

Glavni projekt podmorskog ispusta sustava odvodnje naselja Vodice, Tribunj i Srima

Vuletić, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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:123:308460>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-02**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



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

DIPLOMSKI RAD

Ivana Vuletić

Split, 2016

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

Ivana Vuletić

**Glavni projekt podmorskog ispusta sustava odvodnje
naselja Vodice, Tribunj i Srima**

Diplomski rad

Split, 2016

Glavni projekt podmorskog ispusta sustava odvodnje naselja Vodice, Tribunj i Srima

Sažetak:

Radom su obuhvaćeni postupci hidrauličkog, statičkog i ekološkog dimenzioniranja podmorskog ispusta naselja Vodice, Tribunj i Srima. Za potrebe hidrauličkog dimenzioniranja razvijen je numerički model za analizu piezometarskih stanja u sustavu. Statički proračun obuhvaća opterećenja uzrokovana uzgonom, silama vjetrovnog vala i silama morskih struja. U postupku ekološkog dimenzioniranja proračun je izvršen analitičkim modelima i komercijalnim modelom.

Ključne riječi:

podmorski ispust, hidrauličko dimenzioniranje, ekološko dimenzioniranje, statičko dimenzioniranje, model

The main design of Vodice, Tribunj and Srima subsea outfall

Abstract:

This project demonstrates hydraulic, static and ecological dimensioning process of Vodice, Tribunj and Srima subsea outfall. For purpose of piezometric states in the system numerical model has been conducted. Static design is made for wave, current and buoyancy forces. Ecological design is done by both, analitical and commercial model.

Keywords:

Subsea outfall, hydraulic design, ecological design, static design, model

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT: Ivana Vuletić
BROJ INDEKSA: 507
KATEDRA: **Katedra za privrednu hidrotehniku**
PREDMET: Obalno inženjerstvo

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Glavni projekt podmorskog ispusta sustava odvodnje naselja Vodice, Tribunj i Srma

Opis zadatka: Na osnovu dostupnih podloga, mjerenja i raspoložive projektne dokumentacije od kandidata se očekuje da:

- Sagleda projektну dokumentaciju i ostale ulazne parametre,
- Osmisli koncept rješenja sustava,
- Izvrši hidrauličko dimenzioniranje sustava dozažni bazen – podmorski ispust – difuzor korištenjem samostalno razvijenog numeričkog modela,
- Napravi statički proračun globalne stabilnosti cjevovoda po zonama mora za utjecaj vjetrovnih valova i morskih struja te uzgona,
- Postupak ekološkog dimenzioniranja za konfiguraciju sustava, utvrđenog hidrauličkim i statičkim dimenzioniranjem, obavi analitičkim putem sukladno raspoloživoj literaturi i slobodno odabranim komercijalnim softverom,
- U konačnici jasno definira projektne i pogonske parametre podmorskog ispusta i dozažnog bazena sukladno provedenim postupcima dimenzioniranja,
- Izradi pripadajuće tehničke nacрте (situacija, uzdužni presjek, normalni poprečni presjeci, nacрте dozažnog bazena, nacрте opteživača i nosača difuzora te uzdužni presjek difuzora).

U Splitu, 5.3.2016.

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. Dr. sc. Veljko Srzić

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Prof. dr. sc. Ivica Boko

S a d r Ź a j

1. UVOD	4
2. TEHNIČKO RJEŠENJE IZVEDBE	5
3. OSNOVNA PRIRODNA OBILJEŽJA PODRUČJA OBUHVATA	9
3.1. Osnovne klimatske karakteristike	9
3.1.1. Temperatura zraka i oborine.....	9
3.1.2. Vjetar	9
3.2. Oceanografske karakteristike mora	12
3.2.1. Batimetrija.....	12
3.2.2. Vertikalna stratifikacija parametara u moru	12
3.2.3. Morske struje.....	17
4. MJERODAVNE KOLIČINE.....	27
4.1. Jedinične norme.....	27
4.2. Proračun mjerodavnih količina za sušni period	29
4.3. Proračun mjerodavnih količina za kišni period.....	32
4.4. Dugoročno tehničko rješenje kanalizacijskog sustava	33
5. HIDRAULIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA.....	36
5.1. Dozažni bazen	36
5.1.1. Dotok s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda	37
5.1.2. Sigurnosni preljevni otvor	39
5.1.3. Nepotopljeno istjecanje ispod zapornice	40
5.1.4. Režim rada dozažnog bazena	43
5.2. Dinamička analiza rada ispusta	44
5.2.1. Nadmorski dio ispusta.....	44

5.2.2. Potopljeni dio ispusta	46
5.2.3. Linijski gubici u sustavu	50
5.3. Dimenzioniranje difuzora.....	51
5.4. Pretpostavljeni parametri.....	61
5.5. Rezultati modela.....	62
5.5.1. Uobičajeni dotok	62
5.5.2. Nagli dotok.....	67
5.5.3. Difuzor	70
6. STATIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA	71
6.1. Uzgon cjevovoda.....	71
6.2. Utjecaj morskih struja	72
6.3. Utjecaj vjetrovnog vala	75
6.3.1. Sile uzrokovane valovima	82
6.2. Broj i raspored opteživača.....	86
6.2.1. Primarni opteživači	86
6.2.2. Sekundarni opteživači	87
6.2.3. Kontrole globalne stabilnosti	87
6.2.4. Nosači difuzora	94
7. MEHANIČKA OTPORNOST CJEVOVODA.....	96
7.1. Kontrola naprezanja cjevovoda tijekom pridržavanja u fazi potapanja	96
7.2. Kontrola naprezanja cjevovoda u fazi potapanja	97
7.3. Kontrola naprezanja cjevovoda u eksploataciji.....	97
7.3.1. Kontrola naprezanja uslijed djelovanja uzgona na cjevovod	97
7.3.2. Kontrola naprezanja uslijed djelovanja morskih struja na cjevovod.....	98
7.3.3. Kontrola naprezanja uslijed djelovanja valova na cjevovod.....	99
7.3.4. Kontrola dozvoljenih naprezanja na cjevovod	99

8. EKOLOŠKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA	101
8.1. Zakonska regulativa	101
8.2. Ispuštanje otpadne vode	102
8.3. Metodologija proračuna koncentracija koliformnih bakterija.....	102
8.3.1. Definiranje oblika ispuštanja.....	103
8.3.2. Razrjeđenje u bliskoj zoni nestratificiranog stupca morske vode bez djelovanja morskih struja.....	104
8.3.3. Razrjeđenje u bliskoj zoni nestratificiranog stupca morske vode uz djelovanje morskih struja.....	104
8.3.4. Razrjeđenje u bliskoj zoni stratificiranog stupca morske vode bez djelovanja morskih struja.....	105
8.3.5. Razrjeđenje u bliskoj zoni stratificiranog stupca morske vode uz djelovanje morskih struja.....	107
8.3.6. Razrjeđenje u dalekoj zoni uz odumiranje mikroorganizama	107
8.4. Korišteni parametri.....	109
8.5. Rezultati proračuna na udaljenosti 300 (m) od difuzora	111
8.6. Rezultati proračuna na udaljenosti 300 (m) od obale.....	112
8.7. Softverski sustav CORMIX	113
8.7.1. Rezultati proračuna za zimski period	114
8.7.1. Rezultati proračuna za ljetni period.....	120
8.8. Diskusija.....	125
9. ZAKLJUČAK.....	128
10. LITERATURA	130
11. PRILOZI	132
Prilog 1 – Situacija, List 1, 2, 3 i 4, Mj 1:1000	133
Prilog 2 – Nacrti dozažnog bazena, Mj 1:50	138
Prilog 3 – Uzdužni presjek kopnenog dijela ispusta, List 1 i 2, Mj 1:500/50	140

Prilog 4 – Uzdužni presjek podmorskog dijela ispusta, List 1 i 2, Mj 1:500/50.....	143
Prilog 5 – Normalni poprečni presjeci, Mj 1:20.....	146
Prilog 6 – Uzdužni presjek difuzora, Mj 1:200.....	148
Prilog 7 – Opteživači podmorskog ispusta, Mj 1:10.....	150
Prilog 8 – Nosači difuzora, Mj 1:20.....	152

1. UVOD

Podmorski ispust kanalizacijskog sustava naselja Vodice, Tribunj i Srima u ovom je radu projektiran u skladu s idejnim rješenjem [1] i glavnim projektom [2]. Predviđena je fazna izgradnja sustava:

- I. faza izgradnje 2015. godine koja se trenutno izvodi i nije obuhvaćena ovim radom;
- II. faza izgradnje 2030. godine na kojoj se ovaj rad zasniva.

Koncept kanalizacijskog sustava usvojen je iz [1] u kojem je izvršen proračun hidrauličkog opterećenja za obje faze gradnje sustava.

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

Trasa kopnenog dijela ispusta usvojena je iz [2], a trasa podmorskog dijela ispusta projekirana je s manjim izmjenama.

Zadatak je na pouzdan način disponirati pročišćene otpadne vode u more jugozapadno od otočića Logorun i Lukovnik na dubini od 62.5 (m n. m.) zadovoljavajući hidrauličke, tehničke, ekološke i druge tražene uvjete i standarde mora.

Za potrebe hidrauličkog dimenzioniranja ispusta korišten je matematički model kojim je simuliran rad sustava tijekom jednog dana. Sukladno rezultatima modela izvršena je verifikacija odabranih veličina i parametara.

Statičko dimenzioniranje ispusta provedeno je uslijed djelovanja vanjskih sila, a u proračunima su korišteni podaci o klimatskim i oceanografskim svojstvima interesnog područja. Podmorski reljef trase ispusta otpadnih voda poznat je temeljem batimetrijskog snimka trase ispusta [3].

Na kraju je izvršeno ekološko dimenzioniranje ispusta kako bi se način i mjesto ispuštanja otpadnih voda ispitali prema kriteriju bakterioloških pokazatelja, prvenstveno koliformnih bakterija, u skladu s važećim propisima [4], [5] i [6].

2. TEHNIČKO RJEŠENJE IZVEDBE

Otpadne vode zajedničkog kanalizacijskog sustava sakupljaju se na uređaju za pročišćavanje otpadnih voda koji je smješten iznad Tribunja. Pročišćene otpadne vode se podmorskim ispustom disponiraju u more na dubini od 62.5 (m n. m.) koje, prema [1], spada u *manje osjetljivo more*. Sukladno procjeni i veličini uređaja, određen je I. stupanj pročišćavanja na uređaju.

S obzirom na velike sezonske varijacije u opterećenju kanalizacijskog sustava, optimalno rješenje za promjenjive uvjete rada podmorskog ispusta predstavlja dozažni bazen svijetlih tlocrtnih dimenzija 5.0*6.0 (m²) koji je smješten neporedno uz UPOV, a na njega se nastavlja cjevovod kopnenog dijela ispusta. Ispuštanje vode iz dozažnog bazena regulirano je zapornicom čiji je rad automatiziran, a tečenje ispod zapornice je nepotopljeno. Zapornica je projektirana na maksimalni satni dotok definiran na osnovu podataka iz [1] i iznosi 0.32 (m³/s). Dotok je karakteriziran dnevnim neravnomjernostima tipičnima za vršne dnevne sate. Razmatra se i slučaj naglog dotoka u dozažni bazen u iznosu od 0.32 (m³/s). U dozažnom bazenu predviđen je sigurnosni preljevni otvor dimenzija 130*30 (cm²). Na izlazu iz dozažnog bazena nalazi se prekidno okno koje ima funkciju ispuštanja zraka iz cjevovoda te upuštanja vode u kopneni dio ispusta.

Na kopnenom dijelu podmorskog ispusta nalazi se odzračno okno svijetlih dimenzija 20*20*274 (cm). Okno je smješteno na stacionaži 1+192.89, a ispuštanje prikupljenog zraka predviđeno je kroz najbliži rasvjetni ulični stup, visine najmanje 6 (m), kroz cijev promjera min. 100 (mm).

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 (> cca 0.9 m/s) kako bi se osiguralo samoispiranje cjevovoda [7]. Brzine tečenja u cjevovodu zadovoljavaju i u slučaju dvostruko manjeg protoka od 0.16 (m³/s) u zimskom razdoblju, kada postoji veća mogućnost taloženja zbog manjih brzina tečenja.

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.

Cjevovod kopnenog dijela ispusta od stac. 0+013.46 do stac. 1+229.53 izveden je iz PEHD cijevi PE 100 SDR 22 PN 7.5 promjera DN 630/572.6 (mm). Na stac. 1+229.53 izvedena je redukcija s DN 630/572.6 (mm) na DN 500/454.4 (mm), dok ostali parametri cijevi ostaju isti. Kopneni dio ispusta završava na stac. 1+612.50 koja je određena glavnim projektom.

Podmorski dio ispusta izvodi se iz PEHD cijevi PE 100 SDR 22 PN 7.5 promjera DN 500/454.4 (mm). Cjevovod se proteže od Tribunja, od stacionaže 1+612.50, prolazi između otoka Lukovnik i Logorun te dalje prema otvorenom obalnom moru do stac 3+327.00 na dubini 62.5 (m n. m.).

U situaciji podmorskog ispusta prikazani su i gravitacijski i tlačni cjevovod te postojeće i predviđene vodovodne cijevi i signalni kabel. Zajednički prikaz usvojen je glavnim projektom [2] jer se izvedba vrši u zajedničkom rovu.

Koordinate početka podmorskog dijela ispusta su:

$$X = 5560752.5964$$

$$Y = 4845614.6083$$

Koordinate lomnih točaka podmorskog dijela ispusta:

- Prva lomna točka:

$$X = 5560198.6590$$

$$Y = 4845336.5859$$

- Druga lomna točka:

$$X = 5560164,2936$$

$$Y = 4845304,7253$$

Koordinate kraja podmorskog dijela ispusta:

X = 5559457,0020

Y = 4844454,5831

Z = - 62.50 (m n. m.)

Tablica 2.1. Koordinate lomnih točaka kopnenog i podmorskog dijela ispusta

Stacionaža (m)	x (m)	y (m)	Stacionaža (m)	x (m)	y (m)
0+013,46	5561325,0788	4846555,0329	0+838,90	5561190,6616	4846085,3753
0+055,31	5561360,7762	4846533,1911	0+872,30	5561184,7600	4846052,4958
0+056,27	5561361,1292	4846532,3002	0+927,47	5561169,1240	4845999,5985
0+094,35	5561351,0176	4846495,5866	0+952,48	5561161,3381	4845975,8327
0+135,16	5561374,7911	4846462,4087	0+982,33	5561151,9782	4845947,4950
0+140,79	5561378,4286	4846458,0991	1+017,48	5561140,5358	4845914,2524
0+196,30	5561412,4671	4846414,2510	1+067,46	5561121,8599	4845867,8951
0+210,33	5561420,3778	4846402,6610	1+117,48	5561101,4313	4845822,2357
0+218,72	5561423,9652	4846395,0738	1+147,86	5561088,4104	4845794,7740
0+228,46	5561426,9407	4846385,8135	1+155,04	5561085,2419	4845788,3312
0+235,78	5561428,3364	4846378,6252	1+167,46	5561080,0101	4845777,0575
0+244,00	5561428,9785	4846370,4413	1+217,46	5561055,7838	4845733,3178
0+268,63	5561428,2322	4846345,8257	1+277,82	5561025,9041	4845680,8869
0+277,54	5561421,9319	4846339,5254	1+315,34	5561006,9926	4845648,4738
0+406,55	5561375,1664	4846339,2342	1+328,17	5561000,3250	4845637,4966
0+362,75	5561336,7288	4846338,8496	1+333,92	5560994,7460	4845636,1175
0+324,33	5561292,3350	4846338,4254	1+370,31	5560961,6256	4845651,1855
0+445,20	5561254,2764	4846338,1216	1+401,87	5560933,4924	4845665,4885
0+494,39	5561205,1045	4846339,6710	1+445,12	5560890,2388	4845665,2036
0+532,24	5561166,4233	4846343,2184	1+482,73	5560853,0047	4845670,4440
0+563,94	5561135,8891	4846346,3745	1+498,01	5560837,7214	4845670,6660
0+575,36	5561127,9593	4846338,1519	1+531,29	5560804,7768	4845665,9505
0+599,65	5561132,8543	4846314,3641	1+545,45	5560790,7057	4845664,6215
0+612,88	5561138,4768	4846302,3928	1+565,81	5560783,5267	4845645,5635

0+638,50	5561152,7220	4846281,0925	1+587,86	5560774,8420	4845625,2896
0+655,50	5561158,2204	4846265,0019	1+607,22	5560757,3509	4845616,9888
0+732,46	5561177,6343	4846190,5228	1+612,50	5560752,5964	4845614,6083
0+765,29	5561185,1603	4846158,5639	2+232,32	5560198,6590	4845336,5859
0+789,82	5561189,4390	4846134,4059	2+279,60	5560164,2936	4845304,7253
0+807,70	5561190,8458	4846116,5847	3+327,00	5559457,0020	4844454,5831

Ispust završava difuzorom koji se prema [2] gradi u dvije etape sukladno faznoj izgradnji sustava. U prvoj fazi gradnje 2105. godine izvodi se istočni krak difuzora, a identični zapadni krak predviđen je dugoročnim rješenjem. Ovim radom usvojen je isti koncept rješenja, a odabrana je drukčija dužina i geometrija kraka. Jedan krak difuzora sastavljen je od 5 sekcija dužine po 20 (m) pa je ukupna dužina jednog kraka 100 (m). Difuzor je dimenzioniran na maksimalni satni protok od 0.32 (m³/s). Kako se protok raspodjeljuje na dva kraka difuzora, izvršeno je dimenzioniranje jednog kraka na protok od 0.16 (m³/s). Postignute brzine na otvorima difuzora su znatno veće od preporučenih 2 (m/s) [8] za postizanje što većeg početnog razrijeđenja.

Za potrebe potapanja, cjevovod se opterećuje primarnim betonskim opteživačima koji se postavljaju na razmacima od 15 (m). Projektiran je jedan tip primarnog opteživača za cijev DN 500/454.4 čija masa na suhom iznosi minimalno 107.03 (kg). Predviđen je način potapanja uz pridržavanje brodovima. Tehnologija polaganja ispusta definira se izvedbenim projektom u dogovoru s izvođačem radova i ovisno o raspoloživoj tehnologiji izvođača.

Od stacionaže 1+612.50 do stac. 2+127.00 cjevovod se ukopava u rov i betonira čime se postiže potrebna stabilizacija zbog izraženog djelovanje valova na cjevovod na ovom dijelu trase ispusta.

Od stacionaže 2+127.00 do stac. 3+327.00 valovi imaju znatno manji utjecaj na cjevovod pa se cjevovod polaže na morsko dno i opterećuje sekundarnim betonskim opteživačima na međusobnim razmacima od 2 (m) u srednje dubokom moru i 10 (m) u dubokom moru. Masa opteživača na suhom je najmanje 643.2 (kg).

Za osiguranje stabilnosti difuzora projektirano je pet tipova različitih betonskih nosača za svaku sekciju difuzora. Minimalna masa na suhom nosača tipa A je 497.47 (kg), nosača tipa B 496.03 (kg), nosača tipa C 493.512 (kg), nosača tipa D 490.29 (kg) i nosača tipa E 486.77 (kg). Ukupno je potrebno je 60 komada nosača minimalne mase 29568.96 (kg).

3. OSNOVNA PRIRODNA OBILJEŽJA PODRUČJA OBUHVATA

3.1. Osnovne klimatske karakteristike

Klimatske karakteristike nekog područja uvjetovane su prvenstveno geografskim položajem i orografijom okoline, a zasnivaju se na dugogodišnjim motrenjima i mjerenjima meteoroloških elemenata na postojećim meteorološkim postajama.

Klimatološki podaci za područje ispusta otpadnih voda kanalizacijskog sustava Vodice - Tribunj - Srima prikazani su na temelju mjerenja meteoroloških elemenata temperature zraka, oborina i vjetra na meteorološkoj postaji Šibenik, a preuzeti su iz glavnog projekta [2].

3.1.1. Temperatura zraka i oborine

Srednje mjesečne temperature pozitivne su tijekom cijele godine. Mjesečni maksimum temperature zabilježen je u srpnju i iznosi 24.7 °C, a mjesečni minimum od 6.2 °C zabilježen je u siječnju. Apsolutni maksimum temperature zraka iznosi 38.2 °C, a apsolutni minimum 11.0 °C.

Kako je snijeg vrlo rijetka pojava na ovom području, najveću količinu oborina čini kiša. Oborine su nejednoliko raspoređene tijekom godine. Najviše padalina zabilježeno u mjesecu studenom (133 mm), a najsuši mjesec je srpanj (35 mm). Srednja godišnja količina oborine iznosi 845 (mm), a najveća dnevna količina oborine od 143 (mm), izmjerena u listopadu, veća je od pojedinačnih srednjih mjesečnih vrijednosti oborine.

Iz navedenih podataka može se zaključiti da u istraživanom području prevladava mediteranska klima suhih i vrućih ljeta te blagih zima.

3.1.2. Vjetar

Podaci o brzini i smjeru vjetra s meteorološke postaje Šibenik analizirani su za razdoblje od 1971. do 2011. godine.

Numerički podaci o relativnim čestinama i jačinama vjetra za jednu godinu prikazani su u tablici kontigencije vjetra 3.1. koja je preuzeta iz [9]. Tablica je dobivena statističkom obradom srednjih satnih brzina vjetra s pripadajućim smjerovima. Prema usvojenoj konvenciji,

za smjer vjetra se uvijek uzima ona strana svijeta odakle vjetar puše. Jačina vjetra analizirana je prema Boforovoj skali koja ima 13 stupnjeva, od 0 (tišina) do 12 (orkan).

Najčešći smjerovi vjetra na istraživanom području su burin - NNE (18.1 %), tramontana - N (10.0 %) i jugo levante - ESE (6.4 %). Karakteristični vjetrovi bura i jugo, inače smjerova NE i SE, značajnim dijelom zahvaćaju navedene dominantne smjerove.

Bura je sjeveroistočni vjetar, suh, hladan i mahovit koji se obično javlja nakon prolaska ciklonalne fronte. Smjer i brzina puhanja određeni su konfiguracijom obalnih planinskih masiva. Uglavnom puše smjerom prema moru velikom, a katkada i orkanskom jačinom.

Tramontana je prolazni i kratkotrajni vjetar iz smjera sjevera koji uz obalu ne dostiže velike brzine. Međutim, na otvorenom moru traje znatno duže dostižući velike brzine.

Jugo redovito puše jednoličnom brzinom na prednjoj strani ciklonalnih poremećaja koji prelaze područje Jadrana od zapada prema istoku i stvara velike valove.

Treba spomenuti i garbin - WSW vjetar koji se na području Šibenika javlja u 4.9 % slučajeva na godišnjoj razini. Garbin je topao vjetar koji uglavnom ne traje dugo, ali može biti vrlo jak. Stvara veoma velike valove i muti more. Osobito je opasan zbog stvaranja ukriženih valova i poplavnog dizanja mora u plitkim lukama koje su otvorene prema jugozapadu.

Maestral, koji na šibenskom području puše u 4.8 % slučajeva, osvježavajući je vjetar i javlja se uglavnom ljeti.

Sjeverni vjetrovi najzastupljeniji su kroz sva godišnja doba, s najvećom učestalošću u hladnije doba godine. Južni vjetrovi najizraženiji su zimi i u proljeće, dok najmanje pušu ljeti.

Tišine, tj. situacije bez vjetra, najčešće su ljeti i u proljeće, a najrjeđe zimi. Na godišnjoj razini postotak tišine kreće se oko 19.6 %.

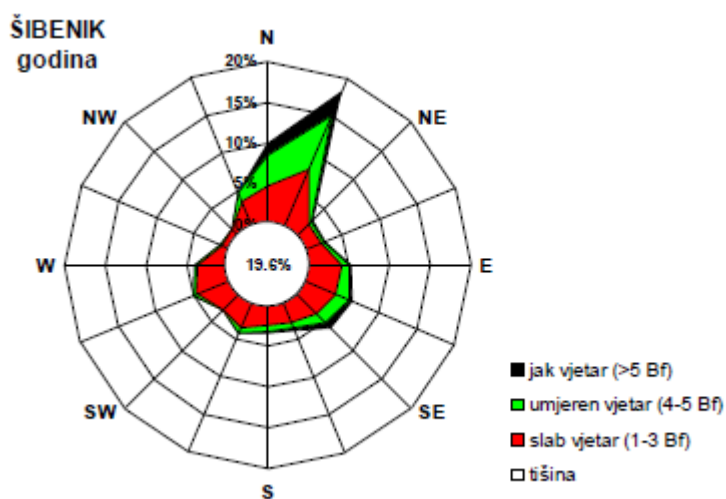
Umjereni vjetar (5.5 do 10.7 m/s, tj. 4 i 5 Bf) javlja se na šibenskom području u 20.4 % slučajeva godišnje. Umjerene jačine uglavnom pušu N, NNE, ESE i SE vjetrovi.

Jak vjetar (> 10.7 m/s, tj. 6 Bf i 7 Bf) u godišnjem prosjeku javlja se u 6.4 % slučajeva, a puše uglavnom iz NNE smjera. Olujni vjetar (> 17.1 m/s, tj. ≥ 8 Bf) u promatranom razdoblju zabilježen je u 0.51 % slučajeva godišnje uglavnom iz N i NNE smjera.

Grafički prikaz učestalosti pojavljivanja vjetra u ovisnosti o smjeru i jačini za postaju Šibenik prikazana je na ruži vjetrova (Slika 3.1.).

Tablica 3.1. Tablica relativne kontigencije vjetra za Šibenik, za godinu u razdoblju 1971.-2012.

jačina (Bf)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	zbroj	čestina smjera %
brzina (m/s)	0.0-0.2	0.3-1.5	1.6-3.3	3.4-5.4	5.5-7.9	8.0-10.7	10.8-13.8	13.9-17.1	17.2-20.7	20.8-24.4	24.5-28.4		
N		10,6	15,2	21	21,7	16,9	10,6	3,1	0,8	0,2	0,1	100,2	10,0
NNE		14,8	27,3	35,3	38,4	33,7	24,5	4,6	2,2	0,3	0,1	181,2	18,1
NE		7	7,6	5,9	3,8	1,7	0,7	0,1				26,8	2,7
ENE		7	8,5	5,8	2,5	0,8	0,2					24,8	2,5
E		13,3	16,1	12,6	6,6	2,2	0,9	0,1				51,8	5,2
ESE		13,5	14,8	12,9	10,4	6,9	4,4	0,9	0,2	0,1		64,1	6,4
SE		12,6	10,9	11,1	8,8	5,7	6,7	1,5	0,7	0,1	0,1	58,2	5,8
SSE		9,1	8,3	7,5	5,7	3	2,1	0,4	0,1			36,2	3,6
S		5,7	8,7	9,3	5,9	1,7	1,1	0,1	0,1			32,6	3,3
SSW		7	12,9	14,2	5,3	1,4	0,2					41	4,1
SW		8,8	10,1	7,6	1,3	0,1	0,1					28	2,8
WSW		8,3	19,8	16,5	3,6	0,3	0,1					48,6	4,9
W		11	14,2	10,5	2,7	0,5	0,1					39	3,9
WNW		4,8	4,6	2,3	0,6	0,2						12,5	1,3
NW		4,8	3,5	2,6	0,9	0,2	0,1					12,1	1,2
NNW		10	13,8	11,7	6,7	3,9	1,1	0,4				47,6	4,8
C	195,8											195,8	19,6
zbroj	195,8	148,3	196,3	186,8	124,9	79,2	52,9	11,1	4,1	0,7	0,3	1000	100,0



Slika 3.1. Godišnja ruža vjetra na meteorološkoj postaji Šibenik [9]

3.2. Oceanografske karakteristike mora

3.2.1. Batimetrija

Podmorski reljef trase ispusta otpadnih voda kanalizacijskog sustava Vodice – Tribunj - Srima poznat je na temelju batimetrijskog snimka [3].

Od početka podmorskog dijela ispusta na stacionaži 1+612.50 dno blago ponire do cca 10 (m) na stacionaži 2+127.00. Između otočića Logorun i Lukovnik, od stac. 2+127.00 do stac. 2+300.00, iskopan je rov za potrebe polaganja cjevovoda ispusta. Na dijelu trase od stac. 2+300.00 do stac. 2+480.00 morsko dno naglije ponire s rasponom dubina od -10.85 (m n. m.) do -37.74 (m n. m.), nakon čega je poniranje sve blaže do završetka trase na dubini 62.5 (m n. m.).

Na istraženoj lokaciji ispusta ustanovljena je osnovna stijenska masa. Obalni dio tvore vapnenci koji su izražene slojevitosti, a zbog boranja prostorni položaj slojeva je različit, nagnuti su uglavnom prema sjeveroistoku. Marinski sediment je po sastavu pretežito krupnozrnasti ljušturasti pijesak rahle konzistencije. Prema dubini, veličina zrna se smanjuje, a raste sadržaj prašinate komponente. Dublji dijelovi dna prekriveni su pijeskom i siltom (prah).

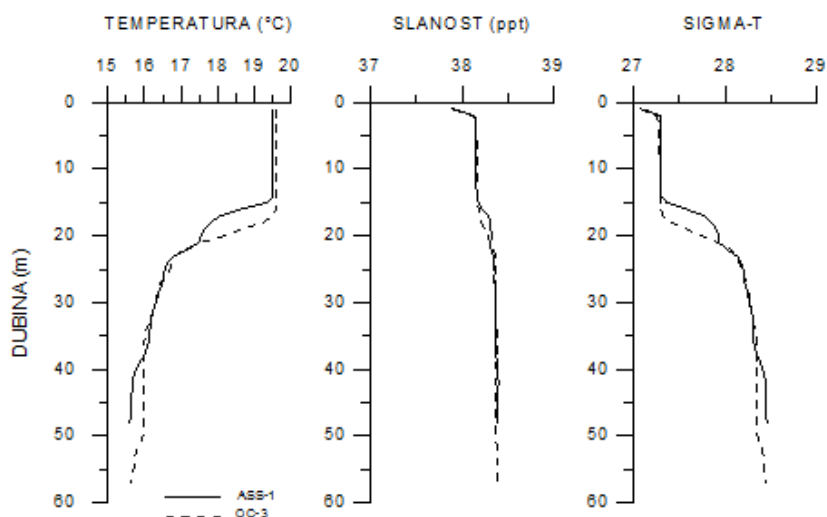
3.2.2. Vertikalna stratifikacija parametara u moru

Na Slici 3.2. prikazan je prostorni raspored oceanografskih (OC) i strujomjernih (ASS) postaja u području planiranog ispusta otpadnih voda kanalizacijskog sustava Vodice - Tribunj - Srima.

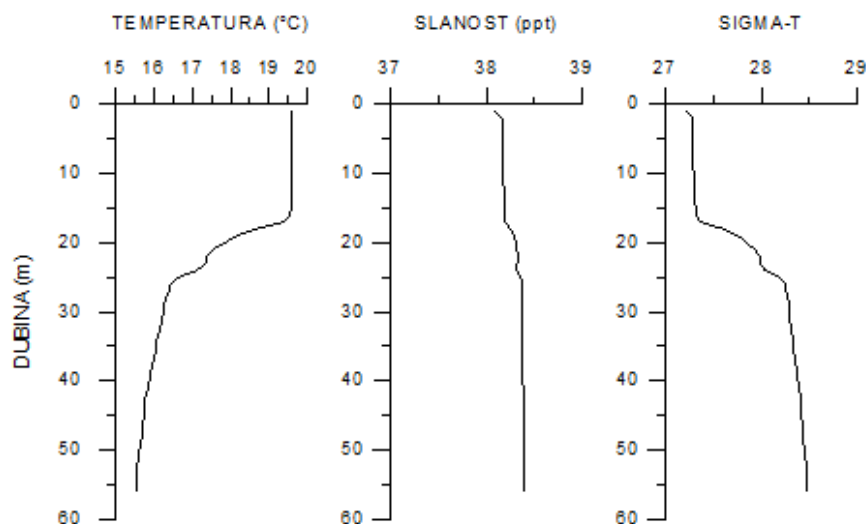


Slika 3.2. Prostorni raspored oceanografskih (OC) i strujomjernih (ASS) postaja u području planiranog ispusta otpadnih voda kanalizacijskog sustava Vodice – Tribunj – Srma [2]

Na slikama 3.3. i 3.4. prikazani su vertikalni profili temperature, slanosti i gustoće mora (sigma-t vrijednost) izmjereni 12. rujna 2001. godine na postajama ASS-1, ASS-2 i OC-3.



Slika 3.3. Vertikalni profili temperature, slanosti i sigma-t na postajama ASS-1 i OC-3 u rujnu 2001. godine [2]



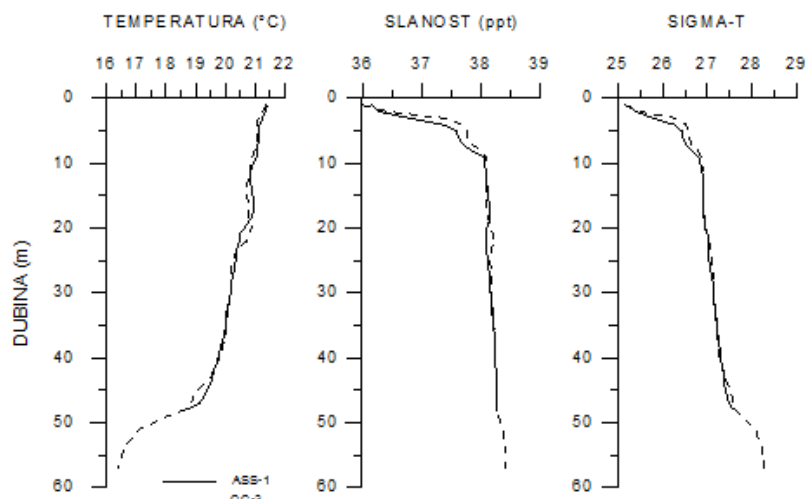
Slika 3.4. Vertikalni profili temperature, slanosti i sigma-t na postaji ASS-2 u rujnu 2001. godine [2]

Vertikalni profili temperature pokazuju da je tijekom ljetnog razdoblja, prije mjerenja, formiran površinski sloj zagrijanog mora, što za posljedicu ima homogenost temperature do dubine oko 15 m, a u sloju između 15 i 23 m razvijena je termoklina. Na istočnim postajama termoklina je još naglašenija i počinje na dubini oko 18 m. Vrijednosti temperature mora u sloju do termokline su između 19.5 i 19.7 °C. Ispod termokline temperatura postepeno opada i pri dnu ima vrijednosti između 15.4 i 15.7°C. Na razdiobu temperature utječe i dotok slatkih voda rijekom Krkom, a taj utjecaj se na površinskom sloju uočava i na nižim vrijednostima slanosti od uobičajenih.

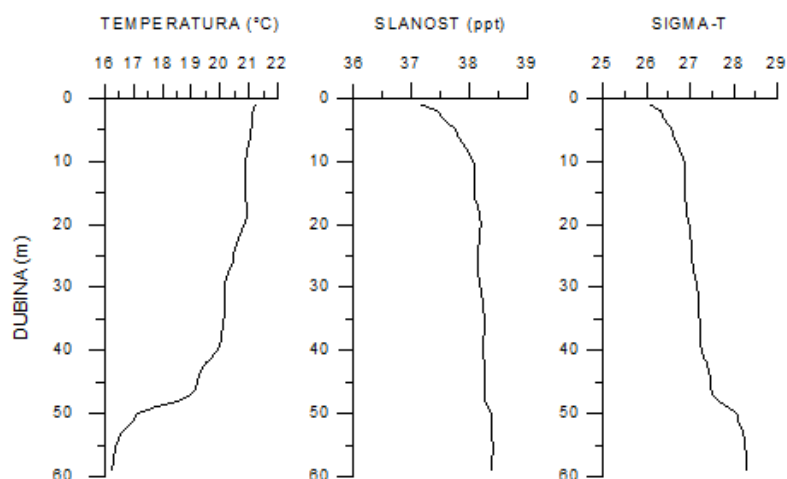
Slanost pri samoj površini raste i poprima vrijednosti 37.9 i 38.1 ‰, a zatim se u sloju konstantne temperature ne mijenja te raste dalje prema dnu na vrijednost 38.4 ‰.

Vertikalni profil gustoće je dosta sličan vertikalnom profilu slanosti, osim što se u sloju termokline uočava i sloj piknokline, dok je promjena slanosti u tom sloju slabije izražena. U površinskom sloju vrijednosti gustoće se kreću između 1027.1 i 1027.2 (kg/m³), a u pridnom sloju oko 1028.5 (kg/m³).

Mjerenja temperature, slanosti i gustoće mora obavljena na navedenim postajama dana 10. listopada 2001. godine prikazana su na Slikama 3.5. i 3.6..



Slika 3.5. Vertikalni profili temperature, slanosti i sigma-t na postajama ASS-1 i OC-3 u listopadu 2001. godine [2]

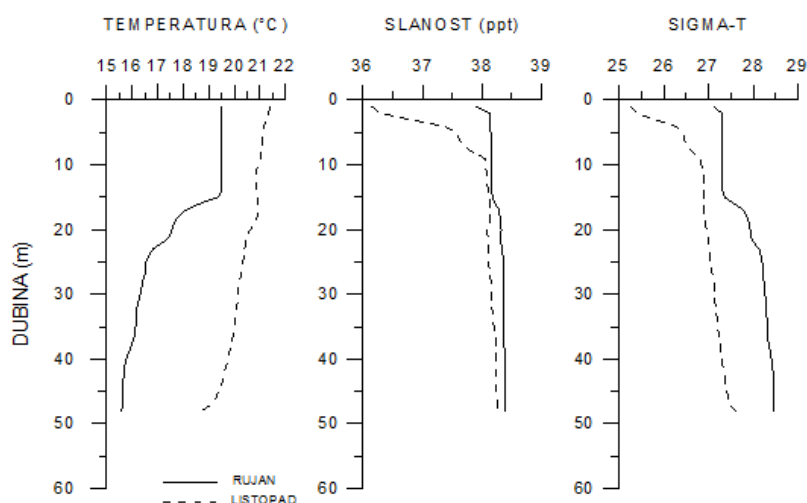


Slika 3.6. Vertikalni profili temperature, slanosti i sigma-t na postaji ASS-2 u listopadu 2001. godine [2]

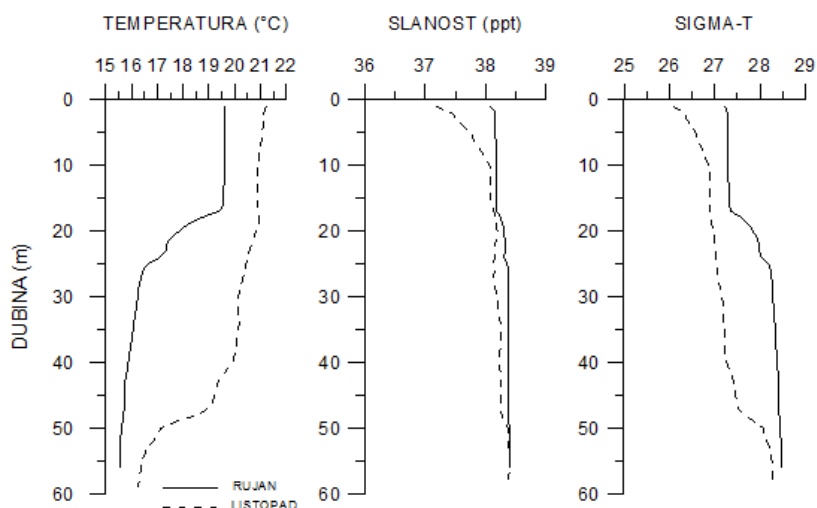
Povećana bilanca sunčevog zračenja uzrokovala je zagrijavanje površinskog sloja, a zbog vertikalnog mješanja došlo je do zagrijavanja dubljih slojeva te spuštanja termokline na dubinu oko 49 m. Nakon sloja termokline temperatura nastavlja opadati prema dnu do temperature oko 16.3°C. Smanjene su vrijednosti slanosti u površinskom sloju, što za posljedicu ima smanjene vrijednosti gustoće i generiranja halokline i piknokline do dubine oko 10 m. Uzrok niskim vrijednostima slanosti i gustoće u površinskom sloju je najvjerojatnije pojačan dotok slatke vode oborinama i rijekom Krkom. Slanost pri površini ima vrijednost oko 36.1 ‰ na postajama bliže obali, dok je na vanjskim postajama oko 37.2

‰. Pri površini gustoća poprima vrijednost oko $1025.2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ na postajama bližim obali, a na vanjskim postajama oko $1026.1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$. Ispod halokline slanost slabo raste prema dnu i u pridnenom sloju poprima vrijednosti između 38.2 i 38.4 ‰. Razdioba gustoće je pod utjecajem temperature te se na dubini oko 50 m javlja piknoklina. Pridnene vrijednosti gustoće su oko $1028.3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$.

Promjene termohalinskih svojstava u vremenskom razdoblju od 12. rujna do 10. listopada 2001. godine na postajama ASS-1 i ASS-2 prikazane su na Slikama 3.7 i 3.8.



Slika 3.7. Vertikalni profili temperature, slanosti i sigma-t na postaji ASS-1 u rujnu i listopadu 2001. godine [2]



Slika 3.8. Vertikalni profili temperature, slanosti i sigma-t na postaji ASS-2 u rujnu i listopadu 2001. godine [2]

Uočava se porast temperature duž vodnog stupca i pomicanje termokline u dublje slojeve. Promjena temperature je posebno naglašena u sloju između termoklina u rujnu i listopadu za oko $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, a u pridnenom sloju u listopadu je oko $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ veća u odnosu na rujan. Ovakva stratifikacija vodnog stupca posljedica je toplog i stabilnog meteorološkog razdoblja početkom listopada.

Između dva mjerenja je došlo do izrazitog smanjenja slanosti u površinskom sloju, posebno na postajama bližim otočićima Logorun i Lukovnik koje pokazuju smanjenje slanosti za oko 1.7 ‰ , dok se na vanjskim postajama smanjila oko 0.9 ‰ . Ispod 10 (m) dubine smanjenje slanosti je manje i iznosi oko 0.2 ‰ , a u samom pridnenom sloju, ispod dubine od 50 (m) , slanost se nije znatnije mijenjala tijekom razdoblja mjerenja. Na smanjenje slanosti u površinskom sloju glavni utjecaj su imale pojačane oborine tijekom rujna i dotok slatkih voda rijeke Krke.

Porast temperature i smanjenje slanosti u vodenom stupcu utjecali su i na smanjenje gustoće za oko $1.8\text{ (kg/m}^3\text{)}$ pri površini, za $1.1\text{ (kg/m}^3\text{)}$ u sloju između rujanske i listopadske termokline, te za $0.2\text{ (kg/m}^3\text{)}$ u samom pridnenom sloju.

3.2.3. Morske struje

Morske struje se dijele ovisno o silama uzročnicama:

- Sila koja nastaje zbog horizontalnih razlika u gustoći mora - **gradijentske struje**;
- Plimotvorna sila koja uzrokuje **struje morskih dobi**,
- Sila potiska vjetra koja nastaje djelovanjem tangencijalne napetosti vjetra na površinu mora - **struje drifta**.

Generalno ciklonalno strujanje, koje prevladava u Jadranskom moru, objašnjava se dugoperiodičkim gradijentskim strujama koje su posljedica razlika gustoće mora. Slatka voda iz sjevernojadranskih rijeka, a u najvećim količinama iz rijeke Po, dotječe u Jadransko more te se pod utjecajem Coriolisove sile giba uz talijansku obalu Jadrana. Takvo gibanje rezultira generalnom strujom suprotnog smjera uz hrvatsku obalu. Prevladavajući smjer gradijentskih struja duž hrvatske obale je NW. Smjer morske struje označava se kao smjer prema kojem vodena masa struji. Za hidrotehničke projekte, a posebice za polaganje raznih instalacija na morsko dno, važno je poznavati karakteristike morskih struja u određenom akvatoriju.

Mjereni su podaci o morskim strujama u razdoblju od 11. rujna 2001. godine do 10. listopada 2001. godine na postajama ASS-1 i ASS-2. Mjerenje je izvršeno u površinskom sloju na dubini od 3 (m) i u pridnenom sloju na dubini od 46 (m) [2].

Na Slici 3.2. prikazan je prostorni raspored oceanografskih (OC) i strujomjernih (ASS) postaja u području planiranog ispusta otpadnih voda kanalizacijskog sustava Vodice - Tribunj - Srma.

ASS-1

Osnovni statistički parametri morskih struja izmjerenih na postaji ASS-1 prikazani su u Tablici 3.2.. U površinskom sloju na dubini od 3 m maksimalna izmjerena brzina strujanja je 31.0 (cm/s), a srednja brzina iznosi 5.5 (cm/s). Rezultantni vektor predstavlja smjer maksimalne struje i u smjeru je NW. Maksimalna izmjerena brzina strujanja u pridnenom sloju na dubini od 46 (m) iznosi 19 (cm/s), dok je srednja brzina 2.6 (cm/s). Rezultantno strujanje je u smjeru S.

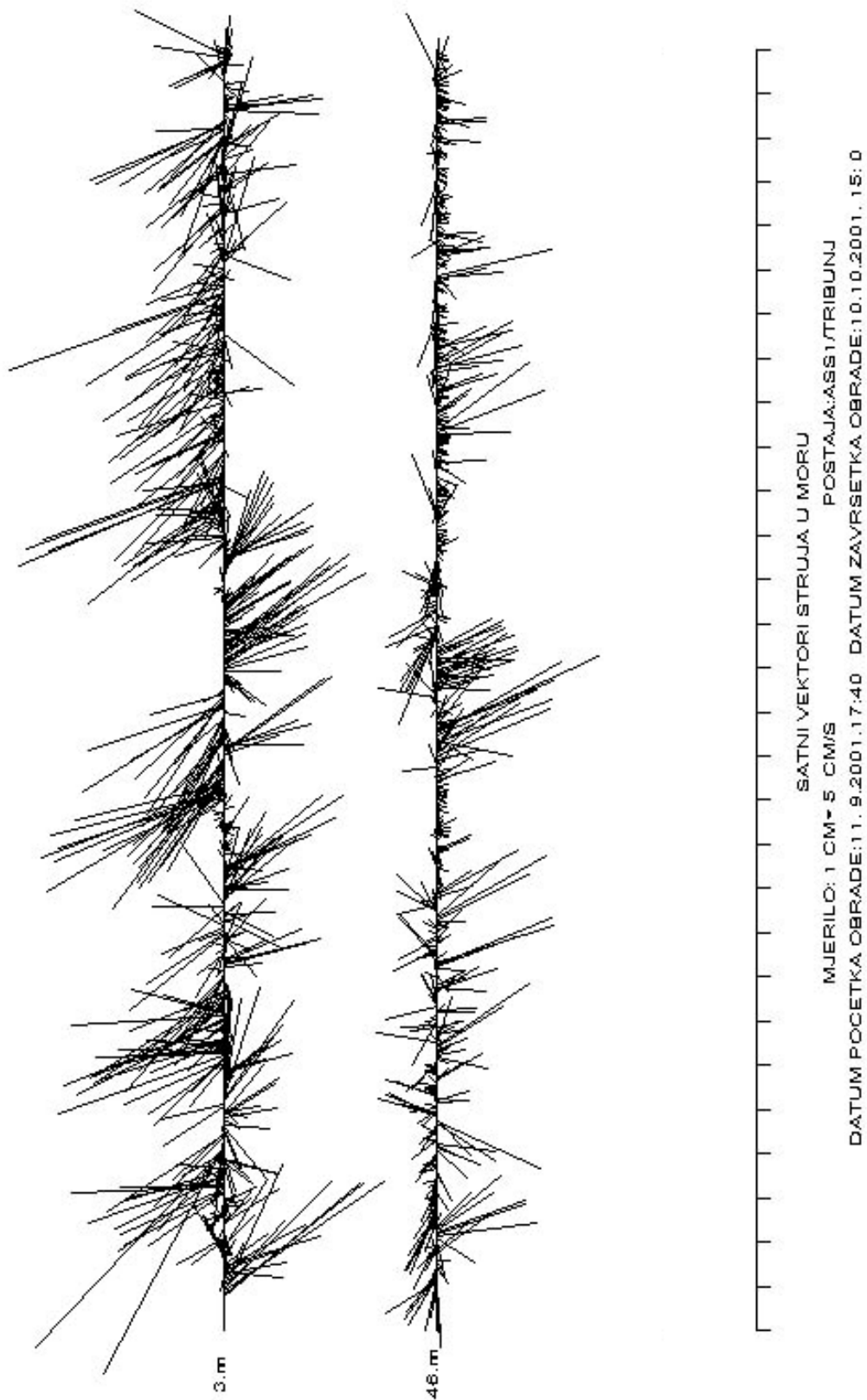
Standardne devijacije brzine struja u oba sloja su nešto manje od odgovarajućih srednjih vrijednosti pa se može zaključiti da je promjena brzine strujanja relativno mala. Faktor stabilnosti predstavlja mjeru stalnosti smjera strujanja za odgovarajući period mjerenja i izražava se u postotcima. U površinskom sloju njegova vrijednost je 21.7 %, a u pridnenom sloju 35.4 % što ukazuje da je pri površini smjer strujanja nestabilniji nego u pridnenom sloju.

Tablica 3.2. Osnovni statistički parametri morskih struja izmjerenih na postaji ASS-1 u vremenskom razdoblju 11.09.2001.-10.10.2001. godine

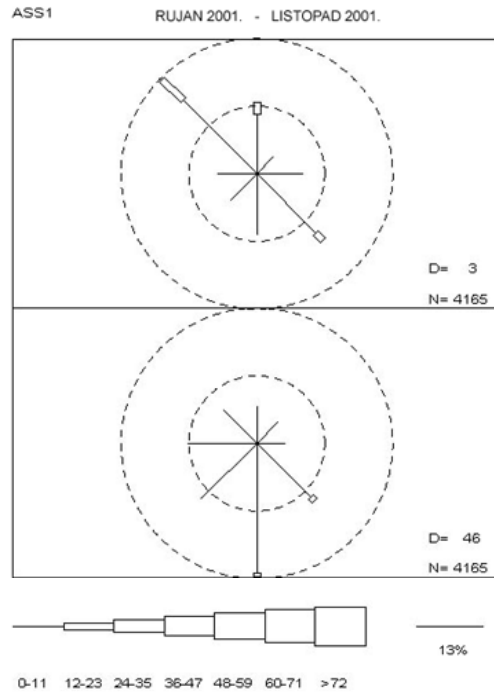
SRIMA-TRIBUNJ-VODICE (ASS-1)		
DUBINA (m)	3	46
MAKSIMALNA BRZINA (cm/s)	31.0	19.0
SREDNJA BRZINA (cm/s)	5.5	2.6
MINIMALNA BRZINA (cm/s)	1.0	1.0
STANDARDNA DEVIJACIJA (cm/s)	4.6	2.5
REZULTANTNI VEKTOR (cms ⁻¹ /deg)	1.20/323	0.91/184
FAKTOR STABILNOSTI (%)	21.7	35.4

Satni vektori morskih struja prikazani su u Kartezijevom koordinatnom sustavu (Slika 3.9.), odakle proizlazi da u površinskom sloju prevladavaju struje NW (27 %) i SE (18 %) smjera, a u pridnenom sloju struje S (27 %), SE (16 %) i SW (16 %) smjera (Slika 3.10.). Vidljivo je da je u površinskom sloju oko 28 % strujanja usmjereno prema obali, a u pridnenom sloju oko 19 % strujanja. Najzorniji prikaz opisanih značajki strujnog polja na mjernoj postaji ASS-1 daje hodogram morskih struja (Slika 3.11.) koji se dobije sukcesivnim spajanjem pojedinačnih vektora morskih struja te na taj način pokazuje stazu kretanja morske vode.

