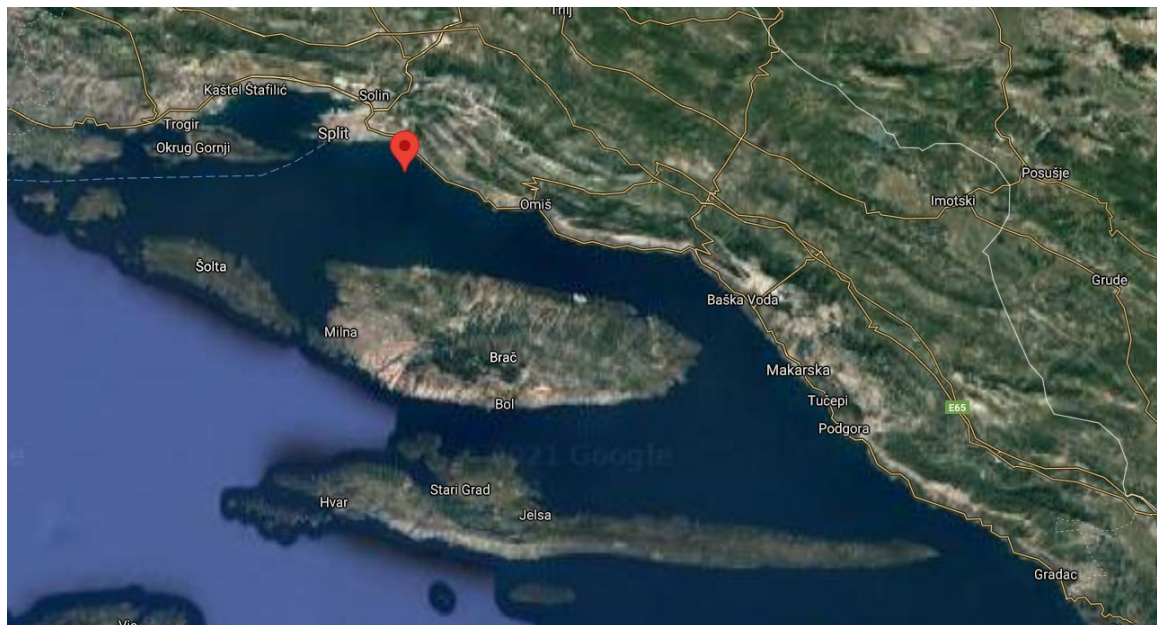
Srednja godišnja količina oborina za šire područje Splita iznosi 812.1 mm, s time da je u srpnju u prosjeku najmanje oborina (27.9 mm), dok ih je u studenom najviše (114.1 mm), (Državni hidrometeorološki zavod, podaci za Split-Marjan). Veći dio ukupne godišnje količine oborina zastupljen je u hladnijem dijelu godine, dok topliji dio godine ima relativno malo oborina te su česta sušna ljeta.

Relativna vlažnost zraka ovisi o temperaturi, s time da je srednji godišnji hod relativne vlage inverzan srednjem godišnjem hodu temperature te su minimalne vrijednosti u toplijem dijelu godine. *Karakteristični vjetrovi* na istočnoj obali Jadranskog mora su, u zimskom razdoblju bura (NE, NNE i ENE smjer) te jugo (SE, SSE i ESE smjer), dok je po ljeti značajan maestral (NW smjer). Na automatskoj meteorološkoj postaji Sv.Jure – Biokovo kao dominantni vjetrovi (po učestalosti i srednjoj jačini) u ljetnom kritičnom periodu zabilježeni su SE, NW i NE.

*Termohalinska svojstva* mora ovise o nizu fizikalnih čimbenika koji su rezultat procesa u moru i procesa na granici s atmosferom. Ona ovise o godišnjem dobu, odnosno bilanci topline i mase na površini mora, te o vertikalnim i horizontalnim procesima u moru. Sezonsko zagrijavanje mora počinje u ožujku kada se površinski sloj mora zagrijava te se formira sezonska termoklina, odnosno sloj u moru gdje se javlja temperaturni gradijent. U tom slučaju, salinitet raste s dubinom, dok temperatura pada s dubinom. Tijekom ljeta termoklina postaje izraženija i produbljuje se. U rujnu zbog pojačanog i učestalijeg vjetera te smanjenog dotoka Sunčevog zračenja, termoklina slabi da bi u zimskim mjesecima u potpunosti iščeznula, a procesi vertikalne konvekcije i miješanja homogeniziraju stupac mora. Stoga možemo odrediti dva razdoblja unutar godine s različitim termohalinskim svojstvima; ljetno i zimsko. U zimskom su razdoblju i temperatura i salinitet vertikalno homogeniji u odnosu na ljetno razdoblje. Temperatura mora kreću se oko  $14\text{--}18^{\circ}\text{C}$ , a salinitet se u prosjeku od 34-38‰. Početkom ljeta na promatranom području razvila se sezonska termoklina, odnosno piknoklima, koja se prema sredini ljeta dodatno pojačala. Jačanje piknokline povoljno je za ispuštanje otpadnih voda, jer sprječava njihovo dizanje prema površini mora. Ljetna termoklina i haloklina

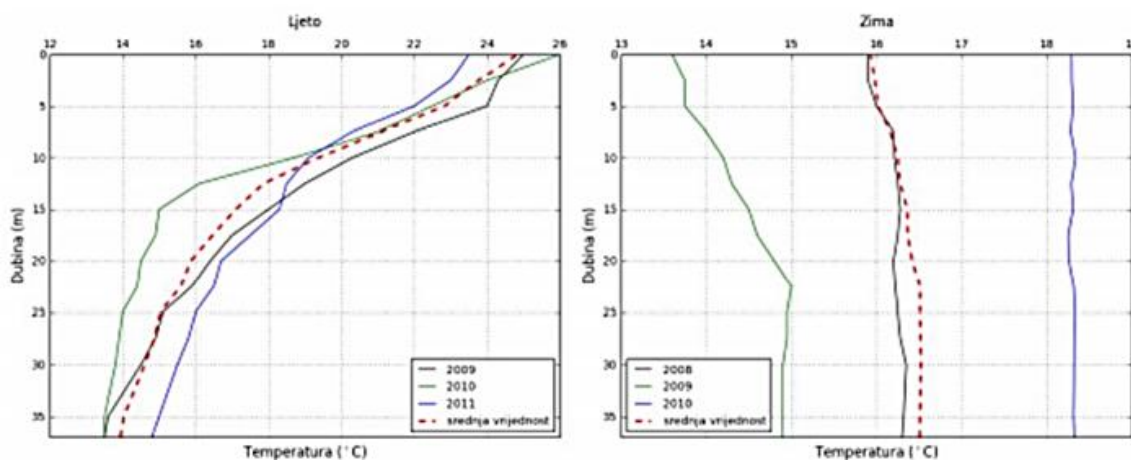
razvile su se na dubinama 5 - 15 metara. Raspon temperature u termoklini bio je oko 15 - 22°C, dok se raspon salinitet u haloklini kretao od oko 36.0 - 38‰.

Za potrebe naših proračuna uzeli smo zadnja tri mjerenja za postaju P7 (43° 28.5', 16° 31.8', (Slika 4.1.) koja je najbliža dostupna trenutačnom i planiranom ispustu, odnosno njegovom difuzoru.

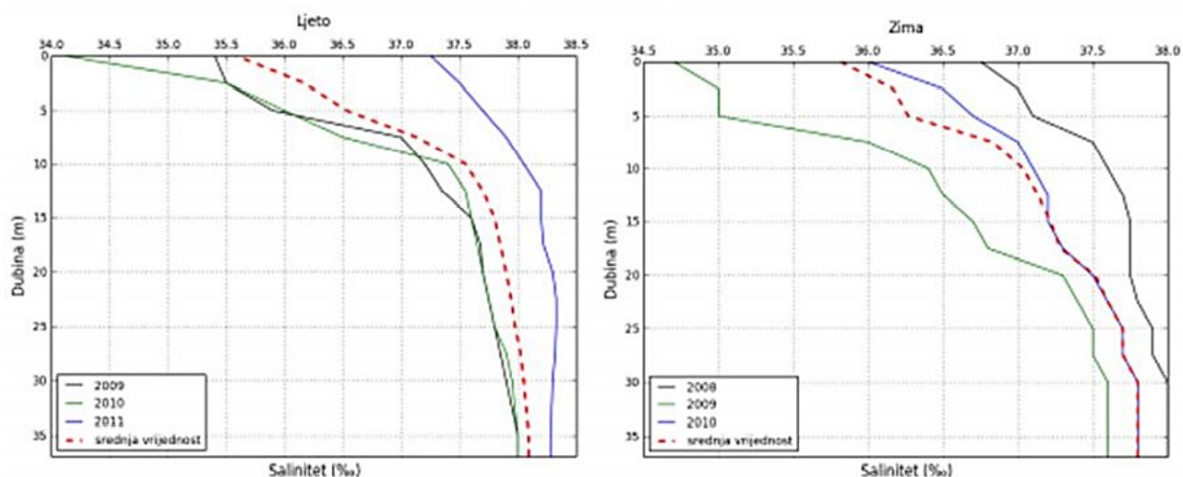


Slika 4.2. Situacijski prikaz postaje P7

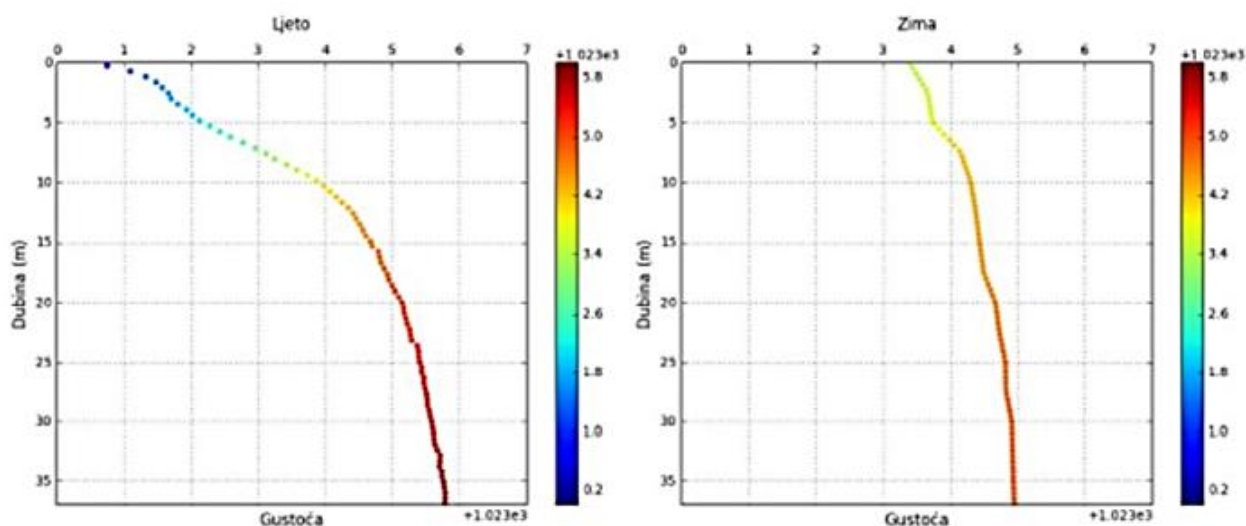
Vrijednosti temperature i saliniteta za postaju P7 posebno za ljetno razdoblje (svibanj, srpanj), a posebno za zimsko (studeni, prosinac) prikazane su na grafičkim prikazom (Slika 4.3. i Slika 4.4.). Prema mjerenim podacima temperature i saliniteta za godine 2009., 2010. i 2011. proračunate su srednje vrijednosti vertikalne raspodjele temperature i saliniteta, a na temelju njih polje gustoće (Slika 4.5.), koje će biti jedan od ulaznih parametara modela bliske zone.



Slika 4.3. Vertikalna stratifikacija temperature –postaja P7



Slika 4.4. Vertikalna stratifikacija saliniteta –postaja P7



Slika 4.5. Vertikalna stratifikacija gustoće –postaja P7

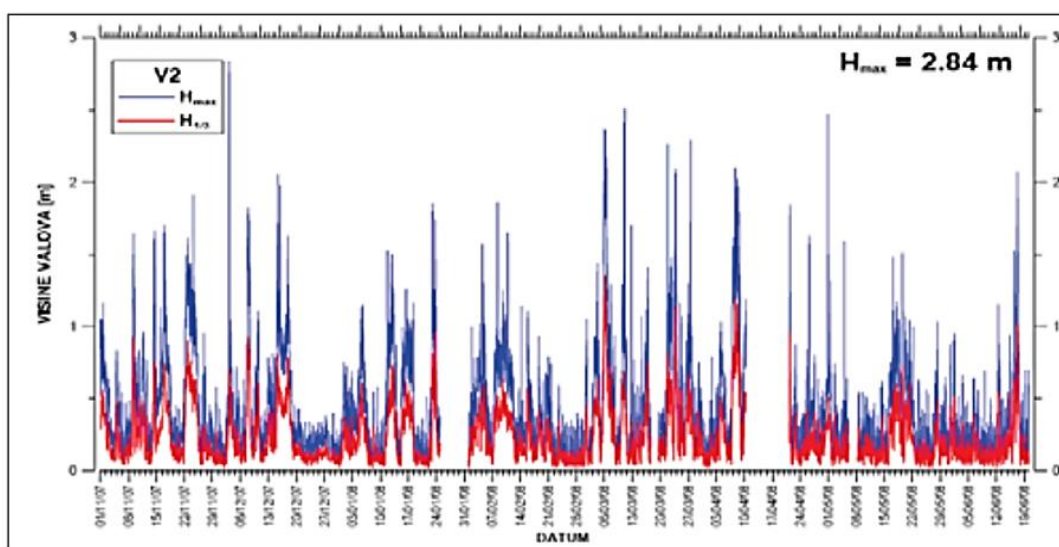
Slanost mora je bila najniža na površini i to između 36.5 i 37.7 ‰, dok je u cijelom vodenom stupcu ispod površine bila gotovo konstantna, vrijednosti oko 38.0 ‰. Gustoća mora, koja je u funkciji temperature, slanosti i dubine (tlaka) mora, ima sličnu vertikalnu razdiobu kao slanost u površinskom sloju. Vrijednosti gustoće mora se kreću između 1023 i 1023.2 kg/m<sup>3</sup> neposredno uz površinu, preko 1025 kg/m<sup>3</sup> u središnjem dijelu vodenog stupca (gdje su temperatura i slanost konstantni) te do 1028.8 kg/m<sup>3</sup> u samom pridnenom sloju gdje je zabilježen pad temperature.

Gustoća u odnosu na mjerenja u zimskom periodu je porasla, zbog intenzivnog hlađenja te su izmjerene vrijednosti između 1026.5 i 1028 kg/m<sup>3</sup>, uz gotovo nezamjetan porast prema dnu.

Ljeti se, zbog pozitivne bilance sunčevog zračenja, formira i održava vertikalna stratificiranost mora, odnosno razvijena termoklina i piknoklina. To je vrlo povoljno za ispuštanje otpadnih voda,

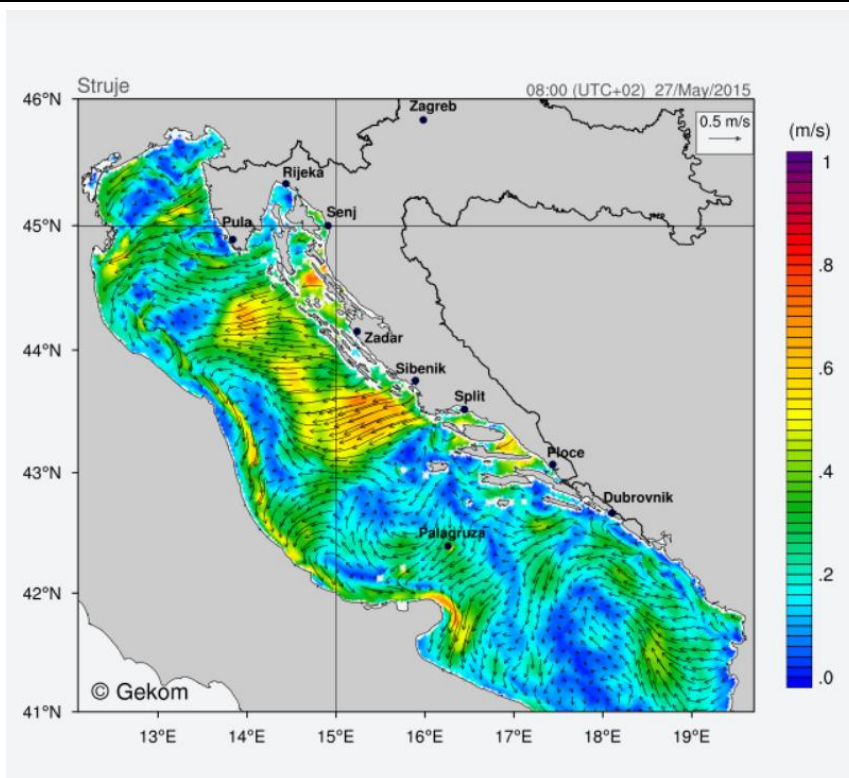
jer sprječava njihovo dizanje na površinu mora u razdoblju najveće opterećenosti sustava otpadnim vodama.