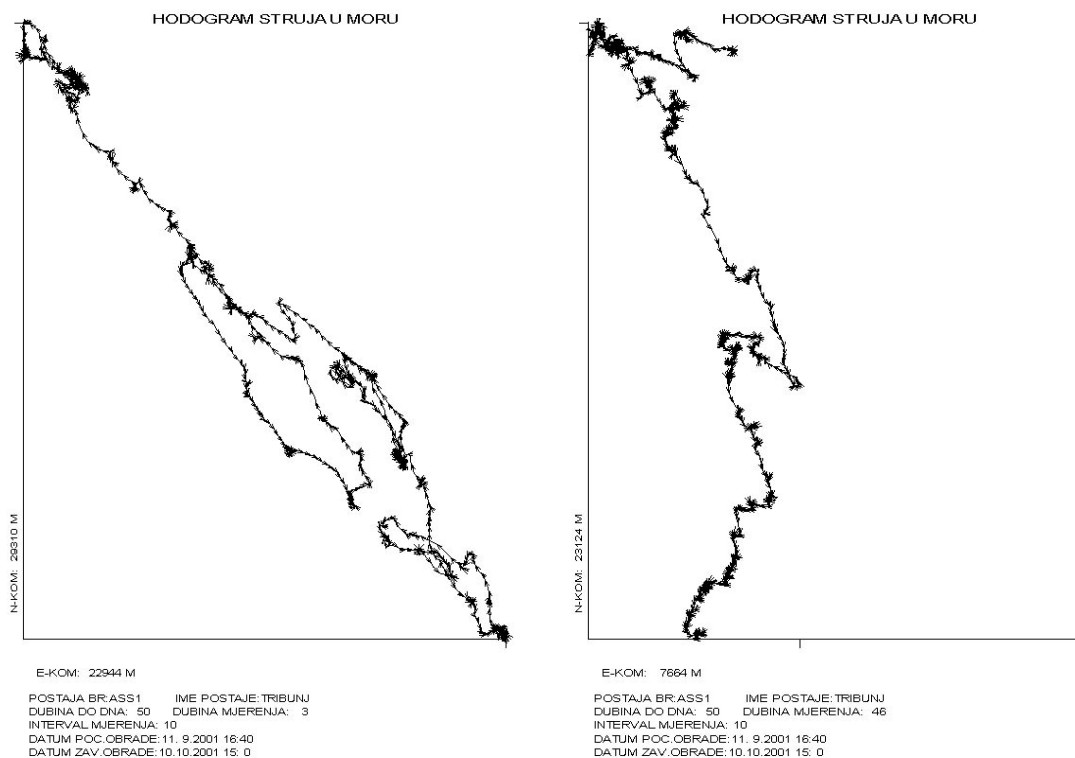
Spektralna analiza morskih struja (Slike 3.12. i 3.13.) pokazuje da su najveće energije strujanja na periodima plimnih oscilacija (24 i 12 sati) te na dugim periodima (gradijentske struje i atmosferski sinoptički poremećaji).



Slika 3.9. Satni vektori morskih struja prikazani u Kartezijevom sustavu na postaji ASS-1 [2]

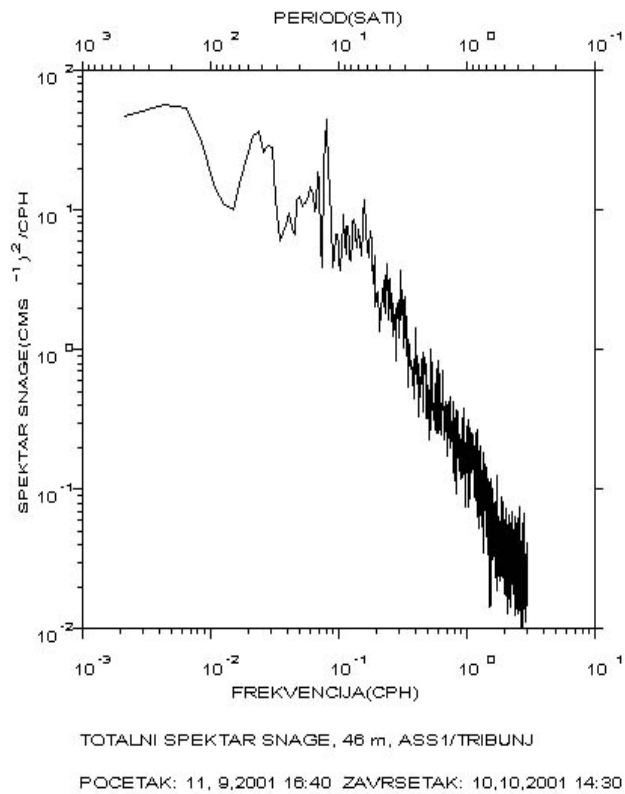


Slika 3.10. Ruža struja na postaji ASS-1 [2]

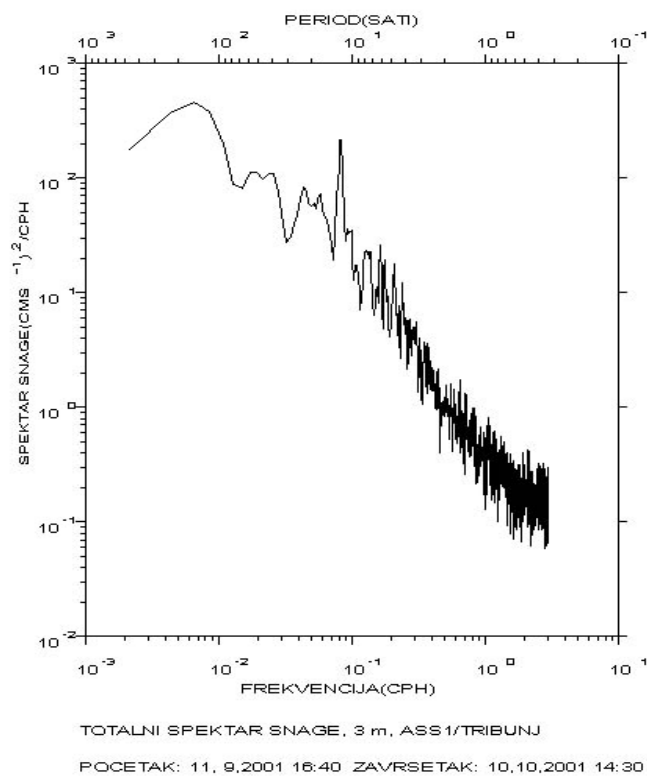


Slika 3.11. Hodogram morskih struja struja na dubini a) 3 metra i b) 46 metara postaji ASS-1

[2]



Slika 3.12. Totalni spektar snage morskih struja u površinskom sloju na postaji ASS-1 [2]



Slika 3.13. Totalni spektar snage morskih struja u pridnenom sloju na postaji ASS-1 [2]

ASS-2

Osnovni statistički parametri morskih struja izmjerenih na postaji ASS-2 prikazani su u Tablici 3.3.. U površinskom sloju na dubini od 3 (m) maksimalna izmjerena brzina strujanja je 37.0 (cm/s) , srednja brzina iznosi 9.1 (cm/s). Rezultantni vektor strujanja je u smjeru NW. Maksimalna izmjerena brzina strujanja u pridenom sloju na dubini od 46 (m) iznosi 13 (cm/s), dok je srednja brzina 2.3 (cm/s). Rezultantno strujanje je u smjeru WSW.

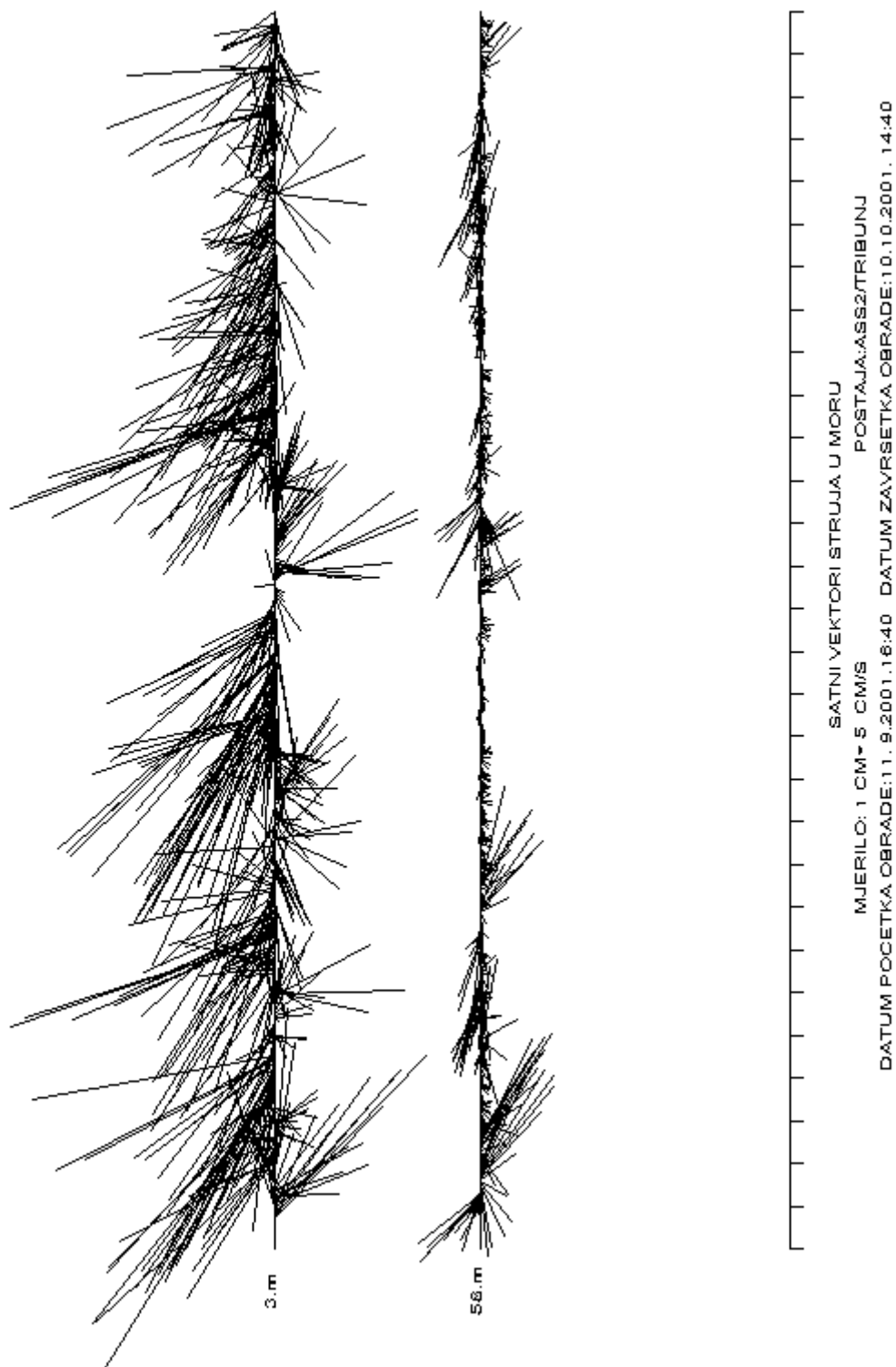
Standardna devijacija brzine struja u površinskom sloju je nešto manja od srednje vrijednosti pa se može zaključiti da je promjena brzine strujanja u tom sloju relativno mala. U pridenom sloju je standardna devijacija nešto veća od srednje vrijednosti što ukazuje na nešto veću promjenjivost brzine struje u tom sloju.

Faktor stabilnosti u površinskom sloju je 59.8 %, a u pridenom sloju 38.1 % što ukazuje da je pri površini smjer strujanja stabilniji nego u pridenom sloju. Smjer strujanja u cijelom vodnom stupcu je stabilniji u usporedbi s postajom ASS-1.

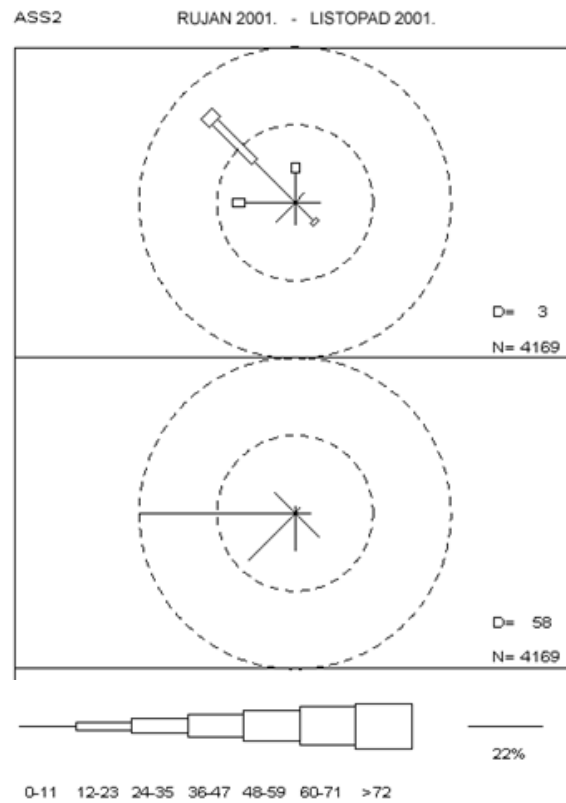
Tablica 3.3. Osnovni statistički parametri morskih struja izmjerenih na postaji ASS-2 u vremenskom razdoblju 11.09.2001.-10.10.2001. godine.

SRIMA-TRIBUNJ-VODICE (ASS-2)		
DUBINA (m)	3	58
MAKSIMALNA BRZINA (cm/s)	37.0	13.0
SREDNJA BRZINA (cm/s)	9.1	2.3
MINIMALNA BRZINA (cm/s)	1.0	1.0
STANDARDNA DEVIJACIJA (cm/s)	6.7	2.4
REZULTANTNI VEKTOR (cms ¹ /deg)	5.43/306	0.87/44
FAKTOR STABILNOSTI (%)	59.8	38.1

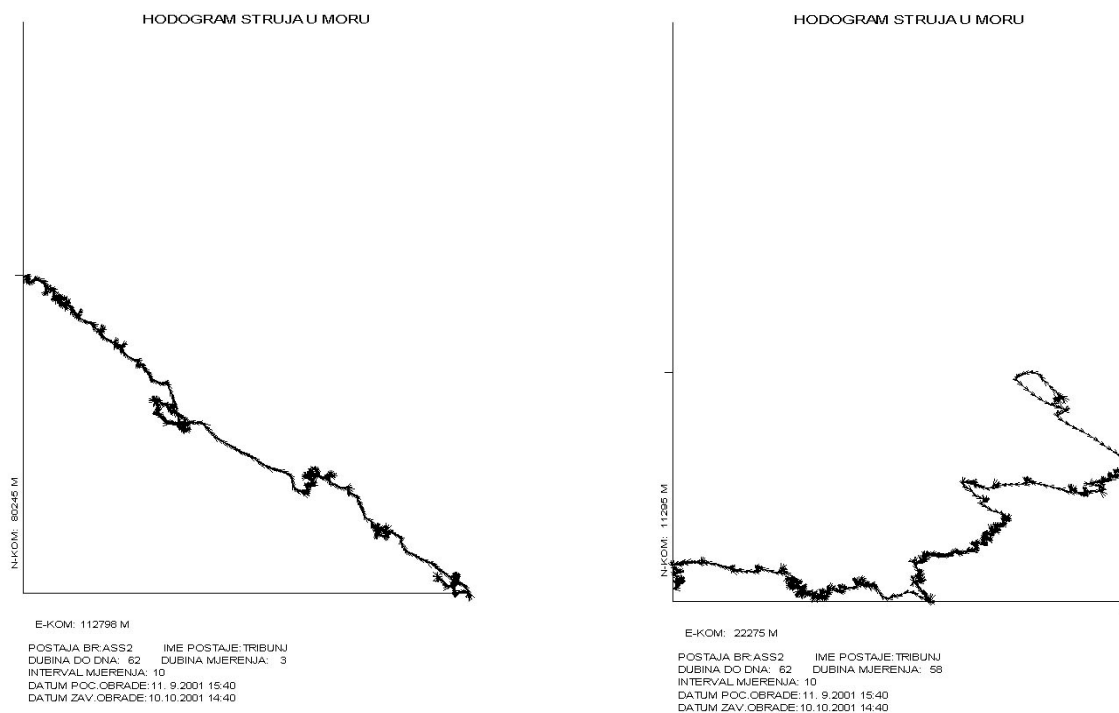
Satni vektori morskih struja prikazani su u Kartezijevom koordinatnom sustavu (Slika 3.14.) odakle proizlazi da u površinskom sloju prevladavaju struje NW (36 %) i W (18 %) smjera, a u pridenom sloju struje W (44 %) i SW (19 %) smjera (Slika 3.15.). Hodogrami morskih struja prikazani su na Slici 3.16.. Spektralna analiza morskih struja prikazana je na Slikama 3.17. i 3.18..



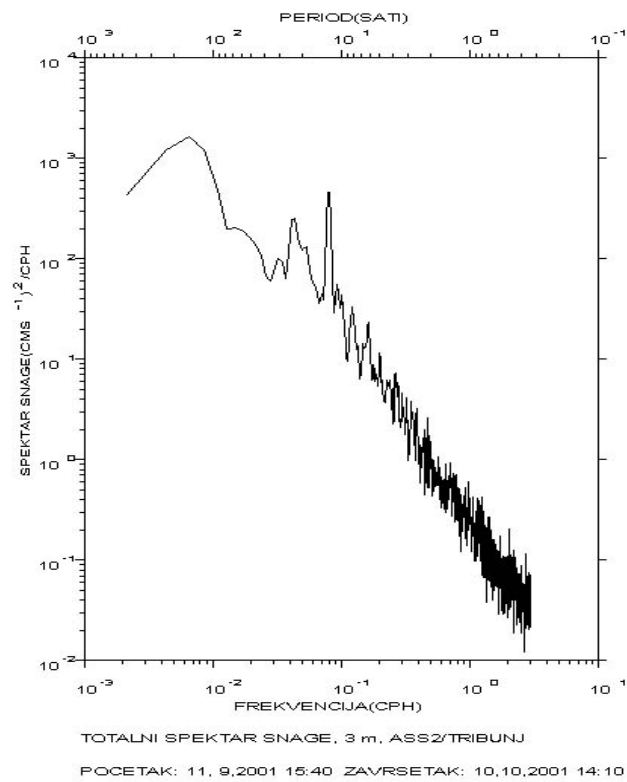
Slika 3.14. Satni vektori morskih struja prikazani u Kartezijevom sustavu na postaji ASS-2 [2



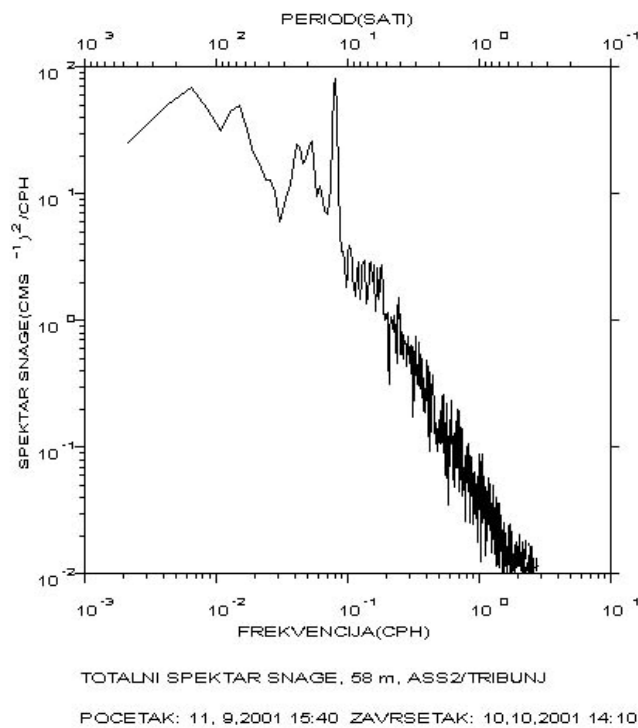
Slika 3.15. Ruža struja na postaji ASS-2 [2]



Slika 3.16. Hodogram morskih struja struja na dubini a) 3 metra i b) 46 metara na postaji ASS-2 [2]



Slika 3.17. Totalni spektar snage morskih struja u površinskom sloju na postaji ASS-2 [2]



Slika 3.18. Totalni spektar snage morskih struja u pridnenom sloju na postaji ASS-2 [2]

4. MJERODAVNE KOLIČINE

4.1. Jedinične norme

Količine otpadnih voda nekog područja u funkciji su potrošnih voda. Ovisno o broju stanovnika i gustoći stanovanja, specifična potrošnja vode mijenja se tijekom razdoblja planiranja i u pravilu je najveća na kraju. Proračun mjerodavnih količina u [1] izvršen je za I. etapu gradnje 2015. godine i za II. etapu izgradnje 2030. godine. Kako I. etapa gradnje nije predmet ovog rada, u nastavku su prikazane samo količine koje se odnose na projektno razdoblje 2030. godine. Razmatrane su tri osnovne kategorije korisnika kanalizacijskog sustava: stanovništvo, turizam i gospodarstvo.

Prognoza broja stanovnika područja naselja Vodice, Tribunj i Srima za plansko razdoblje do 2030. godine izvršena je na temelju popisa stanovništva iz 1991. i 2001. godine te prostornog plana uređenja grada Vodice koji navodi da je za očekivati blaži porast broja stanovnika. Prognoza turističkih kapaciteta za planski period provedena je na temelju podataka o postojećim i planiranim turističkim kapacitetima. U obzir je uzeta i planska dokumentacija koja predviđa razvoj postojećih poljoprivrednih i poslovnih zona.

Tablica 4.1. Korisnici područja obuhvata kanalizacijskog sustava u projektnom razdoblju

Naselje	Korisnik	2006.	2015.	2030.
VODICE	Stanovnici	6.116	6.500	6.900
	Turisti	11.881	13.715	15.410
	Ukupno Vodice:	17.997	20.215	22.310
TRIBUNJ	Stanovnici	1.390	1.400	1.450
	Turisti	3.668	5.780	6.320
	Ukupno Tribunj:	5.058	7.180	7.770
SRIMA	Stanovnici	599	900	1.150
	Turisti	1.775	4.660	8.770
	Ukupno Srima:	2.374	5.560	9.920

o. PRVIĆ	Stanovnici	438	500	600
	Turisti	984	1.100	2.900
	Ukupno o. Prvić:	1.422	1.600	3.500
	UKUPNO:	26.851	34.555	43.500

Specifična potrošnja stanovnika

Specifična potrošnja vode po stanovniku usvojena je prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće [10] gdje se navodi:

$$q_{\text{spec}} = 200 \text{ (l/stanovniku/dan)}$$

Specifična potrošnja turista

Specifična potrošnja je usvojena prema iskustvenim odrednicama pa se usvaja:

$$q_{\text{spec}} = 500 \text{ (l/ležaju/dan)} \text{ – za hotele visoke kategorije,}$$

$$q_{\text{spec}} = 300 \text{ (l/ležaju/dan)} \text{ – za hotele niže kategorije,}$$

$$q_{\text{spec}} = 200 \text{ (l/ležaju/dan)} \text{ – za privatni smještaj,}$$

$$q_{\text{spec}} = 120 \text{ (l/osobi/dan)} \text{ – za smještaj u kampu,}$$

$$q_{\text{spec}} = 200 \text{ (l/osobi/dan)} \text{ – za luke nautičkog turizma.}$$

Specifična potrošnja po 1 ha površine u proizvodno-poslovnoj zoni:

$$q_{\text{spec}} = 0,35 \text{ (l/s/ha)}$$

Usvojeni su sljedeći koeficijenti umanjenja normi potrošnji za proračun količina otpadnih voda:

Tablica 4.2. Koeficijenti umanjenja po kategorijama potrošača

Kategorija potrošača	Koeficijent umanjenja	Povrat u kanalizaciju
stanovništvo	0,8	160 l/stan/dan
hoteli visoke kategorije	0,8	400 l/ležaju/dan
hoteli niže kategorije	0,8	240 l/ležaju/dan
privatni smještaj	0,8	160 l/ležaju/dan
kampovi	0,8	96 l/osobi/dan
luke nautičkog turizma	0,8	160 l/osobi/dan
gospodarstvo	0,85	0,45 l/s/ha

4.2. Proračun mjerodavnih količina za sušni period

Prosječni dnevni dotok

Prosječni dnevni dotok tijekom godine dobije se kao zbroj prosječnih dnevnih količina otpadnih voda po kategorijama korisnika:

$$Q_{s,dne} = N_s \cdot q_{spec,s} \quad (4.1)$$

$$Q_{tur,dne} = N_{tur} \cdot q_{spec,tur} \quad (4.2)$$

gdje je:

$Q_{s,dne}$ - prosječni dnevni protok otpadnih voda od stanovništva (l/s),

$Q_{tur,dne}$ - prosječni dnevni protok otpadnih voda iz turističkih objekata (l/s),

N_s - broj stanovnika,

N_{tur} - broj turističkih ležajeva,

$q_{spec,s}$ - specifična proizvodnja otpadnih vode po korisniku dnevno (l/korisnik/dan),

$q_{spec,tur}$ - specifična proizvodnja otpadnih vode po turistu dnevno (l/korisnik/dan).

Za gospodarstvo se najprije izračuna godišnja proizvodnja otpadnih voda:

$$Q_{ind,god} = T_{god} \cdot q_{spec,ind} \quad (4.3)$$

gdje je:

$Q_{ind,god}$ - prosječni godišnji protok industrijskih otpadnih voda (m^3/mj) ili (m^3/god),

T_{god} - prosječna godišnja proizvodnja (u t/dan ili m^3/dan proizvoda),

$q_{spec,ind}$ - specifična proizvodnja otpadnih voda po jedinici sirovine ili proizvoda (m^3) otpadne vode/t ili m^3 proizvoda ili sirovine).

Prosječni dnevni dotok određuje se na temelju broja radnih dana u godini (n):

$$Q_{ind,dne} = \frac{Q_{ind,god}}{n} \quad (4.4)$$

Ukupni prosječni dnevni protok otpadnih voda u (l/s) dobije se kao:

$$Q_{SD} = Q_{s,dne} + Q_{tur,dne} + Q_{ind,dne} \quad (4.5)$$

Maksimalni dnevni dotok

Maksimalni dnevni dotok se dobiva zbrajanjem maksimalnih dnevnih dotoka pojedinih korisnika. Maksimalni dnevni dotok pojedine kategorije korisnika dobiva se množenjem prosječne dnevne količine otpadnih voda s koeficijentom dnevne neravnomyjnosti za tu kategoriju korisnika.

$$Q_{MD} = (Q_{s,dne} \cdot K_d^s) + (Q_{tur,dne} \cdot K_d^{tur}) + (Q_{ind,dne} \cdot K_d^{ind}) \quad (4.6)$$

gdje je:

Q_{MD} - ukupni maksimalni dnevni protok otpadnih voda (m³/dan) ili (l/s),

K_d - koeficijent dnevne neravnomjernosti.

Maksimalni satni dotok

Maksimalni satni dotok se dobiva se na isti način kao i maksimalni dnevni dotok; zbrajanjem maksimalnih satnih dotoka pojedinih korisnika.

$$Q_{MS} = (Q_{s,md} \cdot K_s^s) + (Q_{tur,md} \cdot K_s^{tur}) + (Q_{ind,md} \cdot K_s^{ind}) \quad (4.7)$$

gdje je:

Q_{MS} - ukupni maksimalni satni protok otpadnih voda (m³/sat) ili (l/s),

K_s - koeficijent satne neravnomjernosti.

U Tablici 4.3. prikazane su ukupnih količine otpadnih voda za sušni period za projektno razdoblje 2030.g. područja obuhvata kanalizacijskog sustava Vodice - Tribunj - Srima, gdje su naseljima Vodice, Tribunj i Srima pridružene otpadne vode otoka Prvića

Tablica 4.3. Ukupne količine otpadnih voda za područje obuhvata kanalizacijskog sustava-
sušni period

	Q _{SD} [l/s]	Q _{MD} [l/s]	Q _{MS} [l/s]
Korisnik	2030.	2030.	2030.
VODICE	59,03	65,41	146,95
TRIBUNJ	17,41	18,76	43,04
SRIMA	24,43	25,49	57,56
o. PRVIĆ	3,47	9,89	22,09
UKUPNO:	104,34	119,55	269,64

4.3. Proračun mjerodavnih količina za kišni period

Količine otpadnih voda za kišni period računaju se na način da se karakterističnim sušnim dotocima pribroje i tuđe vode (infiltracija, dio oborinskih voda ilegalno spojenih na fekalnu kanalizaciju i sl.).

$$Q_{SD}^K = Q_{SD} + Q_{TV} \quad (4.8)$$

$$Q_{MD}^K = Q_{MD} + Q_{TV} \quad (4.9)$$

$$Q_{MS}^K = Q_{MS} + Q_{TV} \quad (4.10)$$

gdje je Q_{TV} - tuđe vode (m^3/dan), (m^3/sat) ili (l/s)

Budući da ne postoje ni mjerenja ni istraživanja kojima bi se za razmatrano područje mogle odrediti tuđe vode, one se procjenjuju veličinom 40 % od srednjeg dnevnog protoka.

U Tablici 4.4. prikazane su ukupne količine otpadnih voda za kišni period za predviđeno razdoblje 2030. g. područja obuhvata kanalizacijskog sustava Vodice - Tribunj - Srma, gdje su naseljima Vodice, Tribunj i Srma pridružene otpadne vode otoka Prvića.

Tablica 4.4. Ukupne količine otpadnih voda za područje obuhvata kanalizacijskog sustava-kišni period

	Q_{SD} [l/s]	Q_{MD} [l/s]	Q_{MS} [l/s]
Korisnik	2030.	2030.	2030.
VODICE	79,46	85,85	167,38
TRIBUNJ	24,38	25,72	50,01
SRIMA	34,2	35,26	67,33
o. PRVIĆ	7,42	13,84	26,04
UKUPNO:	145,45	160,67	310,76

4.4. Dugoročno tehničko rješenje kanalizacijskog sustava

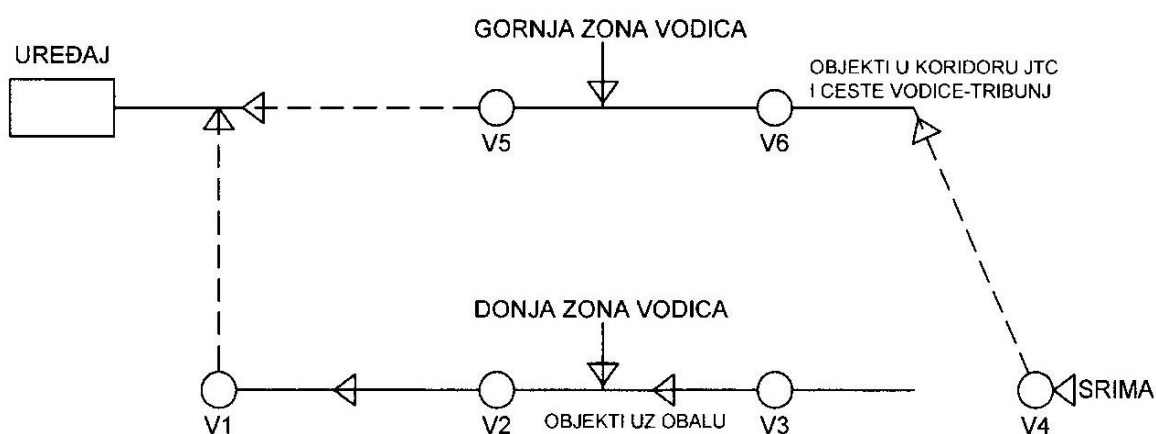
Kanalizacijskim sustavom obuhvaćena su područja naselja Vodice, Tribunj i Srima. Osim toga, prihvaćaju se i otpadne vode otoka Prvića. Zajednički kanalizacijski sustav je razdijelnog tipa s centralnim uređajem za pročišćavanje otpadnih voda koji se nalazi na lokaciji iznad Tribunja. Kanalizacijska mreža se sastoji od tri podsustava :

- podsustav Tribunj,
- podsustav Vodice,
- podustav Srima.

Podsustav Tribunj je samostalan s pet crpnih stanica. Otpadne vode se prihvaćaju u CS Tribunj 1 i transportiraju na uređaj za pročišćavanje bez interakcije s ostalim podsustavima.

Kanalizacijska mreža Vodica dijeli se na gornju zonu s dvije crpne stanice i donju zonu s četiri crpne stanice. Na osnovne objekte gornje zone Vodica (CS V5 i CS V6) veže se kanalizacijska mreža Srime koja ima četiri crpne stanice. Donja zona Vodica odvodi se objektima uz obalu do CS V1, odakle se otpadna voda glavnim transportnim objektima vodi na uređaj. Otpadne vode otoka Prvića prihvaćaju se na zajednički sustav u Vodicama (u CS V2).

Ovaj koncept predstavlja dugoročno rješenje zajedničkog kanalizacijskog sustava Vodice - Tribunj - Srima. Sve otpadne vode sakupljaju na lokaciji uređaja za pročišćavanje te se gravitacijski, putem podmorskog ispusta, ispuštaju u more. [1]



Slika 4.1. Shematski prikaz kanalizacijske mreže Vodice-Srima [1]

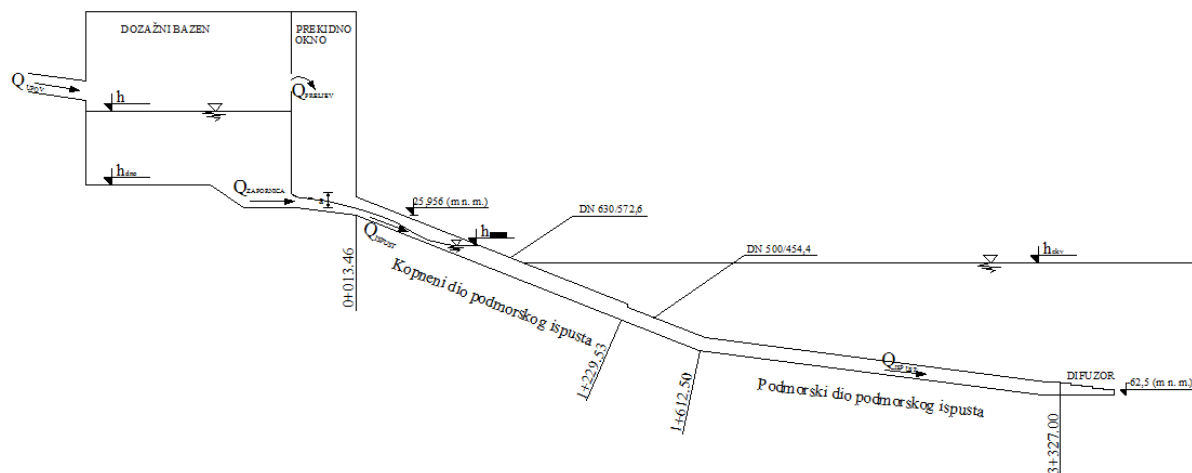
U Tablici 4.5. prikazan je ukupni broj korisnika po slivnim površinama crpnih stanica, mjerodavne količine i instalirani protoci crpnih stanica za plansko razdoblje do 2030. godine. Gospodarska zona se u mjerodavnim količinama kao koncentrirani dotok dodaje u CS V5. Otpadne vode otoka Prvića prihvaćaju se na zajednički sustav u Vodicama (u CS V2).

Tablica 4.5. Mjerodavni protoci i instalirani protoci po crpnim stanicama

SLIVNA POVRŠINA	KORISNICI	KARAKTERISTIČNI PROTOCI				Q _{INST} [l/s]
		SUŠNI			KIŠNI	
		QSD [l/s]	QMD [l/s]	QMS [l/s]	QMS [l/s]	
CS SOVLJE	500	1,11	1,3	3,03	3,47	7,0
CS TRIBUNJ 4	470	1,06	1,12	2,57	2,99	7,0
CS TRIBUNJ 3	570	1,15	1,21	2,71	3,17	7,0
CS TRIBUNJ 2	2370	4,71	4,92	11,01	12,89	14,0
CS TRIBUNJ 1	7770	17,41	18,76	43,04	50	55,0
CS SRIMA 4	2250	6,37	6,37	14,31	16,86	18,0
CS SRIMA 3	5800	16,37	16,37	36,75	43,3	45,0
CS SRIMA 2	7560	19,84	20,23	45,55	53,49	55,0
CS SRIMA1	10440	26,01	27,12	61,45	71,85	75,0
CS VODICE 4	14340	38,27	40,19	93,11	108,42	110,0
CS VODICE 3	6420	12,88	14,87	34,07	39,22	40,0
CS VODICE 2	9380	23,78	32,93	75,48	87,54	100,0
CS VODICE 1	13180	32,41	42,4	97,39	112,91	115,0
CS VODICE 6	16220	41,82	44,48	103	119,73	120,0
CS VODICE 5	19050	54,51	58,4	129,19	147,85	150,0
UKUPNO NA UREĐAJ	40000	104,33	119,56	269,62	310,76	320,0

Dimenzioniranje podmorskog ispusta za projektno razdoblje do 2030. godine vrši se za ukupni instalirani protok glavnih crpnih stanica (CS Vodice 1, CS Vodice 5 i CS Tribunj 1) u iznosu od 320 (l/s) [1].

5. HIDRAULIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA



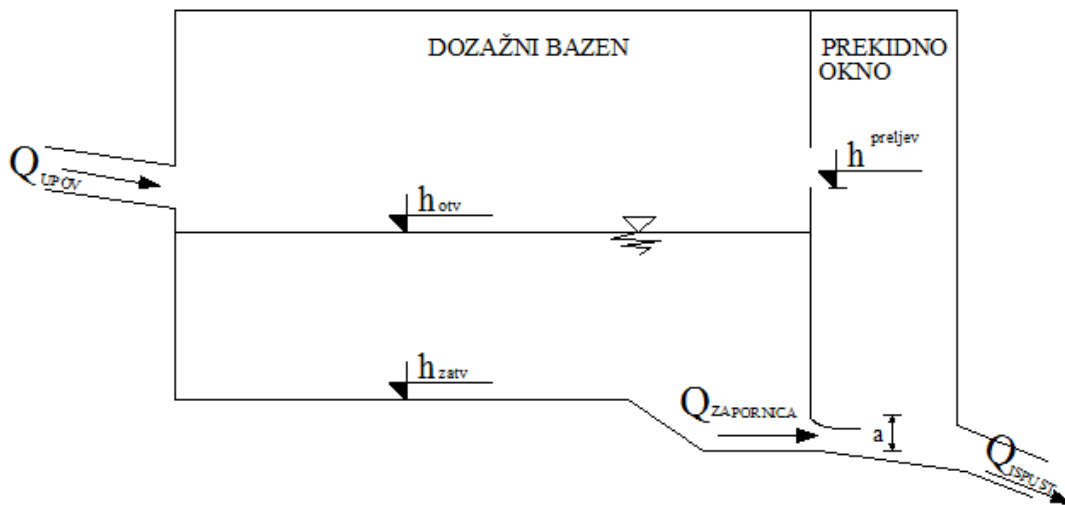
Slika 5.1. Shema sustava

5.1. Dozažni bazen

Dozažni bazen je građevina koja služi za izravnavanje neravnomjernosti protoka i osiguravanje željenog piezometarskog stanja nizvodno od dozažnog bazena. Smješten je prije ulaza u kopneni dio ispusta, a ispuštanje vode iz dozažnog bazena regulirano je zapornicom. Na izlazu iz dozažnog bazena predviđeno je prekidno okno koje ima funkciju ispuštanja zraka iz cjevovoda te upuštanja vode u kopneni dio ispusta. Otpadna voda se u ovisnosti o razini vode u dozažnom bazenu ispušta podmorskim ispustom kako bi se postigle povoljne brzine tečenja (1 - 2 m/s) koje osiguravaju ispiranje cjevovoda i sprječavanje taloženja.

Odabrane dimenzije dozažnog bazena su $5.0 \text{ (m)} * 6.0 \text{ (m)} = 30 \text{ (m}^2\text{)}$ s kotom dna 26.50 (m n.m.). Kota dna zapornice je na 26.00 (m n. m.), a u tom dijelu je i dno dozažnog bazena spuštено na navedenu kotu.

Kineta u prekidnom oknu izvedena je u kritičnom nagibu (Froudov broj $Fr = 1$), čime se postiže silovito tečenje i smanjuje ispunjenost profila cjevovoda nadmorskog dijela ispusta.



Slika 5.2. Skica dozažnog bazena s prekidnim oknom

5.1.1. Dotok s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda

Dotok u dozažni bazen s UPOV-a definiran je karakterističnim dnevnim neravnomjernostima tipičnima za jutarnji, popodnevni i večernji vršni sat za period jednog dana sukladno preporuci [8]. Neravnomjernost dotoka opisana je pomoću tri dvoparametarske Gaussove krivulje koje imaju različite srednje vrijednosti i standardne devijacije, a njihovim superponiranjem dobije se funkcionalna veza vremena i neravnomjernosti protoka unutar određenog vremena.

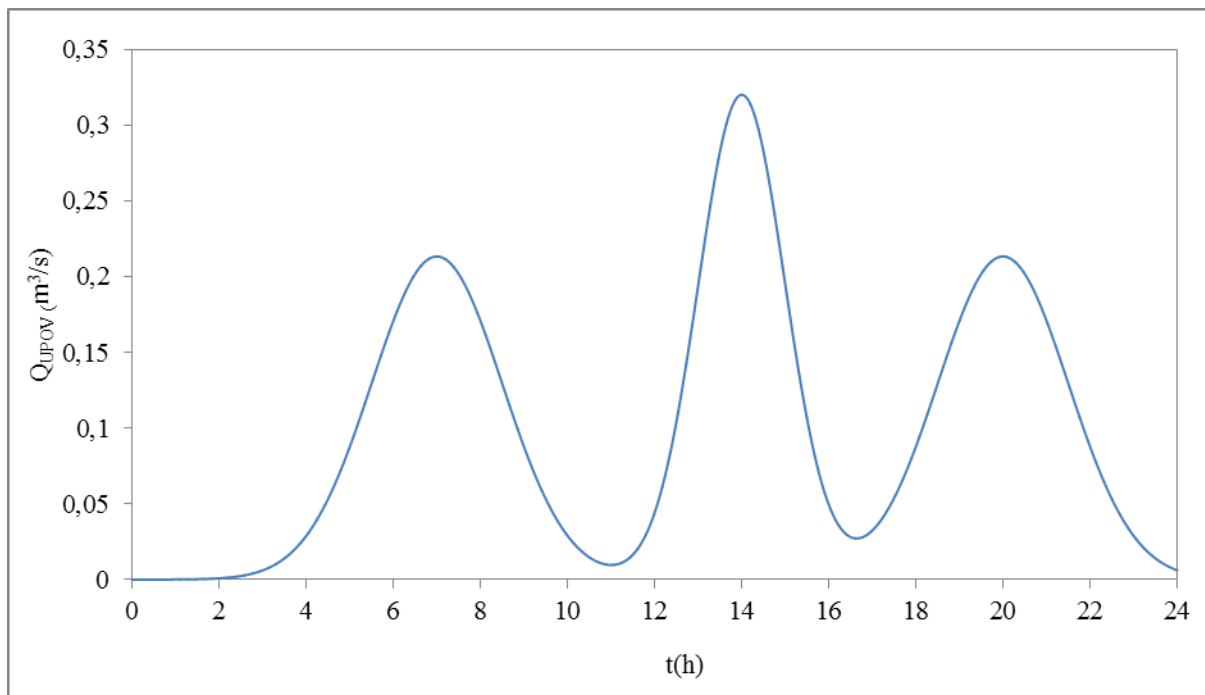
$$f = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\bar{t}^1}{\sigma_1} \right]^2} + \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\bar{t}^2}{\sigma_2} \right]^2} + \frac{1}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\bar{t}^3}{\sigma_3} \right]^2} \quad (5.1)$$

Maksimalni satni dotok definiran je na osnovu podataka iz [1] i iznosi 0.32 (m³/s).

Za maksimalnu vrijednost funkcije f i maksimalni satni dotok određen je koeficijent n s kojim se množi prethodni izraz kako bi se varijabilnosti podudarale sa stvarnim dotokom s UPOV-a.

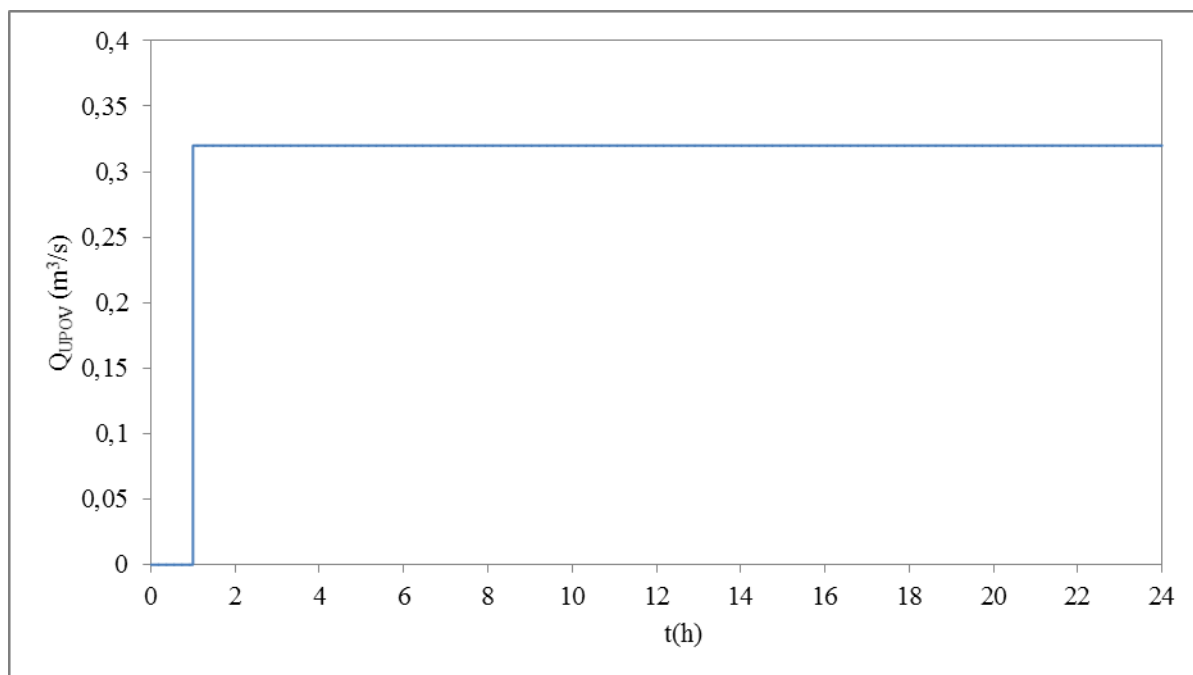
$$n = \frac{Q_{\max}}{\max_f} \quad (5.2)$$

$$Q_{UPOV} = \left[\frac{1}{\sigma_t^1 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\bar{t}^1}{\sigma_t^1} \right]^2} + \frac{1}{\sigma_t^2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\bar{t}^2}{\sigma_t^2} \right]^2} + \frac{1}{\sigma_t^3 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{t-\bar{t}^3}{\sigma_t^3} \right]^2} \right] \cdot n \quad (5.3)$$



Slika 5.3. Karakteristični dotok s UPOV-a

Razmatra se i slučaj naglog dotoka u dozažni bazen u iznosu 0.32 (m³/s). Ovaj slučaj karakterizira neuobičajen rad sustava i kritičan je u pogledu osiguranja nepotopljenog istjecanja ispod zapornice.



Slika 5.4. Nagli dotok s UPOV-a

5.1.2. Sigurnosni preljevni otvor

U dozažnom bazenu predviđen je oštrobriđni sigurnosni preljevni otvor širine 130 (cm) i visine 30 (cm), s kotom dna otvora 27.90 (m n. m.).

Za prelijevanje maksimalnog satnog protoka potrebna je preljevna visina:

$$H = h - h_{\text{preljev}} = \left(\frac{Q}{m \cdot B \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.320}{0.35 \cdot 1.3 \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 0.2932m \quad (5.4)$$

gdje je:

h - razina vodnog lica u dozažnom bazenu (m n. m.),

h_{preljev} - kota dna preljeva (27.90 m n. m.),

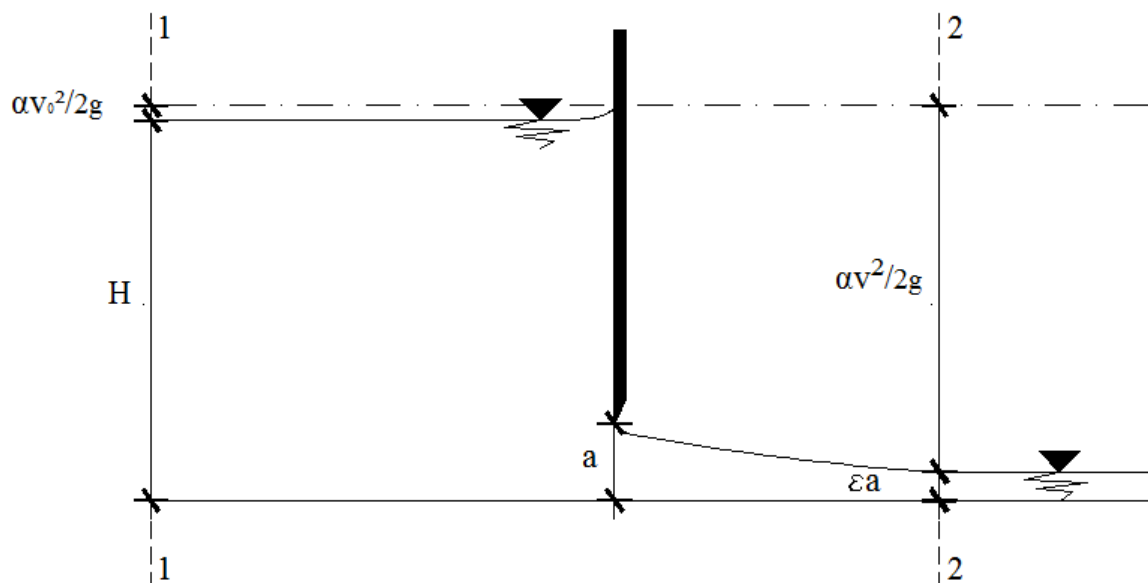
Q - maksimalni satni protok (0.32 m³/s),

m - koeficijent preljeva = 0.35, [11],

B - širina preljevnog otvora = 130 (cm).

Pri toj preljevnoj visini vodostaj u dozažnom bazenu je na koti 28.1932 (m n. m.).

5.1.3. Nepotopljeno istjecanje ispod zapornice



Slika 5.5. Nepotopljeno istjecanje ispod zapornice

Odvodnja vode iz dozažnog bazena regulirana je zapornicom s mehaničkim pogonom. Kota dna zapornice je na 26.00 (m n. m.), a istjecanje ispod zapornice je nepotopljeno.

Nepotopljeno istjecanje ispod oštrobriđne uspravne zapornice opisano je Bernoullijevom jednađbom [11]:

$$h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} = \epsilon a + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (5.5)$$

gdje je:

$$\frac{\alpha v_0^2}{2g} \approx 0,$$

α - koeficijent kinetičke energije, $\alpha=1$, [11],

ϵ - visina otvora ispod zapornice (m),

a - visina otvora ispod zapornice (m).

Nakon sređivanja izraza (5.5) slijedi:

$$h - \varepsilon a = \frac{v^2}{2g}, \quad (5.6)$$

odakle proizlazi izraz za brzinu na gornjoj strujnici u presjeku 2-2:

$$v = \sqrt{2g(h - \varepsilon a)} \quad (5.7)$$

Kako bi se dobila osrednjena brzina u presjeku 2-2, izraz se množi s koeficijentom brzine istjecanja:

$$v = \varphi \sqrt{2g(h - \varepsilon a)} \quad (5.8)$$

pa slijedi da je protok ispod zapornice:

$$Q = \sqrt{2g(h - \varepsilon a)} \cdot \varphi \cdot \varepsilon \cdot a \cdot b. \quad (5.9)$$

Pretpostavka za određivanje potrebne visine otvora ispod zapornice je da protok ispod zapornice odgovara maksimalnom satnom dotoku s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Prema tome, vodno lice u dozažnom bazenu je konstantno ili manje od kote dna preljeva u vremenu kada je zapornica otvorena.

Za poznati projektni protok od 0.32 (m³/s) i usvojenu širinu otvora ispod zapornice od 30 (cm), visina otvora ispod zapornice može se odrediti iz jednadžbe (5.9), odakle proizlazi da je:

$$a = \frac{Q_{UPOV}}{\sqrt{2g(h - \varepsilon a)} \cdot \varphi \cdot \varepsilon \cdot b}, \quad (5.10)$$

a koeficijent kontrakcije mlaza se računa prema izrazu:

$$\varepsilon = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - \frac{a}{h}}, \quad (5.11)$$

gdje je:

a - visina otvora ispod zapornice (m),

Q_{UPOV} - maksimalni satni dotok s UPOV-a (m^3/s),

h - razina vodnog lica (relativno u odnosu na dno zapornice) u dozažnom bazenu (m n. m.),

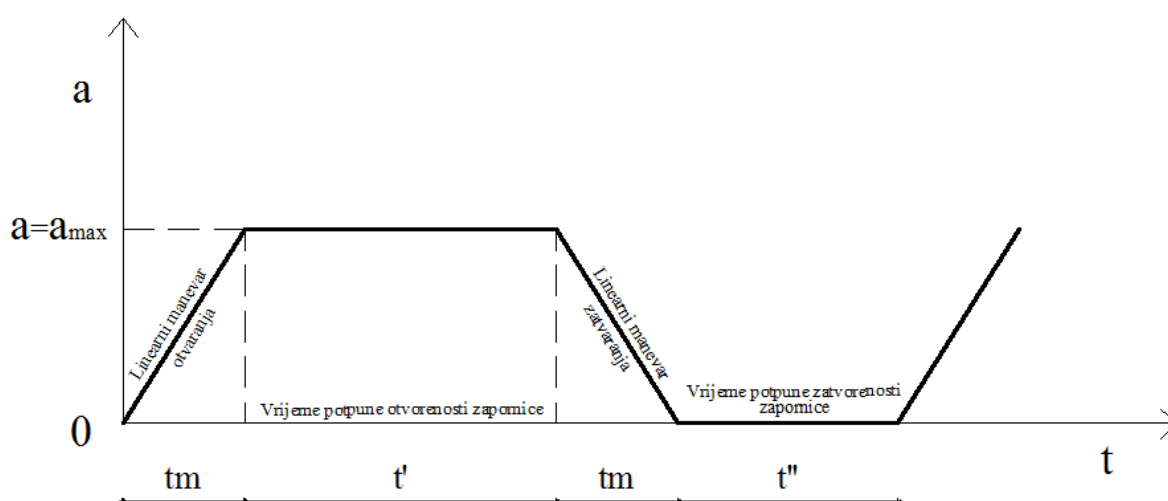
ε - koeficijent vertikalne kontrakcije mlaza,

φ - koeficijent brzine istjecanja, odabrano $\varphi = 0.97$, [11],

b - širina otvora ispod zapornice, odabrano $b = 0.30$ (m).

Primjenjuje se iterativni postupak u kojem se za pretpostavljenu vrijednost visine otvora izračuna pripadajući koeficijent kontrakcije i uvrsti u izraz (5.10). Postupak završava kada se pogreška smanji ispod neke predefiniране granice. Za maksimalni satni dotok od 0.32 (m^3/s) i usvojenu širinu otvora ispod zapornice od 0.30 (m), proizlazi da je visina otvora $a = 0.317927$ (m) ≈ 0.32 (m) uz pripadajući koeficijent $\varepsilon = 0.616568$.

Manevri otvaranja i zatvaranja zapornice ograničeni su na 60 (s) i definirani su kao linearni u vremenu. Za 1.875 (s) zapornica se podigne/spusti 1 (cm). Zapornica je zatvorena sve dok vodostaj u dozažnom bazenu ne dosegne kotu 27.8 (m n. m.). Kada vodostaj u bazenu dostigne tu kotu, zapornica se otvara. Zapornica se zatvara kada se vodostaj u dozažnom bazenu spusti na kotu 26.50 (m n. m.).



Slika 5.6. Manevar zapornice

5.1.4. Režim rada dozažnog bazena

U dinamičkoj analizi rada dozažnog bazena potrebno je definirati piezometarsko stanje u dozažnom bazenu i odrediti protoke ispod zapornice za svaki vremenski korak.

Jednadžba koja definira stanje u dozažnom bazenu je jednadžba kontinuiteta:

$$A \cdot \frac{dh}{dt} = Q_{UPOV} - Q_{ZAPORNICA} - Q_{PRELJEV} \quad \Rightarrow \quad dh = \frac{Q_{UPOV} - Q_{ZAPORNICA} - Q_{PRELJEV}}{A} \cdot dt \quad (5.12)$$

Za rješenje jednadžbe korišten je Eulerov postupak numeričke integracije te je približno rješenje:

$$h^{k+1} = h^k + \frac{Q_{UPOV}^{k+1} - Q_{ZAPORNICA}^k - Q_{PRELJEV}^k}{A^k} \cdot \Delta t \quad (5.13)$$

gdje je:

h^k - razina vode u dozažnom bazenu na kraju prethodnog koraka integracije k (m n. m.),

h^{k+1} - razina vode u dozažnom bazenu u koraku integracije $k+1$ (m n. m.),

Q_{UPOV}^{k+1} - dotok u dozažni bazen u koraku integracije $k+1$ (m^3/s),

$Q_{ZAPORNICA}^k$ - protok iz dozažnog bazena u koraku integracije k (m^3/s),

$Q_{PRELJEV}$ - protok kroz preljevni otvor u koraku integracije k (m^3/s),

A^k - površina dozažnog bazena (m^2),

Δt - trajanje koraka integracije, $\Delta t = 1(s)$.

U analizi rada dozažnog bazena početni uvjet predstavlja poznata razina vode u nultom koraku integracije $h^k = 26.60$ (m n. m.). Rubni uvjeti su kote početka manevra otvaranja i zatvaranja zapornice. Zapornica se počinje otvarati kada vodostaj u dozažnom bazenu dosegne kotu 27.80 (m n. m.), a kada se vodostaj spusti do kote 26.5 (m n. m.), zapornica se zatvara.

Nakon definiranja dotoka s UPOV-a za svaki korak integracije i za poznato istjecanje ispod zapornice u prethodnom koraku:

$$Q_{ZAPORNICA}^k = \sqrt{\frac{2g}{\alpha}} (h^k - \varepsilon^k \cdot a^k) \cdot \varphi \cdot \varepsilon^k \cdot a^k \cdot b \quad (5.14)$$

gdje je:

h^k - razina vode u dozažnom bazenu na kraju prethodnog koraka integracije k (m n. m.),

a^k - visina otvora ispod zapornice na kraju prethodnog koraka integracije k (m),

ε^k - koeficijent vertikalne kontrakcije mlaza na kraju prethodnog koraka integracije k,

određuje se razina vode u dozažnom bazenu u svakom koraku integracije.

5.2. Dinamička analiza rada ispusta

Potrebno je odrediti vodostaj u kopnenom dijelu podmorskog ispusta i protok u podmorskom dijelu ispusta u svakom koraku integracije. Za rješavanje navedenog problema postavljene su jednadžba kontinuiteta za dio ispusta iznad mora te dinamička jednadžba za potopljeni dio ispusta.

5.2.1. Nadmorski dio ispusta

Jednadžbom kontinuiteta opisuje se razina vodnog lica u dijelu podmorskog ispusta iznad razine mora:

$$A_{ELIPSA} \cdot \frac{dh_{ISPUST}}{dt} = Q_{ZAPORNICA} - Q_{ISPUST} + Q_{PRELJEV} \Rightarrow dh_{ISPUST} = \frac{Q_{ZAPORNICA} - Q_{ISPUST} + Q_{PRELJEV}}{A} \cdot dt \quad (5.15)$$

Nakon integracije dobije se približno rješenje:

$$h_{ISPUST}^{k+1} = h_{ISPUST}^k + \frac{Q_{ZAPORNICA}^{k+1} - Q_{ISPUST}^k + Q_{PRELJEV}^k}{A_{ELIPSA}^k} \cdot \Delta t \quad (5.16)$$

gdje je:

h_{ISPUST}^k - razina vode u kopnenom dijelu ispusta u koraku integracije k (m n. m.),

h_{ISPUST}^{k+1} - razina vode u kopnenom dijelu ispusta u koraku integracije k+1 (m n. m.),

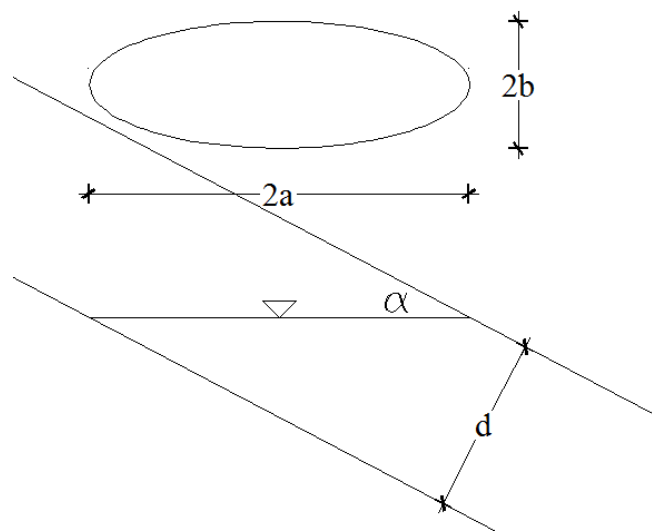
$Q_{ZAPORNICA}^{K+1}$ - dotok iz dozažnog bazena u koraku integracije k+1 (m^3/s),

Q_{ISPUST}^K - protok u podmorskom ispustu u u koraku integracije k (m^3/s),

$Q_{PRELJEV}^{K+1}$ - protok kroz preljevni otvor u u koraku integracije k+1 (m^3/s),

Δt - trajanje koraka integracije (s),

A_{ELIPSA}^K - horizontalna površina vodnog lica u koraku integracije k (m^2).



Slika 5.7. Horizontalna površina vodnog lica

$$A^k_{ELIPSA} = ab\pi = \frac{d^2\pi}{4\sin\alpha} \quad (5.17)$$

gdje je:

d - promjer svijetlog otvora cijevi (m),

α - kut koji zatvara os cijevi u odnosu na razinu mora ($^\circ$).

Tablica 5.1. Vertikalni lomovi trase uz pripadajuće površine elipsa

Kota	Dionica	L (m)	A (rad)	A (°)	d (m)	a (m)	b (m)	A _{ELIPSA} (m ²)
-1,888								
-0,915	1	270,56	0,0036	0,2060	0,4544	63,1774	0,2272	45,0941
-0,823	2	18,72	0,0049	0,2816	0,4544	46,2308	0,2272	32,9982
-0,49	3	25,65	0,0130	0,7438	0,4544	17,5020	0,2272	12,4924
-0,122	4	19,76	0,0186	1,0697	0,4544	12,1699	0,2272	8,6865
1,000	5	48,29	0,0232	1,3309	0,4544	9,7813	0,2272	9,9816
1,887	6	35,49	0,0250	1,4318	0,5726	11,4578	0,2863	10,3055
1,887	7	2,60	0,0000	0,0000	0,5726	0,0000	0,2863	0,0000
3,957	8	76,02	0,0272	1,5598	0,5726	10,5182	0,2863	9,4604
5,369	9	40,32	0,0350	2,0057	0,5726	8,1804	0,2863	7,3577
6,449	10	28,18	0,0383	2,1948	0,5726	7,4758	0,2863	6,7240
8,219	11	60,07	0,0295	1,6878	0,5726	9,7206	0,2863	8,7431
9,527	12	50,36	0,0260	1,4878	0,5726	11,0267	0,2863	9,9178
10,043	13	20,60	0,0250	1,4349	0,5726	11,4334	0,2863	10,2836
10,259	14	26,32	0,0082	0,4702	0,5726	34,8874	0,2863	31,3790
11,089	15	26,15	0,0317	1,8180	0,5726	9,0247	0,2863	8,1172
12,335	16	37,13	0,0335	1,9220	0,5726	8,5364	0,2863	7,6779
13,249	17	19,38	0,0471	2,7002	0,5726	6,0773	0,2863	5,4662
16,089	18	79,95	0,0355	2,0344	0,5726	8,0648	0,2863	7,2538
16,928	19	26,18	0,0320	1,8356	0,5726	8,9382	0,2863	8,0394
18,599	20	334,19	0,0050	0,2865	0,5726	57,2590	0,2863	51,5009
19,407	21	97,96	0,0082	0,4726	0,5726	34,7115	0,2863	31,2209
21,539	22	44,01	0,0484	2,7734	0,5726	5,9169	0,2863	5,3219
22,869	23	35,58	0,0374	2,1408	0,5726	7,6644	0,2863	6,8937
24,038	24	24,38	0,0479	2,7452	0,5726	5,9778	0,2863	5,3766
24,512	25	78,70	0,0060	0,3451	0,5726	47,5363	0,2863	42,7560
25,956	26	72,50	0,0199	1,1410	0,5726	14,3773	0,2863	12,9315

5.2.2. Potopljeni dio ispusta

Dinamičkom jednadžbom opisuje se promjenjivost protoka u dijelu podmorskog ispusta ispod razine mora:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + \Delta H_e + \frac{L_{trenutno}}{g} \cdot \frac{dv_{ispust}}{dt} \quad (5.18)$$

$$h_{ISPUST} = h_{ekv} + \left(\lambda_{IZN} \cdot \frac{L_{IZN}}{D_{IZN}} \right) \frac{v_{IZN}^2}{2g} + \left(\lambda_{ISP} \cdot \frac{L_{ISP}}{D_{ISP}} + \xi_d \right) \frac{v_{ISP}^2}{2g} + \alpha \frac{v_{ISP}^2}{2g} - \alpha \frac{v_{IZN}^2}{2g} + \frac{L_{IZN}}{g} \cdot \frac{dv_{IZN}}{dt} + \frac{L_{ISP}}{g} \cdot \frac{dv_{ISP}}{dt} \quad (5.19)$$

gdje je:

$L_{trenutno}$ - duljina cijevi ispusta za trenutnu razinu vodnog lica u dijelu ispusta iznad razine mora (m),

h_{ISPUST} - razina vode u kopnenom dijelu podmorskog ispusta (m n. m.),

h_{ekv} - ekvivalentna razina mora, $h_{ekv} = 1,4375$ (m n. m.),

λ_{IZN} - koeficijent otpora trenja u kopnenom dijelu podmorskog ispusta iznad razine mora s unutarnjim promjerom $\Phi = 572.6$ (mm),

L_{IZN} - dužina kopnenog dijela podmorskog ispusta iznad razine mora s unutarnjim promjerom $\Phi = 572.6$ (mm),

D_{IZN} - promjer cijevi dijela kopnene sekcije podmorskog ispusta, $\Phi = 572.6$ (mm),

v_{IZN} - brzina tečenja u kopnenom dijelu podmorskog ispusta, ($\Phi = 572.6$ (mm)),

λ_{ISP} - koeficijent otpora trenja u potopljenom dijelu podmorskog ispusta, ($\Phi = 454.4$ (mm)),

L_{ISP} - dužina potopljenog dijela podmorskog ispusta, ($\Phi = 454.4$ (mm)), $L_{ISP} = 2197.5$ (m)

D_{ISP} - promjer cijevi potopljenog dijela podmorskog ispusta, $\Phi = 454.4$ (mm),

v_{ISP} - brzina tečenja u potopljenom dijelu podmorskog ispusta, ($\Phi = 454.4$ (mm)),

ξ_d - koeficijent lokalnog gubitka energije na difuzoru,

α - koeficijent kinetičke raspodjele energije.

Iz uvjeta kontinuiteta slijedi:

$$Q = A_{ISP} \cdot v_{ISP} = A_{IZN} \cdot v_{IZN} \Rightarrow v_{IZN} = \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^2 \cdot v_{ISP} \quad (5.20)$$

$$h_{ISPUST} - h_{ekv} - \left(\lambda_{IZN} \cdot \frac{L_{IZN}}{D_{IZN}} \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^4 \right) \frac{v_{ISP}^2}{2g} - \left(\lambda_{ISP} \cdot \frac{L_{ISP}}{D_{ISP}} + \xi_d \right) \frac{v_{ISP}^2}{2g} - \alpha \frac{v_{ISP}^2}{2g} + \alpha \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^4 \frac{v_{ISP}^2}{2g} =$$

$$\frac{L_{IZN}}{g} \cdot \frac{dv_{IZN}}{dt} + \frac{L_{ISP}}{g} \cdot \frac{dv_{ISP}}{dt}$$
(5.21)

$$\frac{L_{IZN}}{g} \cdot \frac{dv_{IZN}}{dt} + \frac{L_{ISP}}{g} \cdot \frac{dv_{ISP}}{dt} = \frac{L_{IZN}}{gA_{ISP}} \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^2 \cdot \frac{dQ_{ISP}}{dt} + \frac{L_{ISP}}{gA_{ISP}} \cdot \frac{dQ_{ISP}}{dt} = \frac{dQ_{ISP}}{dt} \cdot \frac{1}{gA_{ISP}} \cdot \left(\left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^2 L_{IZN} + L_{ISP} \right)$$
(5.22)

$$\frac{dQ_{ISP}}{dt} = \frac{gA_{ISP}}{L_{IZN} \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^2 + L_{ISP}} \left\{ h_{ISPUST} - h_{ekv} - \frac{1}{2g} \cdot \left[\left(\lambda_{IZN} \cdot \frac{L_{IZN}}{D_{IZN}} \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^4 \right) + \left(\lambda_{ISP} \cdot \frac{L_{ISP}}{D_{ISP}} + \xi_d \right) + \alpha - \alpha \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^4 \right] \frac{Q_{ISP}^K | Q_{ISP}^K}{A_{ISP}^2} \right\}$$
(5.23)

Nakon približne integracije dobije se:

$$Q_{ISP}^{K+1} = \frac{gA_{ISP}}{L_{IZN} \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^2 + L_{ISP}} \left\{ h_{ISP}^{K+1} - h_{ekv}^{K+1} - \frac{1}{2g} \cdot \left[\left(\lambda_{IZN}^{K+1} \cdot \frac{L_{IZN}^{K+1}}{D_{IZN}} \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^4 \right) + \left(\lambda_{ISP}^{K+1} \cdot \frac{L_{ISP}}{D_{ISP}} + \xi_d \right) + \alpha - \alpha \cdot \left(\frac{D_{ISP}}{D_{IZN}} \right)^4 \right] \frac{Q_{ISP}^K | Q_{ISP}^K}{A_{ISP}^2} \right\} \cdot \Delta t$$
(5.24)

gdje je:

Q_{ISP}^{K+1} - protok u potopljenom dijelu ispusta u koraku integracije k+1 (m³/s),

Q_{ISP}^K - protok u potopljenom dijelu ispusta u koraku integracije k (m³/s),

A_{ISP} - površina poprečnog presjeka cijevi potopljenog dijela ispusta, ($\Phi = 454.4$ (mm)),

L_{IZN}^{K+1} - dio kopnenog dijela ispusta iznad razine mora u koraku integracije k+1, ($\Phi = 572.6$ (mm)),

λ_{IZN}^{K+1} - koeficijent otpora trenja u dijelu podmorskog ispusta iznad razine mora u koraku integracije k+1, ($\Phi = 572.6$ (mm)),

λ_{ISP}^{K+1} - koeficijent otpora trenja u potopljenom dijelu ispusta, ($\Phi = 454.4$ (mm)) u koraku integracije k+1,

Δt - vremenski interval, za sve analize Δt iznosi 1 (s).

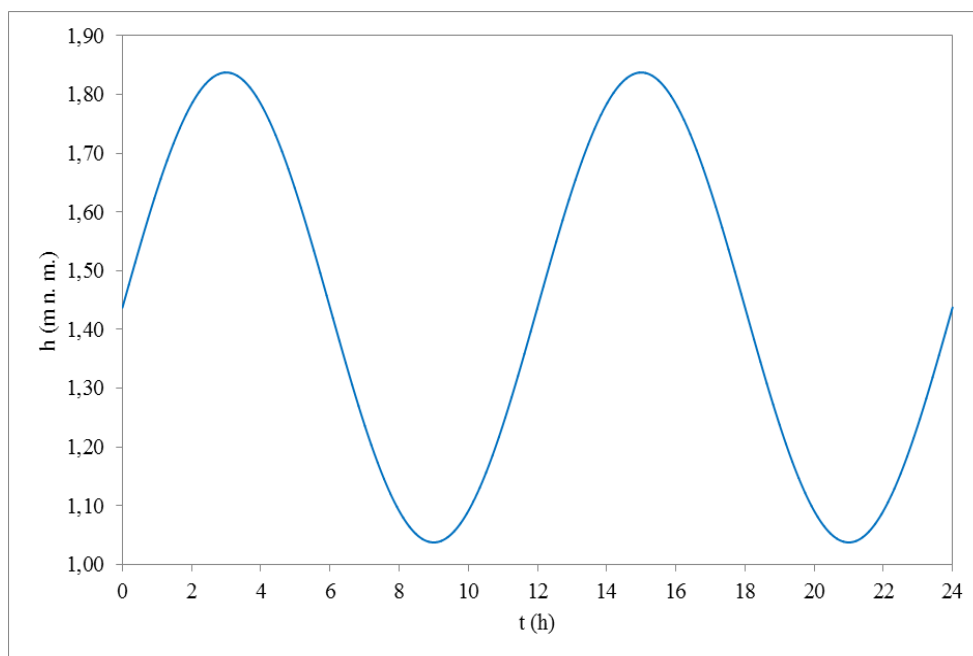
Promjer cijevi ispusta iznad razine mora je promjera DN 630/572.6. Na stacionaži 1+229.53 izvodi se redukcija na DN 500/454.4 kako bi se osigurale minimalne zahtijevane brzine tečenja u potopljenom dijelu ispusta.

Početne uvjete predstavlja poznata razina vode u cijevi ispusta i poznati protok u ispustu u nultom koraku integracije. Usvaja se razina vode u cijevi jednaka razini mora, a protok u ispustu se uzima da je jednak nuli za nulti korak integracije.

Rubni uvjet čini ekvivalentna razina mora, tj. nulta razina mora uvećana za razliku u gustoći mora i vode.

$$h_{ekv} = h_{more} \frac{\rho_{more}}{\rho_{voda}} - h_{more} \quad (5.25)$$

Ekvivalentna razina mora opisana je sinusnom funkcijom s amplitudom plime i oseke od 40 (cm). [12]



Slika 5.8. Oscilacije ekvivalentne razine mora

5.2.3. Linijski gubici u sustavu

U svakom koraku integracije potrebno je odrediti potopljenu duljinu ispusta iznad i ispod razine mora te definirati koeficijente linijskih gubitaka iznad i ispod razine mora.

Linijski gubici energije u potopljenom dijelu podmorskog ispusta uzimaju se direktno u dinamičkoj jednadžbi.

Brzina na ispustu se računa iz izraza:

$$v_{ISPUST} = \frac{Q_{ISPUST}}{A_C} \quad (5.26)$$

Reynoldsov broj predstavlja kriterij za definiranje režima strujanja:

$$Re = \frac{v_{ISPUST} \cdot D}{\nu} \quad (5.27)$$

Za $Re < 2320$ strujanje je laminarno, a koeficijent otpora trenja λ računa se prema Hagen-Poiseuillovom zakonu:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (5.28)$$

Za $Re \geq 2320$ tečenje je u turbulentno hrapavom režimu pa koeficijent otpora trenja λ ne ovisi o Reynoldsovom broju, već je ovisan o hrapavosti. Prandtl je uspostavio odnos:

$$\lambda = \left(\frac{1}{1,14 - 2 \log \frac{k}{D}} \right)^2 \quad (5.29)$$

gdje je:

λ - koeficijent otpora trenja,

D - promjer cijevi (m),

ν - prosječna brzina tečenja u presjeku cijevi (m/s),

ν - kinematički koeficijent viskoznosti tekućine, $\nu = 1.14 \cdot 10^{-6}$ (m²/s), [11], str. 697.,

$\varepsilon = k$ - apsolutna pogonska hidraulička hrapavost, $\varepsilon = 0.25$ (mm).

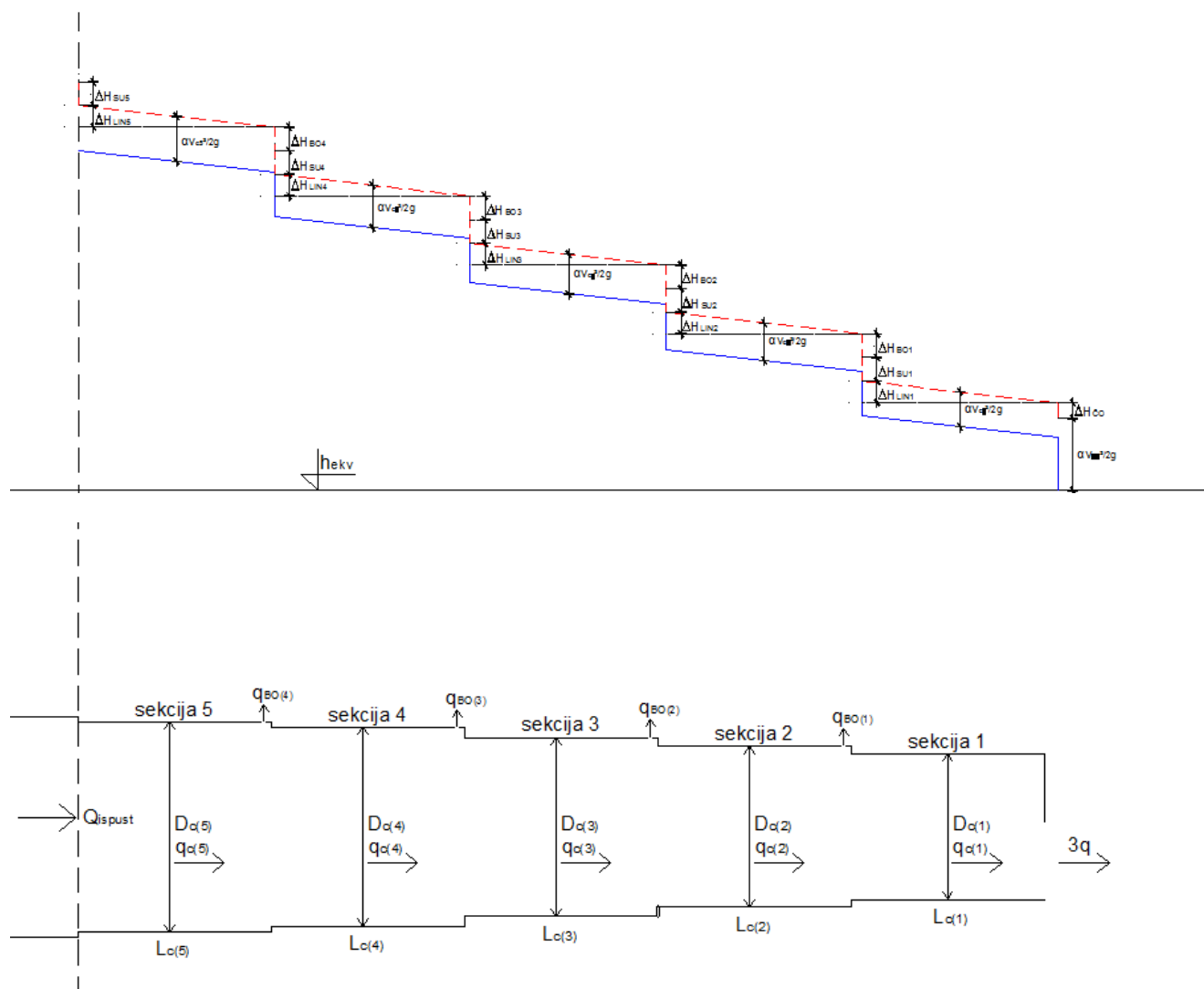
5.3. Dimenzioniranje difuzora

Difuzor se postavlja na kraju podmorskog ispusta radi što intenzivnijeg miješanja pročišćene otpadne vode s morskom vodom.

Difuzor kanalizacijskog sustava sastoji se od dva identična kraka dužine po 100 m. Jedan krak položen je prema istoku, a drugi je položen prema zapadu. Difuzor je dimenzioniran na maksimalni satni protok od 0.32 (m³/s). Protok koji teče prema svakom od krakova difuzora je 0.16 (m³/s). Cilj dimenzioniranja je postići što veće brzine na otvorima kako bi se zadovoljio uvjet početnog razrjeđenja. Za odabranu dužinu difuzora, broj sekcija difuzora i pripadajućih profila cijevi te raspored i broj otvora na difuzoru hidrauličkim proračunom se dolazi do konačnih vrijednosti.

U nastavku je prikazan postupak dimenzioniranja jednog kraka difuzora na maksimalni satni protok od 0.16 (m³/s) prema [13].

Na Slici 5.9. prikazana je skica uzdužnog presjeka difuzora s naznačenim hidrauličkim elementima.



Slika 5.9. uzdužni presjek difuzora s prikazom energetske linije

Dimenzioniranje se vrši pod pretpostavkom da kroz čeonu otvor istječe tri puta veći protok nego kroz pojedinačni bočni otvor iz čega slijedi:

$$q = \frac{Q_{\text{ispust}}}{n + 2} \quad (5.30)$$

gdje je:

q - protok kroz pojedini bočni otvor (m^3/s),

Q_{ispust} - protok kroz podmorski ispust (m^3/s),

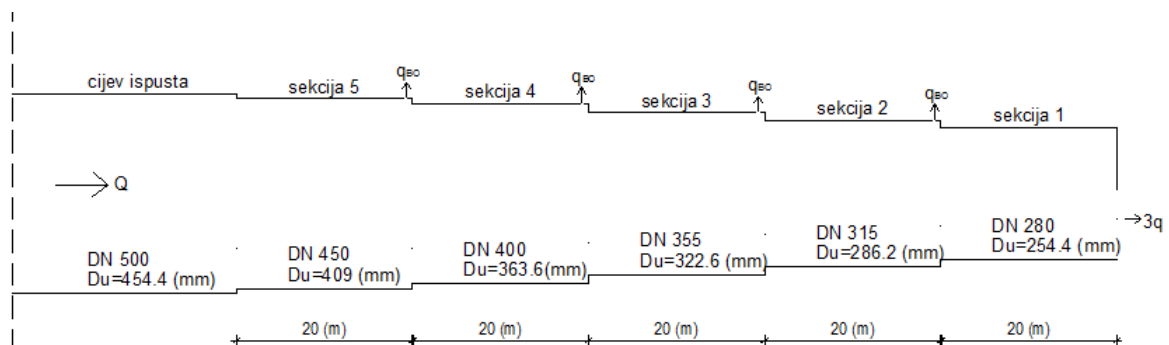
n - ukupan broj otvora.

Dužina sekcije difuzora određuje se na temelju dubine mora na koju se difuzor postavlja:

$$\Delta l = \frac{H_{\max}}{3} \quad (5.31)$$

Ukupna duljina difuzora jednaka je umnošku duljine sekcija i broja sekcija.

Na Slici 5.10. prikazane su usvojene dužine i promjeri cijevi pojedinih sekcija difuzora te broj i položaj otvora.



Slika 5.10. Usvojena geometrija difuzora

Za poznati protok i pretpostavljenu istjecajnu brzinu kroz čeonu otvor određuje se svijetla površina čeonog otvora:

$$A = \frac{q_{\varepsilon}}{v_{\varepsilon} \cdot \varepsilon} \quad (5.32)$$

gdje je:

A - svijetla površina čeonog otvora (površina kružnog odsječka) (m^2),

q_{ε} - protok kroz čeonu otvor (m^3/s),

v_{ε} - brzina kroz čeonu otvor (m/s),

ε - koeficijent kontrakcije mlaza na čeonom otvoru.

Koeficijent kontrakcije mlaza na čeonom otvoru može se iščitati iz tablice (prema Von Misesu).

Tablica 5.2. Koeficijenti kontrakcije mlaza po Von Misesu

$\frac{A}{A_0}; \frac{d}{D}$	Koeficijent kontrakcije mlaza - ε			
	$\beta=45^\circ$	$\beta=90^\circ$	$\beta=135^\circ$	$\beta=180^\circ$
0.0	0.746	0.611	0.537	0.500
0.1	0.747	0.612	0.546	0.513
0.2	0.747	0.616	0.555	0.524
0.3	0.748	0.622	0.566	0.544
0.4	0.749	0.631	0.580	0.564
0.5	0.752	0.644	0.599	0.586
0.6	0.758	0.662	0.620	0.613
0.7	0.768	0.687	0.652	0.646
0.8	0.789	0.722	0.698	0.691
0.9	0.829	0.781	0.761	0.760
1.0	1.000	1.000	1.000	1.000

Aproksimacijom tabličnih podataka dobije se prihvatljivo točna vrijednost koeficijenta kontrakcije mlaza ε za čeonu otvor, prema [11], u obliku:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + a(\beta) \cdot \sqrt{1 - c^{b(\beta)}}} \quad (5.33)$$

gdje je:

$$c = \frac{D}{D_0}, \quad (5.34)$$

$$a(\beta) = 0,3825 \cdot \frac{4\beta}{\pi} \cdot \left(1 - 0,0866 \cdot \frac{4\beta}{\pi}\right), \quad (5.35)$$

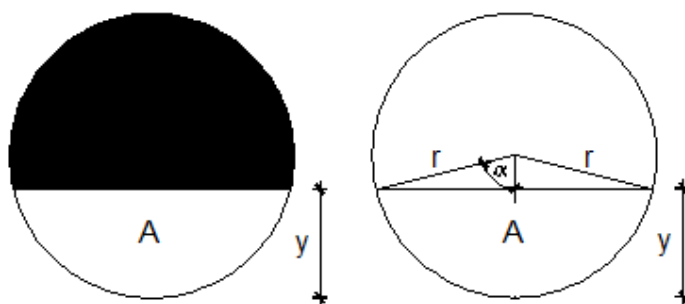
$$b(\beta) = 4 \cdot \left(\frac{4\beta}{\pi}\right)^{-0,9863}. \quad (5.36)$$

β je kut pod kojim je postavljena prepreka na čeonom otvoru u odnosu na os cijevi u smjeru kazaljke na satu. [13]

Određen je koeficijent kontrakcije mlaza na čeonom otvoru te svijetla površina čeonog otvora, veličine su prikazane u Tablici 5.3..

Tablica 5.3. Izračunata vrijednost koeficijenta ε i svijetle površine čeonog otvora

ε	0,675
v_ε (m/s)	3
q_ε (m ³ /s)	0,0680
A_0 (m ²)	0,0508
A (m ²)	0,0336



Slika 5.11. Poprečni presjek čeonog otvora

Za prethodno izračunatu svijetlu površinu čeonog otvora, određuje se svijetla visina 'y' iterativnim postupkom prema sljedećim relacijama:

$$\cos(\alpha) = \left(\frac{r-y}{r} \right) \Rightarrow \alpha = \arccos \left(\frac{r-y}{r} \right) \quad (5.37)$$

$$A = r^2 \left[\alpha - \sin(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{y}{r} \right) \right] \quad (5.38)$$

Tablica 5.4. Definiranje svijetle visine čeonog otvora

y(m)	r(m)	cosa	α(radijani)	α(stupnjevi)	A(m2)	A/Ao
0	0,1272	1	0	0	0	0
0,01	0,1272	0,921384	0,39917	22,87079	0,00066	0,01308
0,02	0,1272	0,842767	0,56839	32,56650	0,00186	0,03655
0,03	0,1272	0,764151	0,70107	40,16848	0,00337	0,06630
0,04	0,1272	0,685535	0,81546	46,72234	0,00512	0,10076
0,05	0,1272	0,606918	0,91862	52,63300	0,00706	0,13895
0,06	0,1272	0,528302	1,01420	58,10921	0,00915	0,18016
0,07	0,1272	0,449686	1,10438	63,27649	0,01137	0,22382
0,08	0,1272	0,371069	1,19064	68,21843	0,01369	0,26947
0,09	0,1272	0,292453	1,27401	72,99514	0,01609	0,31670
0,1	0,1272	0,213836	1,35530	77,65273	0,01855	0,36513
0,11	0,1272	0,13522	1,43516	82,22865	0,02105	0,41443
0,12	0,1272	0,056604	1,51416	86,75511	0,02358	0,46426
0,13	0,1272	-0,02201	1,59281	91,26133	0,02613	0,51432
0,14	0,1272	-0,10063	1,67160	95,77539	0,02867	0,56429
0,15	0,1272	-0,17925	1,75102	100,32580	0,03118	0,61387
0,16	0,1272	-0,25786	1,83160	104,94322	0,03367	0,66272
0,17	0,1272	-0,33648	1,91397	109,66244	0,03609	0,71052

Izračunata vrijednost visine 'y' je 160 (mm).

Koeficijent kontrakcije mlaza na bočnim otvorima određuje se prema [13] :

$$\varepsilon = 0.975 \cdot \left(1 - \frac{v_{c(i)}^2}{2gE} \right)^{\frac{3}{8}} \text{ za zaobljeni otvor,} \quad (5.39)$$

$$\varepsilon = 0.63 - 0.58 \cdot \left(1 - \frac{v_{c(i)}^2}{2gE} \right) \text{ za oštri otvor,} \quad (5.40)$$

gdje je:

$v_{c(i)}$ - brzina vode u cijevi uzvodno od pozicije bočnog otvora,

E - razlika linije energije u cijevi i ekvivalentne razine mora [14].

Odabrani su bočni otvori s oštrim rubovima.

Protok kroz bočni otvor iznosi:

$$q_b = v_b \cdot \varepsilon \cdot A_b \quad (5.41)$$

gdje je:

v_b - brzina vode u kontrahiranom presjeku čelnog otvora: $v_b = \sqrt{2gE}$,

ε - koeficijent kontrakcije bočnog mlaza,

A_b - površina poprečnog presjeka bočnog otvora.

Gubici energije duž difuzora su:

- linijski gubici,
- lokalni gubici na mjestu bočnih otvora,
- lokalni gubici na mjestu suženja cijevi.

Linijski gubici energije za svaku sekciju difuzora računaju se po Darcy-Weisbach-ovoj formuli:

$$\Delta H_{LIN} = \lambda \frac{\Delta l}{D_c} \cdot \frac{v_{c(i)}^2}{2g} \quad (5.42)$$

gdje je:

λ - koeficijent otpora trenja koji se računa prema izrazima (5.28) i (5.29),

D_c - promjer cijevi sekcije.

Lokalni gubitak energije na mjestu bočnog otvora iznosi:

$$\Delta H_{BO} = \xi_{BO} \cdot \frac{v_{c(i)}^2}{2g}, \quad (5.43)$$

$$\xi_{BO} = 0.4 \cdot \left(1 - \frac{v_{c(i-1)}}{v_{c(i)}} \right)^2, \quad (5.44)$$

gdje je:

ξ_{BO} - koeficijent gubitka na mjestu bočnog otvora,

$v_{c(i)}$ - brzina vode u cijevi uzvodno od pozicije bočnog otvora,

$v_{c(i-1)}$ - brzina vode u cijevi nizvodno od pozicije bočnog otvora.

Lokalni gubitak energije na mjestu suženja cijevi iznosi:

$$\Delta H_{SU} = \xi_{SU} \cdot \frac{v_{c(i)}^2}{2g}, \quad (5.45)$$

$$\xi_{SU} = 0.5 \cdot (1 - a^2) - 0.13 \cdot \left[\sin\left(\pi \cdot (1 - a^2)\right) \right]^2, \quad (5.46)$$

gdje je:

ξ_{SU} - koeficijent gubitka na mjestu suženja,

a - omjer površine presjeka difuzora nizvodno i uzvodno od suženja cijevi.

Linijski gubici duž sekcija difuzora, koje su definirane u Tablici 5.5., prikazani su u Tablici 5.6.. Rezultate proračuna lokalnih gubitaka na mjestima bočnih otvora definira Tablica 5.7., a lokalni gubici na mjestima naglog suženja cijevi prikazani su u Tablici 5.8..

Tablica 5.5. Geometrijske karakteristike sekcija difuzora

Profil	Duljina sekcije (m)	Promjer (m)	Visina otvora (m)	Naziv sekcije	
Čeoni otvor	20	0,2544	0,1600	S1	S2
Bočni otvor 1	20	0,2862	0,2862		
Bočni otvor 2	20	0,3226	0,3226	S3	S4
Bočni otvor 3	20	0,3636	0,3636		
Bočni otvor 4	20	0,4090	0,4090	S5	S4
Cijev ispusta		0,4544			

Tablica 5.6. Linijski gubici duž difuzora

Sekcija	L (m)	ε (m)	D (m)	A (m ²)	ν (m ² /s)	q (m ³ /s)	v (m/s)	Re	λ_{izr}	ΔH_{LIN} (m v. s.)
S1	20	0,00025	0,2544	0,0508	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,0680	1,338	298536	0,0205	0,14718
S2	20	0,00025	0,2862	0,0643	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,0910	1,415	355122	0,0199	0,14183
S3	20	0,00025	0,3226	0,0817	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,1140	1,395	394681	0,0194	0,11896
S4	20	0,00025	0,3636	0,1038	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,1370	1,319	420825	0,0189	0,09206
S5	20	0,00025	0,4090	0,1314	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,1600	1,218	436920	0,0184	0,06809
ispust			0,4544	0,1622	$1,14 \cdot 10^{-6}$	0,3200	1,973			

Tablica 5.7. Lokalni gubici na mjestu bočnih otvora

Otvor	ξ_{BO}	ΔH_{LOK} (m v. s.)
Bočni otvor 1	0,0255525	0,002606
Bočni otvor 2	0,0162819	0,001614
Bočni otvor 3	0,0112739	0,001000
Bočni otvor 4	0,0082656	0,000625

Tablica 5.8. Lokalni gubici na mjestu suženja cijevi

Suženje	ξ_{SU}	a	ΔH_{SU} (m v. s.)
Suženje č.o.	0,248242304	0,564622007	0,022643650
Suženje 1	0,076742193	0,790123457	0,007826358
Suženje 2	0,077787657	0,787064878	0,007712305
Suženje 3	0,077743235	0,787192553	0,006898100
Suženje 4	0,076677457	0,790316653	0,005796097
Suženje 5	0,070805028	0,810158458	0,014051801

Ekvivalentna razina mora je usvojena kao konstantna i iznosi 1.4375 (m n.m.) za gustoću mora od 1028 (kg/m³). Gustoća vode je 1000 (kg/m³). U Tablici 5.9. prikazani su rezultati proračuna linije energije i piezometarske linije duž difuzora.

Tablica 5.9. Linija energije i piezometarska linija duž difuzora

Stacionaža difuzora (m)	h_{ekv} (m n. m.)	Linija energije (m n. m.)	Piezometarska linija (m n. m.)
0,01	1,4375	2,549709119	2,470338957
20,00	1,4375	2,467563358	2,388193196
20,01	1,4375	2,466938554	2,373772829
40,00	1,4375	2,369084659	2,275918933
40,01	1,4375	2,368084333	2,263981444
60,00	1,4375	2,242230063	2,138127173
60,01	1,4375	2,24061578	2,133534193
80,00	1,4375	2,091075937	1,98399435
80,01	1,4375	2,088470033	1,99269332
100,00	1,4375	1,933458852	1,837682138
100,01	1,4375	1,919151376	1,4375

Rezultati proračuna brzina u kontrahiranim presjecima svakog pojedinog otvora i površina otvora prikazani su u Tablici 5.10..

Tablica 5.10. Brzine u kontrahiranim presjecima otvora i površine otvora

Stacionaža difuzorske sekcije (m)	Q_{cijev} (m ³ /s)	V_{cijev} (m/s)	Q_{otvor} (m ³ /s)	V_{otvor} (m/s)	$\epsilon_{bočni}$	A_{otvor} (m ²)
0,01	0,160	1,2178				
20,00	0,160	1,2178	0,023	4,4955	0,5874	0,0087
20,01	0,137	1,3194				
40,00	0,137	1,3194	0,023	4,2752	0,5748	0,0094
40,01	0,114	1,3947				
60,00	0,114	1,3947	0,023	3,9735	0,5585	0,0104
60,01	0,091	1,4145				
80,00	0,091	1,4145	0,023	3,5809	0,5395	0,0119
80,01	0,068	1,3378				
100,00	0,068	1,3378				
100,01			0,068	3		0,0336

Ukupni gubitak energije na difuzoru iznosi: $\Delta H_{DIF} = 2.5497 - 1.9191 = 0.6305m$

Koeficijent lokalnog gubitka energije na difuzoru određuje se prema izrazu:

$$\xi_{DIF} = \frac{\Delta H_{DIF}}{\frac{v_{ISPUST}^2}{2g}} \quad (5.47)$$

gdje je v_{ISPUST} brzina tečenja u cijevi podmorskog ispusta prije početka difuzora.

Koeficijent lokalnog gubitka energije na jednoj grani difuzora iznosi:

$$\xi_{DIF} = \frac{\Delta H_{DIF}}{\frac{v_{ISPUST}^2}{2g}} = \frac{0.6305}{\frac{1.9732^2}{2g}} = 3.177 \quad (5.48)$$

5.4. Pretpostavljeni parametri

U svrhu dinamičke analize rada sustava u vremenskom razdoblju od jednog dana, izrađen je matematički model nestacionarnog tečenja u podmorskog ispustu.

Vremenski korak integracije iznosi 1 (s).

Odabrane dimenije i pogonski parametri su:

- tlocrtna površina dozažnog bazena, $A = 6 \cdot 5 = 30 \text{ (m}^2\text{)}$,
- početna razina vode u dozažnom bazenu, $h_{db} = 26.6 \text{ (m n. m.)}$,
- kota otvaranja zapornice, $h_{otv} = 27.8 \text{ (m n. m.)}$,
- kota zatvaranja zapornice, $h_{zatv} = 26.5 \text{ (m n. m.)}$,
- kota preljeva, $h_{preljev} = 27.9 \text{ (m n. m.)}$,
- veličina otvora ispod zapornice, $a_{zapornica} = 0.3 \cdot 0.32 \text{ (m}^2\text{)}$,
- vrijeme manevra otvaranja/zatvaranja zapornice, $T_M = 60 \text{ (s)}$,
- promjer cijevi iznad razine mora, DN 630/572.6, SDR 22, PN 7.5,
- promjer cijevi podmorskog dijela, DN 500/454.4, SDR 22, PN 7.5,
- dužina jednog kraka difuzora, $l = 100 \text{ (m)}$,
- broj sekcija jednog kraka difuzora, $n = 5$,
- dužina sekcije difuzora, $l = 20 \text{ (m)}$,
- promjeri sekcija difuzora, DN 450/409, SDR 22, PN 7.5,

DN 400/363.6, SDR 22, PN 7.5,

DN 355/322.6, SDR 22, PN 7.5,

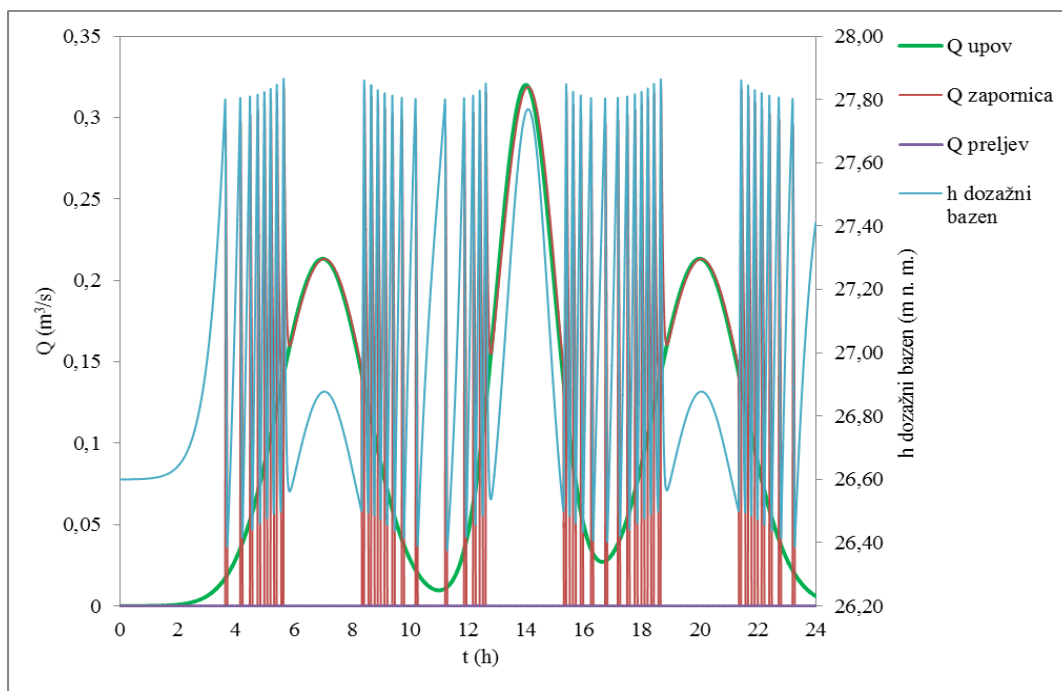
DN 315/286.2, SDR 22, PN 7.5,

DN 280/254.4, SDR 22, PN 7.5,

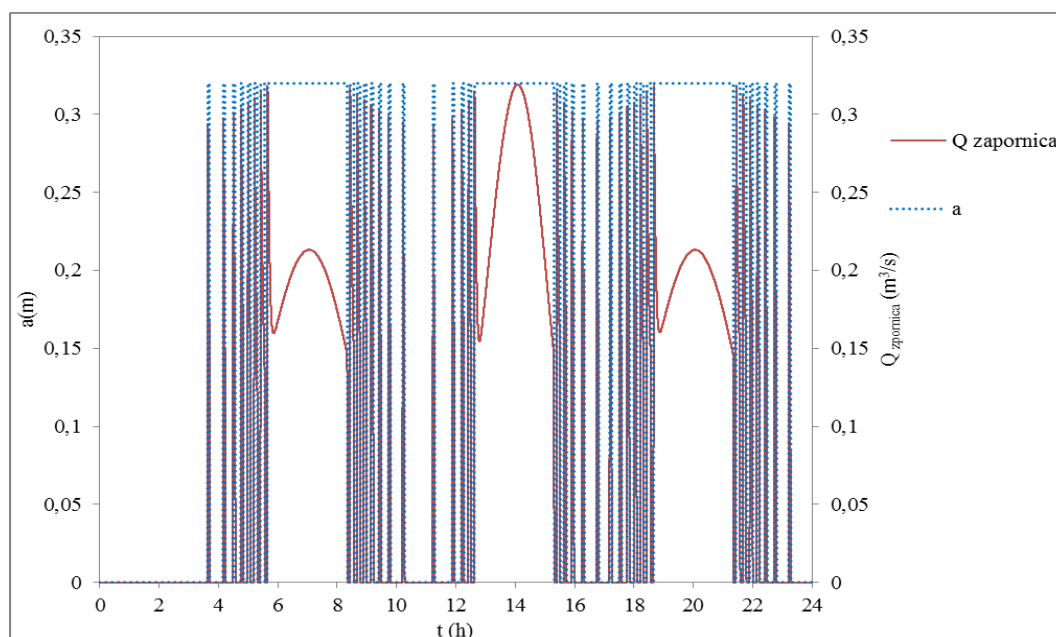
- površina čeonog otvora, $A = 0.0287 \text{ (m}^2\text{)}$,
- broj bočnih otvora na jednom kraku difuzora, $n = 4$
- koeficijent kinematičke viskoznosti tekućine, $\nu = 1.14 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$,
- pogonska hidraulička hrapavost, $k = 0.25 \text{ (mm)}$.