Ukupni raspon kolebanja razine mora je oko 130 cm, pri čemu je maksimalna visina vala 2.84 m. Tijekom hladnijih mjeseci (siječanj, veljača, ožujak, studeni i prosinac), kad je ciklonalna aktivnost intenzivnija, javljaju se jaki i olujni vjetrovi. U širem akvatoriju Makarske, u tom razdoblju najveću učestalost imaju valovi koji napreduju iz NE smjera (bura) i SE smjera (jugo), a visine im variraju od 0.5 m do 1.5 m. (Slika 4.6.) Vjetrovi iz ostalih smjerova, zbog ograničenog privjetrišta ne mogu generirati valne modele značajnijih energija.

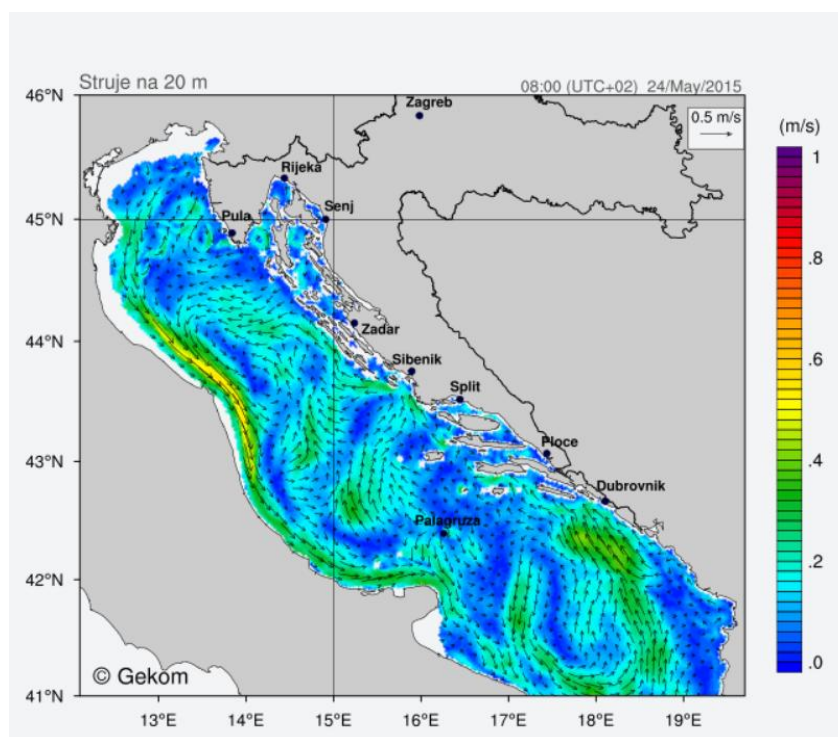


Slika 4.6. Najveće i značajne valne visine izmjerene na postaji u Bračkom kanalu u razdoblju od 1.11.2007. do 20.6.2008.

Brzine morskih struja u makarskom akvatoriju kreću se u rasponu od 1 cm/s do 15 cm/s u površinskom sloju (dubina do 3 m), kako je prikazano na Slici 4.7., dok je na dubini od 20 m brzina strujanja varira od 1 cm/s do 20 cm/s (Slika 4.8.). (Agencija za ugljikovodike - MZOE)



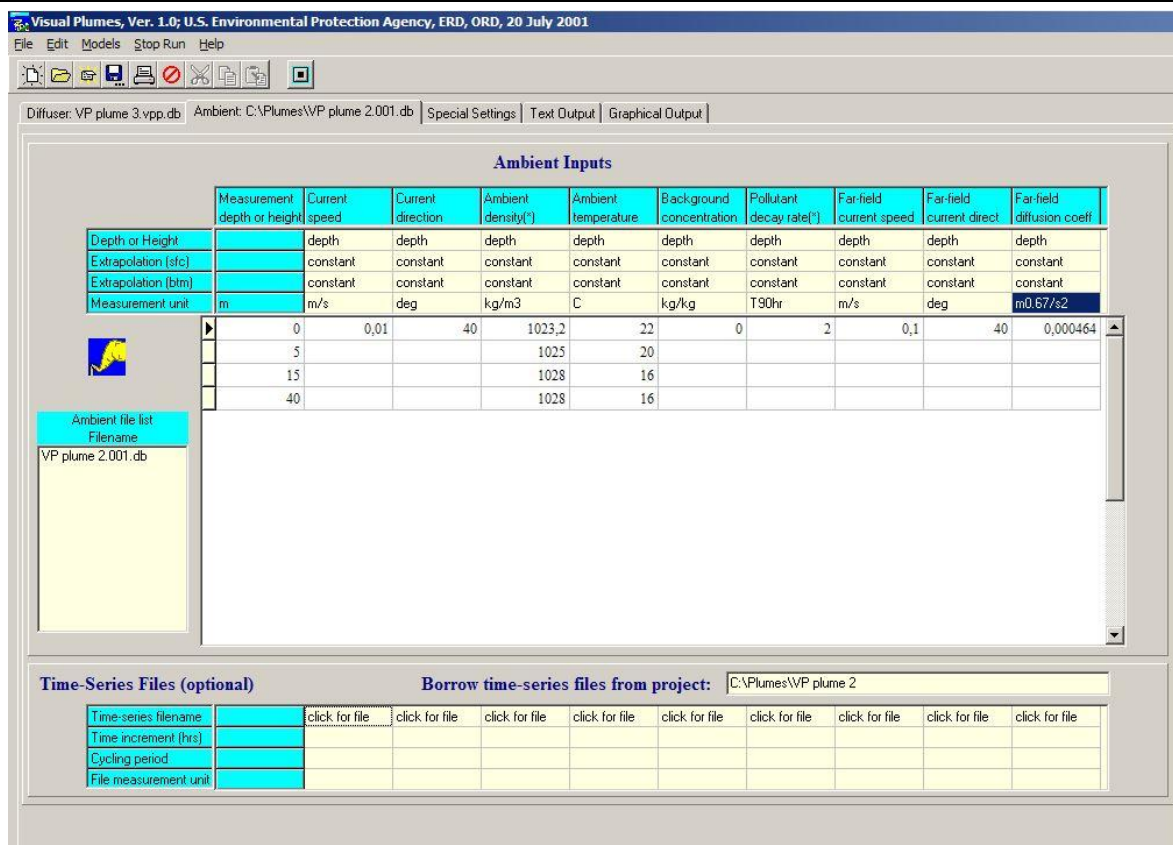
Slika 4.7. Prikaz strujanja na površini na dan 24. svibnja 2015.



Slika 4.8. Prikaz strujanja na dubini 20 m na dan 24. svibnja 2015.

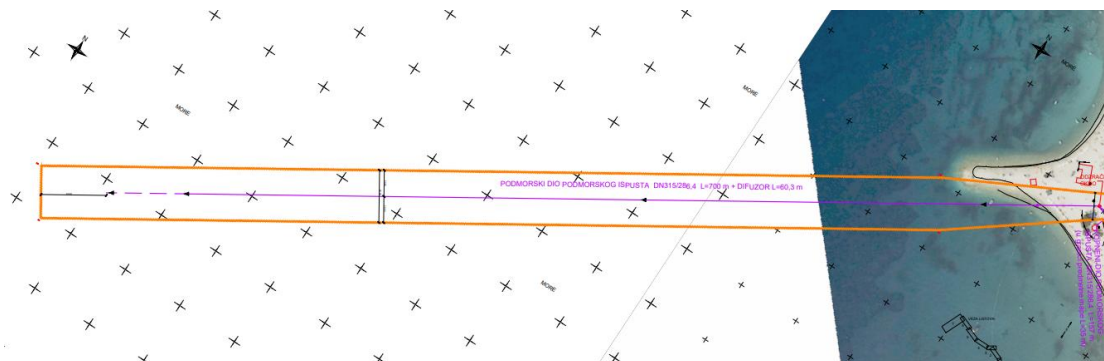
S obzirom da je u nema podataka o brzini strujanja u zimskom periodu godine kao ni u pridnenom sloju ( 3 m iznad dna), preporučeno je koristiti kritične vrijednosti brzina, odnosno za pridneni sloj donja granica, a za površinski sloj gornja granica raspona vrijednosti.





Slika 4.9. Prikaz ulaznih parametara za stratificirani recipijent u programu Visual Plumes – model UM3

Odabrani podaci koriste se za dimenzioniranje podmorskog ispusta aglomeracije Makarska kao okvirne vrijednosti. Pogonske parametre difuzorske sekcije i cjevovoda podmorskog ispusta potrebno je razraditi i definirati u budućoj projektnoj dokumentaciji istog. Za promjer cjevovoda podmorske dionice ispusta za potrebe procjene stanja recipijenta usvaja se vrijednost 315/315 mm, dok su duljina cjevovoda i duljina difuzora varijabilni i definiraju se ovom studijom. (Slika 4.10.)



Slika 4.10. Situacijski prikaz trase podmorskog ispusta

#### 4.5. LJETO – STRATIFICIRANI RECIPIJENT

Karakteristika recipijenta u ljetnom razdoblju izražena je vertikalna stratifikacija termohalinskih svojstava. U slučaju predviđene trase za polaganje ispusta aglomeracije Makarska usvojena je izražena stratifikacija recipijenta na mjestu ispuštanja. U površinskom sloju do dubine 5 metara je gustoća recipijenta se kreće u rasponu od  $1023.2 \text{ kg/m}^3$  do  $1025 \text{ kg/m}^3$ , a gdje počinje razvoj piknokline. Od 5 do 15 metara dubine gustoća raste do vrijednosti  $1028 \text{ kg/m}^3$ , odakle zadržava gotovo konstantnu vrijednost do morskog dna.

Brzina strujanja promatra se zasebno, u površinskom i pridnenom sloju, s obzirom na najkritičniji smjer. Prema geografskom položaju, makarska obala pruža se u smjeru NW – SE što koincidira sa najučestalijim izmjerenim smjerovima morskih struja na toj lokaciji. Obzirom na lokaciju mjesta ispuštanja u nastavku su ispitani parametri difuzorske sekcije s obzirom na:

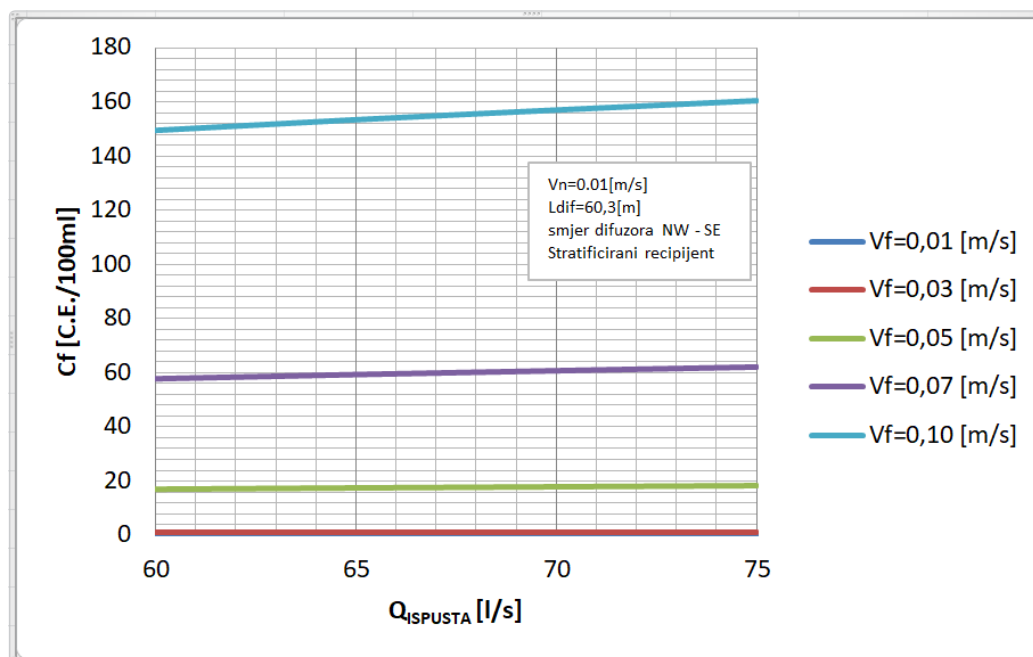
- Najkritičniji smjer morskih struja (usmjereno prema obali: NE – SW) za ispust čija je difuzorska sekcija udaljena 700 m od obalne crte
- Brzine u pridnenom sloju (bliska zona variraju u rasponu  $1.0 - 10.0 \text{ cm/s}$ ), dok se brzine u površinskom sloju također kreću u intervalu  $1.0 - 10.0 \text{ cm/s}$ . Usvojene vrijednosti u skladu su s izvršenim mjerenjima.
- Mehanizme širenja oblaka (početno (hidrauličko) razrjeđenje, naknadno razrjeđenje (difuzno širenje i odumiranje bakterija roda E.C.)

Za početnu vrijednost koncentracije E.C. usvaja se  $10^7 \text{ E.C./100 ml.}$  Kako se radi o uređaju drugog stupnja kao mjerodavno opterećenje koje djeluje na recipijent usvaja s  $10^6 \text{ E.C./100 ml.}$  uz pretpostavku 90 % uklanjanja bakterija na UPOV-u (Margeta, 2009.) Vrijeme odumiranja za ljetno razdoblje definirano je kao  $T_{90} = 2 \text{ h}$  (Tedeschi, 1981., Brooks, 1972.).

U svrhu definiranja optimalnih parametara difuzora usvojena je brzina morskih struja  $0.01 \text{ m/s}$  u bliskoj zoni pridnenog sloja čime se a priori smanjuje početno razrjeđenje koje je dominantno uvjetovano brzinom morskih struja, a onda i brzinom efluenta na mjestima vertikalnih otvora.

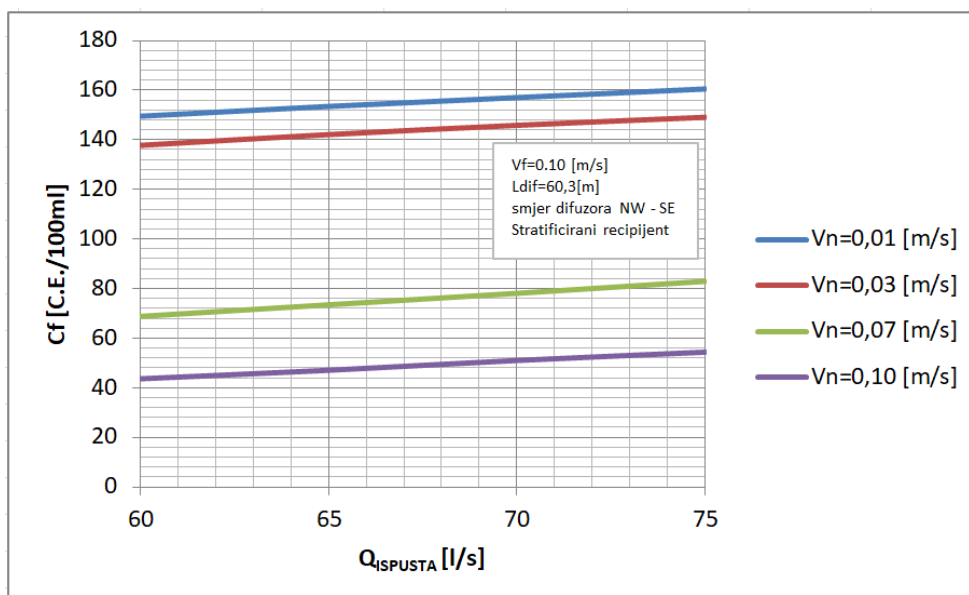
Pretpostavljena je difuzorska sekcija duljine  $60.3 \text{ m}$ , sa 5 okruglih otvora promjera  $6.0 \text{ cm}$  sa smjerom pružanja NW-SE (okomito na trasu ispusta).

Brzina strujanja 0.01 m/s u bliskoj zoni usmjerena okomito na obalu, nešto je niža od srednje vrijednosti brzine strujanja izmjerene u pridnenom sloju, i usvaja se kao kritični slučaj, uz raspon brzina u površinskom sloju 0.01 m/s - 0.1 m/s. Uz smanjenje početnog razrjeđenja u ovom slučaju, na Slici 4.11. uočava se povećana koncentracija E.C. na udaljenosti 300 m od obalne crte s porastom brzine strujanja u površinskom sloju. Razlog ovog je smanjenje vremena izloženosti oblaka efluenta sunčevom zračenju i djelovanju mora, koje se s povećanjem brzine strujanja smanjuje u odnosu na  $T_{90}$ . Kako dotok sa UPOV-a u dozažni bazen varira u rasponu 60 - 75 l/s.



Slika 4.11. Utjecaj brzine morskih struja u dalekoj zoni podmorskog ispusta na koncentraciju E.C. na udaljenosti 300 m od obale

Jednako kao i kod prethodnih rezultata, u dalekoj zoni se usvaja kritični slučaj kada je vektor brzine intenziteta 0.10 m/s usmjeren ka obali, uz varijabilne brzine istog smjera u pridnenom sloju bliske zone u intervalu 0.01 – 0.10 m/s. S povećanjem brzine strujanja postiže se povećanje razrjeđenja u bliskoj zoni čime su koncentracije u zoni 300 m od obale drastično smanjene, prikazano na slici 4.12..



Slika 4.12. Utjecaj brzine morskih struja u bliskoj zoni podmorskog ispusta na koncentraciju E.C. na udaljenosti 300 m od obale

S obzirom na rezultate usvaja se mjerodavna kritična kombinacija morskih struja:

- U bliskoj zoni brzina iznosa 0.01 m/s usmjerena ka obali
- U dalekoj zoni brzina iznosa 0.10 m/s usmjerena ka obali

Ovakvim izborom mjerodavnih brzina odlazi se na stranu sigurnosti jer se zadržava mala vrijednost početnog razrijeđenja, a ujedno se smanjuje utjecaj naknadnog razrijeđenja koje u ukupnom razrijeđenju ima dominantan učinak na koncentraciju efluenta. Stoga se u daljnim analizama navedena kombinacija usvaja kao mjerodavna.