5.5. Rezultati modela

5.5.1. Uobičajeni dotok



Slika 5.12. Rad dozažnog bazena uslijed karakterističnog dotoka s UPOV-a

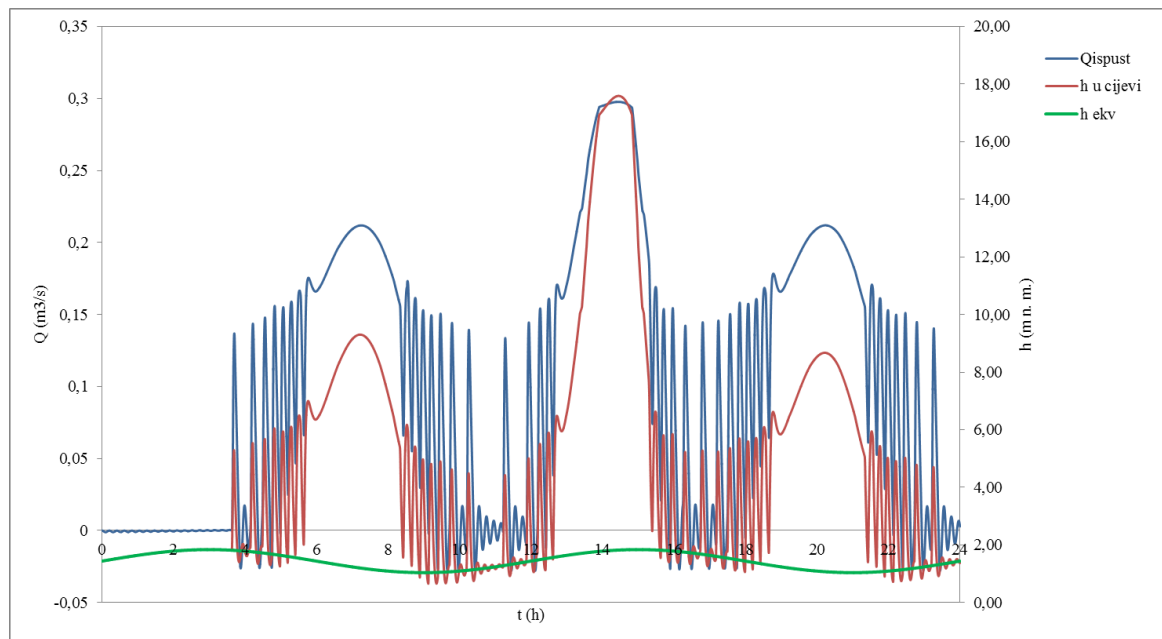


Slika 5.13. Ovisnost protoka ispod zapornice i otvorenosti zapornice

Na slici 5.12. prikazan je rad dozažnog bazena uslijed karakterističnog dnevnog dotoka s UPOV-a. Uočava se direktna veza protoka ispod zapornice s dotokom i vodostajem u dozažnom bazenu. Isto tako, promjene protoka ispod zapornice manifestiraju način rada zapornice, (Slika 5.13.). Za kraću otvorenost zapornice, protok ispod zapornice je pod dominantnim utjecajem otvorenosti i prati liniju vodostaja. Međutim, za vrijeme vršnih dnevnih dotoka s UPOV-a, zapornica duže ostaje otvorena, a ispod nje protječe protok koji odgovara dotoku s UPOV-a.

Vodostaj u dozažnom bazenu kreće se između kota 26.37 i 27.86 (m n. m.). Za odabrane pogonske parametre ne dolazi do aktivacije sigurnosnog preljeva.

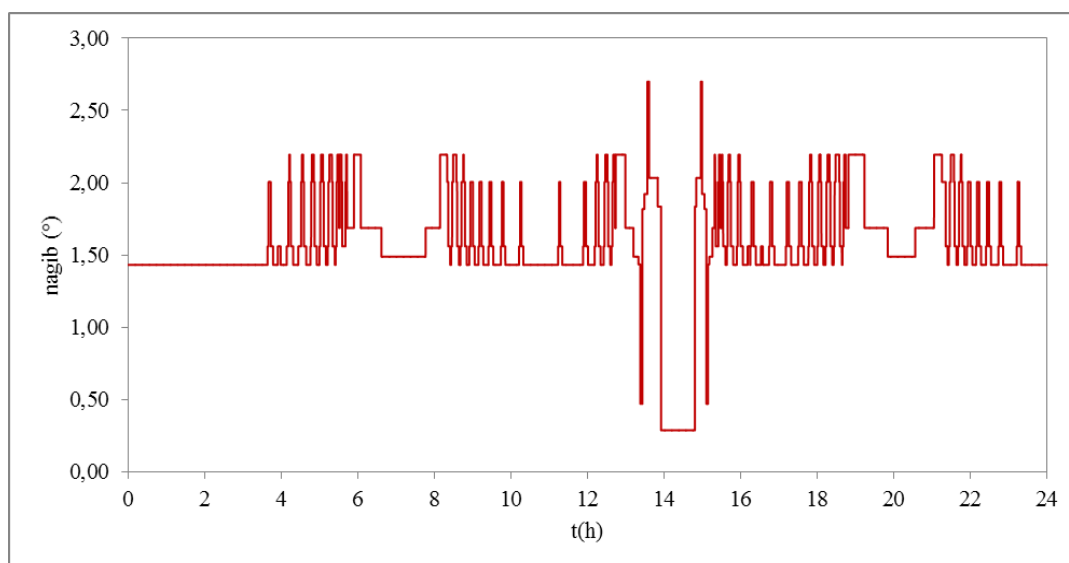
Tijekom 24 sata zapornica se otvorila 39 puta.



Slika 5.14. Protoci i razine vode u cijevi podmorskog ispusta

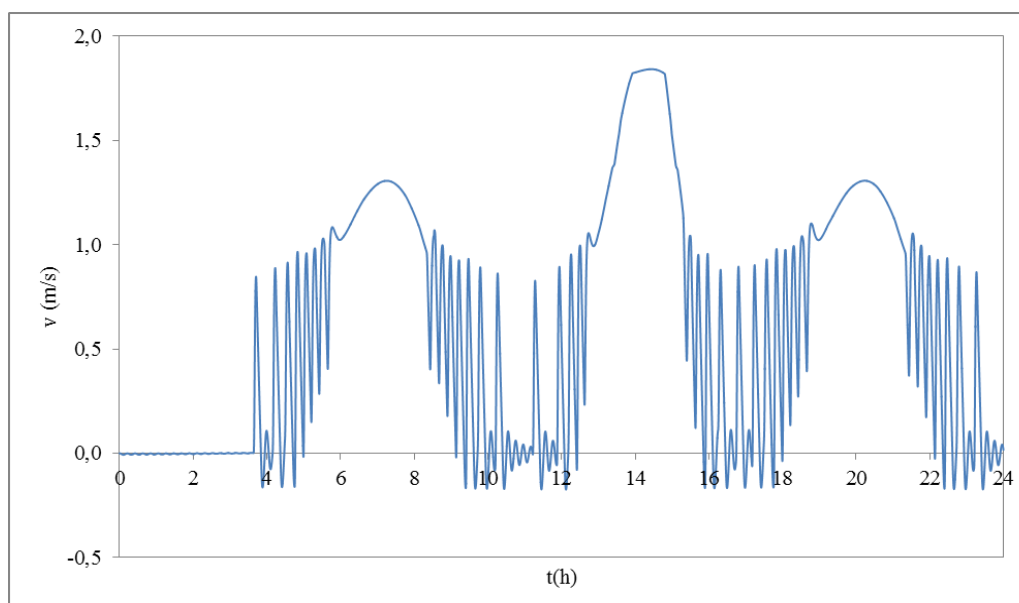
Slika 5.14. prikazuje utjecaj neravnomjernog dotoka na ostatak sustava. Protok i razina vode u cijevi prate rad zapornice. Razina vode u cijevi doseže maksimum za vrijeme vršnog protoka i iznosi 17,59 (m n. m.). S obzirom da je kota spoja dozažnog bazena i cijevi ispusta na 25,956 (m n. m.), tečenje u nadmorskom dijelu cjevovoda je sa slobodnim vodnim licem. Za vrijeme minimalnog dotoka s UPOV-a, kada je zapornica zatvorena, uočavaju se negativne vrijednosti protoka u ispustu. Protok oscilira oko nule kao posljedica inercijalnih sila mase vode sadržane u cijevi, dok razina vode u cijevi oscilira oko ekvivalentne razine mora.

Dijelovi krivulje protoka i razine vode koji odgovaraju pojavi maksimalnog dotoka s UPOV-a nemaju klasični koveksni oblik, već su vidljivi lomovi. Razlog tomu je značajnija promjena nagiba dionice cjevovoda za odgovarajuću razinu vode u cjevovodu. (Slika 5.15.) Posebno je uočljiv lom na vršnom dijelu krivulja koji je posljedica promjene nagiba cjevovoda s većeg na manji što rezultira bržim promjenama razine vode u cijevi.



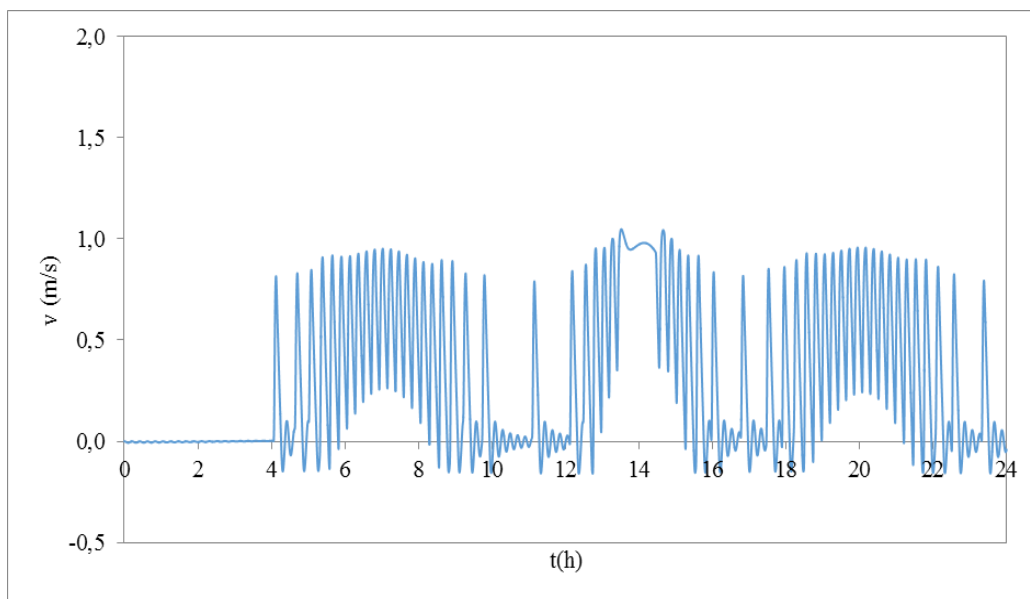
Slika 5.15. Nagibi dionica cjevovoda za odgovarajuću razinu vode u cjevovodu

U fazi rada ispusta moraju se postići minimalne zahtijevane brzine tečenja tijekom nekoliko sati dnevno kako bi se osiguralo samoispiranje cjevovoda i time spriječilo taloženje suspenzija i mogućnost začepjenja. Prema [7], str. 277. preporučene su minimalne brzine ispiranja u ovisnosti o unutarnjem promjeru cijevi za prethodno tretirane otpadne vode. Za unutarnji promjer cijevi od 454.4 (mm) preporučena minimalna brzina ispiranja je 0.9 (m/s). Iz Slike 5.16. uočava se da postignute brzine tečenja u cijevi ispusta, u fazama istjecanja iz dozažnog bazena, zadovoljavaju taj uvjet.



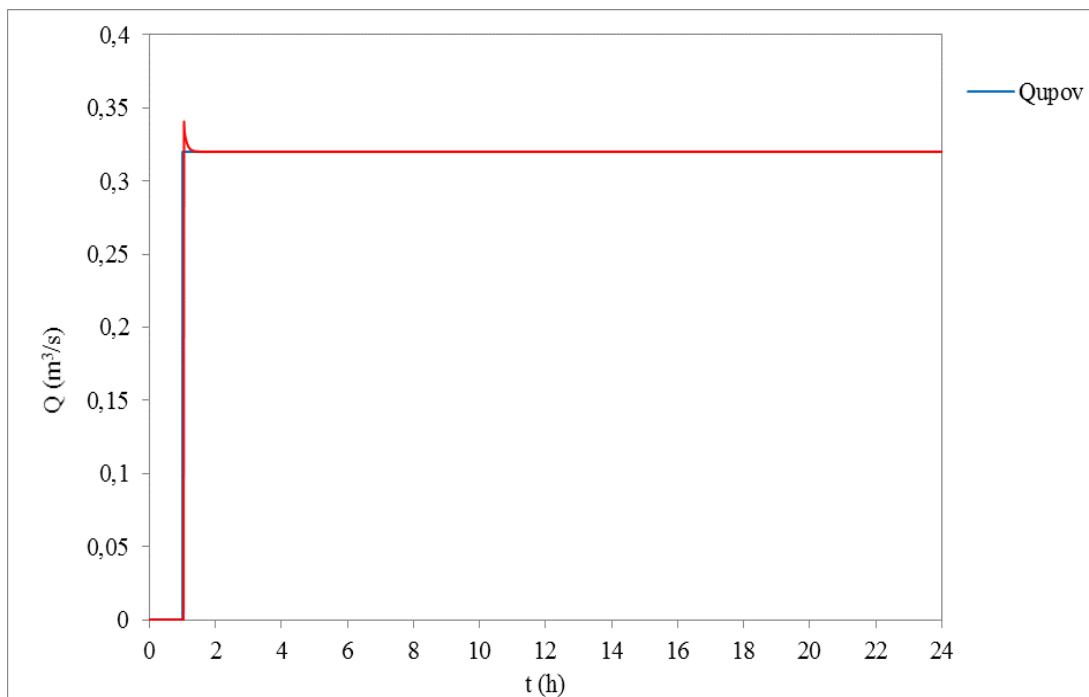
Slika 5.16. Brzine tečenja u cijevi ispusta za karakteristični dotok $Q_{upov} = 0.32 \text{ (m}^3/\text{s)}$

S obzirom da je taloženje suspenzija i masnih naslaga vezano uglavnom za manje brzine tečenja, velika je mogućnost taloženja tijekom zimskih mjeseci kada se očekuje znatno manji dotok u dozažni bazen. Za mjerodavni protok u zimskom periodu usvojeno je 50 % protoka u ljetnom periodu, dakle $0.16 \text{ (m}^3/\text{s)}$. Za jednake rubne uvjete i pogonske parametre postignute brzine tečenja u ispustu, od minimalno 0.9 (m/s) tijekom nekoliko sati dnevno, osiguravaju samoispiranje cjevovoda u zimskom periodu.

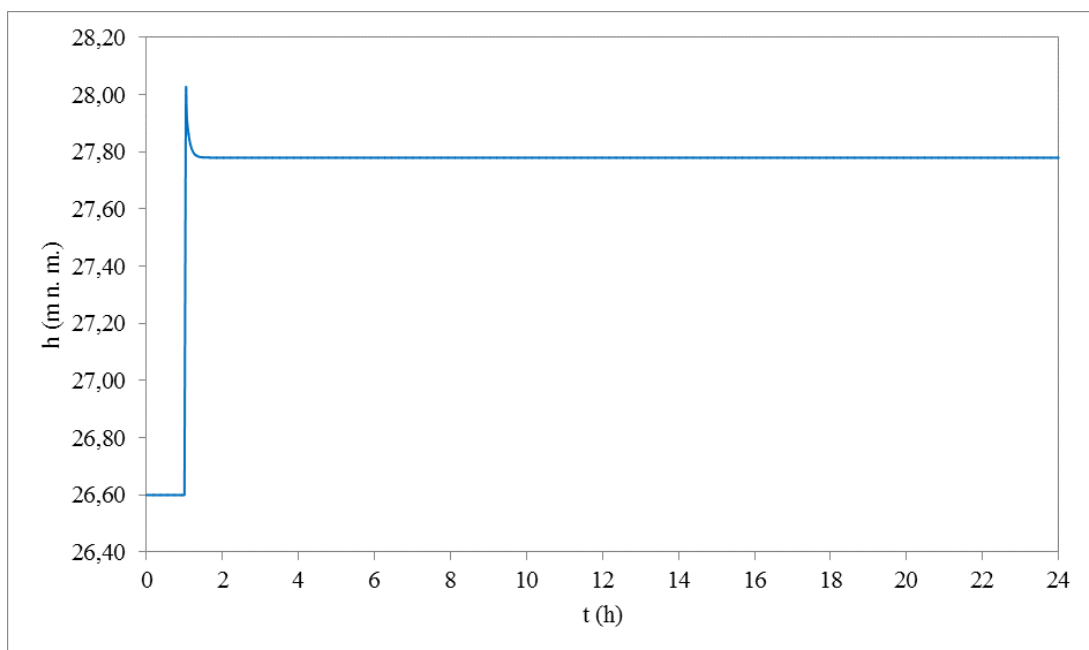


Slika 5.17. Brzine tečenja u cijevi ispusta za karakteristični dotok $Q_{upov} = 0.16 \text{ (m}^3/\text{s)}$

5.5.2. Nagli dotok



Slika 5.18. Protok ispod zapornice uslijed naglog dotoka

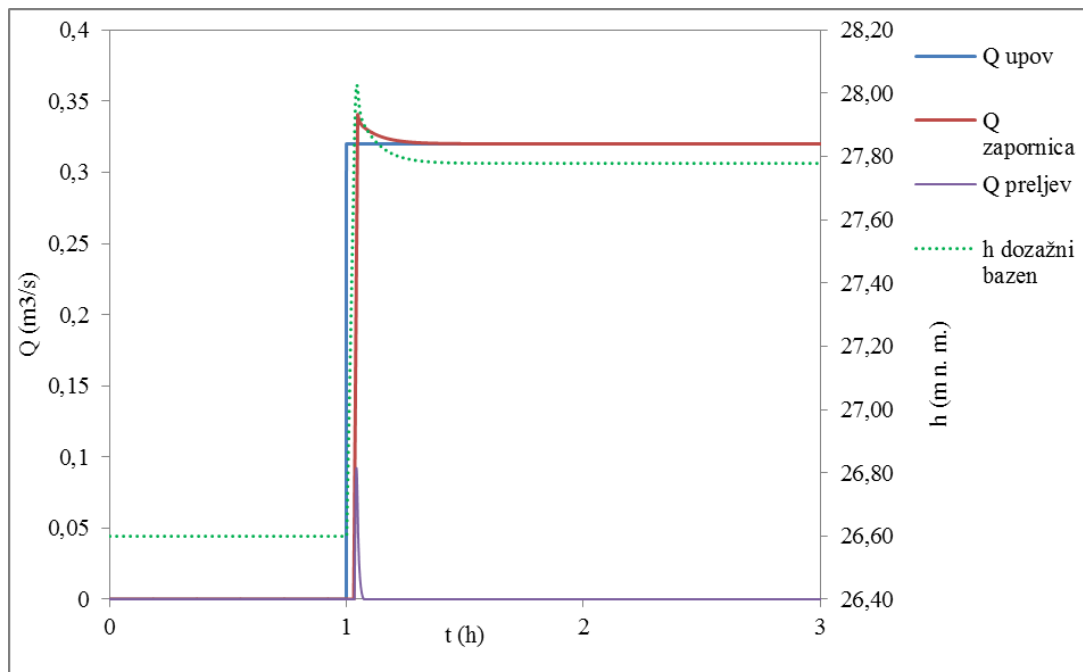


Slika 5.19. Vodostaj u dozažnom bazenu uslijed naglog dotoka

Na slikama (5.18.-5.19.) prikazan je slučaj naglog dotoka s UPOV-a te utjecaj istog na protok ispod zapornice i vodostaj u dozažnom bazenu. Nagli dotok u iznosu od $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$

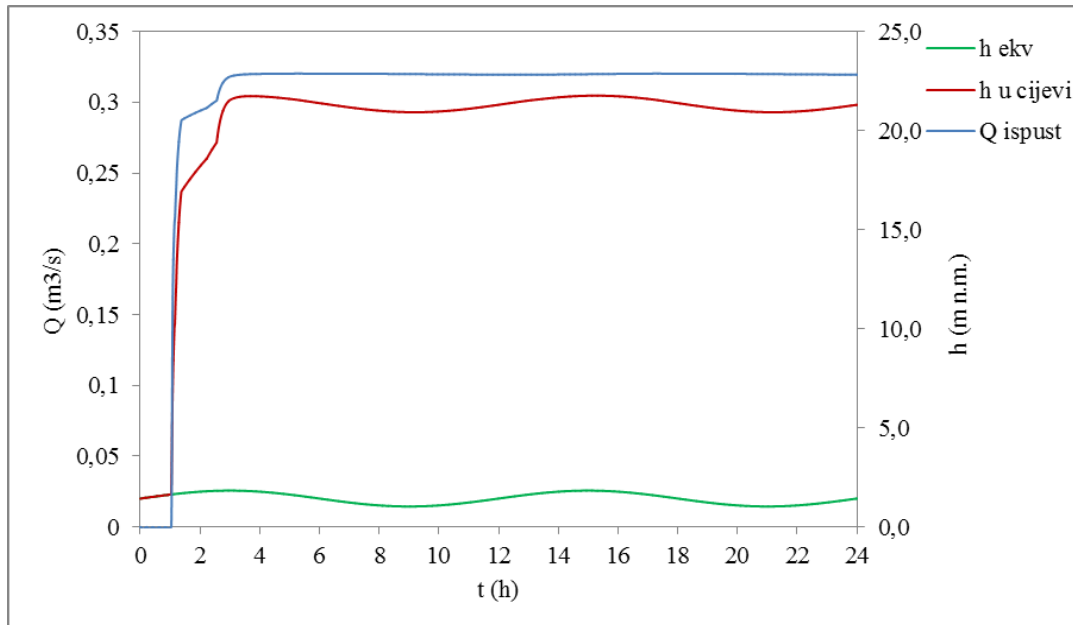
aktivira se nakon jednog sata i konstantno dotječe u dozažni bazen. Vodostaj u dozažnom bazenu naglo poraste što uzrokuje automatsko podizanje zapornice, koja zbog većeg efektivnog pada u početku propušta veći protok od dotjecajnog. Količine se zatim stabiliziraju i ustaljuju.

Vodostaj u dozažnom bazenu prati rad zapornice. Vodostaj u dozažnom bazenu za slučaj naglog dotoka prelazi kotu dna preljeva pa je vidljiva aktivacija sigurnosnog preljeva. Zorniji prikaz rada dozažnog bazena za pojavu incidentnog dotoka dan je na Slici 5.20..

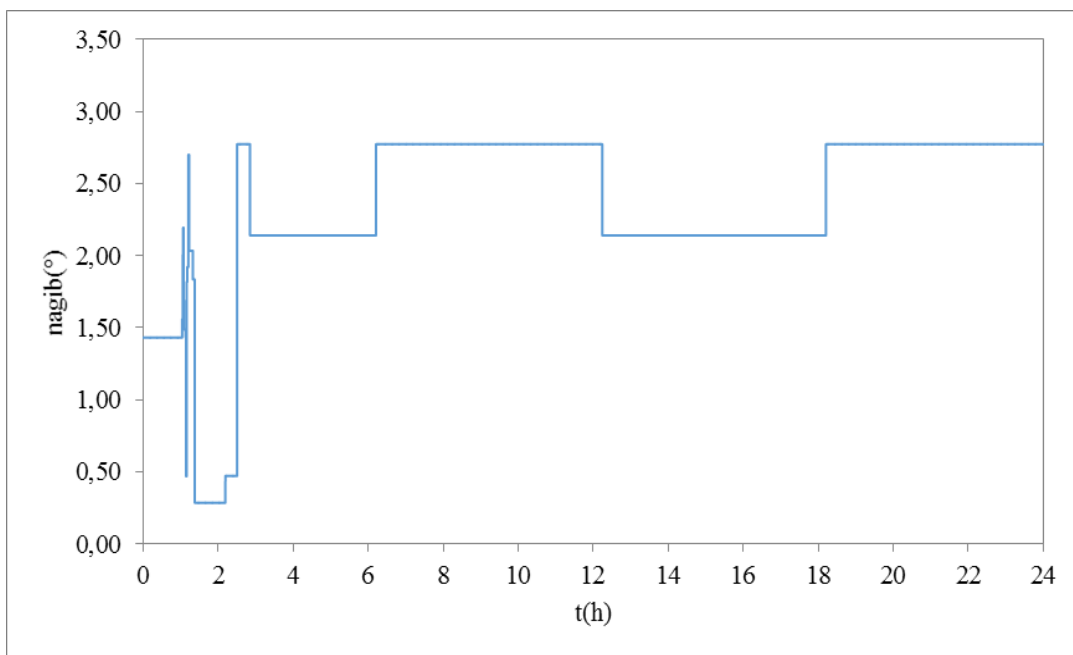


Slika 5.20. Rad dozažnog bazena uslijed naglog dotoka

Prije pojave naglog dotoka razina vode u cijevi ispusta prati promjene ekvivalentne razine mora, a nakon početnog porasta nastavlja oscilirati uslijed istih promjena. Najveća razina vode u cijevi je 21.950 (m n. m.) pa preostaje cca 4 (m) rezerve za potrebe osiguranja nepotopljenog istjecanja ispod zapornice, čak i u slučaju plime. Protok u ispustu nakon naglog porasta nastavlja oscilirati oko vršne vrijednosti. Karakteristični prijelomni dio krivulja posljedica je značajnijih promjena u nagibu dionica cjevovoda ispusta za odgovarajuću razinu vode u cjevovodu.



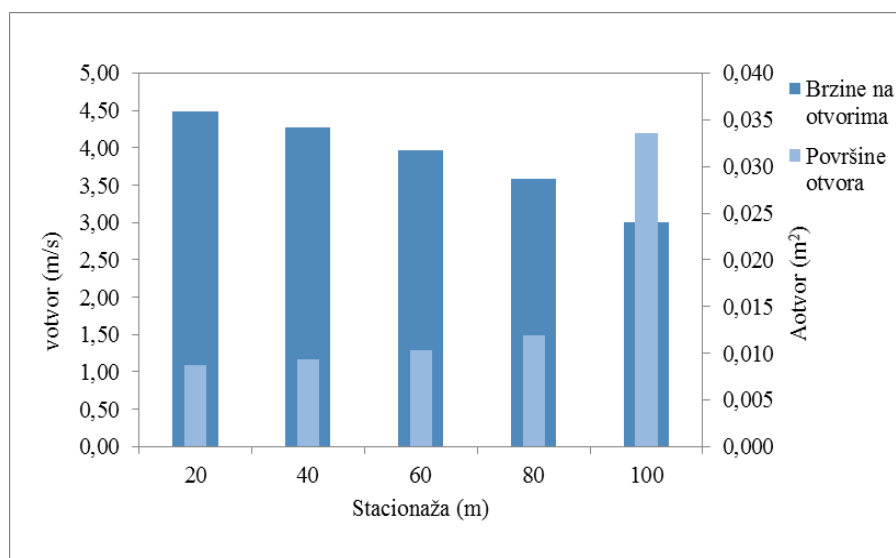
Slika 5.21. Protoci i razine vode u cijevi podmorskog ispusta uslijed naglog dotoka



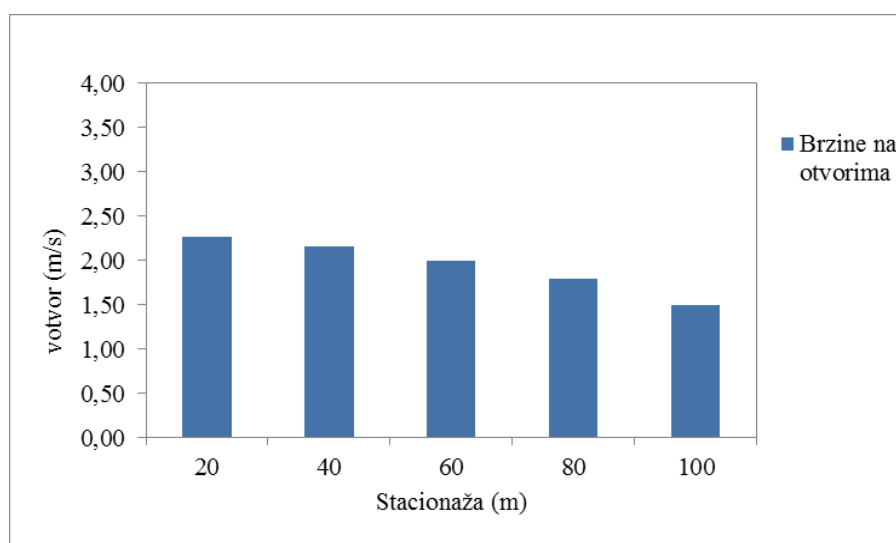
Slika 5.22. Nagibi dionica cjevovoda za odgovarajuću razinu vode u cjevovodu

5.5.3. Difuzor

Veličine bočnih otvora ne bi trebale biti manje od 60 (mm), odnosno $0.003 \text{ (m}^2\text{)}$, kako bi se smanjila mogućnost začepljenja. Brzine istjecanja bi trebale biti veće od 2 (m/s) kako bi se postiglo bolje mješanje ispuštenih voda s morskom vodom [8]. Prema Slici 5.23. postignute su veće brzine istjecanja na otvorima i veće površine otvora od minimalno zahtijevanih za karakteristični dotok od $0.32 \text{ (m}^3\text{/s)}$. U zimskom periodu za mjerodavni dotok od $0.16 \text{ (m}^3\text{/s)}$ također se postižu zadovoljavajuće brzine istjecanja, a prikazane su na Slici 5.24..



Slika 5.23. Površine otvora difuzora i istjecajne brzine na otvorima u ljetnom periodu



Slika 5.24. Istjecajne brzine na otvorima difuzora u zimskom periodu

6. STATIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA

6.1. Uzgon cjevovoda

Razlikuju se dvije faze opterećenja cjevovoda podmorskog ispusta; faza potapanja i manevriranja cjevovodom te faza eksploatacije.

Jedinična težina tvrdog polietilena, od kojeg su načinjene cijevi podmorskog ispusta, manja je od jedinične težine mora. Kako bi se osiguralo potapanje cjevovoda, odnosno eliminirao utjecaj uzgona, cjevovod se opterećuje primarnim betonskim opteživačima. Veličina ovog opterećenja ovisi o veličini cjevovoda i djelovanju sile uzgona. Uzgon je sila koja djeluje na uronjeno tijelo suprotno smjeru gravitacije, olakšavajući težinu uronjenog tijela za težinu istisnute vode.

Osnovne karakteristike cijevi promjera DN500/454,4, kao i težina iste na suhom i težina olakšana za uzgon prikazane su u Tablici 6.1. :

Tablica 6.1. Karakteristike cijevi promjera DN500/454,4

Vanjski promjer cijevi	0,5	(m)
Unutrašnji promjer cijevi	0,4544	(m)
Površina svijetlog profila	0,16216851	(m ²)
Površina stjenke	0,03418103	(m ²)
Gustoća materijala cijevi	955	(kg/m ³)
Težina cijevi po m'	320,226695	(N/m')
Površina vanjskog profila	0,19634954	(m ²)
Gustoća vode	1000	(kg/m ³)
Gustoća mora	1028	(kg/m ³)
Težina vode u cijevi	1590,87308	(N/m')
Težina mora u cijevi	1635,41753	(N/m')
Težina istisnutog mora	1980,12229	(N/m')
Uronjena težina cijevi ispunjene vodom	-69,022507	(N/m')
Uronjena težina cijevi ispunjene morem	-24,478061	(N/m')

6.2. Utjecaj morskih struja

Mjerenjem morskih struja u akvatoriju Vodice-Tribunj u razdoblju 11.9.2001.-10.10.2001. usvojene su mjerodavne vrijednosti brzine i smjera strujanja:

- ASS1; dubina 3 m; 31 cm/s; smjer NW
- ASS1; dubina 46 m; 19 cm/s; smjer SE
- ASS2; dubina 3 m; 37 cm/s; smjer NW
- ASS2; dubina 58 m; 13 cm/s; smjer SE

Horizontalna sila morske struje koja djeluje na cjevovod podmorskog ispusta definira se kao:

$$F_H^{STRUJA} = C_H \rho A \frac{V^2}{2}, \quad (6.1)$$

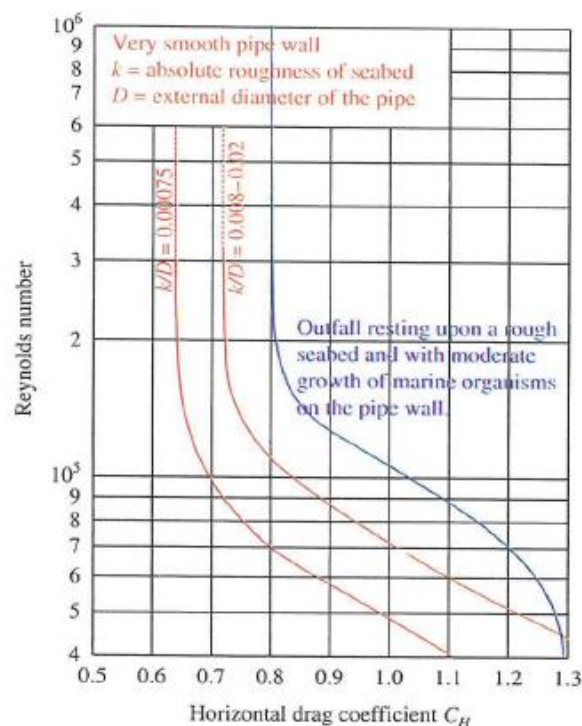
gdje je:

C_H - koeficijent otpora oblika ovisan o kutu nailaska morske struje u odnosu na os nivelete cjevovoda ispusta. Definira se s obzirom na Reynoldsov broj koji u ovom slučaju iznosi $Re = 175438.59$ za $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6}$ (m^2/s). Prema Slici 6.1. usvojena vrijednost koeficijenta otpora oblika je 0.83,

ρ - gustoća morske vode (kg/m^3)

A - površina cijevi okomito na smjer strujanja (m^2),

V - brzina strujanja (m/s); obzirom na najveće vrijednosti brzine strujanja koje su zabilježene tijekom mjerenja, usvojena vrijednost je 0.4 (m/s).



Slika 6.1. Koeficijent otpora oblika C_H u ovisnosti o Reynoldsovom broju i uvjetima morskog dna [7]

Vertikalna sila morske struje koja djeluje na cjevovod podmorskog ispusta definira se kao:

$$F_V^{STRUJA} = C_V \rho A \frac{V^2}{2}, \quad (6.2)$$

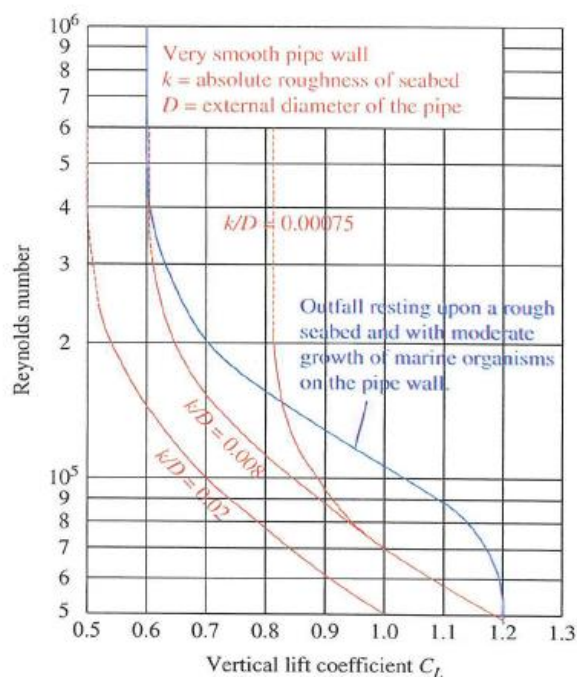
gdje je:

C_V - koeficijent otpora oblika za silu uzgona uzrokovanu morskim strujama. Ovisi o kutu nailaska morske struje u odnosu na os nivelete cjevovoda ispusta. Definira se s obzirom na Reynoldsov broj koji u ovom slučaju iznosi $Re = 175438.59$ za $kkv = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$. Usvojena vrijednost koeficijenta otpora oblika prema Slici 6.2. je 0.77.

ρ - gustoća morske vode (kg/m^3),

A - površina cijevi okomito na smjer strujanja (m^2),

V - brzina strujanja (m/s); obzirom na najveće vrijednosti brzine strujanja koje su zabilježene tijekom mjerenja, usvojena vrijednost je 0.4 (m/s).



Slika 6.2. Koeficijent otpora oblika C_v u ovisnosti o Reynoldsovom broju i uvjetima morskog dna [7]

Dominantni smjerovi strujanja su u NW i SE smjeru koji s cjevovodom ispusta zatvaraju kut nešto manji od 90° pa se usvaja ortogonalan položaj osi cjevovoda u odnosu na smjer vektora morskih struja. Vrijednosti dobivenih sila strujanja nije potrebno korigirati.

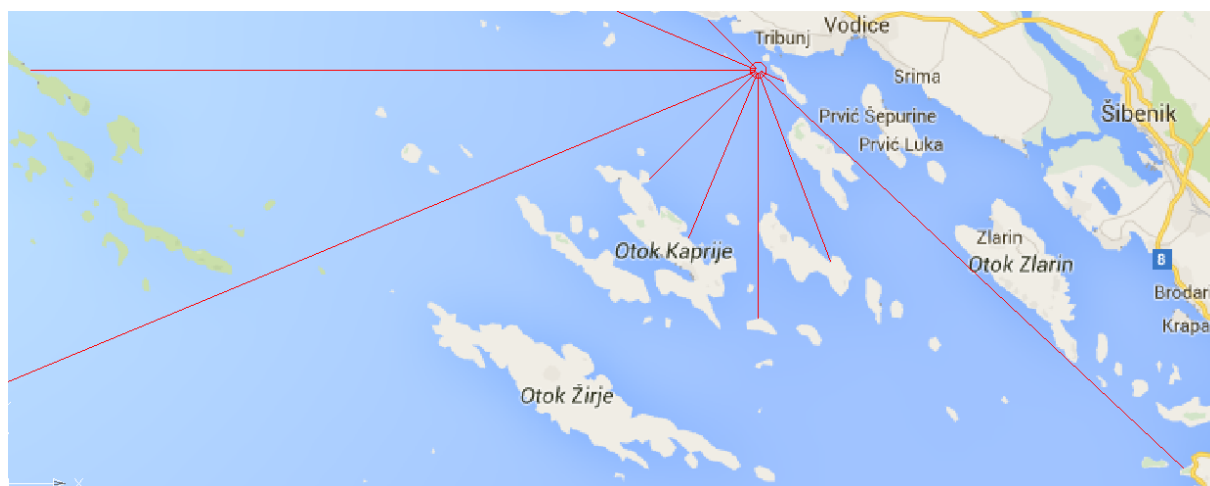
U Tablici 6.2. prikazane su izračunate vrijednosti horizontalnih i vertikalnih sila strujanja koje djeluju po jediničnom metru dužine cjevovoda.

Tablica 6.2. Izračunate vrijednosti horizontalnih i vertikalnih sila strujanja

C_H	C_v	D (m)	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	F_H (N)	F_v (N)
0,83	0,77	0,5	1028	0,4	34,1296	31,6624

6.3. Utjecaj vjetrovnog vala

Za potrebe definiranja vjetrovnog vala na mjerodavnoj duljini privjetrišta za odgovarajući povratni period, korišteni su podaci iz tablice kontigencije. Odabrana je dubokovodna lokacija od koje su izmjerene duljine privjetrišta za smjerove vjetra koji mogu generirati valove značajnih visina. Zbog razvedenosti obale i kratkog privjetrišta, utjecaj valova nastalih djelovanjem bure nije uzet u obzir.



Slika 6.3. Akvatorij Tribunalj s definiranim privjetrištima

Kratkoročna valna analiza provedena je korištenjem Gröen and Dorrestein dijagrama. Najveći utjecaj na odabrano područje imaju valovi koji nastaju djelovanjem vjetra iz smjera SE i smjera WSW. Smjer SE je najkritičniji u pogledu jačine i smjera propagacije vala na os cjevovoda podmorskog ispusta, dok vjetar iz smjera WSW djeluje na najdužem privjetrištu. Vjetrovi iz ostalih smjerova imaju znatno kraća privjetrišta ili znatno manje jačine i trajanja, što rezultira razvojem manjih valova.

Duljina privjetrišta SE vjetra je 19.13 (km), a kako zraka WSW vjetra seže u beskonačnost, minimalna duljina privjetrišta izračunata je pomoću Wilsonove formule [15]:

$$X = 0.73 \sqrt{\frac{t_{\min} \cdot U^{0.46} \cdot g^{0.27}}{43}} \quad (6.3)$$

gdje je:

X - minimalna duljina privjetrišta (m),

U - brzina vjetra (m/s),

t_{min} - minimalno trajanje vjetra (s).

Za trajanje vjetra od 5 (h) i maksimalnu izmjerenu brzinu puhanja od 13.8 (m/s), izračunata duljina privjetrišta vjetra iz smjera WSW je 47.5 (km).

Dugoročna valna analiza provedena je na uzorku značajnih valnih visina H_s za kritične smjerove SE i WSW za povratni period 50 godina. Značajna valna visina određuje se prema:

$$P(V^T) = \frac{Tm}{T \cdot n_m} \quad (6.4)$$

gdje je:

$P(V^T)$ - veličina funkcije prekoračenja za veličinu značajne valne visine,

T_m - vremenski period mjerenja (god),

T - povratni period (god),

n_m - broj mjerenja u periodu mjerenja.

Za potrebe definiranja funkcije gustoće vjerojatnosti visine vala, korištena je Pareto distribucija s eksponencijalnim repom, koja se inače u hidrologiji koristi za predviđanje ekstremnih događaja [16]. Slučajna varijabla X ima Pareto razdiobu s parametrom $\alpha > 0$, ako joj je gustoća dana s

$$f(x) = \frac{\alpha x_m^\alpha}{x^{\alpha+1}}, x \geq x_m \quad (6.5)$$

gdje je:

α - parametar oblika,

x_m - najmanja moguća vrijednost od X .

Kumulativna funkcija distribucije za Pareto slučajnu varijablu je:

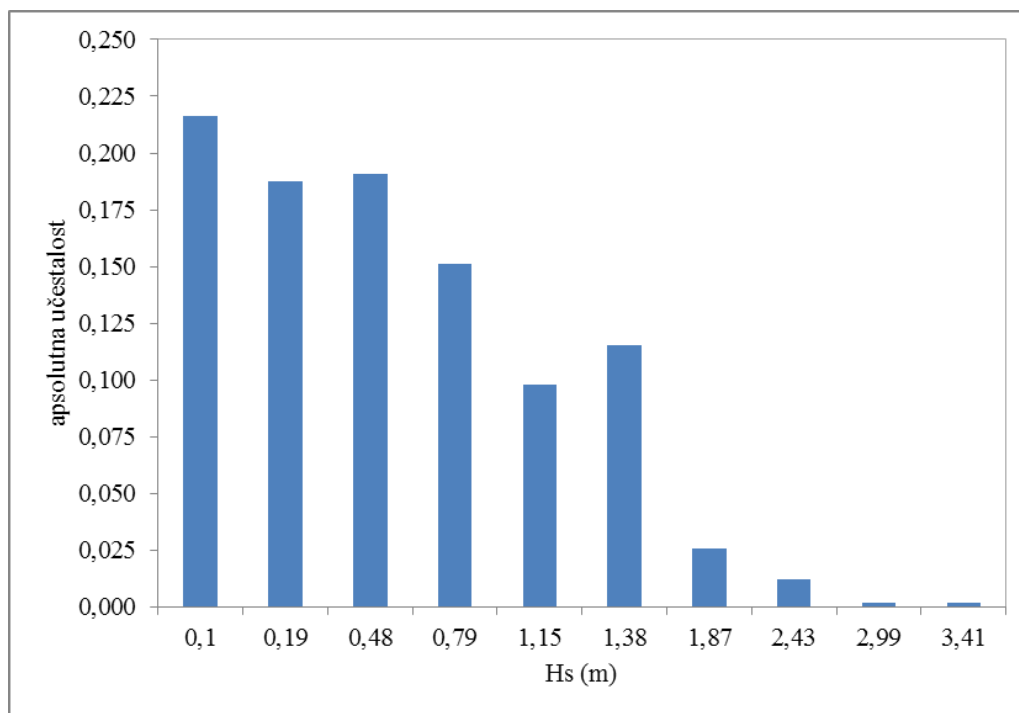
$$F(x) = 1 - \left(\frac{x_m}{x} \right)^\alpha, x \geq x_m \quad (6.6)$$

SMJER SE

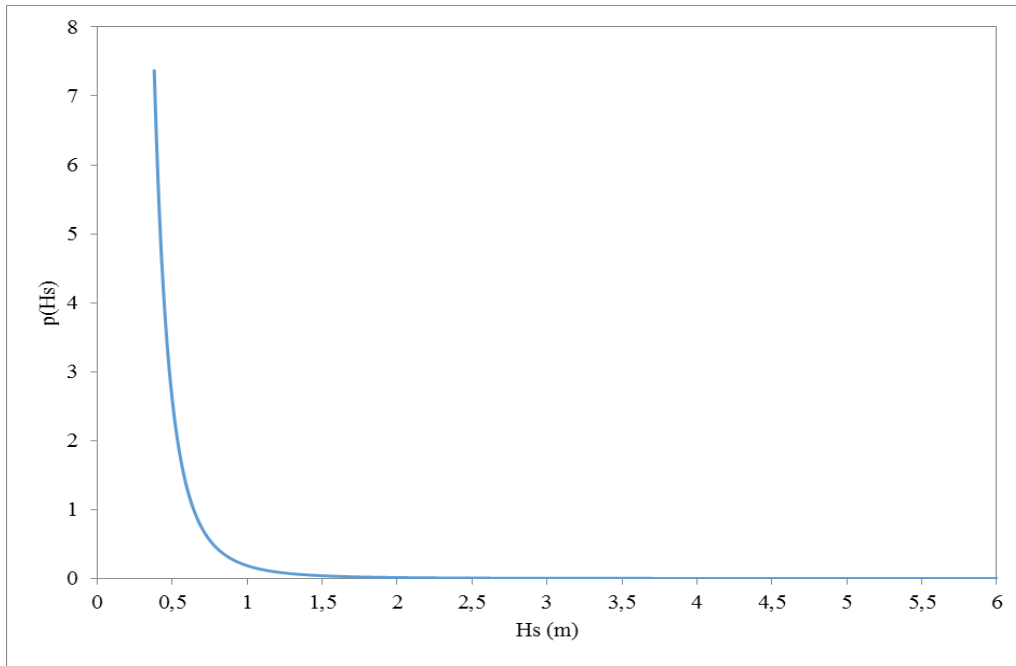
Za pojedine jačine vjetra iz smjera SE i duljinu privjetrišta od 19.13 (km) očitane su valne visine iz Gröen and Dorrestein dijagrama.