U daljnjem postupku ispitan je drugačiji položaj difuzorske sekcije s obzirom na smjer pružanja. Difuzorska sekcija duljine  $L = 60,3$  m (broj otvora  $n = 5$ , promjer otvora  $d = 0.06$  m, razmak među otvorima  $l = 15.075$  m) inicijalno je predviđena za polaganje okomito na cjevovod podmorskog ispusta (NW – SE).

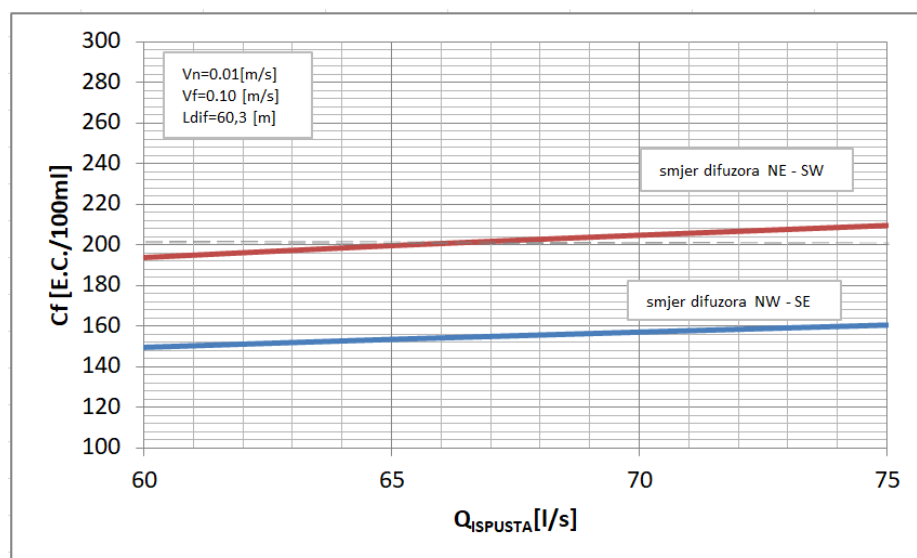
Na slici 4.13. prikazano je kako *postavljanje difuzora u smjeru pružanja ispusta* negativno utječe na kvalitetu recipijenta.

Postavljanjem difuzora okomito na smjer osi cjevovoda podmorskog ispusta (paralelno s obalom) količina ispuštenog efluenta zahvaća veći volumen recipijenta pri čemu se inicijalno povećava razrijeđenje. Suprotno,

postavljanjem difuzora u smjeru trase ispusta, oblak efluenta zahvaća manji volumen i razrjeđenje je manje što dokazuje slika 4.13..

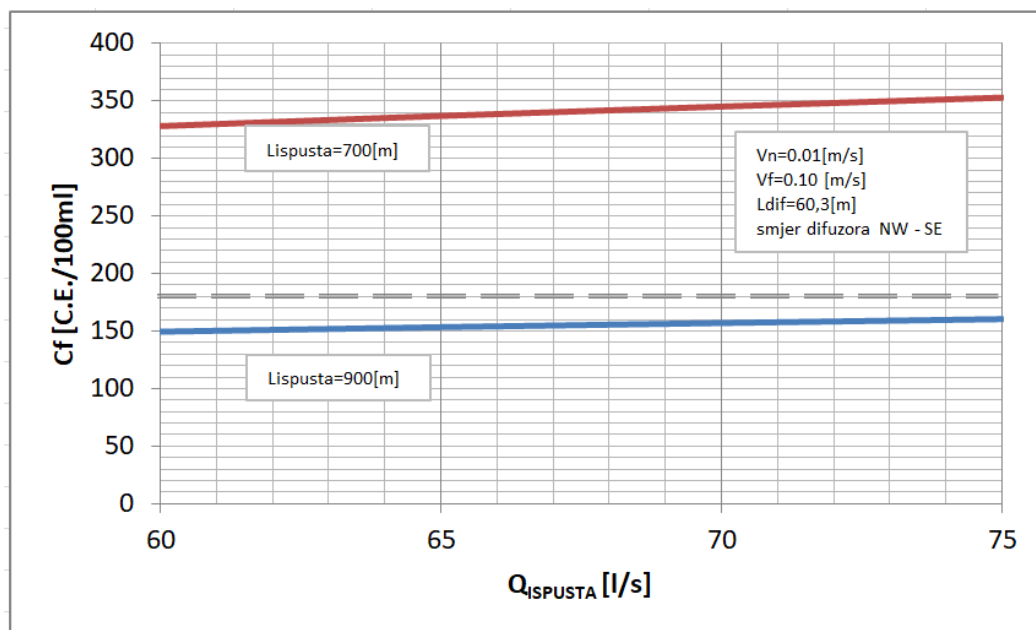
Također, u slučaju pojave dominantno učestalih smjerova struja (NW - SE) oblak efluenta ima slobodan put prema SE i NW, a do nailaska na obalu potrebno je ostvariti duži put čime se povećava izloženost djelovanju sunca i mora što doprinosi razvoju razrjeđenja kroz mehanizam difuzije i odumiranja bakterija, a samim time i minimizaciji koncentracije.

Prema tome, može se zaključiti kako je smjer pružanja difuzora paralelno s obalnom crtom definitivno sigurnije rješenje s obzirom na mogućnost pojave strujanja usmjerenog ka obali uz zadržavanje dubine polaganja iste na cca.  $d = - 40.00$  m n.m..



Slika 4.13. Izbor smjera polaganja difuzorske sekcije podmorskog ispusta

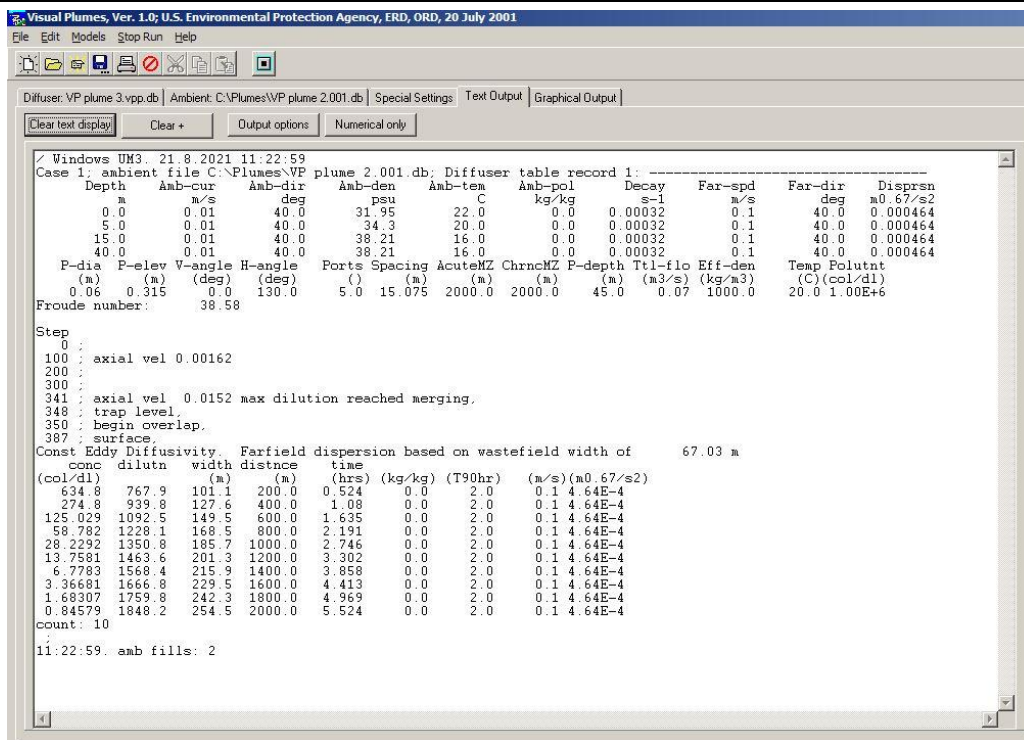
Uvidom u sliku 4.13. jasno je vidljiv utjecaj smjera polaganja difuzorske sekcije na kvalitetu recipijenta u zoni 300 m od obalne crte. Kao kritični slučaj usvojena je brzina u bliskoj zoni 0.01m/s i brzina 0.10 m/s u dalekoj zoni te se polaganjem difuzora u pravcu NW – SE postiže povoljnije stanje recipijenta, ali i dalje nije postignuto stanje „dobre kakvoće mora“ na manjim udaljenostima od mjesta ispuštanja koje je Uredbom o kakvoći mora za kupanje propisano za vrijednosti do 200 E.C./100 ml.



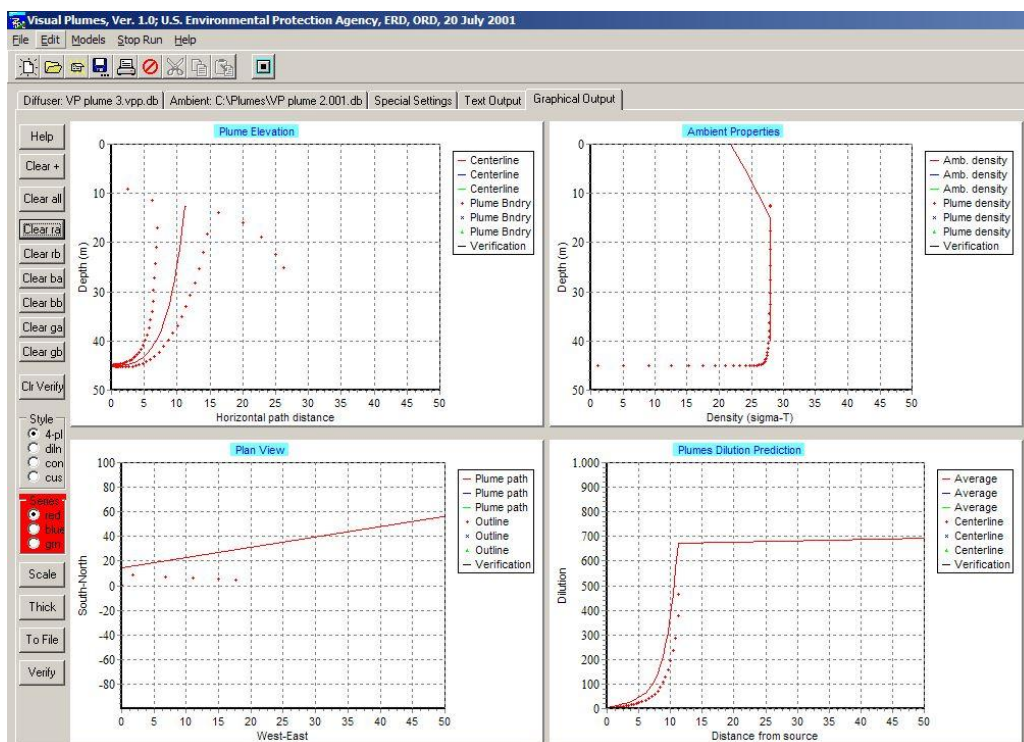
Slika 4.14. Izbor povećanja duljine cijevi podmorskog ispusta

Povećanjem dužine podmorskog dijela podmorskog ispusta Idejnim projektom pretpostavljene duljine 700 m na duljinu 900 m, položenog u smjeru SE – NW (Slika 4.14.) postiže se povećanje razrjeđenja, sa zadržavanjem povoljnih hidrauličkih uvjeta tečenja i postizanja optimalne brzine tečenja kroz cjevovod podmorskog ispusta za interval dotoka u dozažni bazen 60.0 – 70.0 l/s. Za podmorski dio ispusta duljine 900.0 m, osigurava se zadovoljenje kriterija „dobre kakvoće mora“ koje je Uredbom o kakvoći mora za kupanje propisano za vrijednosti do 200 E.C./100 ml, za **promijenjeni dotok iz dozažnog bazena u rasponu 60.0 – 70.0 l/s .**

**U ovom dijelu, u odnosu na prikazani maksimalni satni dotok i parametre difuzorske sekcije, usvaja se duljina podmorskog dijela podmorskog ispusta  $L = 900$  m, s povećanjem dubine na kojoj se nalazi difuzor na cca. -45 m n.m. .**



Slika 4.15. Tekstualni prikaz razlike u količini E.C. na 400 i 600 m udaljenosti od zone obalnog mora-ljeto



Slika 4.16. Grafički prikaz razlike u količini E.C. na 600 m udaljenosti od zone obalnog mora-ljeto

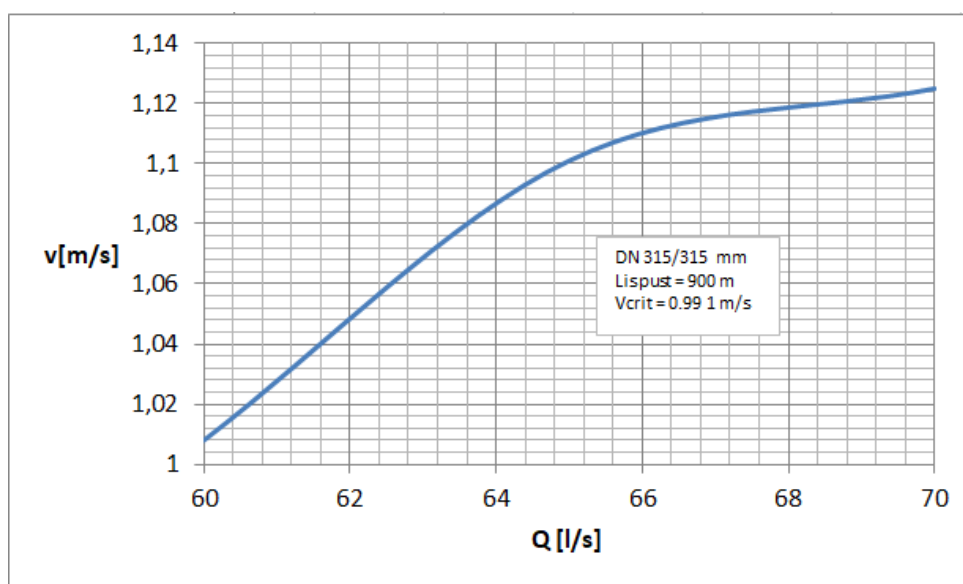
Na Slici 4.15. vidljivo je kako se povećanjem duljine podmorskog ispusta za 200 m koncentracije E.C. smanjuje toliko da je na granici obalnog mora na udaljenosti 300 m od obale zadovoljena Uredba o kakvoći mora za kupanje i recipijent svrstan u stanje mora "dobre kvalitete".

Prema rezultatima i provedenim analizama za stratificirani recipijent u slučaju podmorskog ispusta UPOV-a aglomeracije Makarska zaključuje se kako je potrebna difuzorska sekcija slijedećih parametara:

- Difuzorsku sekciju položiti u smjeru SE – NW
- Minimalna duljina difuzora treba biti 60.3 m
- Pretpostavljeni broj otvora je 5, okruglog oblika, međusobnih razmaka 15.075 m, promjera 6 cm. U projektnoj dokumentaciji potrebno je razraditi parametre difuzorske sekcije, a u slučaju promjena u odnosu na prikazano stanje, osigurati brzinu istjecanja efluenta na bočnim otvorima od  $V_{MIN} = 3.5$  m/s.
- Kapacitet predloženog difuzora u pogledu zakonom propisanih vrijednosti poželjnog stanja recipijenta jest  $Q_{MAX} = 75$  l/s.

Za maksimalni dotok iz dozažnog bazena  $Q_{MAX} = 70.0$  l/s i navedene parametre difuzorske sekcije **u potpunosti je zadovoljen** kriterij:

- na granici obalnog mora na udaljenoj 300 (m) od obale zahtjeve za kakvoćom mora prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje - (Narodne novine br. 73/08, članak 5.)
- osiguranja minimalnih brzina potrebnih za osiguranje evakuacije zraka iz cijevi - potreban je dotok u cjevovod veći od 60.0 l/s
- razine vode u nadmorskom dijelu cijevi manje od maksimalne kote koja je definirana na koti + 10.00 m n.m. – zadovoljavaju dotoci iz dozažnog bazena manji od 70.0 l/s



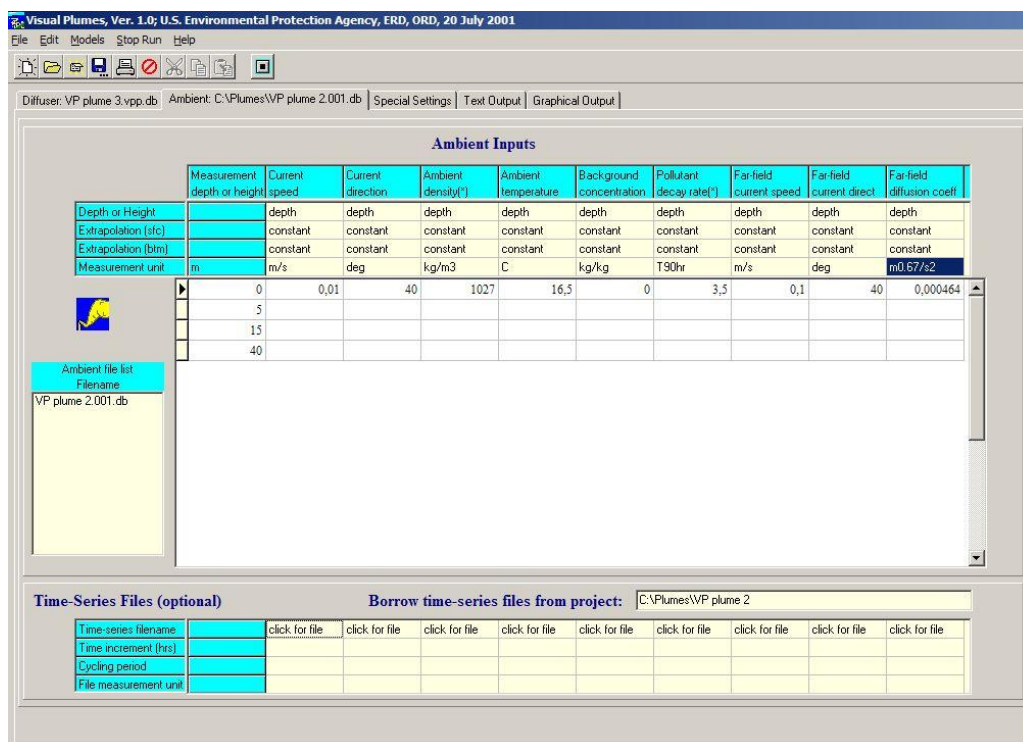
Slika 4.17. Brzine tečenja u nadmorskom dijelu cijevi ovisno o dotocima sa dozažnog bazena