Tablica 6.3. Značajne valne visine za pojedine jačine vjetra iz smjera SE s pridruženim apsolutnim učestalostima pojavljivanja

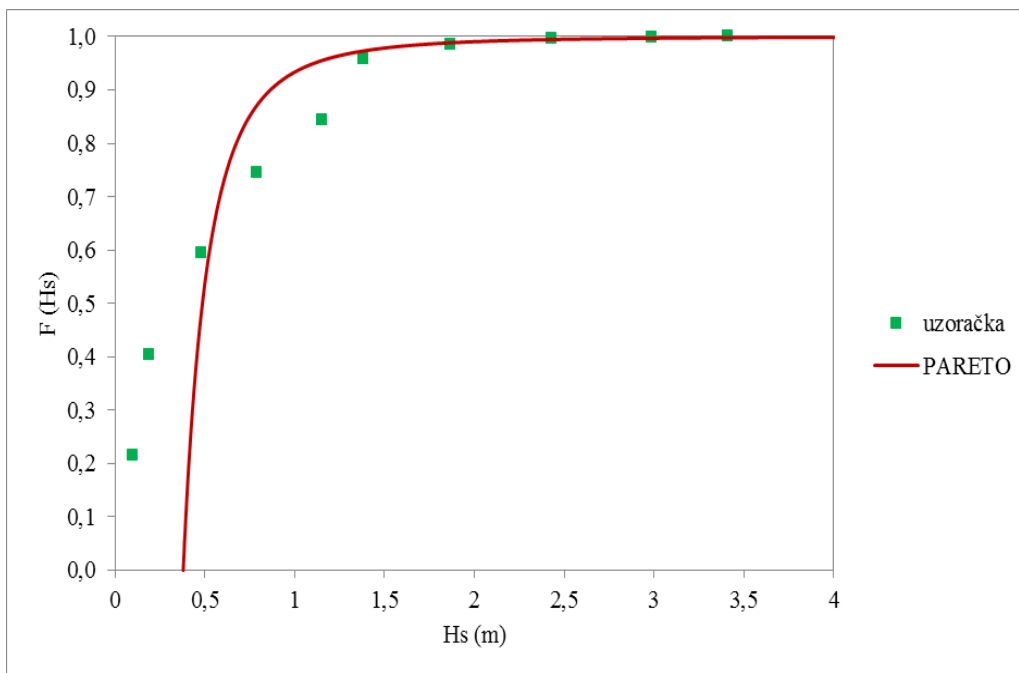
jačina (bf)	brzina (m/s)	relativna učestalost	apsolutna učestalost	Hs (m)
0	0,3-1,5	12,6	0,216	0,1
1	1,6-3,3	10,9	0,187	0,19
2	3,4-5,4	11,1	0,191	0,48
3	5,5-7,9	8,8	0,151	0,79
4	8,0-10,7	5,7	0,098	1,15
5	10,8-13,8	6,7	0,115	1,38
6	13,9-17,1	1,5	0,026	1,87
7	17,2-20,7	0,7	0,012	2,43
8	20,8-24,4	0,1	0,002	2,99
9	24,5-28,4	0,1	0,002	3,41



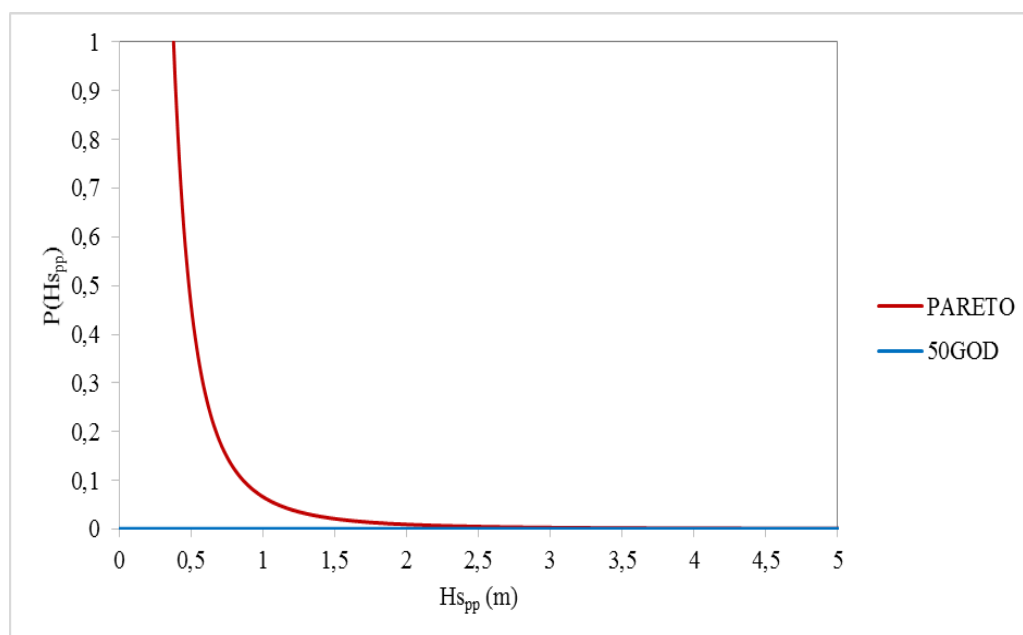
Slika 6.4. Apsolutna učestalost pojavljivanja valnih visina (smjer SE)



Slika 6.5. Funkcija gustoće vjerojatnosti valnih visina (smjer SE)



Slika 6.6. Kumulativna funkcija distribucije valnih visina (smjer SE)



Slika 6.7. Valna visina za povratni period 50 godina (smjer SE)

Mjerodavni parametri vala generiranog vjetrom iz smjera SE za povratni period 50 godina:

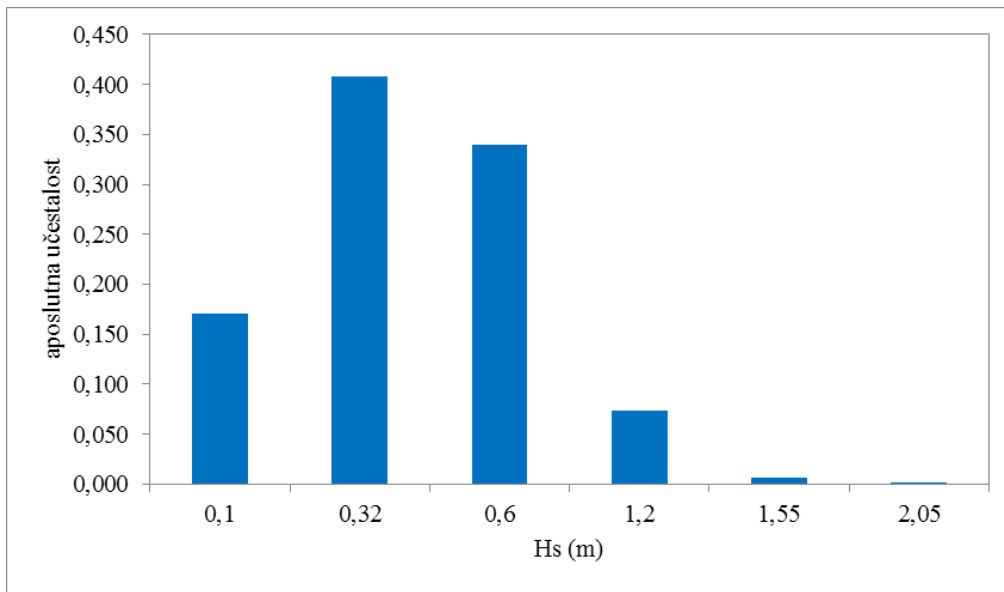
$$H_s = 4.58 \text{ (m)} ; T_s = 5.40 \text{ (s)}$$

SMJER WSW

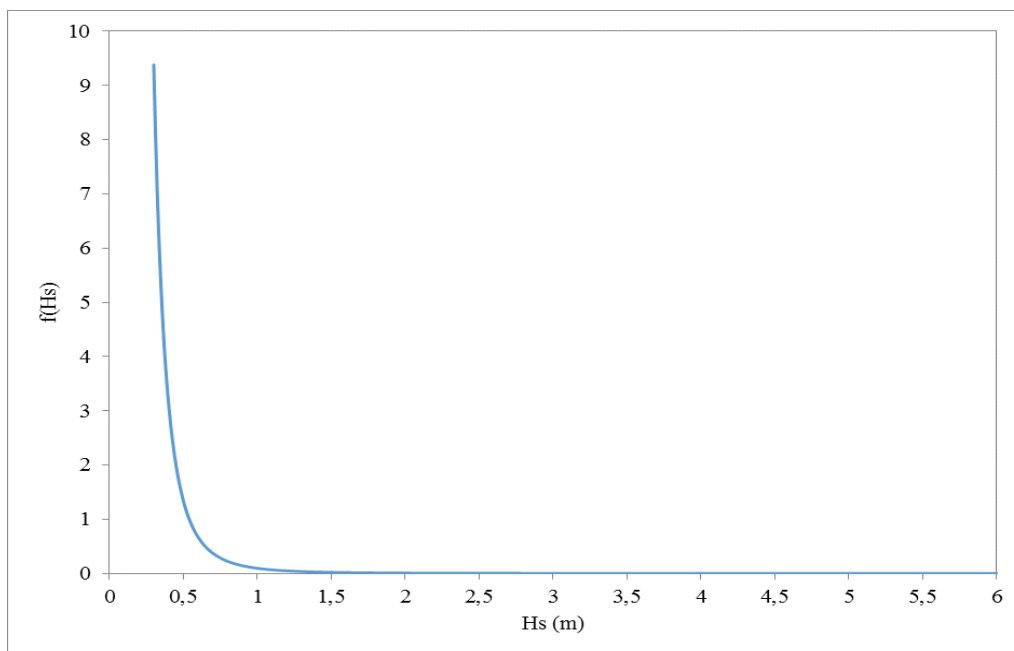
Za pojedine jačine vjetra iz smjera WSW i duljinu privjetrišta od 47.5 (km) iz Gröen and Dorrestein dijagrama očitane su valne visine.

Tablica 6.4. Značajne valne visine za pojedine jačine vjetra iz smjera WSW s pridruženim apsolutnim učestalostima pojavljivanja

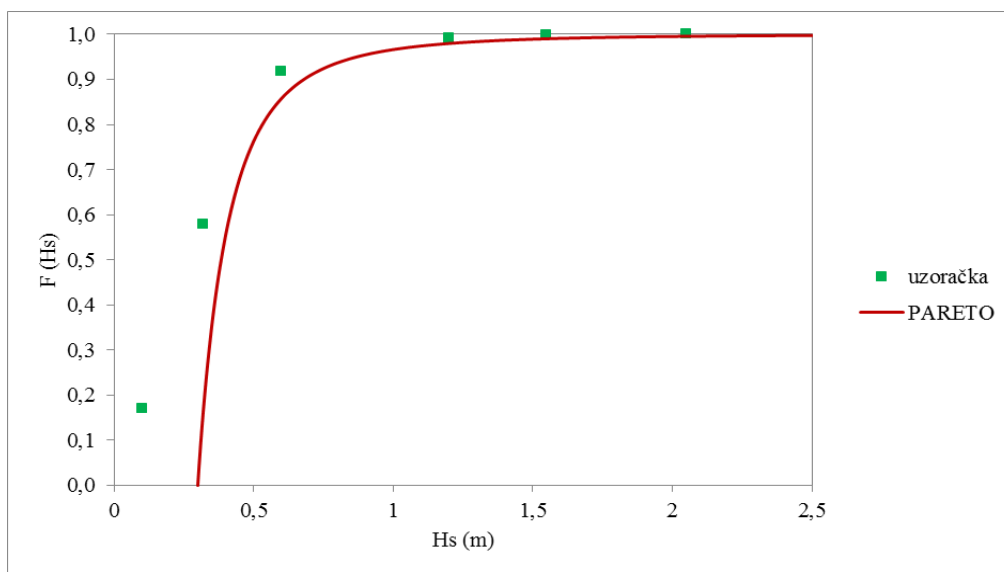
jačina (bf)	brzina (m/s)	relativna učestalost	apsolutna učestalost	Hs (m)
0	0,3-1,5	8,3	0,171	0,1
1	1,6-3,3	19,8	0,407	0,32
2	3,4-5,4	16,5	0,340	0,6
3	5,5-7,9	3,6	0,074	1,2
4	8,0-10,7	0,3	0,006	1,55
5	10,8-13,8	0,1	0,002	2,05



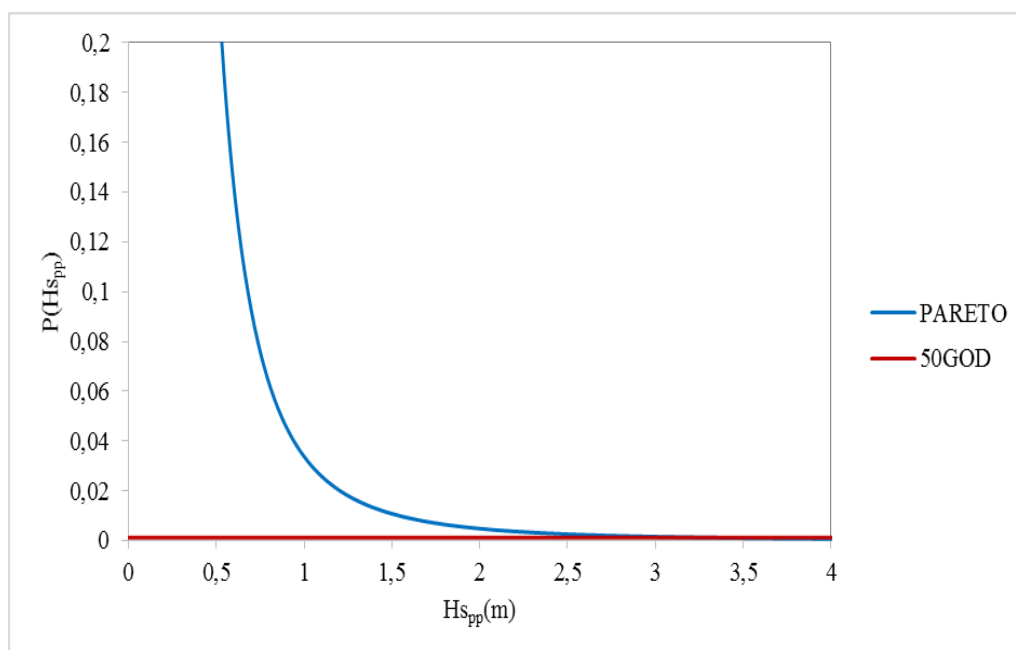
Slika 6.8. Apostlutna učestalost pojavljivanja valnih visina (smjer WSW)



Slika 6.9. Funkcija gustoće vjerojatnosti valnih visina (smjer WSW)



Slika 6.10. Kumulativna funkcija distribucije valnih visina (smjer WSW)



Slika 6.11. Valna visina za povratni period 50 godina (smjer WSW)

Mjerodavni parametri vala generiranog vjetrom iz smjera WSW za povratni period 50 godina:

$$H_s = 3.35 \text{ (m)} ; T_s = 5.80 \text{ (s)}$$

6.3.1. Sile uzrokovane valovima

Horizontalna sila uzrokovana valom koja djeluje na cjevovod definira se Morisonovom jednačinom:

$$F_H^{VAL} = C_H \frac{\rho}{2} AU|U| + C_I \rho \frac{\pi D^2}{4} l a_H, \quad (6.7)$$

gdje je:

C_H - koeficijent otpora oblika ovisan o kutu nailaska zrake vala u odnosu na os nivelete cjevovoda ispusta. Definira se s obzirom na Reynoldsov broj koji u ovom slučaju iznosi $Re = 175438.59$ za $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$. Vrijednost koeficijenta potrebno je korigirati faktorom F očitanim sa Slike 6.12..

ρ - gustoća morske vode (kg/m^3),

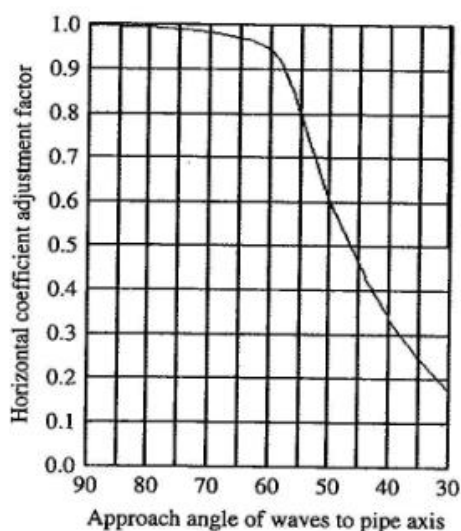
A - površina cijevi okomito na smjer nailaska vala (m^2),

U - brzina vala (m/s); definira se ovisno o dubini prema linearnoj valnoj teoriji,

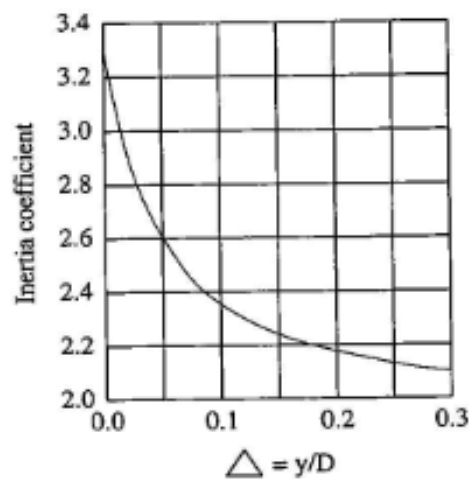
C_I - koeficijent inercije ovisan o relativnom odnosu visine dne cijevi od morskog dna i vanjskog promjera cijevi.

D - vanjski promjer cjevovoda podmorskog ispusta (m),

a_H - akceleracija vala (m/s^2); definira se ovisno o dubini prema linearnoj valnoj teoriji.



Slika 6.12. Korekcijski faktor F koeficijenta C_H u ovisnosti o kutu nailaska zrake vala u odnosu na os ispusta [7]



Slika 6.13. Koeficijent inercije C_I ovisan o odnosu visine dna cijevi od morskog dna i vanjskog promjera cijevi [7]

Vertikalna sila uzrokovana valom koja djeluje na cjevovod definira se kao:

$$F_V^{VAL} = C_V \frac{\rho}{2} AU^2, \quad (6.8)$$

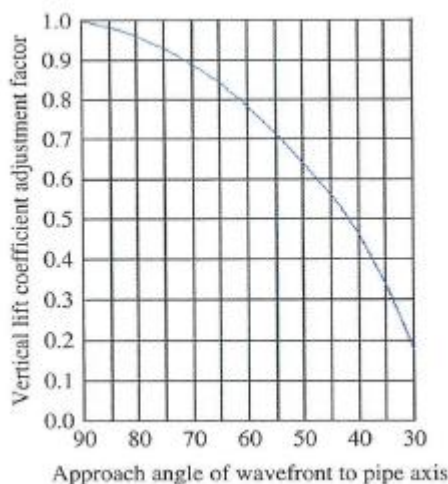
gdje je:

C_V - koeficijent otpora oblika ovisan o kutu nailaska zrake vala u odnosu na os nivelete cjevovoda ispusta. Definira se s obzirom na Reynoldsov broj koji u ovom slučaju iznosi $Re = 175438.59$ za $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$. Vrijednost koeficijenta potrebno je korigirati faktorom F očitanim sa Slike 6.14..

ρ - gustoća morske vode (kg/m^3),

A - površina cijevi okomito na smjer nailaska vala (m^2),

U - brzina vala (m/s); definira se ovisno o dubini prema linearnoj valnoj teoriji.



Slika 6.14. Korekcijski faktor F koeficijenta C_V u ovisnosti o kutu nailaska zrake vala u odnosu na os ispusta [7]

U Tablici 6.5. prikazane su očitane vrijednosti koeficijenata za izračun sile vala.

Zraka vala iz smjera SE nailazi na cjevovod ispusta pod kutom nešto manjim od 90° pa se usvaja pretpostavka o ortogonalnosti osi cjevovoda i zrake vala. Prema tome, koeficijente sile vala nije potrebno reducirati korekcijskim faktorima.

Nailazak zrake vala iz smjera WSW na os cjevovoda rezultira kutom oko 30° pa se koeficijenti sile vala umanjuju za veličinu korekcijskih faktora.

Znatno veće sile vala uzorkovane su vjetrom iz smjera SE, stoga su te sile mjerodavne za statičko dimenzioniranje ispusta

Tablica 6.5. Očitane vrijednosti koeficijenata za izračun sile vala

Smjer	C_H	C_I	C_V
SE	0,83	2,25	0,77
WSW	0,149	2,25	0,154

U Tablici 6.6. prikazane su izračunate vrijednosti horizontalnih i vertikalnih sila valovanja iz smjera SE koje djeluju po jediničnom metru dužine cjevovoda.

Tablica 6.6. Izračunate vrijednosti horizontalnih i vertikalnih sila valova

Stacionaža (m)	Dubina mora (m n. m.)	More	L (m)	H _{vala} (m)	U (m/s)	a (m/s ²)	F _h ^{val} (N/m')	F _v ^{val} (N/m')
2+127,00	10,23	sr. duboko	41,5734	4,2341	1,10045	1,28043	839,83190	239,64152
2+140,00	10,37	sr. duboko	41,6965	4,2382	1,08179	1,25872	821,28356	231,58281
2+160,00	10,48	sr. duboko	41,7909	4,2415	1,06737	1,24195	807,05845	225,45271
2+180,00	10,20	sr. duboko	41,5465	4,2332	1,10449	1,28514	843,87450	241,40723
2+200,00	10,44	sr. duboko	41,7568	4,2403	1,07259	1,24802	812,19688	227,66184
2+220,00	10,37	sr. duboko	41,6965	4,2382	1,08179	1,25872	821,28356	231,58281
2+232,32	10,40	sr. duboko	41,7224	4,2391	1,07783	1,25411	817,36941	229,89278
2+240,00	10,43	sr. duboko	41,7482	4,2400	1,07389	1,24953	813,48238	228,21666
2+260,00	10,50	sr. duboko	41,8078	4,2421	1,06477	1,23892	804,50233	224,35633
2+280,00	11,27	sr. duboko	42,4097	4,2664	0,96981	1,12843	713,10708	186,12208
2+300,00	10,85	sr. duboko	42,0932	4,2530	1,02042	1,18732	761,34255	206,05624
2+320,00	13,25	sr. duboko	43,5759	4,3327	0,76334	0,88819	527,67128	115,30886
2+340,00	16,53	sr. duboko	44,6659	4,4312	0,50920	0,59248	324,38750	51,30994
2+360,00	19,97	sr. duboko	45,1769	4,5020	0,32728	0,38081	195,79518	21,19660
2+380,00	23,82	duboko	45,5278	4,58	0,10302	0,11987	56,70453	2,10032
2+400,00	26,99	duboko	45,5278	4,58	0,06652	0,07740	36,09381	0,87557
2+420,00	30,20	duboko	45,5278	4,58	0,04271	0,04970	22,95910	0,36100
2+440,00	33,39	duboko	45,5278	4,58	0,02750	0,03200	14,69365	0,14966
2+460,00	35,50	duboko	45,5278	4,58	0,02055	0,02391	10,95112	0,08360
2+480,00	37,74	duboko	45,5278	4,58	0,01509	0,01756	8,02141	0,04505
2+500,00	39,35	duboko	45,5278	4,58	0,01208	0,01406	6,41549	0,02889
2+520,00	41,33	duboko	45,5278	4,58	0,00919	0,01070	4,87587	0,01672
2+540,00	42,77	duboko	45,5278	4,58	0,00754	0,00877	3,99443	0,01124
2+560,00	44,00	duboko	45,5278	4,58	0,00636	0,00740	3,36921	0,00800
2+580,00	45,14	duboko	45,5278	4,58	0,00543	0,00632	2,87766	0,00584
2+600,00	46,20	duboko	45,5278	4,58	0,00469	0,00546	2,48529	0,00436
2+620,00	47,14	duboko	45,5278	4,58	0,00412	0,00480	2,18242	0,00336
2+640,00	47,85	duboko	45,5278	4,58	0,00374	0,00435	1,97841	0,00277
2+660,00	48,45	duboko	45,5278	4,58	0,00344	0,00400	1,82097	0,00234
2+680,00	49,13	duboko	45,5278	4,58	0,00313	0,00365	1,65765	0,00194
2+700,00	49,69	duboko	45,5278	4,58	0,00290	0,00337	1,53422	0,00166
2+720,00	50,20	duboko	45,5278	4,58	0,00270	0,00314	1,42983	0,00145
2+740,00	50,03	duboko	45,5278	4,58	0,00277	0,00322	1,46381	0,00152
2+760,00	51,13	duboko	45,5278	4,58	0,00238	0,00277	1,25744	0,00112
2+780,00	51,44	duboko	45,5278	4,58	0,00228	0,00265	1,20473	0,00103
2+800,00	51,67	duboko	45,5278	4,58	0,00221	0,00257	1,16706	0,00096
2+820,00	51,84	duboko	45,5278	4,58	0,00216	0,00251	1,13997	0,00092
2+840,00	52,10	duboko	45,5278	4,58	0,00208	0,00242	1,09976	0,00086
2+860,00	52,35	duboko	45,5278	4,58	0,00201	0,00234	1,06243	0,00080
2+880,00	52,56	duboko	45,5278	4,58	0,00195	0,00227	1,03206	0,00075
2+900,00	52,84	duboko	45,5278	4,58	0,00188	0,00218	0,99291	0,00070
2+920,00	53,03	duboko	45,5278	4,58	0,00183	0,00213	0,96719	0,00066
2+940,00	53,28	duboko	45,5278	4,58	0,00177	0,00206	0,93437	0,00062

2+960,00	53,53	duboko	45,5278	4,58	0,00171	0,00199	0,90266	0,00058
2+980,00	53,79	duboko	45,5278	4,58	0,00165	0,00192	0,87082	0,00054
3+000,00	53,97	duboko	45,5278	4,58	0,00161	0,00187	0,84944	0,00051
3+020,00	54,24	duboko	45,5278	4,58	0,00155	0,00180	0,81835	0,00047
3+040,00	54,50	duboko	45,5278	4,58	0,00149	0,00174	0,78949	0,00044
3+060,00	54,71	duboko	45,5278	4,58	0,00145	0,00169	0,76693	0,00042
3+080,00	54,97	duboko	45,5278	4,58	0,00140	0,00163	0,73988	0,00039
3+100,00	55,26	duboko	45,5278	4,58	0,00134	0,00156	0,71084	0,00036
3+120,00	55,55	duboko	45,5278	4,58	0,00129	0,00150	0,68294	0,00033
3+140,00	55,90	duboko	45,5278	4,58	0,00123	0,00143	0,65072	0,00030
3+160,00	56,22	duboko	45,5278	4,58	0,00118	0,00137	0,62259	0,00027
3+180,00	56,70	duboko	45,5278	4,58	0,00110	0,00128	0,58267	0,00024
3+200,00	57,12	duboko	45,5278	4,58	0,00104	0,00121	0,54984	0,00021
3+220,00	57,65	duboko	45,5278	4,58	0,00097	0,00112	0,51104	0,00018
3+240,00	58,20	duboko	45,5278	4,58	0,00090	0,00104	0,47368	0,00016
3+260,00	61,44	duboko	45,5278	4,58	0,00057	0,00067	0,30285	0,00006
3+280,00	61,96	duboko	45,5278	4,58	0,00053	0,00062	0,28188	0,00006
3+300,00	62,22	duboko	45,5278	4,58	0,00051	0,00060	0,27194	0,00005
3+320,00	62,44	duboko	45,5278	4,58	0,00050	0,00058	0,26380	0,00005
3+327,00	62,50	duboko	45,5278	4,58	0,00050	0,00058	0,26163	0,00005

6.2. Broj i raspored opteživača

Podmorski dio ispusta projektiran je prema sljedećem:

Za potrebe potapanja, cjevovod se opterećuje primarnim betonskim opteživačima od stacionaže 1+612.50 do stac. 3+327.00.

Od stacionaže 1+612.50 do stac. 2+127.00 cjevovod se ukopava u rov i betonira čime se postiže posebno osiguranje zbog djelovanje valova na cjevovod.

Od stacionaže 2+127.00 do stac. 3+327.00 valovi imaju znatno manji utjecaj na cjevovod pa se cjevovod polaže na morsko dno i opterećuje sekundarnim betonskim opteživačima.

6.2.1. Primarni opteživači

Primarno opterećenje za potapanje cjevovoda podmorskog ispusta postavlja se duž čitave dionice, od stacionaže 1+612.50 do stac. 3+327.00. na razmaku od 15 metara. Projektiran je jedan tip primarnog opteživača za cijev DN 500/454.4. Masa ovog opteživača iznosi minimalno 107.03 (kg), a težina 1049.96 (N). Uronjena težina osnovnog opteživača je

600.23 (N) pa je uronjena težina opteživača po m' 40.015 (N/m'). Uronjena težina cijevi ispunjene morem iznosi 24.478 (N/m'). Potapanje se izvodi uz koeficijent sigurnosti 1.63. Na predviđenoj dionici potrebno je 115 komada osnovnih opteživača. Svi se opteživači rade iz dva jednaka dijela koja se spajaju vijcima od nehrđajućeg čelika. Nacrt primarnog opteživača dan je u prilogu.

Predviđen je način potapanja uz pridržavanje brodovima. Također, može se primijeniti i druga tehnologija potapanja u skladu sa zahtjevima proizvođača cijevi i iskustvom izvođača.

6.2.2. Sekundarni opteživači

Sekundarni betonski opteživači predviđeni su za preuzimanje opterećenja na cjevovod podmorskog ispusta nastala uslijed djelovanja uzgona cijevi ispunjenog vodom, djelovanja morskih struja i uslijed djelovanja vjetrovnih valova. Projektiran je jedan tip takvih opteživača volumena 0.268 (m³). Težina opteživača na suhom je najmanje 6309.79 (N), a uronjena težina iznosi 3608 (N).

U zoni srednje dubokog mora, od dubine 10.23 (m n. m.) do dubine 23.82 (m n. m.), odnosno od stac. 2+127.00 do stac. 2+380.00, cjevovod se opterećuje sekundarnim betonskim opteživačima na ekvidistantnim razmacima od 2 metra. Broj potrebnih opteživača na toj dionici je 127 komada.

U zoni dubokog mora, od stac. 2+380.00 do stac. 3+327.00 sekundarni opteživači se postavljaju na razmacima od 10 metara. Potreban broj opteživača na toj dionici je 95 komada. Nacrt sekundarnog opteživača nalazi se u prilogu.

6.2.3. Kontrole globalne stabilnosti

Kontrola težine i brojnosti opteživača provedena je ispitivanjem stabilnosti od isplivavanja na morsku površinu klizanja po morskom dnu i prevrtanja na razmacima od 20 metara.

Koeficijent stabilnosti od isplivavanja definira se kao:

$$K_{S_i} = \frac{G_{\text{primarni}}^{\text{uronjeno}} + G_{\text{sekundarni}}^{\text{uronjeno}}}{G_{\text{cijev+voda}}^{\text{uronjeno}} + F_V^{\text{struja}} + F_V^{\text{val}}} \quad (6.9)$$

Tablica 6.7. Kontrola stabilnosti ispusta na isplivavanje

Stacionaža (m)	Dubina mora (m n. m.)	G _{uronjeno} (N/m')	G _{primarni} (N/m')	G _{sekundarni} (N/m')	F _v ^{struja} (N/m')	F _v ^{val} (N/m')	K _s _i
2+127,00	-10,23	69,023	40,015	1803,5	31,662	239,64152	5,417
2+140,00	-10,37	69,023	40,015	1803,5	31,662	231,58281	5,548
2+160,00	-10,48	69,023	40,015	1803,5	31,662	225,45271	5,653
2+180,00	-10,20	69,023	40,015	1803,5	31,662	241,40723	5,389
2+200,00	-10,44	69,023	40,015	1803,5	31,662	227,66184	5,615
2+220,00	-10,37	69,023	40,015	1803,5	31,662	231,58281	5,548
2+232,32	-10,40	69,023	40,015	1803,5	31,662	229,89278	5,577
2+240,00	-10,43	69,023	40,015	1803,5	31,662	228,21666	5,605
2+260,00	-10,50	69,023	40,015	1803,5	31,662	224,35633	5,672
2+280,00	-11,27	69,023	40,015	1803,5	31,662	186,12208	6,428
2+300,00	-10,85	69,023	40,015	1803,5	31,662	206,05624	6,010
2+320,00	-13,25	69,023	40,015	1803,5	31,662	115,30886	8,535
2+340,00	-16,53	69,023	40,015	1803,5	31,662	51,30994	12,129
2+360,00	-19,97	69,02	40,02	1803,50	31,66	21,19660	15,125
2+380,00	-23,82	69,023	40,015	1803,5	31,662	2,100320	17,936
2+400,00	-26,99	69,023	40,015	360,7	31,662	0,875571	3,946
2+420,00	-30,20	69,023	40,015	360,7	31,662	0,360996	3,966
2+440,00	-33,39	69,023	40,015	360,7	31,662	0,149662	3,974
2+460,00	-35,50	69,023	40,015	360,7	31,662	0,083595	3,977
2+480,00	-37,74	69,023	40,015	360,7	31,662	0,045047	3,978
2+500,00	-39,35	69,023	40,015	360,7	31,662	0,028885	3,979
2+520,00	-41,33	69,023	40,015	360,7	31,662	0,016724	3,979
2+540,00	-42,77	69,023	40,015	360,7	31,662	0,011239	3,979
2+560,00	-44,00	69,023	40,015	360,7	31,662	0,008003	3,980
2+580,00	-45,14	69,023	40,015	360,7	31,662	0,005843	3,980
2+600,00	-46,20	69,023	40,015	360,7	31,662	0,004361	3,980
2+620,00	-47,14	69,023	40,015	360,7	31,662	0,003364	3,980
2+640,00	-47,85	69,023	40,015	360,7	31,662	0,002765	3,980
2+660,00	-48,45	69,023	40,015	360,7	31,662	0,002343	3,980
2+680,00	-49,13	69,023	40,015	360,7	31,662	0,001942	3,980
2+700,00	-49,69	69,023	40,015	360,7	31,662	0,001664	3,980
2+720,00	-50,20	69,023	40,015	360,7	31,662	0,001446	3,980
2+740,00	-50,03	69,023	40,015	360,7	31,662	0,001515	3,980
2+760,00	-51,13	69,023	40,015	360,7	31,662	0,001118	3,980
2+780,00	-51,44	69,023	40,015	360,7	31,662	0,001027	3,980
2+800,00	-51,67	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000964	3,980
2+820,00	-51,84	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000919	3,980
2+840,00	-52,10	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000856	3,980
2+860,00	-52,35	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000799	3,980
2+880,00	-52,56	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000754	3,980

2+900,00	-52,84	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000698	3,980
2+920,00	-53,03	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000662	3,980
2+940,00	-53,28	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000618	3,980
2+960,00	-53,53	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000577	3,980
2+980,00	-53,79	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000537	3,980
3+000,00	-53,97	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000511	3,980
3+020,00	-54,24	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000474	3,980
3+040,00	-54,50	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000441	3,980
3+060,00	-54,71	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000416	3,980
3+080,00	-54,97	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000388	3,980
3+100,00	-55,26	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000358	3,980
3+120,00	-55,55	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000330	3,980
3+140,00	-55,90	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000300	3,980
3+160,00	-56,22	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000274	3,980
3+180,00	-56,70	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000240	3,980
3+200,00	-57,12	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000214	3,980
3+220,00	-57,65	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000185	3,980
3+240,00	-58,20	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000159	3,980
3+260,00	-61,44	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000065	3,980
3+280,00	-61,96	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000056	3,980
3+300,00	-62,22	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000052	3,980
3+320,00	-62,44	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000049	3,980
3+327,00	-62,50	69,023	40,015	360,7	31,662	0,000048	3,980

Uzgon uzrokovan zrakom u cijevi nije uzet u obzir pri proračunu stabilnosti jer su predviđeni otvori na tjemenu cijevi za evakuaciju zraka.

Stabilnost od klizanja definira se koeficijentom sigurnosti:

$$Ks_k = \frac{f \cdot (G_{\text{sekundarni}}^{\text{uronjeno}} - G_{\text{cijev+voda}}^{\text{uronjeno}} - F_V^{\text{struja}} - F_V^{\text{val}})}{F_H^{\text{struja}} + F_H^{\text{val}}} \quad (6.10)$$

Koeficijent trenja opteživača s podlogom određen je u ovisnosti o obliku sekundarnog opteživača i materijalu morskog dna prema [7], str. 260.. Usvojena vrijednost koeficijenta je 0.8.

Stabilnost na prevrtanje definira se usporedbom stabilizirajućih i destabilizirajućih momenata horizontalnih i vertikalnih sila oko točke prevrtanja.

$$K_{Sp} = \frac{M(G_{\text{sekarndarno}}^{\text{urono}})}{M(F_H^{\text{struja}} + F_H^{\text{val}} + G_{\text{cijev+voda}}^{\text{urono}} + F_V^{\text{struja}} + F_V^{\text{val}})} \quad (6.11)$$

Tablica 6.8. Kontrola stabilnosti ispusta na klizanje i prevrtanje

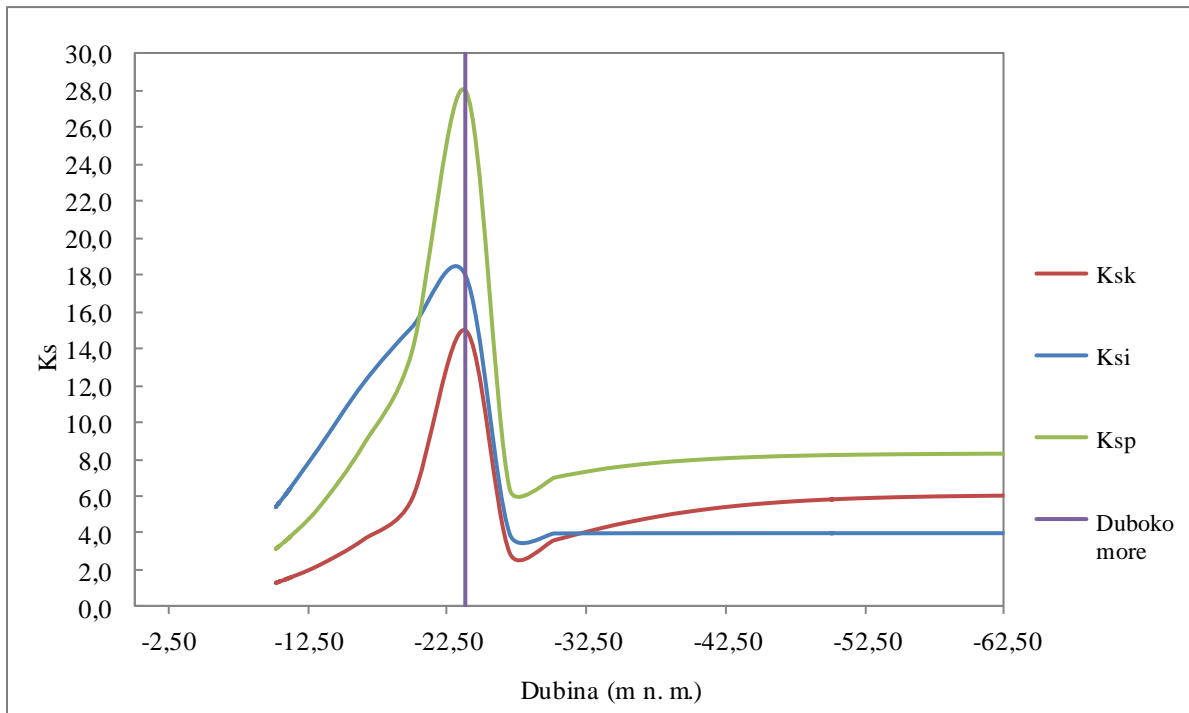
Stacionaža (m)	Dubina mora (m n. m.)	G _{urono} (N/m')	G _{sekarndarno} (N/m')	F _H ^{struja} (N/m')	F _H ^{val} (N/m')	F _V ^{struja} (N/m')	F _V ^{val} (N/m')	K _{Sk}	K _{Sp}
2+127,00	-10,23	69,023	1803,50	34,13	839,832	31,662	239,64152	1,339	3,191
2+140,00	-10,37	69,023	1803,50	34,13	821,284	31,662	231,58281	1,376	3,273
2+160,00	-10,48	69,023	1803,50	34,13	807,058	31,662	225,45271	1,405	3,340
2+180,00	-10,20	69,023	1803,50	34,13	843,875	31,662	241,40723	1,332	3,173
2+200,00	-10,44	69,023	1803,50	34,13	812,197	31,662	227,66184	1,394	3,315
2+220,00	-10,37	69,023	1803,50	34,13	821,284	31,662	231,58281	1,376	3,273
2+232,32	-10,40	69,023	1803,50	34,13	817,369	31,662	229,89278	1,384	3,291
2+240,00	-10,43	69,023	1803,50	34,13	813,482	31,662	228,21666	1,392	3,309
2+260,00	-10,50	69,023	1803,50	34,13	804,502	31,662	224,35633	1,410	3,352
2+280,00	-11,27	69,023	1803,50	34,13	713,107	31,662	186,12208	1,624	3,845
2+300,00	-10,85	69,023	1803,50	34,13	761,343	31,662	206,05624	1,505	3,569
2+320,00	-13,25	69,023	1803,50	34,13	527,671	31,662	115,30886	2,261	5,369
2+340,00	-16,53	69,023	1803,50	34,13	324,387	31,662	51,30994	3,685	8,860
2+360,00	-19,97	69,023	1803,50	34,13	195,795	31,66	21,19660	5,851	13,853
2+380,00	-23,82	69,023	1803,50	34,13	56,705	31,662	2,100320	14,979	28,042
2+400,00	-26,99	69,023	360,70	34,13	36,094	31,662	0,875571	2,952	6,423
2+420,00	-30,20	69,023	360,70	34,13	22,959	31,662	0,360996	3,639	7,042
2+440,00	-33,39	69,023	360,70	34,13	14,694	31,662	0,149662	4,258	7,478
2+460,00	-35,50	69,023	360,70	34,13	10,951	31,662	0,083595	4,613	7,689
2+480,00	-37,74	69,023	360,70	34,13	8,021	31,662	0,045047	4,934	7,861
2+500,00	-39,35	69,023	360,70	34,13	6,415	31,662	0,028885	5,130	7,958
2+520,00	-41,33	69,023	360,70	34,13	4,876	31,662	0,016724	5,333	8,052
2+540,00	-42,77	69,023	360,70	34,13	3,994	31,662	0,011239	5,456	8,106
2+560,00	-44,00	69,023	360,70	34,13	3,369	31,662	0,008003	5,547	8,145
2+580,00	-45,14	69,023	360,70	34,13	2,878	31,662	0,005843	5,621	8,176
2+600,00	-46,20	69,023	360,70	34,13	2,485	31,662	0,004361	5,681	8,201
2+620,00	-47,14	69,023	360,70	34,13	2,182	31,662	0,003364	5,728	8,220
2+640,00	-47,85	69,023	360,70	34,13	1,978	31,662	0,002765	5,761	8,233
2+660,00	-48,45	69,023	360,70	34,13	1,821	31,662	0,002343	5,786	8,243
2+680,00	-49,13	69,023	360,70	34,13	1,658	31,662	0,001942	5,812	8,254
2+700,00	-49,69	69,023	360,70	34,13	1,534	31,662	0,001664	5,833	8,262
2+720,00	-50,20	69,023	360,70	34,13	1,430	31,662	0,001446	5,850	8,268
2+740,00	-50,03	69,023	360,70	34,13	1,464	31,662	0,001515	5,844	8,266
2+760,00	-51,13	69,023	360,70	34,13	1,257	31,662	0,001118	5,878	8,279
2+780,00	-51,44	69,023	360,70	34,13	1,205	31,662	0,001027	5,887	8,283
2+800,00	-51,67	69,023	360,70	34,13	1,167	31,662	0,000964	5,893	8,285
2+820,00	-51,84	69,023	360,70	34,13	1,140	31,662	0,000919	5,898	8,287
2+840,00	-52,10	69,023	360,70	34,13	1,100	31,662	0,000856	5,904	8,290
2+860,00	-52,35	69,023	360,70	34,13	1,062	31,662	0,000799	5,911	8,292
2+880,00	-52,56	69,023	360,70	34,13	1,032	31,662	0,000754	5,916	8,294
2+900,00	-52,84	69,023	360,70	34,13	0,993	31,662	0,000698	5,922	8,297
2+920,00	-53,03	69,023	360,70	34,13	0,967	31,662	0,000662	5,927	8,298
2+940,00	-53,28	69,023	360,70	34,13	0,934	31,662	0,000618	5,932	8,300
2+960,00	-53,53	69,023	360,70	34,13	0,903	31,662	0,000577	5,938	8,302
2+980,00	-53,79	69,023	360,70	34,13	0,871	31,662	0,000537	5,943	8,304

3+000,00	-53,97	69,023	360,70	34,13	0,849	31,662	0,000511	5,947	8,306
3+020,00	-54,24	69,023	360,70	34,13	0,818	31,662	0,000474	5,952	8,308
3+040,00	-54,50	69,023	360,70	34,13	0,789	31,662	0,000441	5,957	8,310
3+060,00	-54,71	69,023	360,70	34,13	0,767	31,662	0,000416	5,961	8,311
3+080,00	-54,97	69,023	360,70	34,13	0,740	31,662	0,000388	5,965	8,313
3+100,00	-55,26	69,023	360,70	34,13	0,711	31,662	0,000358	5,970	8,315
3+120,00	-55,55	69,023	360,70	34,13	0,683	31,662	0,000330	5,975	8,317
3+140,00	-55,90	69,023	360,70	34,13	0,651	31,662	0,000300	5,981	8,319
3+160,00	-56,22	69,023	360,70	34,13	0,623	31,662	0,000274	5,986	8,320
3+180,00	-56,70	69,023	360,70	34,13	0,583	31,662	0,000240	5,992	8,323
3+200,00	-57,12	69,023	360,70	34,13	0,550	31,662	0,000214	5,998	8,325
3+220,00	-57,65	69,023	360,70	34,13	0,511	31,662	0,000185	6,005	8,328
3+240,00	-58,20	69,023	360,70	34,13	0,474	31,662	0,000159	6,011	8,330
3+260,00	-61,44	69,023	360,70	34,13	0,303	31,662	0,000065	6,041	8,341
3+280,00	-61,96	69,023	360,70	34,13	0,282	31,662	0,000056	6,045	8,343
3+300,00	-62,22	69,023	360,70	34,13	0,272	31,662	0,000052	6,047	8,343
3+320,00	-62,44	69,023	360,70	34,13	0,264	31,662	0,000049	6,048	8,344
3+327,00	-62,50	69,023	360,70	34,13	0,262	31,662	0,000048	6,048	8,344

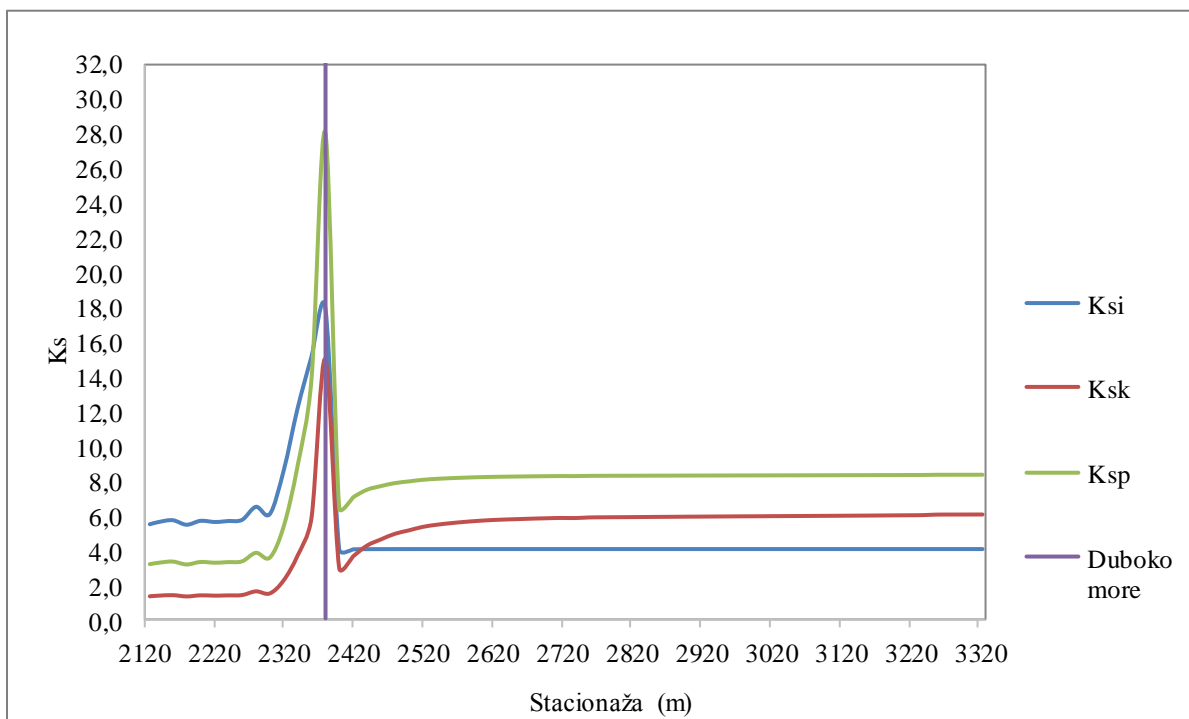
Iz kontrole stabilnosti na isplivavanje proizlazi da je odabrani broj i tip opteživača na trasi podmorskog ispusta dovoljan s najnižim koeficijentom sigurnosti 3.946 na dubini od - 26.99 (m n. m.).

Kontrola stabilnosti na klizanje ukazuje da je predviđeni broj sekundarnih opteživača dovoljan s najnižim koeficijentom sigurnosti 1.335 na najmanjoj dubini od -10.20 (m n. m.). Ukoliko se želi postići veća sigurnost na klizanje u zoni srednje dubokog mora, može se projektirati drugi tip sekundarnog opteživača s većim dimenzijama i većom uronjenom težinom.

Kontrola stabilnosti na prevrtanje zadovoljava s najnižim koeficijentom sigurnosti od 3.173.



Slika 6.15. Koeficijenti stabilnosti po dubini mora duž trase podmorskog ispusta



Slika 6.16. Koeficijenti stabilnosti po stacionažama podmorskog ispusta

Na Slici 6.15. prikazano je kretanje koeficijenata stabilnosti po dubini duž trase podmorskog ispusta. Vrijednosti sva tri koeficijenta stabilnosti u zoni srednje dubokog mora rastu s povećanjem dubine, odnosno kako se smanjuje utjecaj sile vala. Znatniji porast uočava se na prijelazu iz zone srednje dubokog mora u zonu dubokog mora, od dubine -19.97 (m n. m.) do dubine -23.82 (m n. m.). Od dubine -23.82 (m n. m.) predviđeno je postavljanje sekundarnih opteživača na 5 puta većem razmaku u odnosu na zonu srednje dubokog mora, zbog čega dolazi do naglog pada koeficijenata stabilnosti. U zoni dubokog mora koeficijent stabilnosti na isplivavanje postiže konstantnu vrijednost zbog zanemarivog utjecaja vertikalne komponente sile vala. Utjecaj inercijalne sile vala je znatno veći, a s dubinom se smanjuje što rezultira blagim rastom koeficijenata sigurnosti na klizanje i prevrtanje

Na Slici 6.16. prikazano je kretanje koeficijenata stabilnosti po stacionažama podmorskog ispusta. U zoni srednje dubokog mora vidljive su manje oscilacije u vrijednostima koeficijenata zbog neravnosti morskog dna, dok je kretanje koeficijenata na ostatku trase ispusta analogno kretanju na Slici 6.15..

6.2.4. Nosači difuzora

Nosači difuzora su posebni betonski nosači s obujmicama od nehrđajućeg čelika postavljeni na razmaku od 3.5 (m). Difuzor podmorskog ispusta sastoji se od 5 sekcija različitih profila cijevi pa je projektirano pet tipova nosača. Nacrti nosača difuzora nalaze se u prilogu.

Tablica 6.9. Raspored i karakteristike nosača jedne grane difuzora

Stacionaža (m)	Tip nosača	Volumen nosača (m ³)	Masa nosača (kg)	Težina nosača (N)	Uronjena težina nosača (N)	Uronjena težina nosača (N/m')
1,25	A	0,20728	497,4720	4880,2003	2789,8478	797,0994
4,75	A	0,20728	497,4720	4880,2003	2789,8478	797,0994
8,25	A	0,20728	497,4720	4880,2003	2789,8478	797,0994
11,75	A	0,20728	497,4720	4880,2003	2789,8478	797,0994
15,25	A	0,20728	497,4720	4880,2003	2789,8478	797,0994
18,75	A	0,20728	497,4720	4880,2003	2789,8478	797,0994
21,25	B	0,20668	496,0320	4866,0739	2781,7723	794,7921
24,75	B	0,20668	496,0320	4866,0739	2781,7723	794,7921
28,25	B	0,20668	496,0320	4866,0739	2781,7723	794,7921
31,75	B	0,20668	496,0320	4866,0739	2781,7723	794,7921
35,25	B	0,20668	496,0320	4866,0739	2781,7723	794,7921
38,75	B	0,20668	496,0320	4866,0739	2781,7723	794,7921
41,25	C	0,20563	493,5120	4841,3527	2767,6400	790,7543
44,75	C	0,20563	493,5120	4841,3527	2767,6400	790,7543
48,25	C	0,20563	493,5120	4841,3527	2767,6400	790,7543
51,75	C	0,20563	493,5120	4841,3527	2767,6400	790,7543
55,25	C	0,20563	493,5120	4841,3527	2767,6400	790,7543
58,75	C	0,20563	493,5120	4841,3527	2767,6400	790,7543
61,25	D	0,20429	490,2960	4809,8038	2749,6045	785,6013
64,75	D	0,20429	490,2960	4809,8038	2749,6045	785,6013
68,25	D	0,20429	490,2960	4809,8038	2749,6045	785,6013
71,75	D	0,20429	490,2960	4809,8038	2749,6045	785,6013
75,25	D	0,20429	490,2960	4809,8038	2749,6045	785,6013
78,75	D	0,20429	490,2960	4809,8038	2749,6045	785,6013
81,25	E	0,20282	486,7680	4775,1941	2729,8193	779,9484
84,75	E	0,20282	486,7680	4775,1941	2729,8193	779,9484
88,25	E	0,20282	486,7680	4775,1941	2729,8193	779,9484
91,75	E	0,20282	486,7680	4775,1941	2729,8193	779,9484
95,25	E	0,20282	486,7680	4775,1941	2729,8193	779,9484
98,75	E	0,20282	486,7680	4775,1941	2729,8193	779,9484
UKUPNO:	30	6,1602	14784,480	145035,75	82912,10	23689,17

Kontrola težine i brojnosti nosača provedena je ispitivanjem stabilnosti od isplivanja na morsku površinu, klizanja po morskom dnu i prevrtanja, a dobiveni koeficijenti sigurnosti prikazani su u Tablici 6.10.