Na udaljenosti 300 metara od obalne crte modelom je definirana koncentracija E.C.-a u iznosu manjem od 200 [E.C./100 ml], čime se prema Uredbi o kakvoći mora za kupanje svrstava u „more dobre kvalitete“.

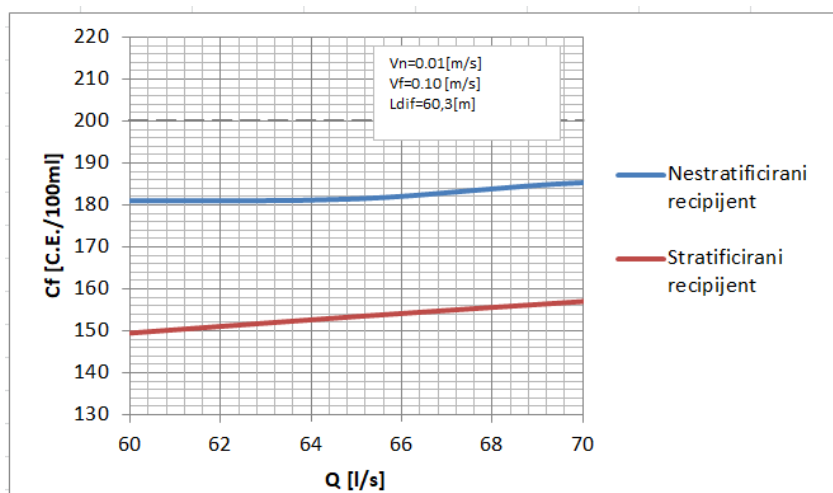
#### 4.6. ZIMA – NESTRATIFICIRANI RECIPIJENT

U zimskim uvjetima recipijent je pogledu vertikalnih svojstava u nestabilnijem stanju u odnosu na ljetno razdoblje. Sunčeva energija koja se insolacijom prenosi na površinski sloj mora, u zimskim mjesecima izostaje što osigurava poprilično uniformne raspodjele parametara temperature, gustoće i slanosti mora unutar vodnog stupca. (Slika 4.18.) Zbog takvog stanja recipijenta, omogućeno je isplivavanje oblaka, upuštenog putem otvora na difuzorskoj sekciji, na morsku površinu.



Slika 4.18. Prikaz ulaznih parametara za nestratificirani recipijent u programu Visual Plumes – model UM3

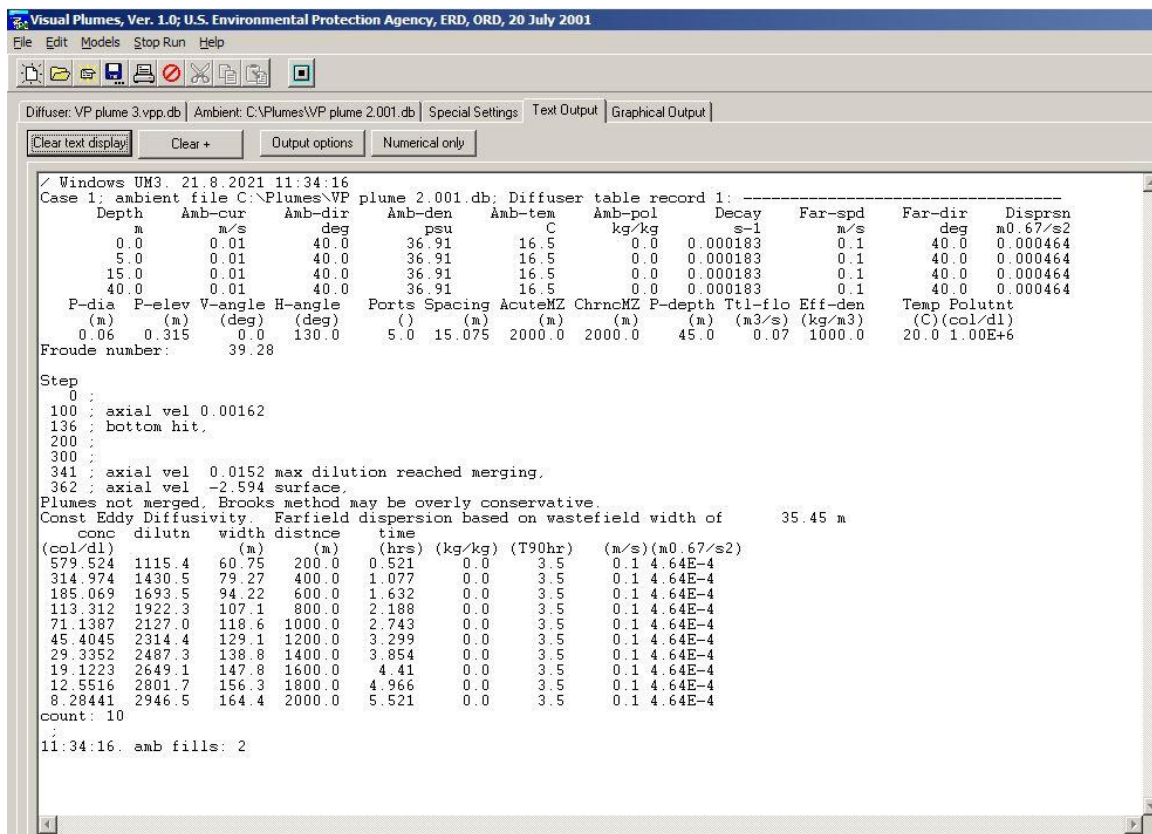
Za potrebe dokaza učinkovitosti i režima rada prethodno definirane difuzorske sekcije, na Slici 4.19. prikazana je usporedba koncentracije E.C.-a na udaljenosti 300 m od obalne crte za slučaj stratificiranog (ljetno) i nestratificiranog (zimski) recipijenta. Uz promjenu gustoće recipijenta (usvojeno  $1027.0 \text{ kg/m}^3$  prema obavljenim mjerenjima) vrijeme odumiranja E.C.-a je  $T_{90} = 3,5 \text{ h}$ .



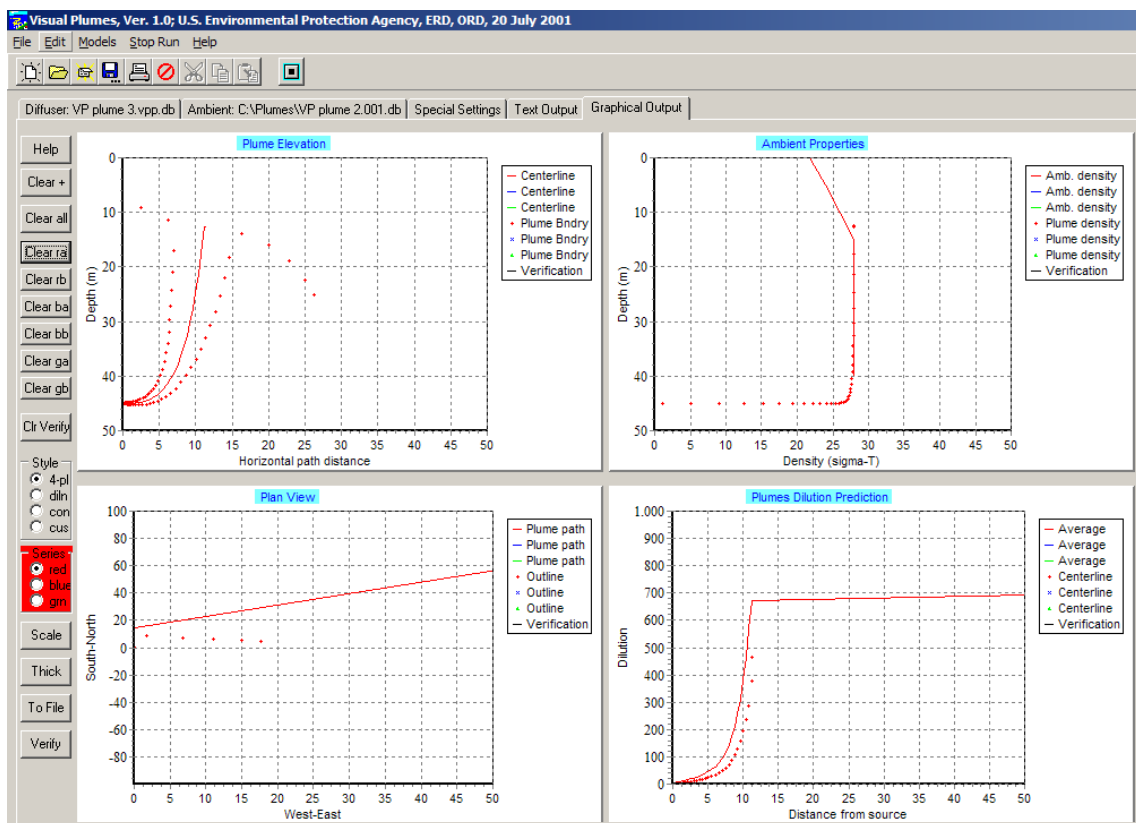
Slika 4.19. Procjena koncentracije E.C.-a za slučaj rada podmorskog ispusta u ljetnim i zimskim uvjetima

Rezultati ukazuju kako je zimsko razdoblje u ovom slučaju nepovoljnije. Razlog tome može se objasniti na slijedeći način:

- za pretpostaviti je kako će ispuštanje iz dozažnog bazena u ispust, u zimskim mjesecima biti rjeđe, zbog povećanja vremena potrebnog za punjenje dozažnog bazena. Nešto češće pražnjenje dozažnog bazena je moguće postići smanjenjem kote pri kojoj kreće manevar otvaranja zapornice ili zasunskog zatvarača (ovisno o načinu ispuštanja) kojima se vrši istjecanje iz dozažnog bazena.
- količina upuštenog efluenta u ispust, za pretpostaviti je, da će biti manja u zimskim mjesecima čime će se postići tražene vrijednosti koncentracije i u pogledu postizanja „dobre i izvrsne kakvoće mora“. Neravnomjernost u potrošnji vode a time i generiranju otpadne vode uobičajena je u priobalnim turističkim mjestima. Omjer zimskog i ljetnog opterećenja sustava može se kretati u intervalu 1:4 do 1:20.
- povećanjem  $T_{90}$  u zimskom razdoblju, naknadno razrjeđenje smanjeno je za cca. 2 puta što uzrokuje veće koncentracije E.C.-a na udaljenosti 300 m od obale.



Slika 4.20. Grafički prikaz razlike u količini E.C. na 400 i 600 m udaljenosti od zone obalnog mora-zima



Slika 4.21. Grafički prikaz razlike u količini E.C. na 600 m udaljenosti od zone obalnog mora-zima

Bez obzira na pojavu nešto većih vrijednosti E.C.-a, granična vrijednost od 200 E.C./100 ml nije premašena u zimskim uvjetima ni za dotok  $Q = 70.0$  l/s čime je osiguran kriterij „dobre kakvoće mora“ u uvjetima kada more ne služi u kupališne svrhe. (Slika 20.)

## 5. ZAKLJUČAK

Temeljem provedene analize, a s ciljem dugoročne funkcionalnosti sustava i očuvanja stanja recipijentapredlaže se:

- **Pravocrtno povećati udaljenost** od obalne crte do mjesta ispuštanja efluenta sa **predviđenih  $L = 700\text{m}$  na  $L = 900\text{ m}$** , u skladu s tim povećati dubinu sa predviđenih cca. - 40.0 m n.m. na cca. 45.0 m.. S obzirom da je za pravac i brzinu strujanja usvojena najkritičnija kombinacija parametara (mala brzina  $v_n = 0.01\text{ m/s}$  uz smanjenje početnog razrjeđenja i veća brzina  $v_f = 0.1\text{ m/s}$  u dalekoj zoni uz smanjenje naknadnog razrjeđenja), nije postignuto stanje "dobre kakvoće mora" koje podrazumijeva vrijednosti do 200E.C./100ml.
- Trasu podmorskog ispusta također je moguće zadržati u skladu sa provedenim mjerenjima i istražnim radovima.
- Difuzorsku sekciju izvesti paralelno s obalnom crtom, u smjeru pravca NW – SE čime će se za najnepovoljniji smjer strujanja osigurati poželjno stanje recipijenta u zoni kupanja.
- Potrebna duljina difuzora iznosi projektom predviđenih  $L = 60.3\text{ m}$
- Navedena količina ograničena je razradom parametara dozažnog bazena unutar izrade projektne dokumentacije istog, čime će se osigurati očuvanje željenog stanja recipijenta.
- Analizom režima tečenja i stanja recipijenta predlaže da se u Glavnom projektu osigura rješenje koje će garantirati raspon protoka u intervalu od 60 - 70 l/s.
- Za minimalnu količinu protoka sa dozažnog bazena od 60 l/s, osigurana je brzina u podmorskom dijelu cijevi  $v = 1,008\text{ m/s}$ , razina vodnog lica u nadmorskom dijelu cijevi  $h = 7.29\text{ m}$  i količina koliformnih bakterija  $c = 98.143\text{ E.C./100 ml}$ .
- Za maksimalnu količinu protoka sa dozažnog bazena od 70 l/s, osigurana je brzina u podmorskom dijelu cijevi  $v = 1,125\text{ m/s}$ , razina vodnog lica u nadmorskom dijelu cijevi  $h = 9.74\text{ m}$  i količina koliformnih bakterija  $c = 125.025\text{ E.C./100ml}$ .
- Iako provedeni proračun nadmorska dionica zadovoljava s **obzirom da malu duljinu, predlaže se korištenje većeg nominalnog promjera (DN 355) u nadmorskoj dionici**, zbog postepenog povećanja vrijednosti pogonske hrapavosti, kako ne bi došlo do potopljenog istjecanja

- **Za ugradnju cijevi ispusta, sa dotokom u rasponu 60.0 – 70.0 l/s u isti, na podmorskom dijelu trase predlaže se PEHD cjevovod, DN 315, PN 10, SDR = 17, dok se u nadmorskom dijelu trase predlaže ugradnja PEHD cijevi, DN 355, PN 10, SDR = 17, ukupne duljine 1117.3 m (podmorska dionica 900, nadmorska dionica 157 m i difuzor 60.3 m). Cjevovod je postavljen okomito na obalu u smjeru NE – SW, dok je difuzor okomit na cjevovod, smjera NW – SE.**

## **6. PRILOZI**

### **6.1. POPIS PRILOGA**

#### **Prilog 1**

4.2.1 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi

#### **Prilog 2**

4.2.2 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi

#### **Prilog 3**

4.2.3 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi

#### **Prilog 4**

4.2.4 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi

#### **Prilog 5**

4.2.5 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi

#### **Prilog 6**

4.2.6 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi

#### **Prilog 7**

4.2.7 Situacija na topografskoj-katastarskoj podlozi



## 7. REFERENCE

### 7.1. POPIS LITERATURE

1. Kanalizacija naselja, Jure Margeta; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, 2009.
2. Zaštita vodnih sustava i pročišćavanje otpadnih voda , Stanislav Tedeschi – Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 1983.
3. Uredba o kakvoći mora za kupanje (Narodne novine br. 73/08, članak 5.)
4. Idejni projekt: Izgradnja vodno-komunalne infrastrukture aglomeracije Makarska podmorskog ispusta - Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda "Biloševac" s pristupnim putom, podmorskim ispustom i transportnim vodom CS Plišćevac-UPOV Biloševac (Hidro-ing d.o.o, 2016.)
5. Definiranje parametara podmorskog ispusta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda naselja Preko i Kali hidrauličko-ekološkom analizom; V. Srzić, T. Kekez, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, 2017.
6. Studija o utjecaju na okoliš - Aglomeracija Split-Solin, Dvokut - Ecro d.o.o., 2016.
7. Marine Waterwater Outfalls and Treatment Systems, PJW Roberts; IWA Publishing, 2010.
8. Elaborat zaštite okoliša uz zahtjev za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat: „Uređenje II. dionice šetnice u Makarskoj, od hotela „Romana“ do potoka u Krvavici“ – Zeleni servis d.o.o. , 2019.

### 7.2. POPIS INTERNET VEZA

<https://www.azu.hr/za%C5%A1tita-okoli%C5%A1a/strujanja-u-jadranskom-moru/>

<http://baltazar.izor.hr/azopub/bindex>

[https://meteo.hr/podaci.php?section=podaci\\_vrijeme&param=more\\_n](https://meteo.hr/podaci.php?section=podaci_vrijeme&param=more_n)