Tablica 6.10. Kontrola stabilnosti difuzora na isplivanje, klizanje i prevrtanje

Tip nosača	Uronjena težina nosača (N/m')	$G_{uronjeno}$ (N/m')	F_h^{struja} (N/m')	F_v^{struja} (N/m')	F_h^{val} (N/m')	F_v^{val} (N/m')	K_{Si}	K_{Sk}	K_{Sp}
A	797,099	55,897	34,12960	31,66240	0,0348	0,000051	9,104	16,615	3,549
B	794,792	44,154	34,12960	31,66240	0,0274	0,000045	10,483	16,839	3,918
C	790,754	34,800	34,12960	31,66240	0,0215	0,000039	11,898	16,967	4,261
D	785,601	27,409	34,12960	31,66240	0,0168	0,000035	13,299	17,021	4,570
E	779,948	21,657	34,12960	31,66240	0,0133	0,000031	14,628	17,026	4,837

Predviđeni broj i raspored nosača difuzora dovoljan je za osiguranje stabilnosti. Potrebno je 60 komada nosača ukupne mase 29568.96 (kg).

7. MEHANIČKA OTPORNOST CJEVOVODA

7.1. Kontrola naprezanja cjevovoda tijekom pridržavanja u fazi potapanja

Zbog djelovanja morskih struja na površini mora, cjevovod je nužno pridržavati kako bi se potapanjem postigla projektirana trasa. Pridržanje vrše brodovi na mjestima primarnih opteživača.

Cjevovod predstavlja linijski sustav fiksiran na mjestima pridržanja. Za kritični poprečni presjek provodi se proračun naprezanja prema [7]:

$$\sigma = M \cdot \frac{D_v}{(2 \cdot I)} \quad (7.1)$$

gdje je:

$$M - \text{moment savijanja, } M = \frac{F \cdot l^2}{12}, \quad (7.2)$$

$$I - \text{moment inercije, } I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_v^4 - D_u^4). \quad (7.3)$$

Opterećenje na cjevovod u ovoj fazi je sila otpora oblika koja je uzrokovana morskim strujama na površini, a definirana je izrazom (6.1). Izračunata vrijednost sile prikazana je u Tablici 6.2..

Kontrola naprezanja izvršena je za razmak brodova jednak 5 razmaka primarnih opteživača, odnosno za međusobni razmak brodova od 75 metara.

Tablica 7.1. Računska naprezanja u fazi pridržanja cjevovoda

Razmak brodova	75	(m)
Fh^{struja}	34,1296	(N/m')
Mmax	15998,25	(Nm)
I	0,00097518	(m ⁴)
σ	4101343,75	(N/m ²)

Dozvoljeno naprezanje za trajanje opterećenja do 20 sati i temperature vode do 20 °C iznosi 450 (N/cm²).

Iz Tablice 7.1. vidljivo je da su naprezanja u fazi pridržavanja brodovima na međusobnoj udaljenosti 75 metara manja od dozvoljenih.

7.2. Kontrola naprezanja cjevovoda u fazi potapanja

Primarni opteživači koji se postavljaju za osiguranje negativne plovnosti, odnosno potapanja, također uzrokuju opterećenje duž cjevovoda. Za mjerodavni moment savijanja i naprezanja u kritičnom presjeku vrijede izrazi (7.1 – 7.3).

Tablica 7.2. Računska naprezanja u fazi potapanja cjevovoda

Razmak primarnih opteživača	15	(m)
Uronjena težina primarnog opteživača	40,015	(N/m')
M_{\max}	750,28125	(Nm)
I	0,00097518	(m ⁴)
σ	192343,62	(N/m ²)

Uočava se da su naprezanja u fazi potapanja znatno manja od dozvoljenih, uz uvjet postavljanja primarnih opteživača na ekvidistantnim razmacima od 15 metara.

7.3. Kontrola naprezanja cjevovoda u eksploataciji

7.3.1. Kontrola naprezanja uslijed djelovanja uzgona na cjevovod

Uzgon je sila koja djeluje na uronjeno tijelo suprotno smjeru gravitacije, olakšavajući težinu uronjenog tijela za težinu istisnute vode. Za određivanje mjerodavnog momenta savijanja i naprezanja u kritičnom presjeku korišteni su izrazi (7.1 – 7.3).

Sekundarni opteživači predstavljaju fiksne veze linijskog sustava. Kontrola naprezanja provedena je za slučaj predviđenog rasporeda sekundarnih opteživača na međusobnim razmacima od 10 metara i za slučaj jednog otkaćenog opteživača, što rezultira dvostruko većim rasponom.

Tablica 7.4. Naprezanja za djelovanje uzgona na cjevovod (svi opteživači i jedan otkaćen)

UZGON			
SREDNJE DUBOKO MORE			
Razmak sekundarnih opteživača	2	4	(m)
Uronjena težina cijevi ispunjene vodom	69,0225079	69,02250789	(N/m')
Mmax	23,0075026	92,03001053	(Nm)
I	0,00097518	0,000975183	(m ⁴)
σ	5898,24994	23592,99974	(N/m ²)
DUBOKO MORE			
Razmak sekundarnih opteživača	10	20	(m)
Uronjena težina cijevi ispunjene vodom	69,0225079	69,02250789	(N/m')
Mmax	575,187566	2300,750263	(Nm)
I	0,00097518	0,000975183	(m ⁴)
σ	147456,248	589824,994	(N/m ²)

7.3.2. Kontrola naprezanja uslijed djelovanja morskih struja na cjevovod

Proračun naprezanja za djelovanje morskih struja na cjevovod obavljen je na isti način kao za slučaj djelovanja uzgona.

Tablica 7.5. Naprezanja za djelovanje horizontalne komponente sile morske struje na cjevovod (svi opteživači i jedan otkaćen)

SREDNJE DUBOKO MORE			
Razmak sekundarnih opteživača	2	4	(m)
Fh ^{struja}	34,1296	34,1296	(N/m')
Mmax	11,3765333	45,50613333	(Nm)
I	0,00097518	0,000975183	(m ⁴)
σ	2916,51111	11666,04443	(N/m ²)
DUBOKO MORE			
Razmak sekundarnih opteživača	10	20	(m)
Fh ^{struja}	34,1296	34,1296	(N/m')
Mmax	284,413333	1137,653333	(Nm)
I	0,00097518	0,000975183	(m ⁴)
σ	72912,778	291651,111	(N/m ²)

7.3.3. Kontrola naprezanja uslijed djelovanja valova na cjevovod

Proračun naprezanja za djelovanje morskih struja na cjevovod obavljen je na isti način kao za slučaj djelovanja uzgona.

Tablica 7.6. Naprezanja za djelovanje horizontalne komponente sile vala na cjevovod (svi opteživači i jedan otkaćen)

SREDNJE DUBOKO MORE			
Razmak sekundarnih opteživača	2	4	(m)
F_h^{val}	839,8318964	839,8318964	(N/m')
M_{max}	279,9439655	1119,775862	(Nm)
I	0,000975183	0,000975183	(m ⁴)
σ	71767,00151	287068,006	(N/m ²)
DUBOKO MORE			
Razmak sekundarnih opteživača	10	20	(m)
F_h^{val}	56,70452674	56,70452674	(N/m')
M_{max}	472,5377228	1890,150891	(Nm)
I	0,000975183	0,000975183	(m ⁴)
σ	121140,727	484562,908	(N/m ²)

7.3.4. Kontrola dozvoljenih naprezanja na cjevovod

Dozvoljena naprezanja za PE 100 kod trajanja opterećenja u vremenu od 50 godina, uz faktor sigurnosti 1.6 i uz uvjet da temperatura u cijevi ne prelazi 20 °C iznosi 620 (N/cm²). Pri minimalnom faktoru sigurnosti od 1.25 dozvoljeno naprezanje je 496 (N/cm²). Uz pretpostavku tečenja vode temperature najviše 30 °C, dozvoljeno naprezanje umanjeno je na 400 (N/cm²).

Tablice 7.7. - 7.8. prikazuju sumarno naprezanje pri istovremenom djelovanju sila uzgona, morskih struja i vala na cjevovod za slučaj opterećenja svim opteživačima i za slučaj jednog otkaćenog opteživača.

Tablica 7.7. Sumarno naprezanje za djelovanje uzgona, horizontalnih komponenti sila morskih struja i vala na cjevovod u zoni srednje dubokog mora

SREDNJE DUBOKO MORE		
Razmak sekundarnih opteživača (m)	2	4
σ_{uzgon} (N/cm ²)	0,58982499	2,359299974
σ_h^{struja} (N/cm ²)	0,29165111	1,166604443
σ_h^{val} (N/cm ²)	7,17670015	28,7068006

Tablica 7.8. Sumarno naprezanje za djelovanje uzgona, horizontalnih komponenti sila morskih struja i vala na cjevovod u zoni dubokog mora

DUBOKO MORE		
Razmak sekundarnih opteživača (m)	10	20
σ_{uzgon} (N/cm ²)	14,7456248	58,98249935
σ_h^{struja} (N/cm ²)	7,29127777	29,16511108
σ_h^{val} (N/cm ²)	12,1140727	48,45629076

Određeni razmak sekundarnih nosača od 2 (m) u zoni srednje dubokog mora i od 10 (m) u zoni dubokog mora rezultiraju znatno manjim naprezanjima od dozvoljenih.

8. EKOLOŠKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA

8.1. Zakonska regulativa

Otpadna voda, koja se ispušta putem podmorskog ispusta, prethodno je pročišćena na uređaju I. stupnja pročišćavanja. Kod ispuštanja pročišćene vode u more nastoji se iskoristiti moć samopročišćavanja mora kako bi se smanjila koncentracija otpadnih tvari u moru i zadovoljile potrebne kakvoće mora u skladu s propisima. Glavni indikatori za dimenzioniranje ispusta su bakteriološki pokazatelji, prvenstveno koliformne bakterije. S obzirom na veliku koncentraciju bakterija u pročišćenim otpadnim vodama, ostali pokazatelji se zadovoljavaju sa znatno manjim veličinama razrjeđenja.

Položaj i karakteristike difuzora moraju zadovoljiti slijedeće kriterije:

- II vrstu mora u skladu s Državnim planom za zaštitu voda [4] na području izvan kruga oko difuzora ispusta, radijusa 300 (m);
- na granici obalnog mora udaljenoj 300 (m) od obale zahtjeve za kakvoćom mora prema Pravilniku o graničnim vrijednostima opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama [5].

Vode se prema graničnim vrijednostima pokazatelja iz članka 3. Uredbe o klasifikaciji voda [6] svrstavaju u pet vrsta od I do V. Dopuštene granične vrijednosti koliformnih bakterija prikazane su u Tablici 8.1. kako slijedi:

Tablica 8.1. Granične vrijednosti koliformnih bakterija za pojedinu vrstu mora

Pokazatelji	Mjerna jedinica	I vrsta	II vrsta	III vrsta	IV vrsta	V vrsta
Broj fekalnih koliforma	broj u 100 ml	< 200	200-1000	1000-10000	10^4 - 10^5	$> 10^5$

Prema [5], nakon odgovarajućeg stupnja pročišćavanja, moraju se ispuniti zahtjevi iz Tablice 8.2. za mikrobiološke pokazatelje kako slijedi:

Tablica 8.2. Granične vrijednosti koliformnih bakterija nakon pročišćavanja

Pokazatelji	Mjerna jedinica	Granične vrijednosti za ispuštanje u površinske vode	Granične vrijednosti za ispuštanje u priobalne vode
Koliformne bakterije	broj u 100 ml	2000	500

8.2. Ispuštanje otpadne vode

Otpadna voda se ispušta u more vertikalno u obliku mlazova kroz ekvidistantno raspoređene bočne otvore na difuzoru. Dominantne su sile uzgona, uzrokovane razlikama u gustoći efluenta i recipijenta, kao i sile inercije zbog izlaznih brzina u kontrahiranim presjecima bočnih otvora. Miješanje efluenta s morskom vodom u ovoj zoni odvija se dinamično, uslijed čega može doći do spajanja susjednih mlazova što dodatno pospješuje razrjeđenje. Ova zona se obično naziva „bliska zona“. Ovisno o vertikalnoj stratifikaciji gustoće morske vode, oblak efluenta se može izdignuti do morske površine ili izdizanje može biti zaustavljeno formiranim slojem piknokline. Zatim se oblak zagađenja nastavlja širiti u zoni zvanoj „daleka zona“. Proces koji se odvija u dalekoj zoni karakterizirani su uzdužnom advekcijom efluenta i morskih struja.

Proračun koncentracija koliformnih bakterija izvršen je prema [7] i [17]. Zasebno je analizirana bliska zona, a zasebno daleka zona miješanja efluenta s morskom vodom. Proračun je proveden za kombinaciju ljetnog mjerodavnog protoka i stratificiranog stupca morske vode s izraženom piknoklinom te za kombinaciju zimskog mjerodavnog protoka bez razvijene piknokline. U kombinacijama je u obzir uzeta varijanta uz djelovanje maksimalne izmjerene brzine morske struje za mjerodavne smjerove, kao i varijanta bez strujanja.

Za procjenu utjecaja zahvata na okoliš korišten je i komercijalni softverski sustav CORMIX, točnije demo verzija sustava koja je dobivena na korištenje 15 dana. Sustav daje sveobuhvatnu i dokumentiranu analizu ispuštanja otpadnih voda s naglaskom na geometrijske karakteristike oblaka zagađenja i karakteristike razrjeđenja u zonama miješanja.

8.3. Metodologija proračuna koncentracija koliformnih bakterija

Koncentracija koliformnih bakterija nakon početnog razrjeđenja dobije se kao:

$$c_n = \frac{c_o}{S_n} \quad (8.1)$$

gdje je:

C_o - početna koncentracija koliformnih bakterija u otpadnoj vodi,

S_n - razrjeđenje u bliskoj zoni.

Koncentracija koliformnih bakterija nakon razrjeđenja u dalekoj zoni jednaka je:

$$C_f = \frac{C_n}{S_f} + C_m \quad (8.2)$$

gdje je :

C_n - koncentracija koliformnih bakterija nakon početnog razrjeđenja,

C_m - koncentracija koliformnih bakterija u moru prije ispuštanja otpadnih voda,

S_f - razrjeđenje u dalekoj zoni uz uginuće mikroorganizama.

8.3.1. Definiranje oblika ispuštanja

Oblak otpadne vode ispuštene 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:

$$\frac{s}{H} < 0.3 \text{ ispuštanje je linijsko,} \quad (8.3)$$

$$\frac{s}{H} > 1 \text{ ispuštanje je točkasto.} \quad (8.4)$$

U konkretnom slučaju riječ je o linijskom ispuštanju.

Veličine koje karakteriziraju linijski oblak efluenta su:

$$q = \frac{Q_T}{L} \text{ - tok volumena,} \quad (8.5)$$

$$m = u_j \cdot q \text{ - tok inercijalne sile,} \quad (8.6)$$

$$b = g_o' \cdot q \text{ - tok sile uzgona,} \quad (8.7)$$

gdje je:

Q_T - mjerodavni protok (m^3/s),

L - dužina difuzora (m),

u_j - izlazna brzina na otvorima difuzora (m/s),

g'_o - modificirano gravitacijsko ubrzanje (m/s²).

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

$$g'_o = g \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a} = \frac{\Delta\rho_o}{\rho_a} \quad (8.8)$$

gdje je:

ρ_a - gustoća mora (kg/m³),

ρ_o - gustoća efluenta (kg/m³).

8.3.2. Razrjeđenje u bliskoj zoni nestratificiranog stupca morske vode bez djelovanja morskih struja

Razrjeđenje na dubini z definira se prema:

$$\frac{S_n}{F_j} = 0.5 \cdot \left(\frac{2z}{s}\right)^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{z}{dF_j}\right)^{\frac{5}{3}} \quad (8.9)$$

Frouudov broj jednak je:

$$F_j = \frac{u_j}{\sqrt{g'_o d}} \quad (8.10)$$

gdje član d predstavlja promjer otvora na difuzoru.

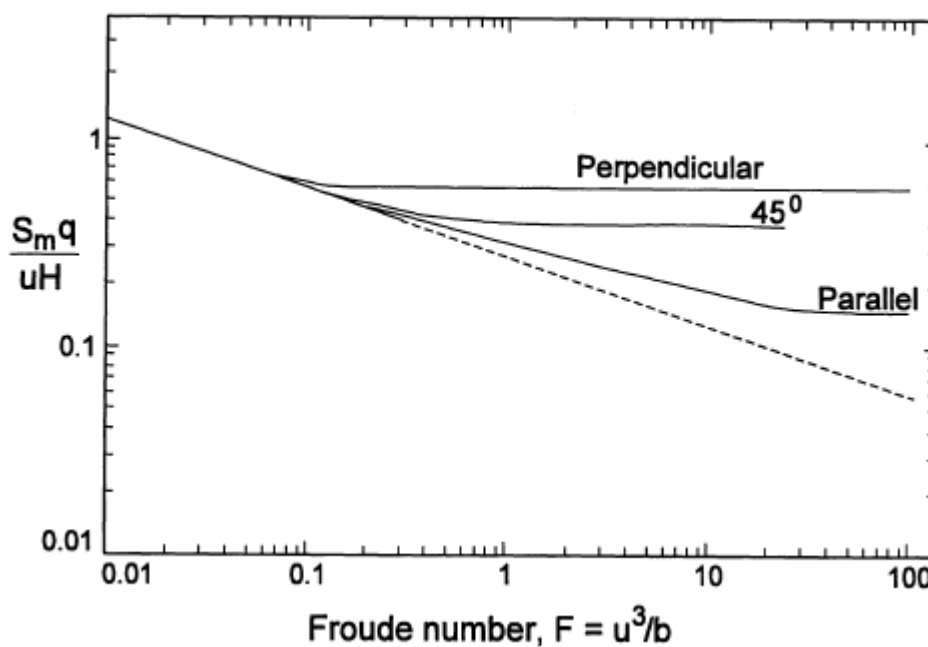
8.3.3. Razrjeđenje u bliskoj zoni nestratificiranog stupca morske vode uz djelovanje morskih struja

Dinamičko djelovanje morskih struja izražava se Frouudovim brojem:

$$F = \frac{u^3}{b} \quad (8.11)$$

gdje je u brzina strujanja. Za $F \leq 1$, dominiraju sile izdizanja, a za $F \geq 1$, dominiraju sile uzgona.

Prisutnost morskih struja implicira uvođenje nove varijable Θ koja predstavlja kut nailaska morske struje u odnosu na os difuzora.



Slika 8.1. Minimalno razrjeđenje u ovisnosti o Froudovom broju i kutu nailaska morske struje u odnosu na os difuzora [17]

Razrjeđenje se računa iz izraza:

$$\frac{S_n q}{uH} = f(F, \Theta) \quad (8.12)$$

8.3.4. Razrjeđenje u bliskoj zoni stratificiranog stupca morske vode bez djelovanja morskih struja

Razrjeđenje je u funkciji karakteristika područja toka efluenta:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = f\left(\frac{l_m}{l_b}, \frac{s}{l_b}\right) \quad (8.13)$$

gdje je:

$$l_m = \frac{m}{b^{2/3}} - \text{dužina zahvaćenog područja pod utjecajem inercijalnih sila (m),} \quad (8.14)$$

$$l_b = \frac{b^{1/3}}{N} - \text{dužina zahvaćenog područja pod utjecajem sila uzgona (m).} \quad (8.15)$$

N predstavlja učestalost uzgona i definira se kao:

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_a} \frac{\Delta\rho_a}{H}} \quad (8.16)$$

gdje je:

$\Delta\rho_a$ - razlika gustoća mora po dubini (kg/m^3),

ρ_a - gustoća mora na dubini difuzora (kg/m^3).

Za tok efluenta nad kojim dominiraju sile izdizanja izraz (8.13) postaje:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = f\left(\frac{s}{l_b}\right) \quad (8.17)$$

Ako je odnos $s/l_b < 0.3$, ispuštanje je linijsko i vrijedi izraz za razrjeđenje:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = 0.97. \quad (8.18)$$

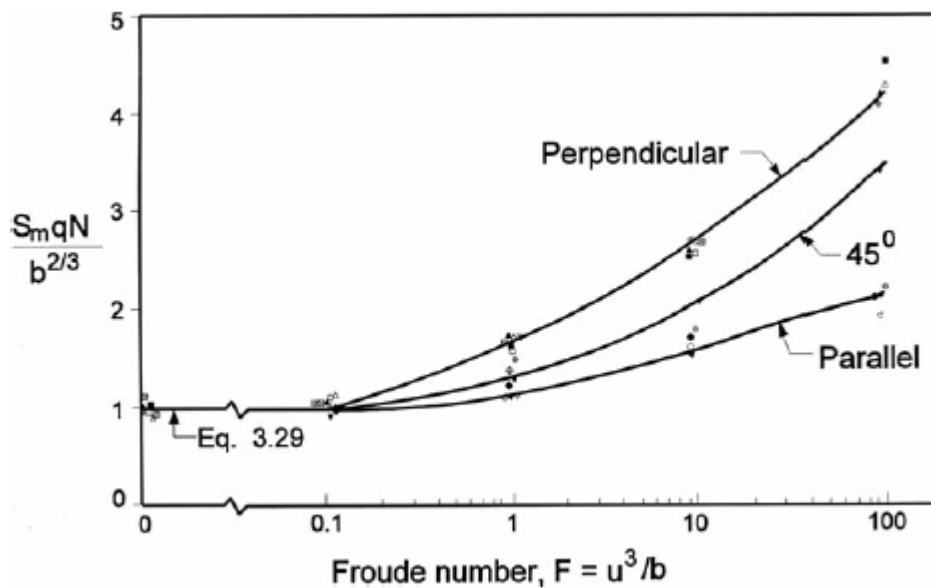
Za odnos $s/l_b > 1.92$ ispuštanje je točkasto, a asimptotsko rješenje za određivanje razrjeđenja daje izraz:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = 0.95 \cdot \left(\frac{s}{l_b}\right)^{-\frac{1}{4}} \quad (8.19)$$

Kako je u konkretnom slučaju $s/l_b \gg 1.92$, ispuštanje je klasificirano kao točkasto. U izostanku morske struje, susjedni mlazovi efluenta se ne spajaju prije nego dosegnu

horizontalni tok. Širenjem efluenta formira se lateralno homogeni sloj zagađenja u blizini difuzora.

8.3.5. Razrjeđenje u bliskoj zoni stratificiranog stupca morske vode uz djelovanje morskih struja



Slika 8.2. Minimalno razrjeđenje u ovisnosti o Froudovom broju i kutu nailaska morske struje u odnosu na os difuzora za stratificirani stupac morske vode [17]

Razrjeđenje se određuje iz izraza:

$$\frac{S_n q N}{b^{2/3}} = f(F, \Theta), \quad (8.20)$$

ako vrijedi $l_m/l_b < 0.2$ i $s/l_b < 0.3$

8.3.6. Razrjeđenje u dalekoj zoni uz odumiranje mikroorganizama

Razrjeđenje rasprostiranjem u dalekoj zoni određuje se prema Brooksovom modelu za dominantno strujanje u moru.

Koeficijent rasprostiranja dobije se iz:

$$\varepsilon = \alpha \cdot L^{4/3} \quad (8.21)$$

gdje je:

α - konstanta difuzije = 0.000464 (m^{2/3}/s),

L - dužina difuzora (m).

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

$$k = \frac{1}{T_{90} \log_{10} e} \quad (8.22)$$

Najveća koncentracija koliformnih bakterija u smjeru 'x' jednaka je:

$$c_f(x) = c_n \cdot e^{-kx/u} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{\left(1 + \frac{2}{3}\beta \frac{x}{L}\right)^3 - 1}} \quad (8.23)$$

gdje je:

c_n - koncentracija koliformnih bakterija u otpadnoj vodi nakon razrjeđenja u bliskoj zoni,

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

x - udaljenost proračunskog presjeka od difuzora (m),

$$\operatorname{erf} - \text{funkcija pogreške, } \beta = \frac{12\varepsilon}{uL}. \quad (8.24)$$

Razrjeđenje rasprostiranjem uz uginuće mikroorganizama dobije se iz odnosa:

$$S_f = \frac{c_n}{c_f} \quad (8.25)$$

U slučaju izostanka morskih struja, koncentracija koliformnih bakterija se dobije u ovisnosti o vremenu putovanja efluenta do određene lokacije kao:

$$c_f = c_n \cdot e^{-kt} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{(1+8\alpha L^{-2/3}t)^3 - 1}} \quad (8.26)$$

8.4. Korišteni parametri

Korištene su mjerodavne količine otpadnih voda od 0.32 (m³/s) za ljetni period. Za mjerodavni protok u zimskom periodu usvojeno je 50 % protoka u ljetnom periodu, dakle 0.16 (m³/s).

Sve analize zasnivaju se na početnoj koncentraciji koliformnih bakterija na izlazu iz difuzora od 10⁷/l - 10⁸/l. Prema [8] I. stupnjem pročišćavanja ukloni se 25 % - 75 % koliformnih bakterija. Smanjenjem koncentracije koliforma za odabranih 30 %, početna koncentracija u otpadnoj vodi iznosi 3.5·10⁷ (col/l).

Odabrano vrijeme odumiranja 90 % bakterija je 90 (min) u ljetnom periodu i 150 (min) u zimskom periodu.

U izostanku morskih struja odabrano vrijeme putovanja efluenta do područja izvan kruga oko difuzora radijusa 300 (m) je 120 (min), a do granice obalnog mora 300 (min).

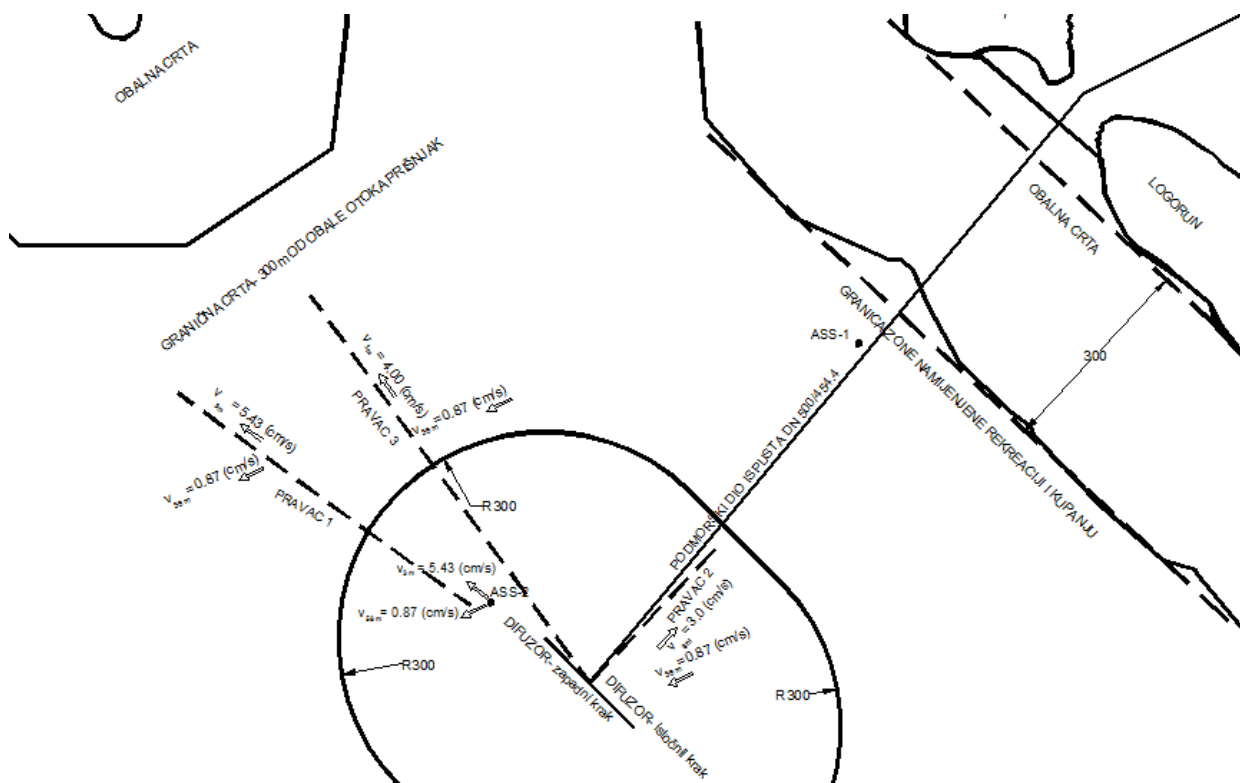
Kako se ispuštanje otpadne vode vrši u praktički otvoreno more, u izostanku podataka o kakvoći recipijenta odabrana koncentracija koliforma u moru prije ispuštanja je 2000 (col/l).

Dužina jedne grane difuzora iznosi 100 (m). Kako se difuzor sastoji od dvije identične grane, ukupna dužina difuzora je 200 (m), a razmak među bočnim otvorima 20 (m). Veličine izlaznih brzina na otvorima difuzora variraju pa je usvojena srednja vrijednost izlazne brzine od 3.86 (m/s) za protok u ljetnom razdoblju. Za mjerodavni protok u zimskom razdoblju srednja vrijednost izlazne brzine je 1.94 (m/s). Dimenzije otvora difuzora također variraju pa je usvojena srednja vrijednost od 0.137 (m).

Dubina na mjestu difuzora iznosi 62.5 (m n. m.), a na mjestu ispuštanja 61.5 (m n. m.). Gustoće morske vode očitane su iz Slike 3.4. Visina piknokline u ljetnom periodu je 46 m.

U proračunima su analizirana tri slučaja:

- Pramac 1: smjer površinske i pridnene struje je u smjeru rezultantnih vektora na postaji ASS-2. Brzina površinske struje iznosi 5.43 (cm/s), a brzina pridnene struje iznosi 0.87 (cm/s). Dužina puta od sredine difuzora do granice zone kupanja u smjeru pravca 1 iznosi 1103 (m).
- Pramac 2: smjer pridnene struje je u smjeru rezultantnog vektora pridnene struje na postaji ASS-2, a smjer površinske struje je u smjeru pravca 2. Brzina površinske struje je 3.00 (cm/s), a brzina pridnene struje je 0.87 (cm/s). Udaljenost od sredine difuzora do granice zone kupanja u smjeru pravca 2 iznosi 699 (m).
- Pramac 3: smjer pridnene struje je u smjeru rezultantnog vektora pridnene struje na postaji ASS-2, dok je smjer površinske struje u smjeru pravca 3. Brzina površinske struje iznosi 4.00 (cm/s), a brzine pridnene struje iznosi 0.87 (cm/s). Udaljenost od sredine difuzora do granice zone kupanja u smjeru pravca 3 iznosi 846 (m).



Slika 8.3. Shematska situacija akvatorija u zoni podmorskog ispusta

8.5. Rezultati proračuna na udaljenosti 300 (m) od difuzora

U nastavku su tablično prikazane izračunate koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od difuzora za odabrane kombinacije.

Tablica 8.3. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od difuzora za zimski period bez strujanja

Bez stratifikacije i bez strujanja (zima)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	950,08	950,08	950,08
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	1,91	1,91	1,91
Koncentracija koliformnih bakterija	5062,98	5062,98	5062,98

Tablica 8.4. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od difuzora za zimski period uz djelovanje morske struje

Bez stratifikacije i sa strujanjem (zima)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	1272,66	1406,25	1250,00
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	4,60	9,18	7,12
Koncentracija koliformnih bakterija	5978,13	2711,08	3930,07

Tablica 8.5. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od difuzora za ljetni period bez strujanja

Sa stratifikacijom i bez strujanja (ljetno)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	157,32	157,32	157,32
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	1,91	1,91	1,91
Koncentracija koliformnih bakterija	7417,20	7417,20	7417,20

Tablica 8.6. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od difuzora za ljetni period uz djelovanje morske struje

Sa stratifikacijom i sa strujanjem (ljetno)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	262,05	238,23	250,14
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	14,02	53,18	29,87
Koncentracija koliformnih bakterija	9529,34	2762,51	4683,78

U području izvan kruga radijusa 300 m oko difuzora ispusta broj fekalnih koliforma je manji od 1000 u 100 ml za sve promatrane slučajeve. More na tom mjestu odgovara II. vrsti čime je zadovoljen kriterij Državnog plana za zaštitu voda (NN 8/99).

8.6. Rezultati proračuna na udaljenosti 300 (m) od obale

U Tablicama 8.7. - 8.10. prikazane su izračunate koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od obale otoka Prišnjak, Lukovnik i Logorun za odabrane kombinacije.

Tablica 8.7. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od obale za zimski period bez strujanja

Bez stratifikacije i bez strujanja (zima)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	950,08	950,08	950,08
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	4,39	4,39	4,39
Koncentracija koliformnih bakterija	2083,93	2083,93	2083,93

Tablica 8.8. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od obale za zimski period uz djelovanje morske struje

Bez stratifikacije i sa strujanjem (zima)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	1272,66	1406,25	1250,00
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	13,56	12,38	13,85
Koncentracija koliformnih bakterija	2028,33	2010,30	2022,30

Tablica 8.9. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od obale za ljetni period bez strujanja

Sa stratifikacijom i bez strujanja (ljetno)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	157,32	157,32	157,32
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	4,39	4,39	4,39
Koncentracija koliformnih bakterija	2023,53	2023,53	2023,53

Tablica 8.10. Koncentracije koliformnih bakterija na udaljenosti 300 (m) od obale za ljetni period uz djelovanje morske struje

Sa stratifikacijom i sa strujanjem (ljetno)	pravac 1	pravac 2	pravac 3
Početno razrjeđenje	262,05	238,23	250,14
Razrjeđenje difuznim širenjem uz odumiranje koliforma	66,64	73,42	69,86
Koncentracija koliformnih bakterija	2004,30	2001,14	2003,02

Na granici pojasa 300 m od obale otoka Prišnjak, Lukovnik i Logorun postižu se znatno manje koncentracije koliformnih bakterija od graničnih koncentracija prema NN 94/08. Broj koliformnih bakterija manji je od 500 u 100 ml, odnosno 5000 u litri.

8.7. Softverski sustav CORMIX

CORMIX je softverski sustav za analizu, predviđanje i modeliranje zona miješanja koje proizlaze iz ispuštanja otpadnih voda u vodu recipijenta. Iako je glavni naglasak sustava na predviđanju geometrijskih karakteristika oblaka zagađenja i karakteristika razrjeđenja u zonama miješanja, sustav predviđa i ponašanje oblaka zagađenja na većim udaljenostima od difuzora. CORMIX sadrži sustave koji pružaju vizualizaciju zona miješanja, kao i alate za specifikaciju ispusta. [19]

Ulazni podaci podijeljeni su u četiri grupe: podaci o recipijentu, podaci o ispuštanju, karakteristike efluenta i podaci o zoni miješanja. Za pružanje kompletne analize, model klasificira tok bazirajući se na poznatim odnosima između protoka i određenih fizičkih parametara. Izlazni dokument daje detaljne numeričke prognoze o geometriji oblaka efluenta i čini osnovu za daljnju analizu, pregled, evaluaciju i grafički prikaz putanje efluenta. Izlazni dokument sadrži informacije o x-y-z koordinatama položaja oblaka efluenta, kao i pripadajuće veličine razrjeđenja. Model također razgraničava blisku i daleku zonu miješanja, a razrjeđenje daje kao omjer početne koncentracije koliformnih bakterija i koncentracije na ispitanoj lokaciji.

Idealiziranje prikaza geometrije recipijenta, prikaza morskih struja i stratifikacije predstavlja glavno ograničenje sustava. Također, u obzir se ne uzima razina ambijentalnog onečišćenja.

Izostanak morskih struja može izazvati podizanje oblaka zagađenja u bliskoj zoni zbog čega razrjeđenje uvelike ovisi o lokalnoj geometriji okoline. U takvim slučajevima nema

općenitog pristupa za utvrđivanje daleke zone miješanja pa CORMIX zaustavlja predviđanja u bliskoj zoni. Stoga je u CORMIXU provedena analiza razrjeđenja u zimskom i ljetnom periodu u smjeru pravca 1 za najveću izmjerenu brzinu morske struje u iznosu od 5.43 (cm/s).

Korišten je model CORMIX2 za analizu ispuštanja otpadne vode kroz više otvora difuzora. CORMIX ne daje mogućnost grananja difuzora pa je difuzor aproksimiran jednom granom dužine 200 (m). Također, model ne podržava kombinaciju bočnih otvora i čeonog otvora na difuzoru. Kako je difuzor projektiran s četiri bočna i jednim čeonim otvorom na svakoj grani, tako da na čeonom otvoru protječe trostruko veći protok u odnosu na bočne otvore, difuzor je modeliran s četrnaest bočnih otvora na razmacima 15.38 (m).

Ostali ulazni podaci su analogni onima u poglavlju 8.4. ovog rada.

Postprocesor CorVue korišten je za predviđanje ponašanja oblaka zagađenja, trajektorije efluenta i karakteristika razrjeđenja.

8.7.1. Rezultati proračuna za zimski period

Slijedi prikaz izlaznog dokumenta koji daje podatke o ulaznim parametarima i izračunatim karakteristikama toka u zimskom razdoblju.

SUMMARY OF INPUT DATA:

----- AMBIENT PARAMETERS:

Cross-section		= unbounded
Average depth	HA	= 62.5 m
Depth at discharge	HD	= 61.5 m
Ambient velocity	UA	= 0.0543 m/s
Darcy-Weisbach friction factor	F	= 0.025
Wind velocity	UW	= 2 m/s
Stratification Type	STRCND	= U
Surface density	RHOAS	= 1028 kg/m ³
Bottom density	RHOAB	= 1028 kg/m ³

DISCHARGE PARAMETERS:

	Submerged Multiport Diffuser Discharge	
Diffuser type	DITYPE = alternating perpendicular	
Diffuser length	LD	= 200 m
Nearest bank		= right
Diffuser endpoints	YB1	= 1714.5 m; YB2 = 1914.5 m
Number of openings	NOPE	= 14
Number of Risers	NRISER	= 14
Ports/Nozzles per Riser	NPPERR	= 1
Spacing between risers/openings	SPAC	= 15.38 m

Equivalent slot width	B0	= 0.0008 m
Total area of openings	TA0	= 0.1531 m ²
Discharge velocity	U0	= 1.05 m/s
Total discharge flowrate	Q0	= 0.16 m ³ /s
Discharge port height	H0	= 1 m
Nozzle arrangement	BETYPE	= alternating without fanning
Diffuser alignment angle	GAMMA	= 90 deg
Vertical discharge angle	THETA	= 90 deg
Actual Vertical discharge angle	THEAC	= 90 deg
Horizontal discharge angle	SIGMA	= 0 deg
Relative orientation angle	BETA	= 90 deg
Discharge density	RHO0	= 995 kg/m ³
Density difference	DRHO	= 33 kg/m ³
Buoyant acceleration	GP0	= 0.3148 m/s ²
Discharge concentration	C0	= 35000000 bacteria-counts
Surface heat exchange coeff.	KS	= 0 m/s
Coefficient of decay	KD	= 0.000256 /s

FLUX VARIABLES PER UNIT DIFFUSER LENGTH:

Discharge (volume flux)	q0	= 0.0008 m ² /s
Momentum flux	m0	= 0.000836 m ³ /s ²
Buoyancy flux	j0	= 0.000252 m ³ /s ³

NON-DIMENSIONAL PARAMETERS:

Slot Froude number	FR0	= 67.32
Port/nozzle Froude number	FRD0	= 5.42
Velocity ratio	R	= 19.25

MIXING ZONE / TOXIC DILUTION ZONE / AREA OF INTEREST PARAMETERS:

Toxic discharge		= no
Water quality standard specified		= yes
Water quality standard	CSTD	= 5000 bacteria-counts
Regulatory mixing zone		= no
Region of interest		= 3500 m downstream

HYDRODYNAMIC CLASSIFICATION:

| FLOW CLASS = MU1H |

This flow configuration applies to a layer corresponding to the full water depth at the discharge site.
Applicable layer depth = water depth = 61.5 m

U nastavku su prikazane veličine razrjeđenja i koncentracije koliformnih bakterija po trajektoriji toka za odgovarajuću lokaciju. Ishodište koordinatnog sustava je na sredini difuzora. X os postavljena je okomito na os difuzora, os Y prolazi uzduž osi difuzora, a na osi Z naznačene su dubine mjerene od morskog dna prema površini. S predstavlja minimalno središnje razrjeđenje, a C koncentraciju. Vrijednosti BV i BH odnose se na debljinu i širinu

zahvaćenog sloja, a U_c je središnja brzina toka efluenta. TT je ukupno vrijeme putovanja čestice središnjom putanjom od izvora do tražene lokacije.

Model razgraničava predviđanja prije i nakon spajanja individualnih mlazova. U konkretnom slučaju do spajanja susjednih mlazove došlo je na udaljenosti 55.29 (m) od difuzora i na dubini 35.10 (m) od morskog dna.

CCC predstavlja propisanu graničnu vrijednost koncentracije koliformnih bakterija. Zadana vrijednost CCC je 5000 (col/l) koju je prema [5] potrebno zadovoljiti na udaljenosti 300 (m) od obale otoka. Model registrira najbližu zadovoljavajuću vrijednost koncentracije, ovisno o zadanom broju intervala, te daje informacije o pripadajućoj lokaciji, geometriji i karakteristikama efluenta.

Lokacija na kojoj je registrirana koncentracija od 5000 (col/l) ima sljedeće karakteristike:

$$X = 118.86 \text{ (m)}$$

$$Y = 0.0 \text{ (m)}$$

$$Z = 61.5 \text{ (m)}$$

$$S = 4974.4$$

$$C = 5000.0 \text{ (col)}$$

$$BH = \text{pola horizontalne širine sloja} = 129.39 \text{ (m)}$$

$$BV = \text{vertikalna debljina sloja} = 56.72 \text{ (m)}$$

Sustav nastavlja prognozu karakteristika efluenta do udaljenosti 3500 (m) od difuzora.

Profile definitions:

BV = Gaussian 1/e (37%) half-width, in vertical plane normal to trajectory

BH = before merging: Gaussian 1/e (37%) half-width in horizontal plane
normal to trajectory

after merging: top-hat half-width in horizontal plane
parallel to diffuser line

S = hydrodynamic centerline dilution

C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

Uc = Local centerline excess velocity (above ambient)

TT = Cumulative travel time

X	Y	Z	S	C	BV	BH	Uc	TT
Individual jet/plumes before merging:								
0.01	0.00	1.49	1.0	0.350E+08	0.06	0.06	1.045	.00000E+00
0.01	0.00	1.49	1.0	0.350E+08	0.06	0.06	1.045	.67829E-03
1.39	0.00	6.47	36.3	0.962E+06	0.81	0.81	0.290	.11558E+02
3.91	0.00	11.02	114.8	0.302E+06	1.59	1.59	0.206	.31041E+02
7.23	0.00	15.00	225.3	0.153E+06	2.34	2.34	0.160	.55198E+02
11.25	0.00	18.30	357.0	0.960E+05	3.03	3.03	0.130	.83289E+02
15.74	0.00	20.92	496.9	0.684E+05	3.66	3.66	0.110	.11463E+03
20.48	0.00	23.05	638.3	0.528E+05	4.22	4.22	0.099	.14852E+03
25.32	0.00	24.97	785.0	0.425E+05	4.75	4.75	0.091	.18438E+03
30.20	0.00	26.77	939.3	0.352E+05	5.26	5.26	0.085	.22190E+03
35.11	0.00	28.51	1101.8	0.297E+05	5.75	5.75	0.080	.26088E+03
40.04	0.00	30.19	1272.4	0.255E+05	6.24	6.24	0.076	.30118E+03
44.98	0.00	31.82	1450.9	0.221E+05	6.72	6.72	0.072	.34269E+03
49.93	0.00	33.41	1637.1	0.194E+05	7.19	7.19	0.069	.38531E+03
54.89	0.00	34.97	1830.7	0.171E+05	7.66	7.66	0.066	.42895E+03
Merging of individual jet/plumes to form plane jet/plume:								
55.29	0.00	35.10	2292.6	0.137E+05	9.64	109.64	0.047	.43249E+03
64.88	0.00	37.92	2623.9	0.116E+05	11.08	111.08	0.045	.53450E+03
69.88	0.00	39.34	2791.5	0.108E+05	11.82	111.82	0.045	.58786E+03
74.89	0.00	40.75	2957.9	0.100E+05	12.54	112.54	0.045	.64135E+03
79.90	0.00	42.16	3124.0	0.938E+04	13.27	113.27	0.045	.69503E+03
84.91	0.00	43.57	3290.2	0.878E+04	13.99	113.99	0.045	.74871E+03
89.92	0.00	44.98	3456.5	0.825E+04	14.71	114.71	0.044	.80237E+03
Cumulative travel time =			802.3732 sec (0.22 hrs)					

END OF CORJET (MOD110): JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION

BEGIN MOD235: LAYER/BOUNDARY/TERMINAL LAYER APPROACH

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL	TT
75.21	0.00	61.50	3456.5	0.825E+04	0.00	0.00	61.50	61.50	.80237E+03
84.03	0.00	61.50	3456.5	0.825E+04	42.32	57.88	61.50	19.18	.80237E+03
92.86	0.00	61.50	3516.4	0.799E+04	49.70	127.41	61.50	11.80	.85657E+03
101.69	0.00	61.50	4179.6	0.645E+04	53.83	128.11	61.50	7.67	.10191E+04
110.52	0.00	61.50	4770.8	0.542E+04	56.05	128.78	61.50	5.45	.11817E+04

** WATER QUALITY STANDARD OR CCC HAS BEEN FOUND **

The pollutant concentration in the plume falls below water quality standard
or CCC value of 0.500E+04 in the current prediction interval.

This is the spatial extent of concentrations exceeding the water quality
standard or CCC value.

119.34	0.00	61.50	4986.2	0.498E+04	56.76	129.43	61.50	4.74	.13443E+04
Cumulative travel time =			1344.2937 sec (0.37 hrs)						

END OF MOD235: LAYER/BOUNDARY/TERMINAL LAYER APPROACH

** End of NEAR-FIELD REGION (NFR) **

BEGIN MOD241: BUOYANT AMBIENT SPREADING

Plume Stage 1 (not bank attached):

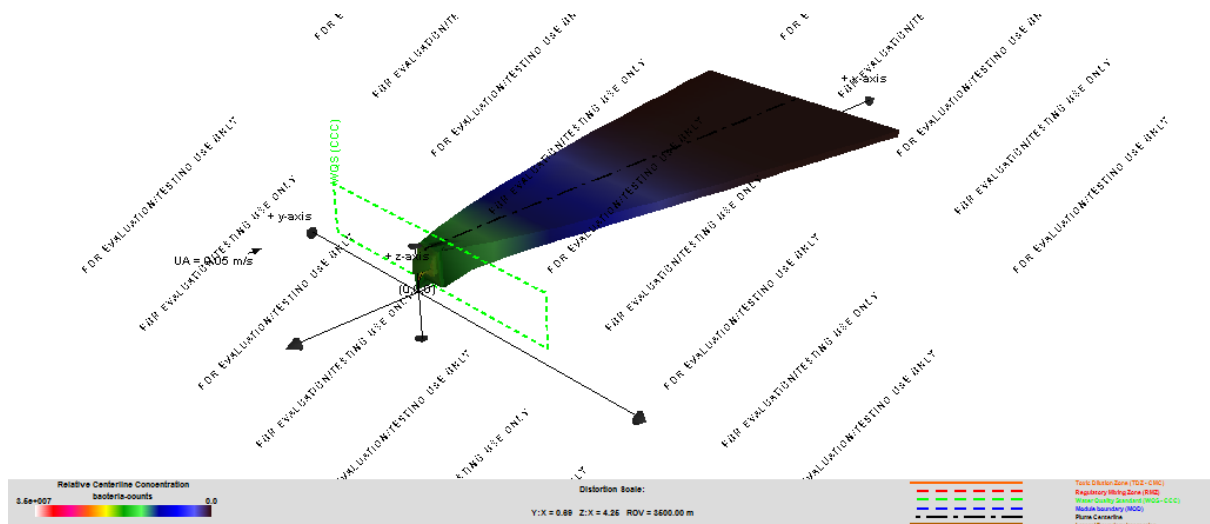
X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL	TT
119.34	0.00	61.50	4986.2	0.498E+04	56.76	129.43	61.50	4.74	.13443E+04
288.38	0.00	61.50	5821.0	0.192E+04	35.74	239.98	61.50	25.76	.44572E+04
457.41	0.00	61.50	6301.8	0.800E+03	28.25	328.70	61.50	33.25	.75702E+04
626.44	0.00	61.50	6652.6	0.341E+03	24.11	406.56	61.50	37.39	.10683E+05
795.48	0.00	61.50	6934.7	0.148E+03	21.40	477.42	61.50	40.10	.13796E+05
964.51	0.00	61.50	7174.4	0.643E+02	19.46	543.24	61.50	42.04	.16909E+05
1133.54	0.00	61.50	7385.7	0.282E+02	17.98	605.17	61.50	43.52	.20022E+05
1302.57	0.00	61.50	7577.0	0.124E+02	16.81	663.98	61.50	44.69	.23135E+05
1471.61	0.00	61.50	7753.6	0.545E+01	15.86	720.17	61.50	45.64	.26248E+05
1640.64	0.00	61.50	7919.4	0.240E+01	15.07	774.16	61.50	46.43	.29361E+05
1809.67	0.00	61.50	8077.2	0.106E+01	14.40	826.22	61.50	47.10	.32474E+05
1978.70	0.00	61.50	8228.8	0.470E+00	13.83	876.59	61.50	47.67	.35587E+05
2147.74	0.00	61.50	8376.0	0.208E+00	13.33	925.46	61.50	48.17	.38700E+05
2316.77	0.00	61.50	8520.0	0.922E-01	12.90	972.99	61.50	48.60	.41813E+05
2485.80	0.00	61.50	8661.9	0.409E-01	12.52	1019.29	61.50	48.98	.44925E+05
2654.84	0.00	61.50	8802.3	0.181E-01	12.18	1064.48	61.50	49.32	.48038E+05
2823.87	0.00	61.50	8942.1	0.805E-02	11.88	1108.65	61.50	49.62	.51151E+05
2992.90	0.00	61.50	9081.9	0.357E-02	11.62	1151.87	61.50	49.88	.54264E+05
3161.93	0.00	61.50	9222.0	0.159E-02	11.38	1194.22	61.50	50.12	.57377E+05
3330.97	0.00	61.50	9363.1	0.704E-03	11.16	1235.76	61.50	50.34	.60490E+05
3500.00	0.00	61.50	9505.5	0.312E-03	10.97	1276.54	61.50	50.53	.63603E+05

Cumulative travel time = 63603.1406 sec (17.67 hrs)

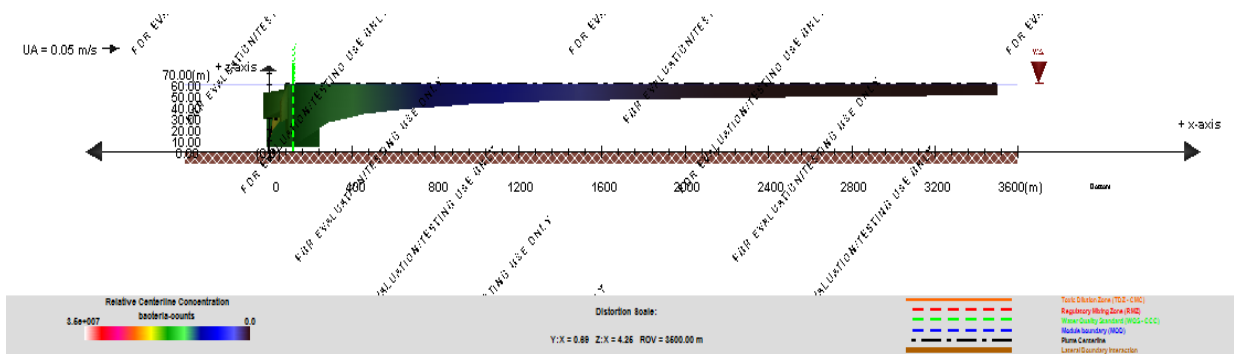
Simulation limit based on maximum specified distance = 3500.00 m.
This is the REGION OF INTEREST limitation.

END OF MOD241: BUOYANT AMBIENT SPREADING

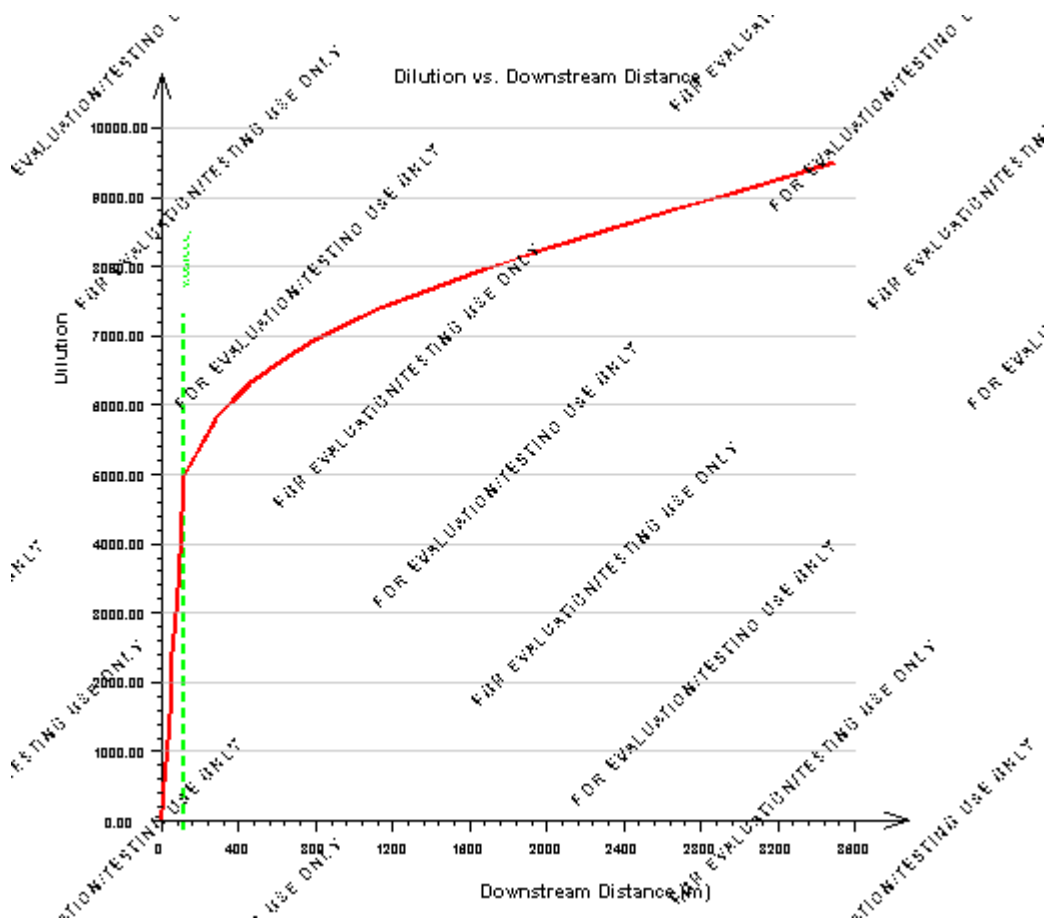
CORMIX2: Multiport Diffuser Discharges End of Prediction File



Slika 8.4. 3D prikaz idealiziranog oblaka efluenta u zimskom periodu



Slika 8.5. Uzdužni pogled na idealizirani oblaka efluenta u zimskom periodu



Slika 8.6. Veličine razrjeđenja s udaljenošću od difuzora za zimski period u smjeru pravca 1

U blizini difuzora razrjeđenje se naglo povećava sve dok ne dođe do disipacije kinetičke energije. Ista zakonitost uočava se na Slici 8.6. dobivenoj koristeći postprocesor CorVue.

8.7.1. Rezultati proračuna za ljetni period

Slijedi pregled ulaznih parametara i izračunatih karakteristika toka u ljetnom razdoblju:

SUMMARY OF INPUT DATA:

AMBIENT PARAMETERS:

Cross-section		= unbounded
Average depth	HA	= 62.5 m
Depth at discharge	HD	= 61.5 m
Ambient velocity	UA	= 0.0543 m/s
Darcy-Weisbach friction factor	F	= 0.025
Wind velocity	UW	= 2 m/s
Stratification Type	STRCND	= B
Surface density	RHOAS	= 1026 kg/m ³
Bottom density	RHOAB	= 1028 kg/m ³
Stratification height	HINT	= 46 m (pycnocline level)
Density below pycnocline	RHOAP	= 1028 kg/m ³

DISCHARGE PARAMETERS:

	Submerged Multiport Diffuser Discharge	
Diffuser type	DITYPE = alternating perpendicular	
Diffuser length	LD	= 200 m
Nearest bank	= right	
Diffuser endpoints	YB1	= 1714.5 m; YB2 = 1914.5 m
Number of openings	NOPEN	= 14
Number of Risers	NRISER	= 14
Ports/Nozzles per Riser	NPPERR	= 1
Spacing between risers/openings	SPAC	= 15.38 m
Discharge velocity	U0	= 2.09 m/s
Total discharge flowrate	Q0	= 0.32 m ³ /s
Discharge port height	H0	= 1 m
Nozzle arrangement	BETYPE = alternating without fanning	
Diffuser alignment angle	GAMMA	= 90 deg
Vertical discharge angle	THETA	= 90 deg
Actual Vertical discharge angle	THEAC	= 90 deg
Horizontal discharge angle	SIGMA	= 0 deg
Relative orientation angle	BETA	= 90 deg
Discharge density	RHO0	= 995 kg/m ³
Density difference	DRHO	= 33 kg/m ³
Buoyant acceleration	GPO	= 0.3148 m/s ²
Discharge concentration	C0	= 35000000 bacteria-counts
Surface heat exchange coeff.	KS	= 0 m/s
Coefficient of decay	KD	= 0.000426 /s

FLUX VARIABLES PER UNIT DIFFUSER LENGTH:

Discharge (volume flux)	q0	= 0.0016 m ² /s
Momentum flux	m0	= 0.003344 m ³ /s ²
Buoyancy flux	j0	= 0.000504 m ³ /s ³

```

MIXING ZONE / TOXIC DILUTION ZONE / AREA OF INTEREST PARAMETERS:
Toxic discharge = no
Water quality standard specified = yes
Water quality standard CSTD = 5000 bacteria-counts
Regulatory mixing zone = yes
Regulatory mixing zone specification = distance
Regulatory mixing zone value = 700 m (m^2 if area)
Region of interest = 3500 m

```

HYDRODYNAMIC CLASSIFICATION:

```

*-----*
| FLOW CLASS = MU1H |
*-----*

```

This flow configuration applies to a layer corresponding to lower stratified density layer at the discharge site. The density jump at the pycnocline confines the flow to the lower layer.

Applicable layer depth = lower layer depth = 46 m

U nastavku su prikazane veličine razrjeđenja i koncentracija koliformnih bakterija po trajektoriji toka za odgovarajuću lokaciju.

Koncentracija od 5000 (col/l) zabilježena je na lokaciji koja ima sljedeće karakteristike:

$$X = 224.97 \text{ (m)}$$

$$Y = 0.0 \text{ (m)}$$

$$Z = 46.0 \text{ (m)}$$

$$S = 1471.1$$

$$C = 5000.0 \text{ (col)}$$

$$BH = \text{pola horizontalne širine sloja} = 267.17 \text{ (m)}$$

$$BV = \text{vertikalna debljina sloja} = 16.24 \text{ (m)}$$

X	Y	Z	S	C	BV	BH	Uc	TT
Individual jet/plumes before merging:								
0.00	0.00	1.54	1.0	0.350E+08	0.06	0.06	2.090	.00000E+00
0.00	0.00	1.54	1.0	0.350E+08	0.06	0.06	2.090	.33899E-03
0.15	0.00	3.42	4.8	0.734E+07	0.27	0.27	0.808	.15638E+01
0.49	0.00	5.29	11.2	0.313E+07	0.48	0.48	0.565	.44029E+01
0.95	0.00	7.12	20.0	0.174E+07	0.70	0.70	0.467	.80301E+01
1.50	0.00	8.93	30.8	0.113E+07	0.91	0.91	0.416	.12191E+02
2.11	0.00	10.72	43.4	0.800E+06	1.12	1.12	0.379	.16762E+02
2.79	0.00	12.49	58.0	0.598E+06	1.34	1.34	0.349	.21698E+02
3.55	0.00	14.22	74.6	0.464E+06	1.56	1.56	0.325	.26979E+02
4.38	0.00	15.92	93.1	0.371E+06	1.78	1.78	0.303	.32587E+02
5.30	0.00	17.57	113.7	0.303E+06	2.00	2.00	0.283	.38523E+02
6.30	0.00	19.18	136.4	0.252E+06	2.23	2.23	0.265	.44789E+02
7.40	0.00	20.72	161.0	0.213E+06	2.46	2.46	0.248	.51374E+02
8.58	0.00	22.20	187.5	0.182E+06	2.69	2.69	0.233	.58283E+02
9.84	0.00	23.61	215.7	0.158E+06	2.93	2.93	0.219	.65516E+02
11.19	0.00	24.94	245.5	0.138E+06	3.16	3.16	0.206	.73069E+02
12.62	0.00	26.18	276.5	0.122E+06	3.39	3.39	0.194	.80939E+02
14.11	0.00	27.34	308.6	0.109E+06	3.62	3.62	0.183	.89119E+02
15.67	0.00	28.42	341.2	0.984E+05	3.84	3.84	0.174	.97595E+02
17.27	0.00	29.43	374.3	0.894E+05	4.06	4.06	0.167	.10634E+03
18.90	0.00	30.40	408.1	0.817E+05	4.28	4.28	0.160	.11535E+03
20.55	0.00	31.32	442.4	0.750E+05	4.49	4.49	0.155	.12459E+03
22.21	0.00	32.22	477.5	0.692E+05	4.70	4.70	0.150	.13405E+03
23.90	0.00	33.09	513.2	0.641E+05	4.90	4.90	0.145	.14372E+03
25.59	0.00	33.94	549.7	0.596E+05	5.11	5.11	0.141	.15360E+03
27.29	0.00	34.77	586.9	0.556E+05	5.31	5.31	0.137	.16367E+03
28.99	0.00	35.59	624.8	0.520E+05	5.51	5.51	0.134	.17392E+03
30.71	0.00	36.39	663.6	0.488E+05	5.71	5.71	0.131	.18435E+03
32.43	0.00	37.18	703.1	0.458E+05	5.91	5.91	0.128	.19496E+03
34.15	0.00	37.97	743.3	0.431E+05	6.11	6.11	0.125	.20573E+03
35.88	0.00	38.74	784.3	0.407E+05	6.30	6.30	0.122	.21665E+03
37.61	0.00	39.50	826.1	0.384E+05	6.50	6.50	0.120	.22774E+03
Cumulative travel time =			227.7361 sec (0.06 hrs)					
Merging of individual jet/plumes not found in this module, but interaction will occur in following module. Overall jet/plume interaction dimensions:								
37.61	0.00	39.50	826.1	0.384E+05	6.50	100.06	0.120	.22774E+03

END OF CORJET (MOD110): JET/PLUME NEAR-FIELD MIXING REGION

 BEGIN MOD235: LAYER/BOUNDARY/TERMINAL LAYER APPROACH

X	Y	Z	S	C	BV	BH	ZU	ZL	TT
50.61	0.00	46.00	1168.3	0.246E+05	32.31	106.56	46.46	14.15	.46705E+03
165.59	0.00	46.00	1400.7	0.831E+04	18.78	219.76	46.26	27.48	.25845E+04
** WATER QUALITY STANDARD OR CCC HAS BEEN FOUND **									
The pollutant concentration in the plume falls below water quality standard or CCC value of 0.500E+04 in the current prediction interval.									
This is the spatial extent of concentrations exceeding the water quality standard or CCC value.									
280.57	0.00	46.00	1525.2	0.310E+04	14.58	308.14	46.21	31.62	.47020E+04
395.55	0.00	46.00	1613.9	0.119E+04	12.35	384.98	46.17	33.82	.68195E+04
510.53	0.00	46.00	1684.2	0.462E+03	10.92	454.55	46.15	35.24	.89370E+04
625.51	0.00	46.00	1743.2	0.181E+03	9.90	518.92	46.14	36.24	.11055E+05

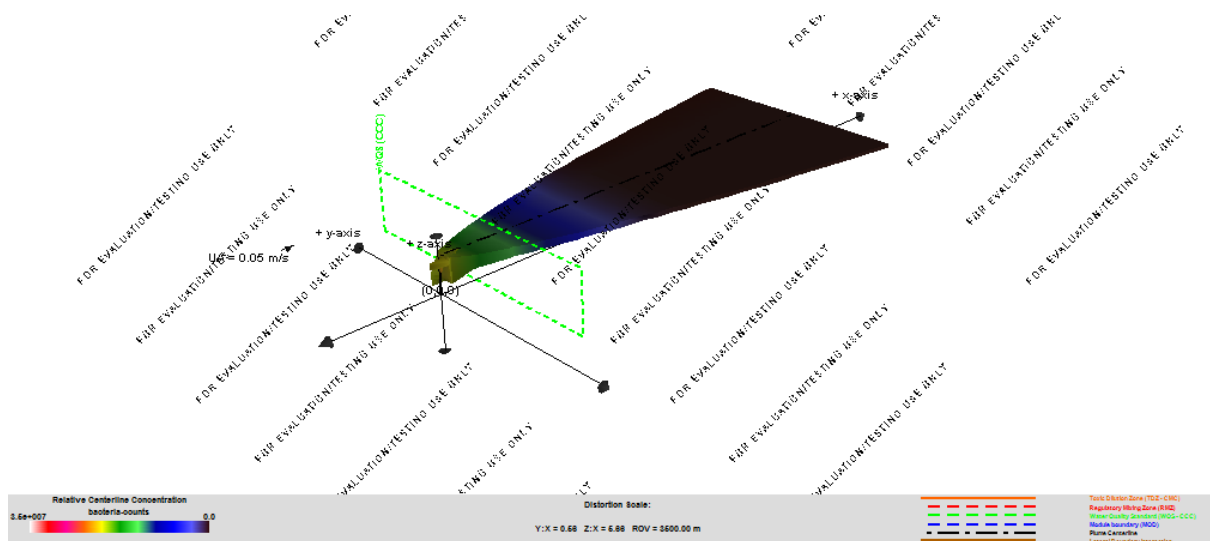
This is the extent of the REGULATORY MIXING ZONE.

740.49	0.00	46.00	1794.6	0.713E+02	9.13	579.32	46.13	37.00	.13172E+05
855.47	0.00	46.00	1840.6	0.282E+02	8.52	636.51	46.12	37.60	.15289E+05
970.44	0.00	46.00	1882.6	0.112E+02	8.03	691.04	46.11	38.09	.17407E+05
1085.42	0.00	46.00	1921.5	0.445E+01	7.62	743.32	46.11	38.49	.19524E+05
1200.40	0.00	46.00	1958.1	0.177E+01	7.27	793.64	46.10	38.83	.21642E+05
1315.38	0.00	46.00	1992.8	0.706E+00	6.97	842.23	46.10	39.13	.23759E+05
1430.36	0.00	46.00	2026.0	0.282E+00	6.71	889.30	46.09	39.38	.25877E+05
1545.34	0.00	46.00	2058.0	0.113E+00	6.49	934.99	46.09	39.61	.27994E+05
1660.32	0.00	46.00	2089.1	0.450E-01	6.29	979.43	46.09	39.80	.30112E+05
1775.30	0.00	46.00	2119.6	0.180E-01	6.11	1022.73	46.09	39.98	.32229E+05
1890.28	0.00	46.00	2149.4	0.720E-02	5.95	1064.99	46.08	40.14	.34347E+05
2005.26	0.00	46.00	2178.9	0.288E-02	5.80	1106.29	46.08	40.28	.36464E+05
2120.24	0.00	46.00	2208.0	0.115E-02	5.67	1146.69	46.08	40.41	.38582E+05
2235.22	0.00	46.00	2237.0	0.462E-03	5.56	1186.27	46.08	40.52	.40699E+05
2350.20	0.00	46.00	2265.9	0.185E-03	5.45	1225.06	46.08	40.63	.42817E+05
2465.18	0.00	46.00	2294.8	0.741E-04	5.35	1263.13	46.08	40.72	.44934E+05
2580.16	0.00	46.00	2323.7	0.297E-04	5.26	1300.51	46.07	40.81	.47052E+05
2695.14	0.00	46.00	2352.7	0.119E-04	5.18	1337.25	46.07	40.89	.49169E+05
2810.12	0.00	46.00	2381.9	0.477E-05	5.11	1373.37	46.07	40.96	.51287E+05
2925.10	0.00	46.00	2411.3	0.191E-05	5.04	1408.93	46.07	41.03	.53404E+05
3040.08	0.00	46.00	2440.9	0.766E-06	4.98	1443.93	46.07	41.09	.55522E+05
3155.06	0.00	46.00	2470.8	0.307E-06	4.92	1478.42	46.07	41.14	.57639E+05
3270.04	0.00	46.00	2501.1	0.123E-06	4.87	1512.41	46.07	41.20	.59757E+05
3385.02	0.00	46.00	2531.8	0.494E-07	4.83	1545.93	46.07	41.24	.61874E+05
3500.00	0.00	46.00	2562.8	0.198E-07	4.78	1579.00	46.07	41.28	.63992E+05

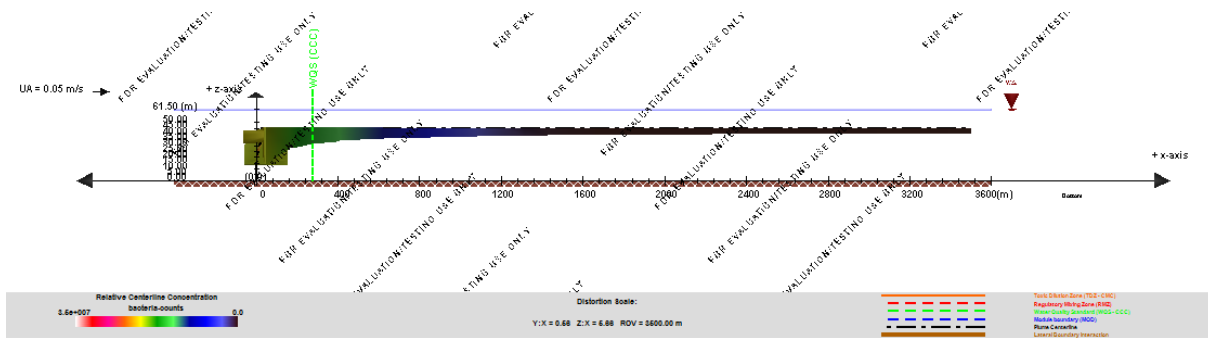
Cumulative travel time = 63991.7891 sec (17.78 hrs)

Simulation limit based on maximum specified distance = 3500.00 m.

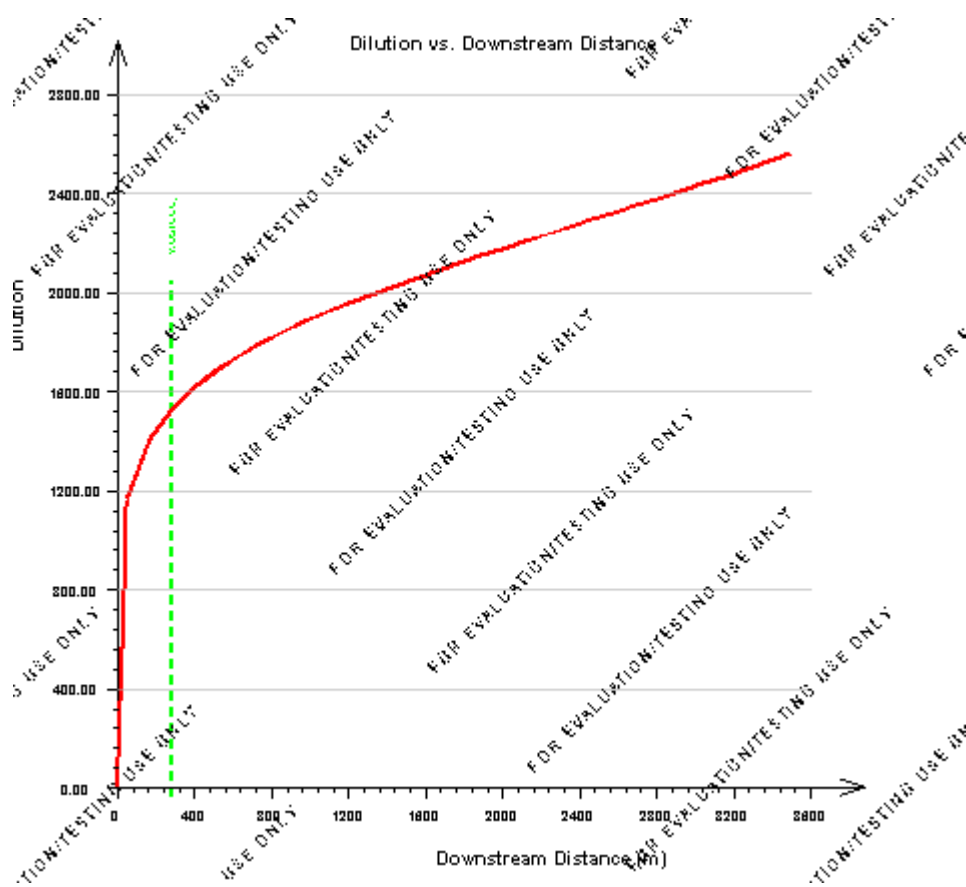
This is the REGION OF INTEREST limitation.



Slika 8.7. 3D prikaz idealiziranog oblaka efluenta u ljetnom periodu



Slika 8.8. Uzdužni pogled na idealizirani oblaka efluenta u ljetnom periodu



Slika 8.9. Veličine razrjeđenja s udaljenošću od difuzora za ljetni period u smjeru pravca 1

8.8. Diskusija

Proveden je proračun koncentracija koliformnih bakterija za tri slučaja, u smjeru tri pravca s različitim brzinama i smjerovima morskih struja. Zbog vektora brzine morske struje koji je paralelan s osi difuzora, koncentracije u smjeru pravca 1 su se pokazale kao najkritičnije.

U smjeru pravca 1 izvršena je analiza razrjeđenja u zimskom i ljetnom periodu koristeći programski softver CORMIX.

U nastavku je tablično prikazana usporedba koncentracija dobivenih proračunom iz poglavlja 8.3. s koncentracijama dobivenih CORMIX - om u smjeru pravca 1 za različite udaljenosti od difuzora.

Tablica 8.11. Usporedba koncentracija u zimskom periodu

Zimski period			
Udaljenost od difuzora (m)	Dubina (m n. m.)	Koncentracije (col/l)	
		Proračun	CORMIX
11,25	44,20	105415	96000
40,04	30,19	48551	25500
118,86	1,00	19318	5000
457,41	1,00	3361	800
964,51	1,00	2063	64

Tablica 8.12. Usporedba koncentracija u ljetnom periodu

Ljetni period			
Udaljenost od difuzora (m)	Dubina (m n. m.)	Koncentracije (col/l)	
		Proračun	CORMIX
11,19	37,56	488355	138000
42,81	16,50	190154	30900
224,97	16,50	18670	5000
395,55	16,50	4874	1190
970,44	16,50	2014	11,2

Početna koncentracija koliformnih bakterija u otpadnoj vodi je 35 000 000 (col/l).

Iz Tablice 8.11. uočava se znatno početno razrjeđenje u oba slučaja koje rezultira koncentracijama od 105 415 (col/l) i 96 000 (col/l) na udaljenosti 11.25 (m) od difuzora. CORMIX daje nešto niže vrijednosti koncentracija, a razlog tomu može biti u samoj metodologiji modela. Naime, osnovni princip modela je niz jednostavnih simulacija modula koji zajedno predviđaju putanju i karakteristike efluenta koristeći konačne vrijednosti prethodnog modula kao početne uvjete. Za razliku od klasičnog proračuna, CORMIX postepeno integrira masu, energiju i ostale karakteristike efluenta po trajektoriji toka ovisno o broju zadanih koraka. Isto tako, razlog nižih koncentracija u CORMIX – u može se potražiti i u konstruktivnim elementima difuzora. Model raspoređuje bočne otvore na manjim razmacima pa može doći do bržeg spajanja susjednih mlazova, što u konačnici pospješuje razrjeđenje u bliskoj zoni. Također, CORMIX ne uzima u obzir koncentraciju bakterija u recipijentu prije ispuštanja otpadne vode.

Kako stupac morske vode u zimskom razdoblju nije stratificiran, oblak efluenta se izdiže do površine. Ljeti se ispušta dvostruko veća količina otpadne vode u odnosu na zimski period. Izlazne brzine na difuzoru su također veće ljeti pa su sile izdizanja i inercije dominantnije. Međutim, izdizanje efluenta je zaustavljeno formiranim slojem piknokline na dubini od 16.50 (m n. m.). Manje je područje za odvijanje difuzije pa su i koncentracije u bliskoj zoni ljeti veće u odnosu na zimski period. Ljeti je u dalekoj zoni razrjeđenje veće nego zimi zbog kraćeg vremena odumiranja bakterija.

Oba proračuna zadovoljavaju koncentracije koliformnih bakterija propisane u [4], [5] i [6]. Koncentracije su manje od 10 000 (col/l) na udaljenosti 300 (m) od difuzora i manje od 2000 (col/l) na udaljenosti 300 (m) od obale.

Za usporedbu veličina razrjeđenja u nestratificiranom stupcu morske vode bez strujanja može poslužiti studija [18] koja se temelji na laboratorijskim istraživanjima razrjeđenja različitih tokova otpadne vode u priobalnom okolišu. Analitičko rješenje za linijsko ispuštanje može se iščitati iz Slike 8.10. ili izračunati iz izraza:

$$S_o = 0.38(y/B) \cdot F^{-2/3}, \quad (8.27)$$

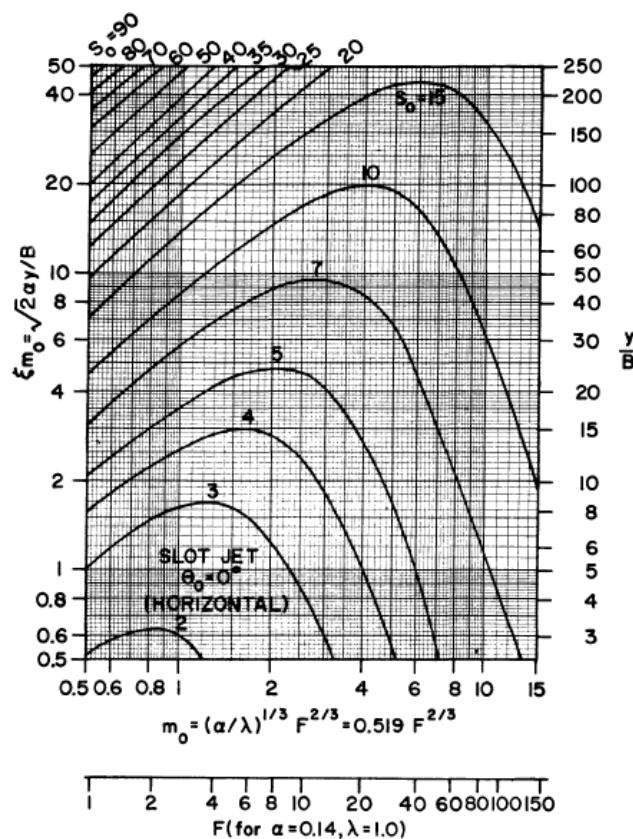
za $(y/B) \cdot F^{-4/3} > 20$.

Analitički rezultati temelje se na koeficijentu zahvaćanja $\alpha = 0.14$ i koeficijentu miješanja $\lambda = 1.0$. F predstavlja Froudov broj, a y/B odnos dubine i širine zahvaćenog sloja.

$$F = \frac{u_j}{\sqrt{g_o \cdot B}} \quad (8.28)$$

$$B = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot s} \quad (8.29)$$

D je veličina otvora na difuzoru, a s razmak među otvorima.



Slika 8.10. Veličine razrjeđenja u funkciji Froudovog broja i odnosa dubine ispuštanja i širine zahvaćenog sloja [17]

Početno razrjeđenje dobiveno izrazom 8.9 je $S = 670.44$. Razrjeđenje izračunato izrazom 8.27 je $S_o = 894.27$, što je za cca. 1.4 puta veća vrijednost. Međutim, dobivene veličine razrjeđenja su istog reda veličine.

9. ZAKLJUČAK

Ovim radom, na razini glavnog projekta, definirani su svi pogonski parametri podmorskog ispusta sustava javne odvodnje naselja Vodice, Tribunj i Srima. S ciljem zadovoljenja hidrauličkih kriterija, kriterija statičke stabilnosti i ekoloških kriterija, izvršene su potrebne kontrole. Za potrebe analize piezometarskih stanja razvijen je matematički model kojim su simulirana stanja u sustavu u trajanju od 24 sata za vrijeme vršnog dana. Istim su odabrane dimenzije i pogonski parametri:

- tlocrtna površina dozažnog bazena, $A = 6 \cdot 5 = 30 \text{ (m}^2\text{)}$,
- početna razina vode u dozažnom bazenu, $h_{db} = 26.6 \text{ (m n. m.)}$,
- kota otvaranja zapornice, $h_{otv} = 27.8 \text{ (m n. m.)}$,
- kota zatvaranja zapornice, $h_{zatv} = 26.5 \text{ (m n. m.)}$,
- kota preljeva, $h_{preljev} = 27.9 \text{ (m n. m.)}$,
- veličina otvora ispod zapornice, $a_{zapornica} = 0.3 \cdot 0.32 \text{ (m}^2\text{)}$,
- vrijeme manevra otvaranja/zatvaranja zapornice, $T_M = 60 \text{ (s)}$,
- promjer cijevi iznad razine mora, DN 630/572.6, SDR 22, PN 7.5,
- promjer cijevi podmorskog dijela, DN 500/454.4, SDR 22, PN 7.5,
- dužina jednog kraka difuzora, $l = 100 \text{ (m)}$,
- broj sekcija jednog kraka difuzora, $n = 5$,
- dužina sekcije difuzora, $l = 20 \text{ (m)}$,
- promjeri sekcija difuzora, DN 450/409, SDR 22, PN 7.5,
DN 400/363.6, SDR 22, PN 7.5,
DN 355/322.6, SDR 22, PN 7.5,
DN 315/286.2, SDR 22, PN 7.5,
DN 280/254.4, SDR 22, PN 7.5,
- površina čeonog otvora, $A = 0.0336 \text{ (m}^2\text{)}$,
- broj bočnih otvora na jednom kraku difuzora, $n = 4$
- koeficijent kinematičke viskoznosti tekućine, $\nu = 1.14 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$,
- pogonska hidraulička hrapavost, $k = 0.25 \text{ (mm)}$.

Odabrani parametri i dimenzije u potpunosti zadovoljavaju hidrauličke i tehničke uvjete rada sustava. Postignute brzine tečenja u cjevovodu i brzine istjecanja na otvorima difuzora veće su od brzina nužnih za osiguranje samoispiranja cjevovoda i boljeg razrjeđenja otpadne vode s vodom recipijenta.

Za predviđenu geometriju, karakteristike i raspored projektiranih opteživača, izvršenom kontrolom globalne stabilnosti i kontrolom naprežanja, dokazano je da cjevovod može podnijeti opterećenja nastala u fazi pridržavanja brodovima, u fazi potapanja i u fazi eksploatacije.

Izborom mjesta i načina ispuštanja otpadne vode u more postignuti su povoljni uvjeti miješanja otpadne vode s morskom vodom te su zadovoljena zakonska ograničenja vezana uz zaštitu prijammnika.

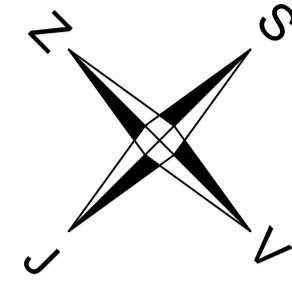
10. LITERATURA

- [1] Idejno rješenje s tehničko - ekonomskom optimalizacijom, Hidroing d.o.o. Split, 2007.
- [2] Glavni projekt podmorskog ispusta kanalizacijskog sustava Vodice Tribunj Srma, Sveučilište u Splitu, Građevinsko – arhitektonski fakultet, 2010.
- [3] Batimetrijski prikaz trase podmorskog ispusta Vodice - Tribunj - Srma, Geomar d.o.o. Split, 2015.
- [4] Državni plan za zaštitu voda (NN 8/99).
- [5] Pravilnik o graničnim vrijednostima opasnih i drugih tvari u otpadnim vodama (NN 94/08).
- [6] Uredba o klasifikaciji voda (NN 77/98).
- [7] Roberts, P.J.W. et. al. Marine Wastewater Outfalls and Treatment Systems. London: IWA Publishing, 2010.
- [8] Margeta, J. Kanalizacija naselja: odvodnja i zbrinjavanje otpadnih i oborinskih voda. Split: Građevinsko – arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2009.
- [9] Uređenje obalnog pojasa Vodice – Srma – Prvić, Elaborat vjetrovalne klime, Plimica d.o.o. Split, 2013.
- [10] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 182/04).
- [11] Jović, V. Osnove hidromehanike. Zagreb: Element, 2006.
- [12] Vranješ, M. Uputstva za hidrauličko dimenzioniranje polietilenskih cijevi. Zagreb: INA, 1978.
- [13] Iskanderov, J.A. Projektiranje i izgradnja podmorskih cjevovoda. Baku, 1970.
- [14] Wood I. R., Bell R. G. i Wilkinson D. L. Ocean disposal of wastewater. Advanced series on ocean engineering - Volume 8. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1993.
- [15] Etemad Shadidi, A., Kazeminezhad, M. H. i Mousavi, S. J. On the prediction of wave parameters using simplified methods. Journal of Coastal Research, SI 56, 505 – 509. Lisabon, Portugal, 2009.
- [16] Pareto distribution, https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_distribution, (29.4.2016.).


- [17] Singh, V. P. i Hager W. H. Environmental hydraulics. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1996.
- [18] Brooks N. H. Dispersion in hydrologic and coastal environments. Pasadena, California : California institute of technology, 1972.
- [19] Doneker, R.L. i G.H. Jirka CORMIX User Manual: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters. EPA-823-K-07-001, 2007.

11. PRILOZI


Prilog 1 – Situacija, List 1, 2, 3 i 4, Mj 1:1000



SITUACIJA
List 1, 2, 3 i 4
Mj. 1:1000

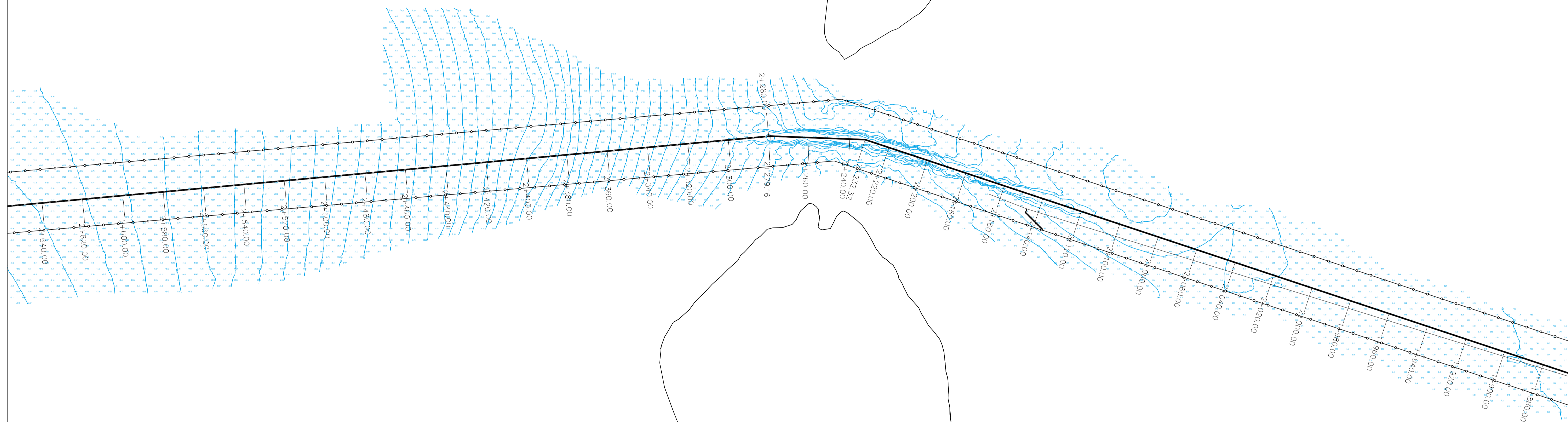
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel. 021/303-333		
DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
GRADEVINA: PODMORSKI ISPUST SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
NASLOV PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
SADRŽAJ PRILOGA: SITUACIJA, List 1		
STUDENTICA: Ivana Vuletić	MENTOR: Doc. dr. sc. Veljko Srzić	
DATUM: srpanj, 2016.	MJERILO: 1:1000	BROJ PRILOGA: 1




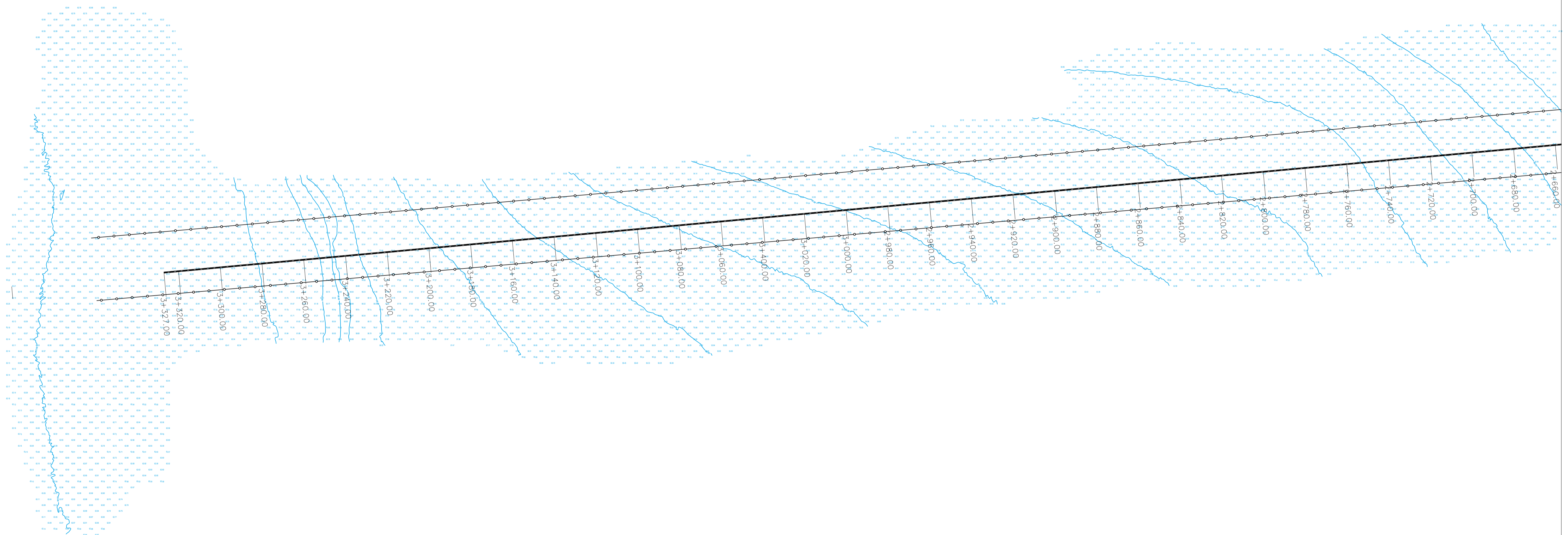
 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel. 021/303-333		
DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
GRADEVINA: PODMORSKI ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
NASLOV PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
SADRŽAJ PRILOGA: SITUACIJA, List 2		
STUDENTICA: Ivana Vuletić	MENTOR: Doc. dr. sc. Vejko Srzić	
DATUM: srpanj, 2016.	MJERILO: 1:1000	BROJ PRILOGA: 1


OTOK LUKOVNIK

OTOK LOGORUN

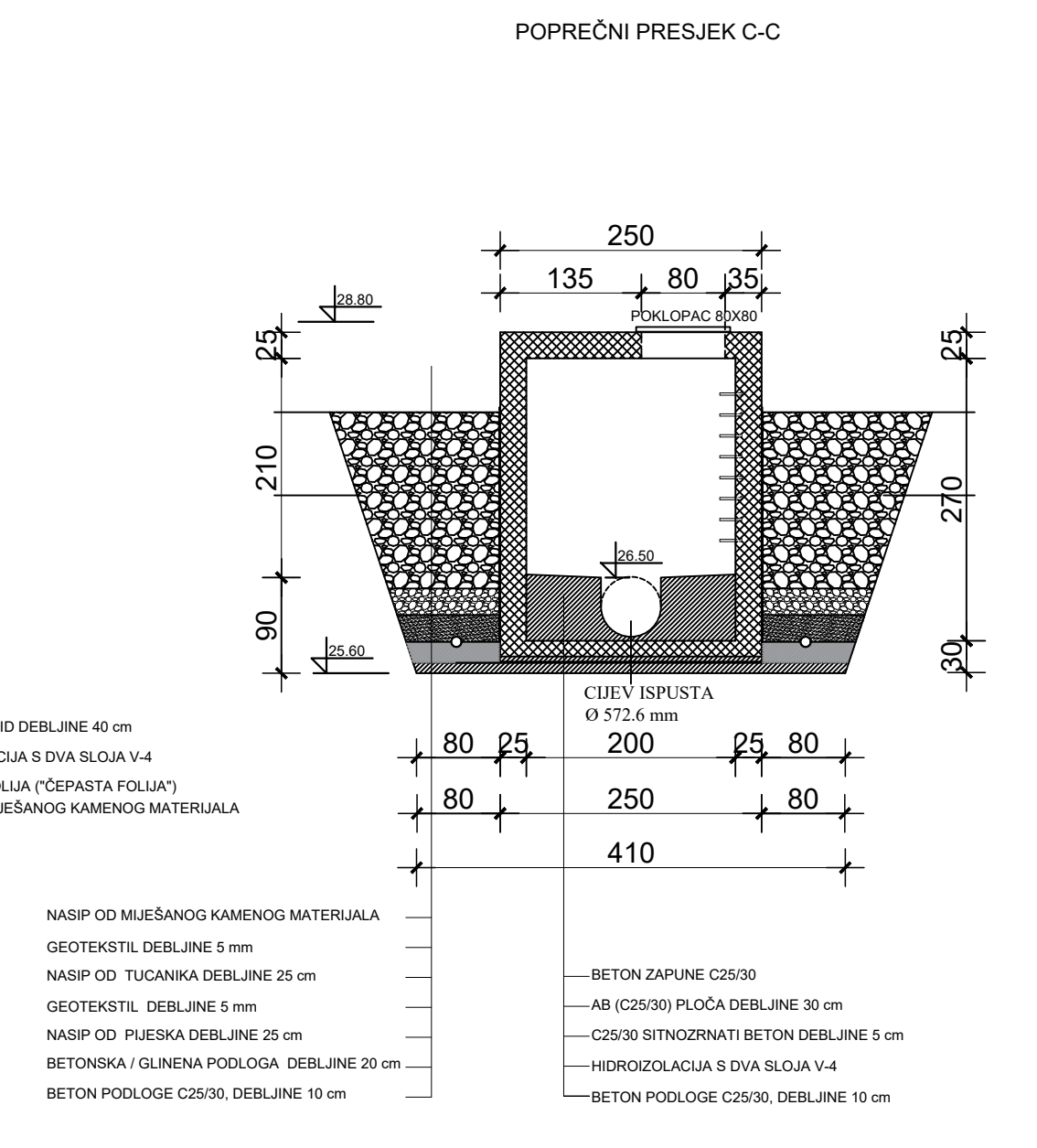
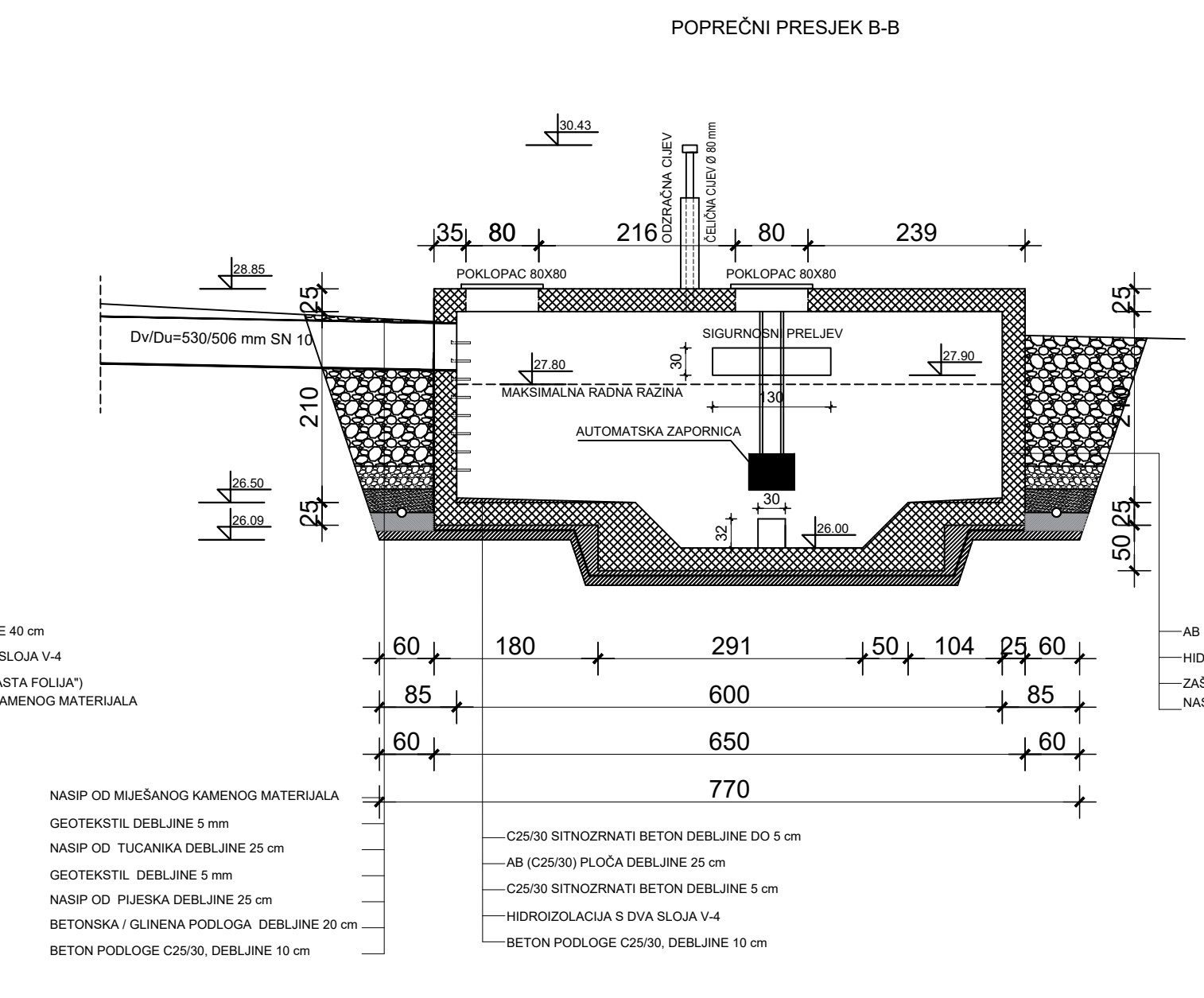
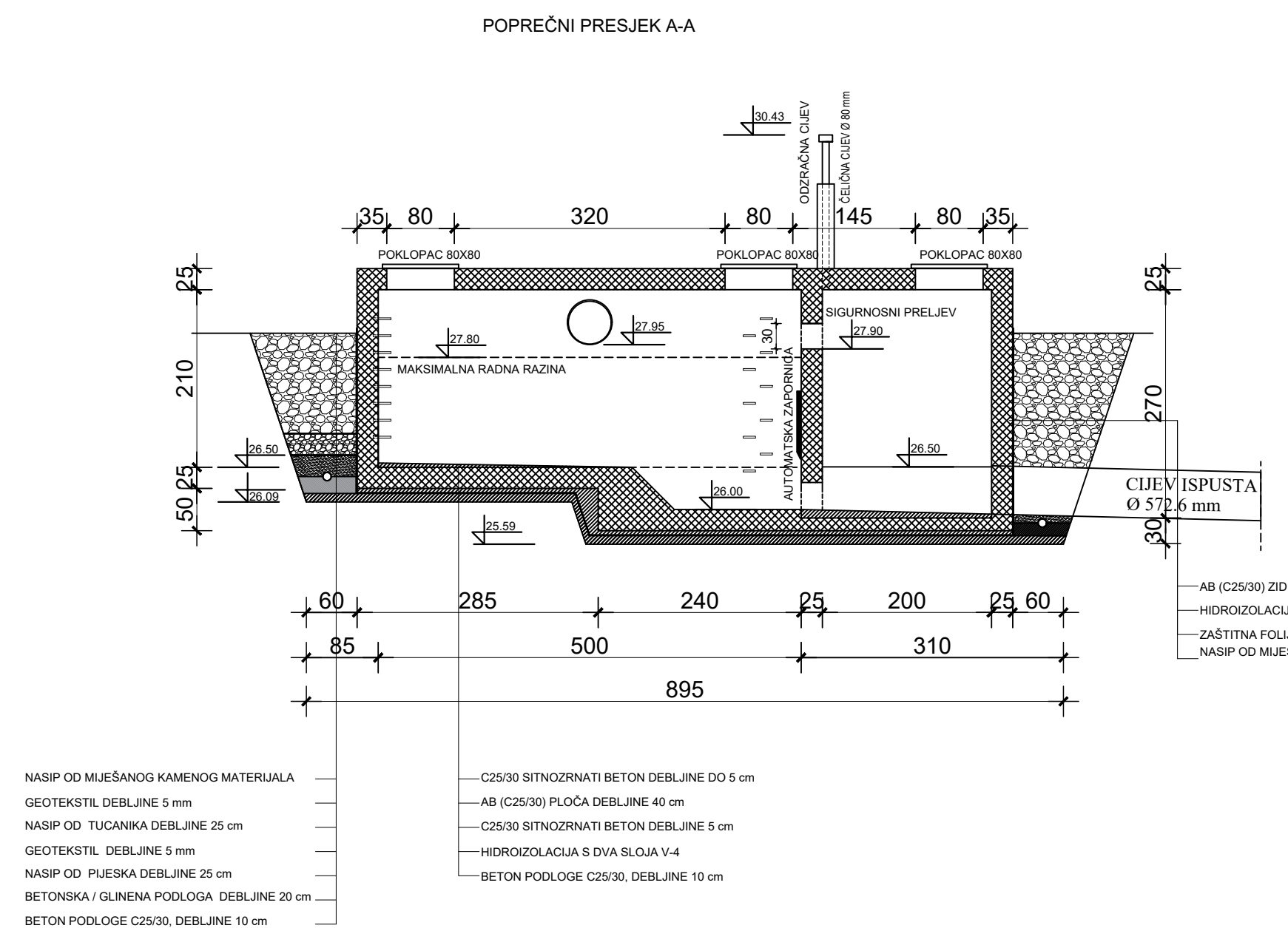
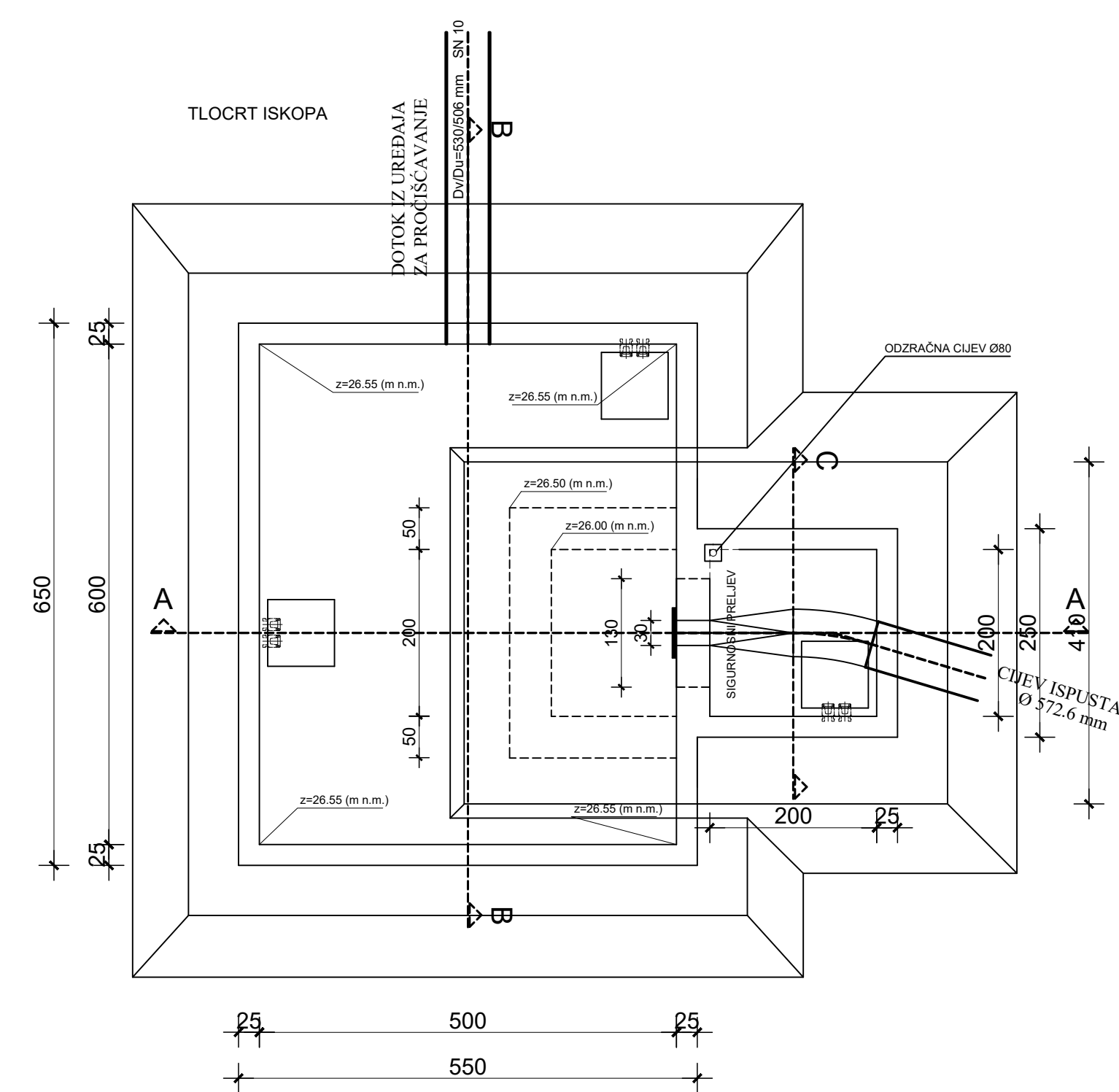


 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel. 021/303-333		
DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
GRADEVINA: PODMORSKI ISPUST SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
NASLOV PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
SADRŽAJ PRILOGA: SITUACIJA, List 3		
STUDENTICA: Ivana Vuletić	MENTOR: Doc. dr. sc. Vejko Srzić	
DATUM: srpanj, 2016.	MJERILO: 1:1000	BROJ PRILOGA: 1



 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel: 021/303-333		
DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
GRADEVINA: PODMORSKI ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
NASLOV PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
SADRŽAJ PRILOGA: SITUACIJA, List 4		
STUDENTICA: Ivana Vuletić	MENTOR: Doc. dr. sc. Veljko Srzić	
DATUM: srpanj, 2016.	MJERILO: 1:1000	BROJ PRILOGA: 1

Prilog 2 – Nacrti dozažnog bazena, Mj 1:50



- NASIP OD MJEŠANOG KAMENOG MATERIJALA
 GEOTEKSTIL DEBLJINE 5 mm
 NASIP OD TUCANKA DEBLJINE 25 cm
 GEOTEKSTIL DEBLJINE 5 mm
 NASIP OD PUESKA DEBLJINE 25 cm
 BETONSKA / GLINENA PODLOGA DEBLJINE 20 cm
 BETON PODLOGE C25/30, DEBLJINE 10 cm
- C25/30 SITNOZRNATI BETON DEBLJINE DO 5 cm
 AB (C25/30) PLOČA DEBLJINE 40 cm
 C25/30 SITNOZRNATI BETON DEBLJINE 5 cm
 HORIZOZALACIA S DVA SLOJA V/4
 BETON PODLOGE C25/30, DEBLJINE 10 cm

- NASIP OD MJEŠANOG KAMENOG MATERIJALA
 GEOTEKSTIL DEBLJINE 5 mm
 NASIP OD TUCANKA DEBLJINE 25 cm
 GEOTEKSTIL DEBLJINE 5 mm
 NASIP OD PUESKA DEBLJINE 25 cm
 BETONSKA / GLINENA PODLOGA DEBLJINE 20 cm
 BETON PODLOGE C25/30, DEBLJINE 10 cm
- C25/30 SITNOZRNATI BETON DEBLJINE DO 5 cm
 AB (C25/30) PLOČA DEBLJINE 25 cm
 C25/30 SITNOZRNATI BETON DEBLJINE 5 cm
 HORIZOZALACIA S DVA SLOJA V/4
 BETON PODLOGE C25/30, DEBLJINE 10 cm

- NASIP OD MJEŠANOG KAMENOG MATERIJALA
 GEOTEKSTIL DEBLJINE 5 mm
 NASIP OD TUCANKA DEBLJINE 25 cm
 GEOTEKSTIL DEBLJINE 5 mm
 NASIP OD PUESKA DEBLJINE 25 cm
 BETONSKA / GLINENA PODLOGA DEBLJINE 20 cm
 BETON PODLOGE C25/30, DEBLJINE 10 cm
- BETON ZAPUNE C25/30
 AB (C25/30) PLOČA DEBLJINE 30 cm
 C25/30 SITNOZRNATI BETON DEBLJINE 5 cm
 HORIZOZALACIA S DVA SLOJA V/4
 BETON PODLOGE C25/30, DEBLJINE 10 cm

NACRTI DOŽAŽNOG BAZENA
 Mj. 1:50

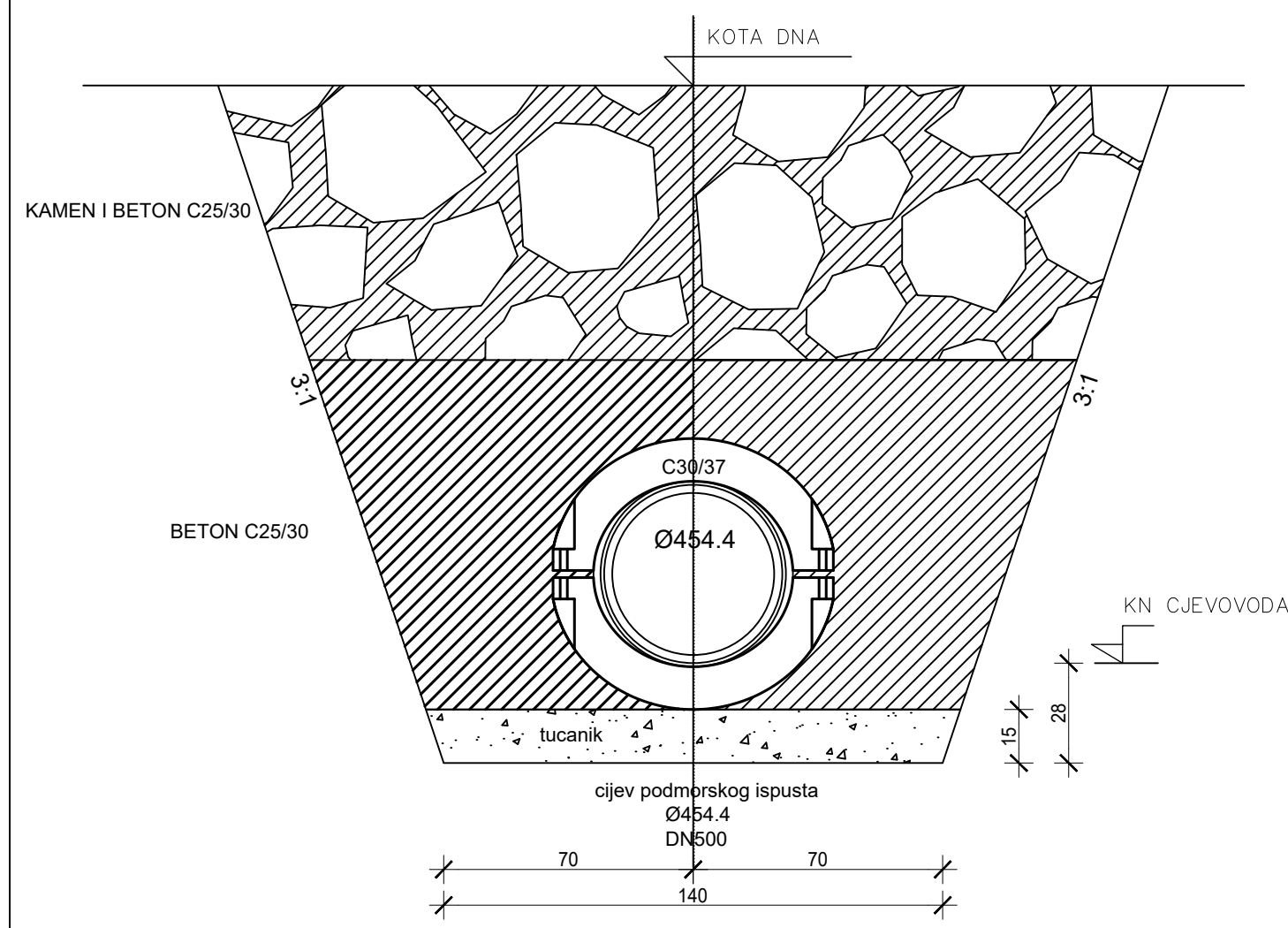
SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, IB: 021033-333		
DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA KANALIZACIJSKOG SUSTAVA VODICE - TRIBUNJ - SRIMA		
GRAĐEVINA: PODMORSKI ISPUST KANALIZACIJSKOG SUSTAVA VODICE - TRIBUNJ - SRIMA		
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
SAĐRŽAJ PRILOGA: NACRTI DOŽAŽNOG BAZENA		
STUĐENTICA: Ivana Vučić	MENTOR: Doc. dr. sc. Vajko Stjepić	
DATUM: srpanj, 2016.	MJERLO: 1:50	BROJ PRILOGA: 2

Prilog 3 – Uzdužni presjek kopnenog dijela ispusta, List 1 i 2, Mj 1:500/50

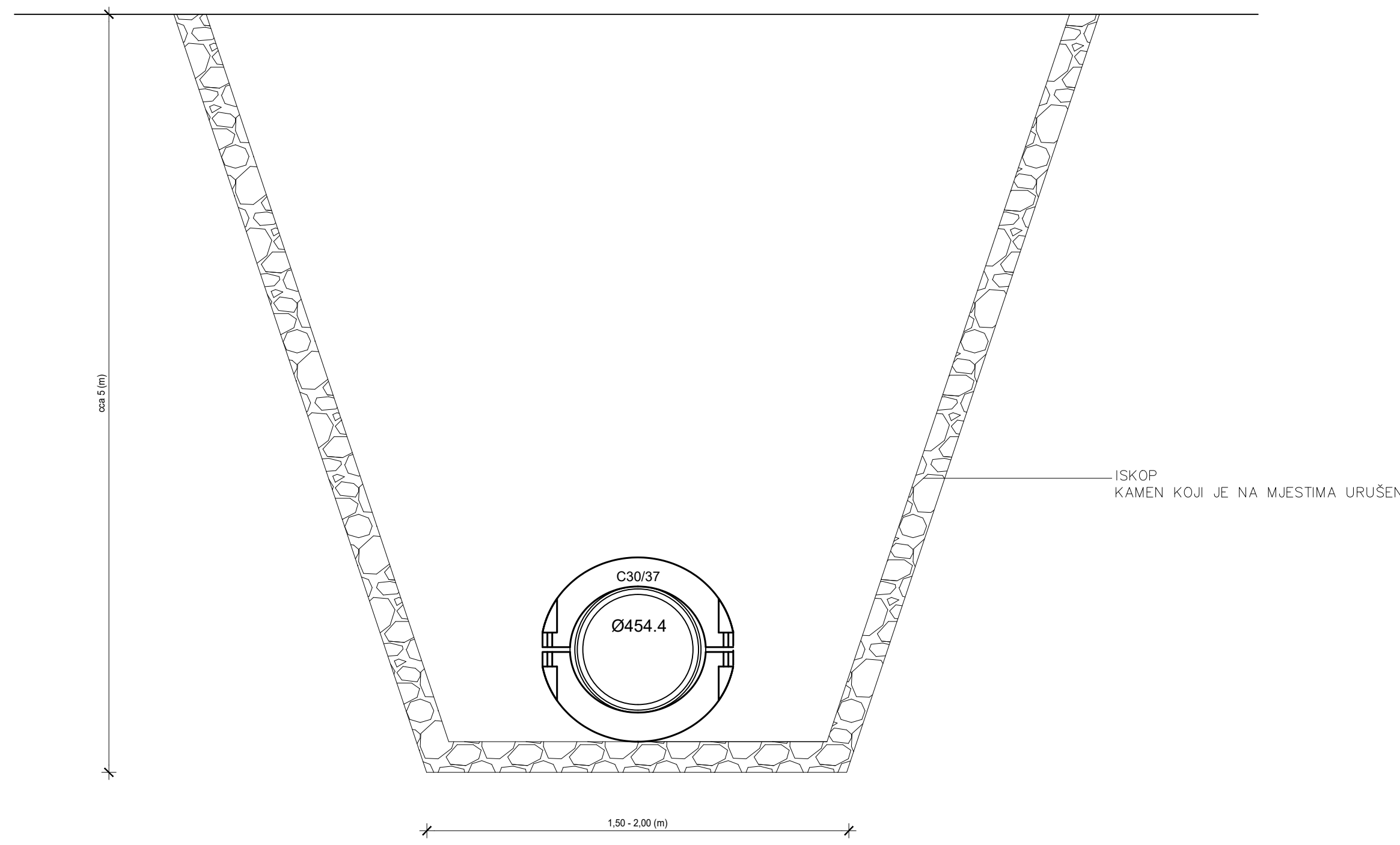
Prilog 4 – Uzdužni presjek podmorskog dijela ispusta, List 1 i 2, Mj 1:500/50

Prilog 5 – Normalni poprečni presjeci, Mj 1:20

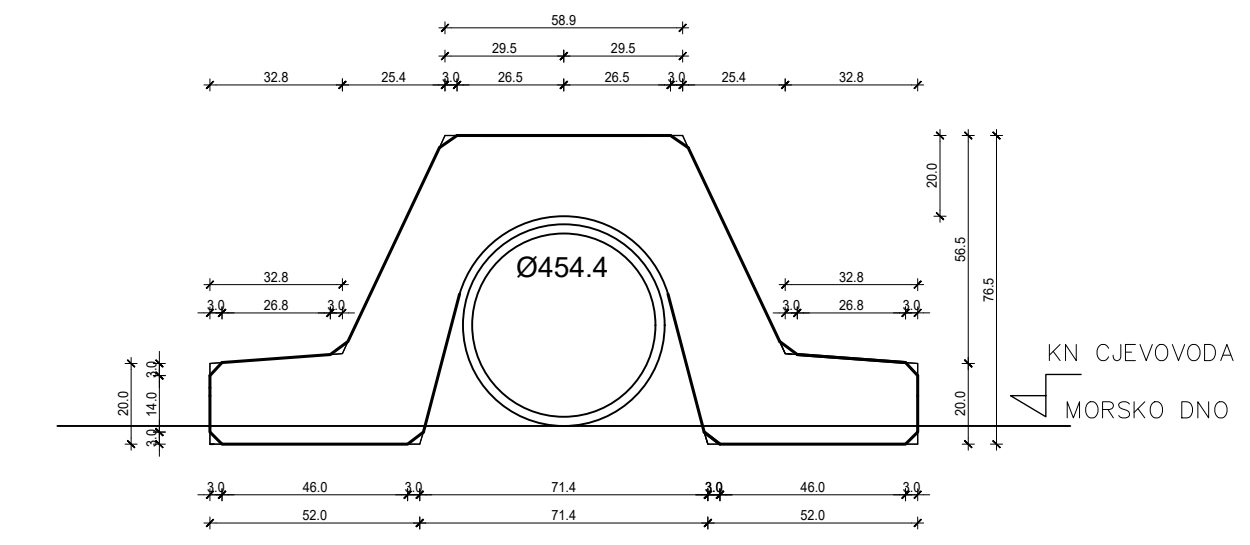
NORMALNI POPREČNI PRESJEK UKOPANOG DIJELA
 PODMORSKOG ISPUSTA
 Od stac. 1+612.50 do stac. 2+127.00




NORMALNI POPREČNI PRESJEK DIJELA PODMORSKOG ISPUSTA
 POLOŽENOG NA DNO U ROVU
 Od stac. 2+127.00 do stac. 2+300.00



NORMALNI POPREČNI PRESJEK DIJELA PODMORSKOG ISPUSTA
 POLOŽENOG NA DNO



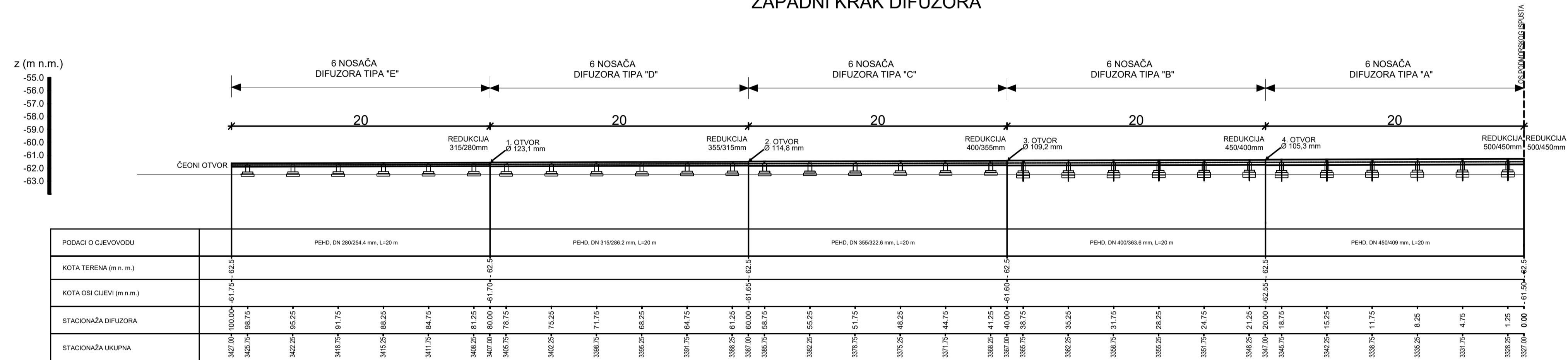
NORMALNI POPREČNI PRESJECI
 Mj. 1:20

 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel: 021/303-333		
DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
GRAĐEVINA: PODMORSKI ISPUST SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA		
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT	VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT	
SADRŽAJ PRILOGA: NORMALNI POPREČNI PRESJECI		
STUDENTICA: Ivana Vučić	MENTOR: Doc. dr. sc. Veljko Sržić	
DATUM: srpanj, 2016.	MJERILO: 1:20	BROJ PRILOGA: 5

Prilog 6 – Uzdužni presjek difuzora, Mj 1:200

UZDUŽNI PRESJEK DIFUZORA
Mj. 1:200

ZAPADNI KRAK DIFUZORA



SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel. 021/303-333

DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA

GRAĐEVINA: PODMORSKI ISPUST SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA

RAZINA RAZRADA: GLAVNI PROJEKT | VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT

NASLOV PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA

SADRŽAJ PRILOGA: UZDUŽNI PRESJEK DIFUZORA

STUDENTICA: Ivana Vuletić | MENTOR: Doc. dr. sc. Veljko Sržić

DATUM: srpanj, 2016. | MJESELO: 1:200 | BROJ PRILOGA: 6

Prilog 7 – Opteživači podmorskog ispusta, Mj 1:10

SEKUNDARNI OPTEŽIVAČ

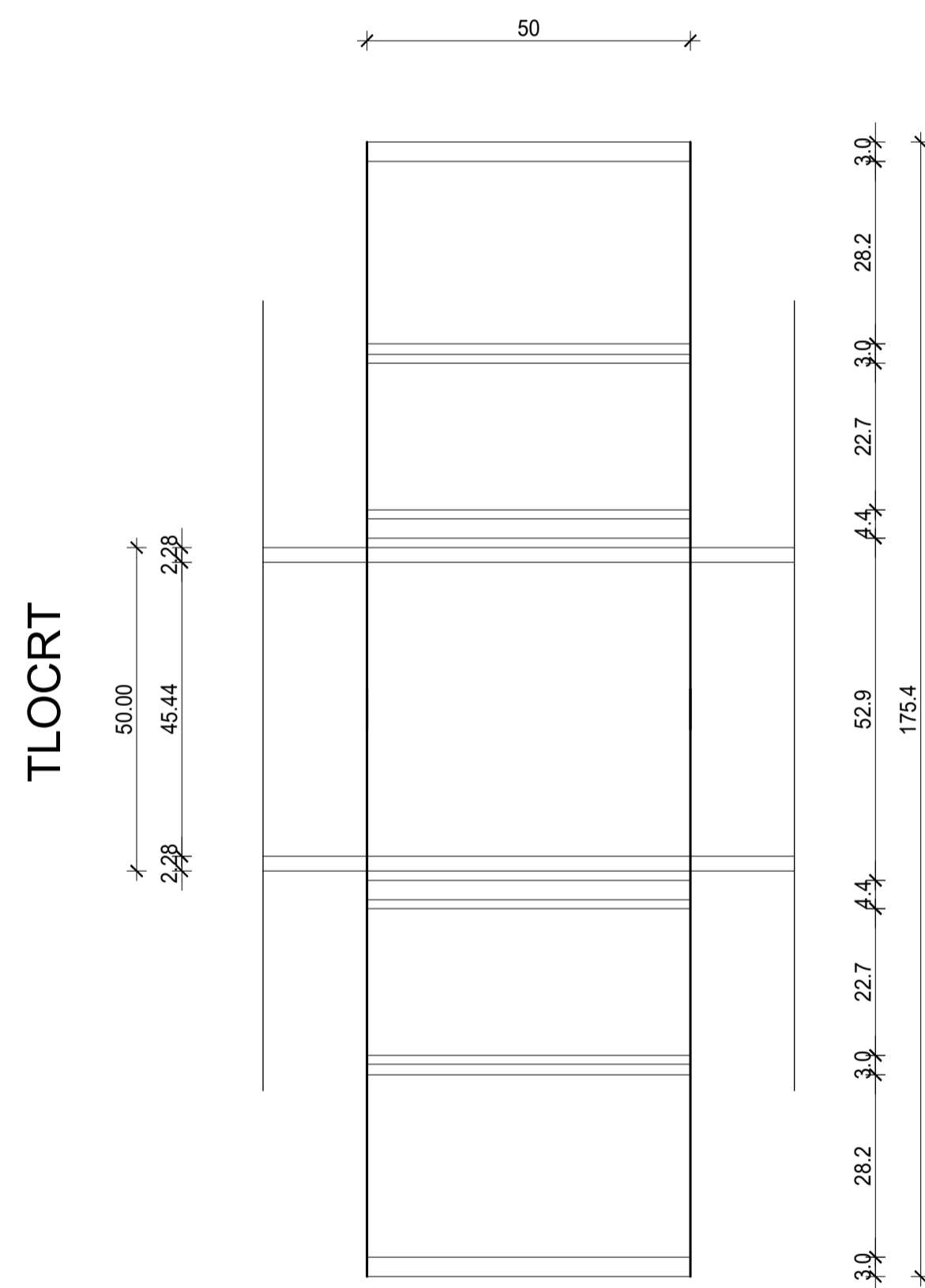
ZA CIJEV DN 500/454.4

Volumen opteživača= 0,268 m³

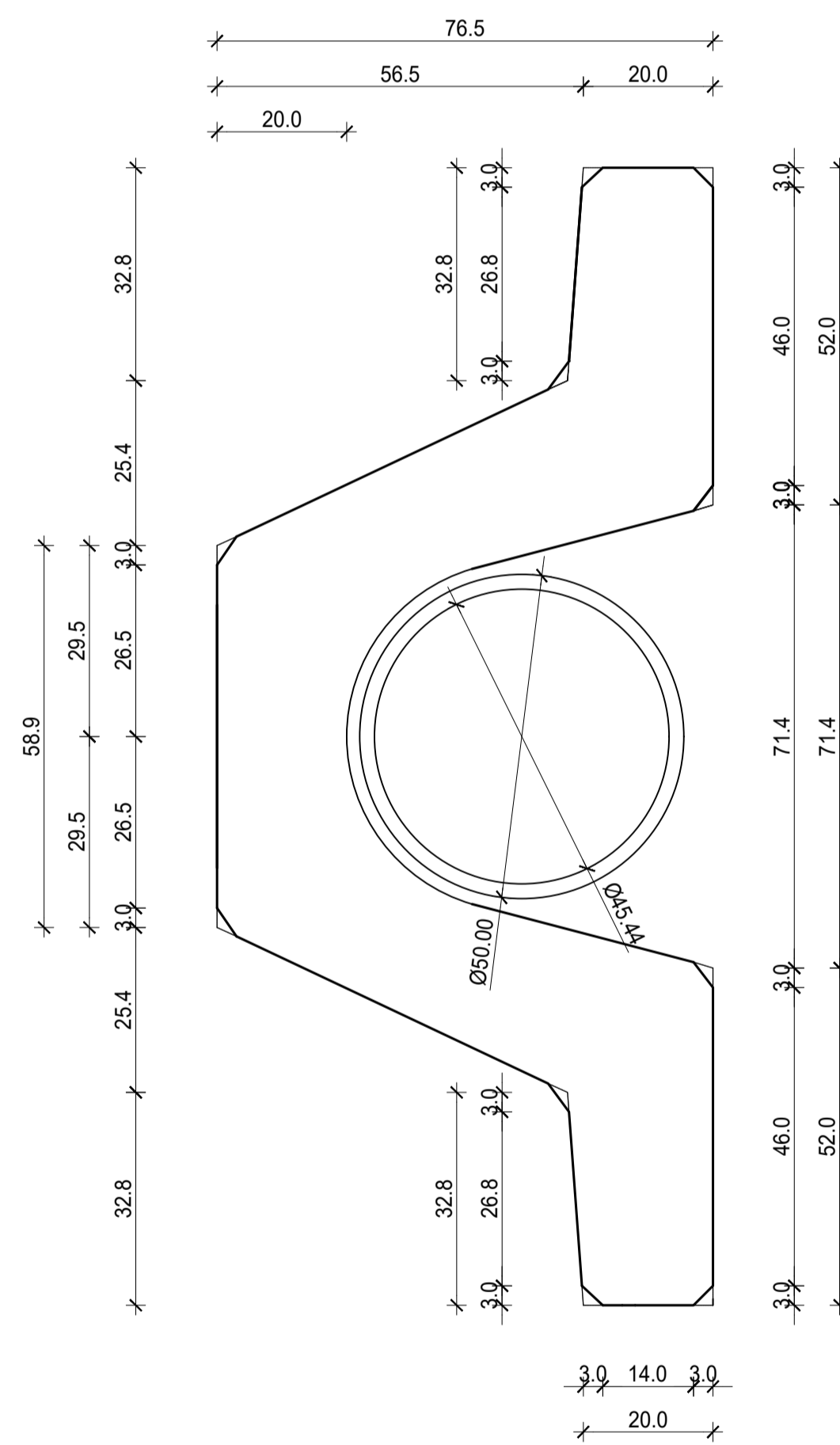
Masa opteživača= 0,268 x 2400= 643,2 (kg)

Težina opteživača= 0,268 x 2400 x 9,81= 6309,792 (N)

Uronjena težina opteživača = 0,268 x (2400-1028) x 9,81= 3608 (N)



POPREČNI PRESJEK



PRIMARNI OPTEŽIVAČ

ZA CIJEV DN 500/454.4

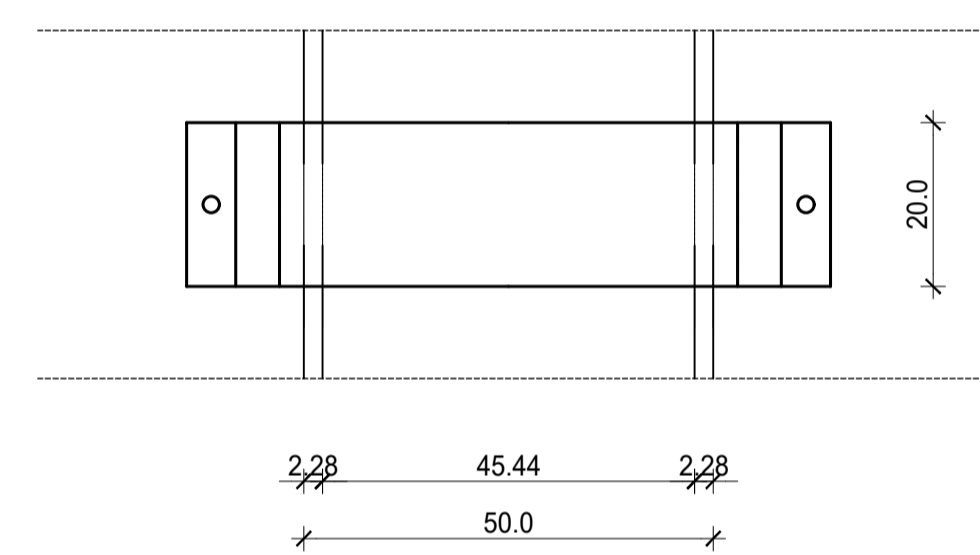
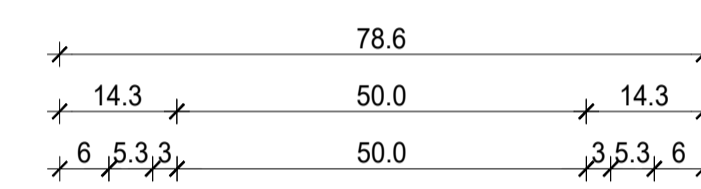
Volumen opteživača= 0,044596 m

Masa opteživača= 0,044596 x 2400= 107,03 (kg)

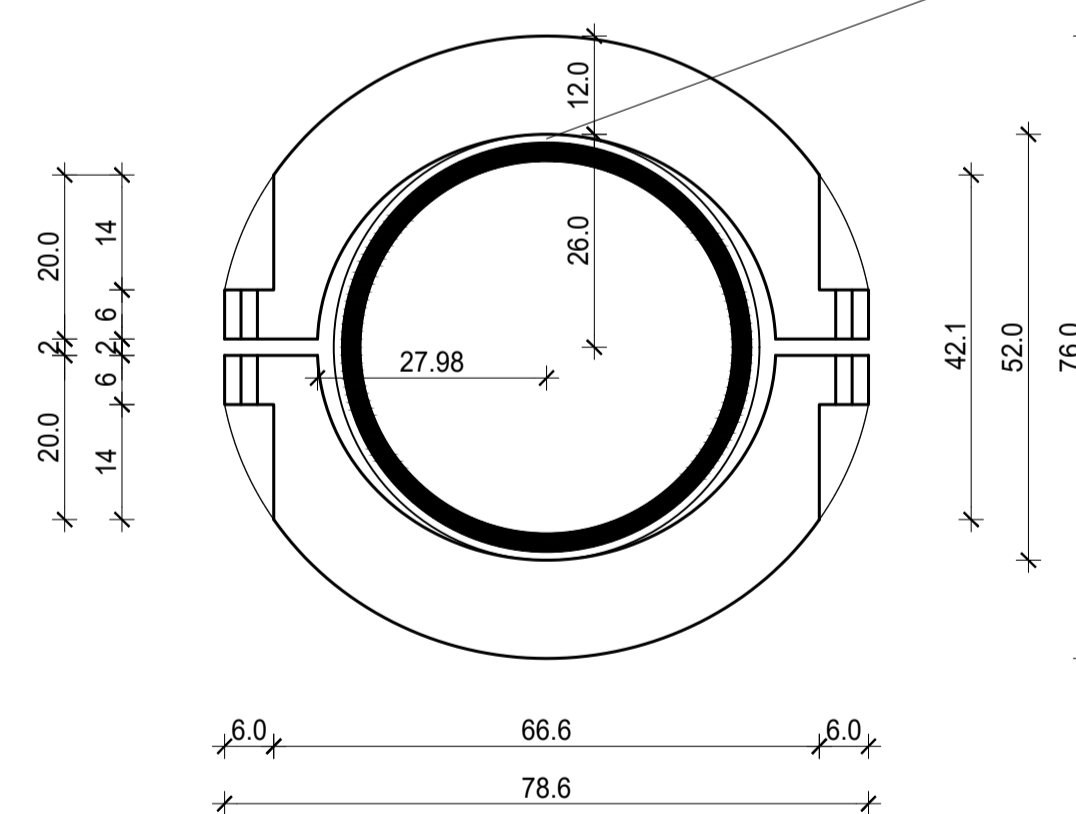
Težina opteživača= 0,044596 x 2400 x 9,81= 1049,968(N)

Uronjena težina opteživača = 0,044596 x (2400-1028) x 9,81= 600,23 (N)

TLOCRT



POPREČNI PRESJEK



OPTEŽIVAČI PODMORSKOG ISPUSTA

Mj. 1:10



SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel: 021/303-333

DIPLOMSKI RAD: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA
VODICE, TRIBUNJ I SRIMA

GRAĐEVINA: PODMORSKI ISPUST SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJ I SRIMA

RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT

SADRŽAJ PRILOGA: OPTEŽIVAČI PODMORSKOG ISPUSTA

STUDENTICA: Ivana Vuletić MENTOR: Doc. dr. sc. Veljko Srzić

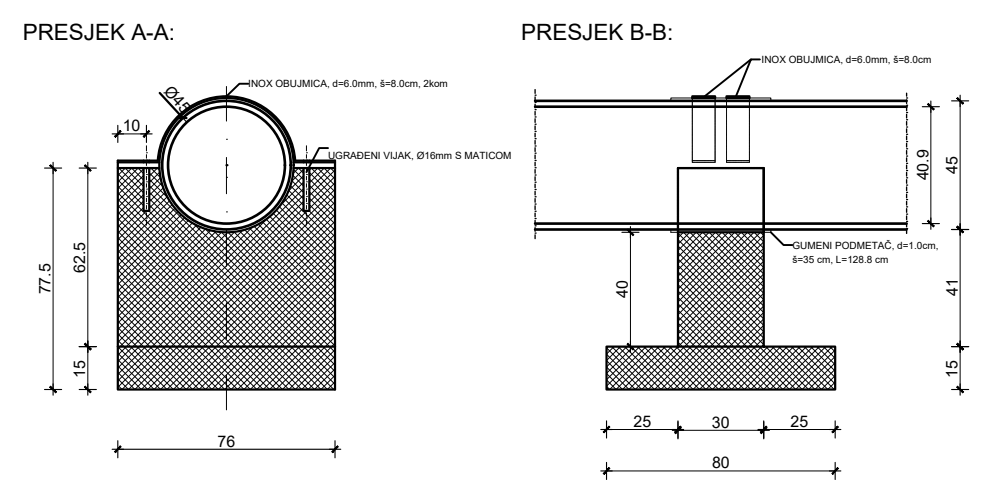
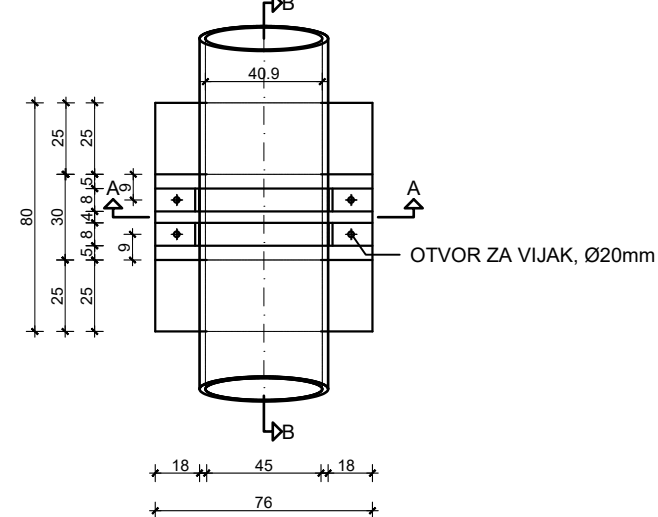
DATUM: srpanj, 2016. MJERILO: 1:10 BROJ PRILOGA: 7

Prilog 8 – Nosači difuzora, Mj 1:20

TIP "A", DN 450/409.0 mm
(6 komada)
na stac. 1.25, 4.75, 8.25, 11.75, 15.25, 18.75

Volumen optekvača = 0.20728 m³
Masa optekvača = 0.20728 x 2400 = 497.47 (kg)
Tablična optekvača = 0.20728 x 2400 x 8.81 = 4486.25 (N)
Ukupna tablična optekvača = 0.20728 x (2400 + 1028) x 8.81 = 2788.85 (N)

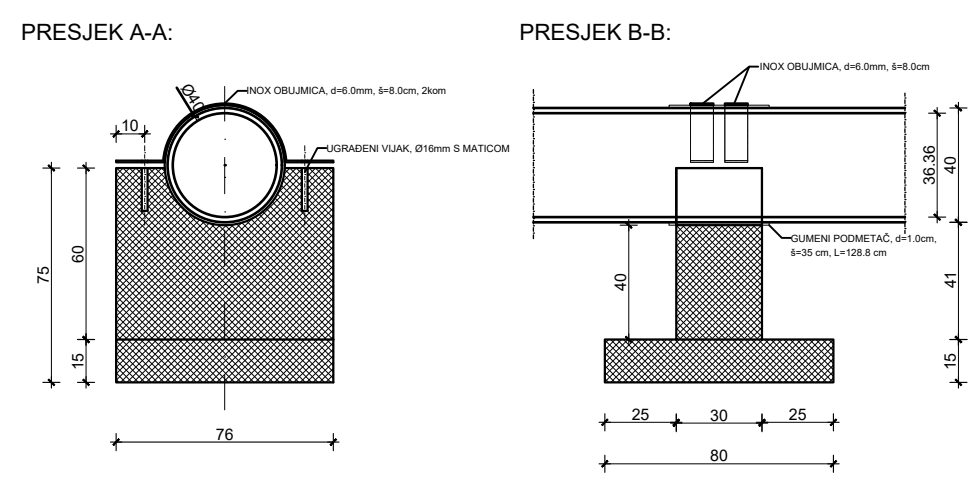
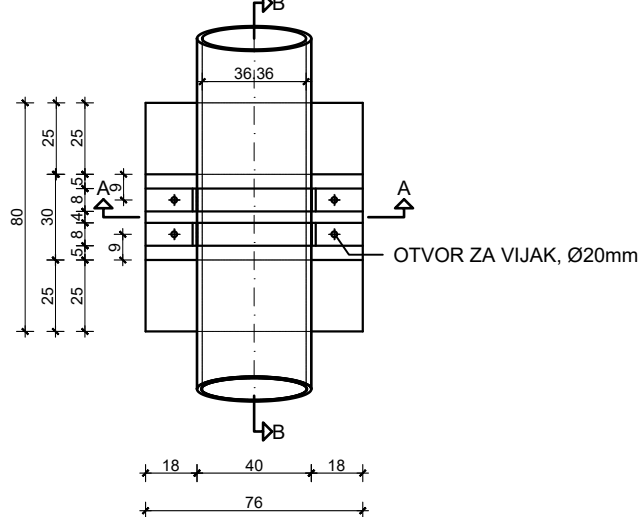
TLOCRT:



TIP "B", DN 400/363.6 mm
(6 komada)
na stac. 21.25, 24.75, 28.25, 31.75, 35.25, 38.75

Volumen optekvača = 0.20668 m³
Masa optekvača = 0.20668 x 2400 = 496.03 (kg)
Tablična optekvača = 0.20668 x 2400 x 8.81 = 4461.37 (N)
Ukupna tablična optekvača = 0.20668 x (2400 + 1028) x 8.81 = 2781.77 (N)

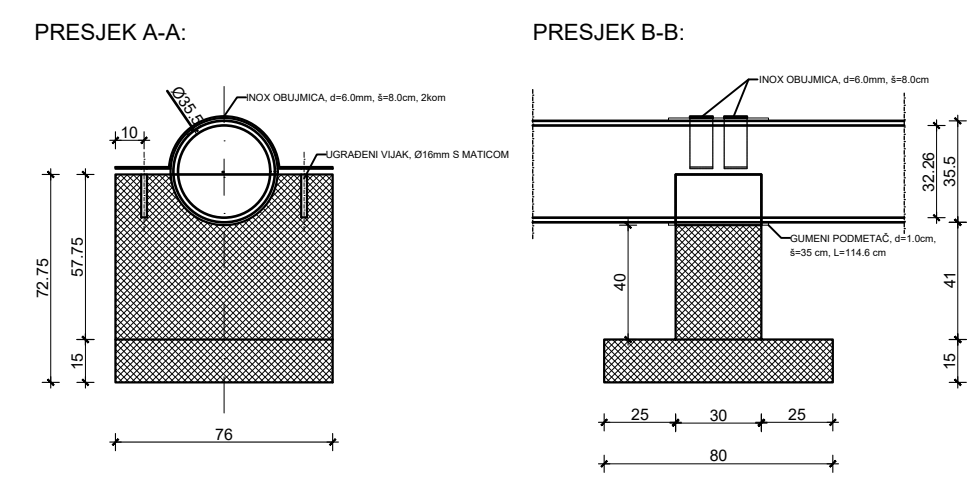
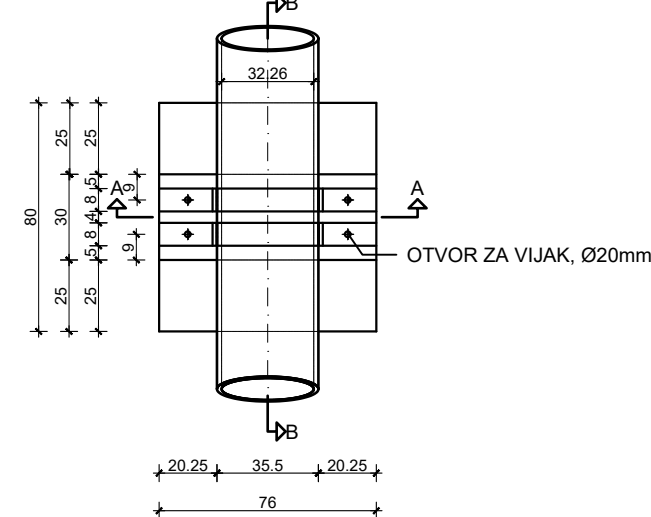
TLOCRT:



TIP "C", DN 355/322.6 mm
(6 komada)
na stac. 41.25, 44.75, 48.25, 51.75, 55.25, 58.75

Volumen optekvača = 0.20563 m³
Masa optekvača = 0.20563 x 2400 = 493.51 (kg)
Tablična optekvača = 0.20563 x 2400 x 8.81 = 4434.25 (N)
Ukupna tablična optekvača = 0.20563 x (2400 + 1028) x 8.81 = 2767.84 (N)

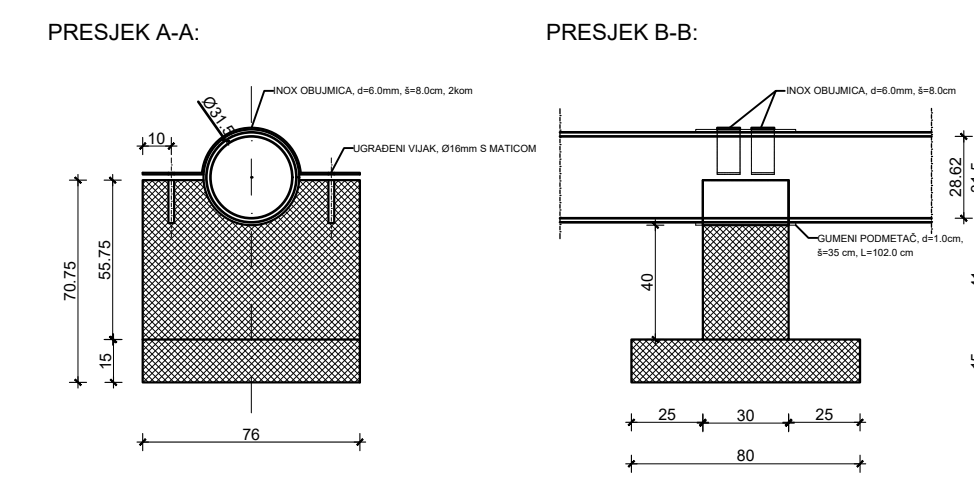
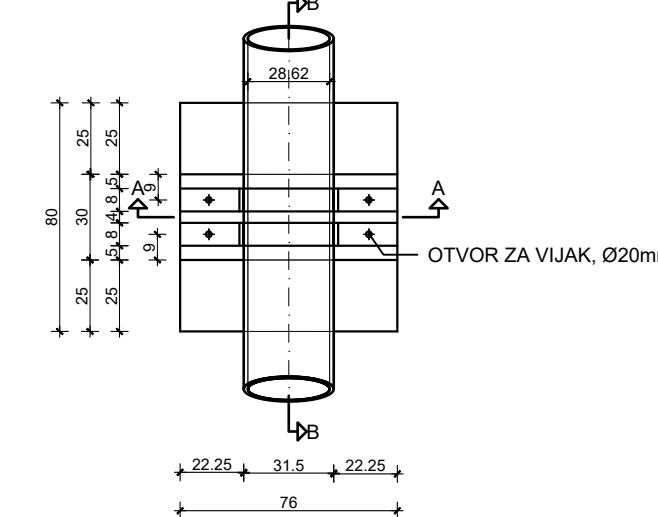
TLOCRT:



TIP "D", DN 315/286.2 mm
(6 komada)
na stac. 61.25, 64.75, 68.25, 71.75, 75.25, 78.75

Volumen optekvača = 0.20429 m³
Masa optekvača = 0.20429 x 2400 = 490.29 (kg)
Tablična optekvača = 0.20429 x 2400 x 8.81 = 4402.80 (N)
Ukupna tablična optekvača = 0.20429 x (2400 + 1028) x 8.81 = 2748.60 (N)

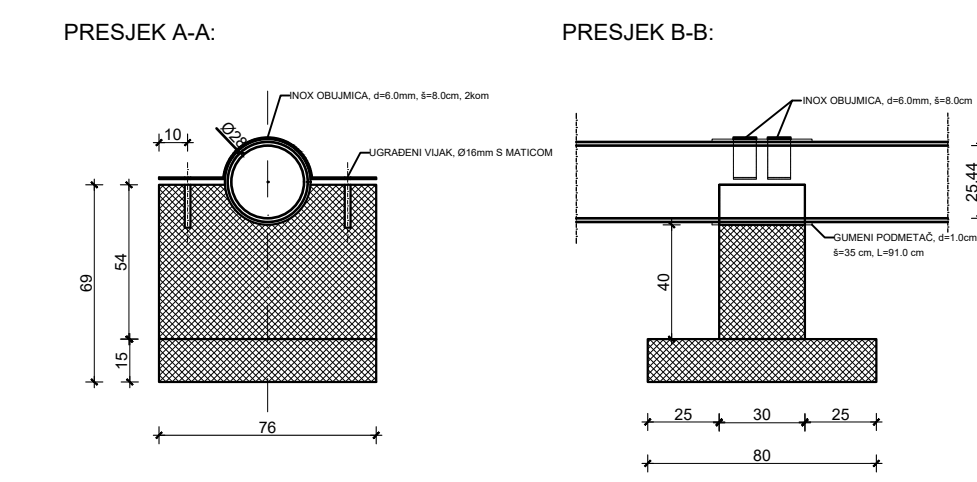
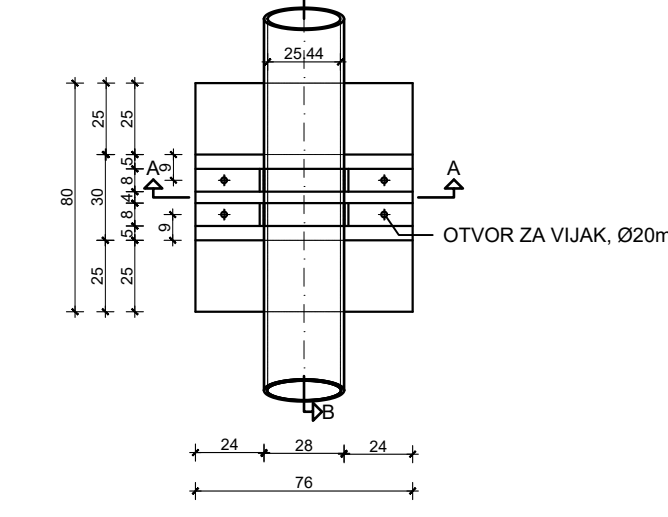
TLOCRT:




TIP "E", DN 280/254.4 mm
(6 komada)
na stac. 81.25, 84.75, 88.25, 91.75, 95.25, 98.75

Volumen optekvača = 0.20282 m³
Masa optekvača = 0.20282 x 2400 = 486.77 (kg)
Tablična optekvača = 0.20282 x 2400 x 8.81 = 4375.19 (N)
Ukupna tablična optekvača = 0.20282 x (2400 + 1028) x 8.81 = 2729.82 (N)

TLOCRT:



NOSAČI DIFUZORA
Mj. 1:20

 SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15, tel: 021/9203-333		
ISPLIVOMSKI RAO: GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJI I SRMA		
GRAĐEVINA: PODMORSKI ISPUST SUSTAVA ODVODNJE NASELJA VODICE, TRIBUNJI I SRMA		VRSTA PROJEKTA: GRAĐEVINSKI PROJEKT
RAZINA RAZRADE: GLAVNI PROJEKT		
SADRŽAJ PRILOGA: NOSAČI DIFUZORA		
STUDENTICA: Ivana Vučić		MENTOR: Doc. dr. sc. Vjekoslav Bilić
DATUM: srpanj 2016.	MJEŠLO: 1:20	BROJ PRILOGA: 8