

GRADEVINA: Projekt vodnokomunalne infrastrukture aglomeracije VIR
za sufinanciranje iz fondova EU
Odvodnja otpadnih voda i vodoopskrba otoka Vira:
PODMORSKI ISPUST

Glavni projekt – građevinski projekt

D. STATIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA

SADRŽAJ:

D.1. STATIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA U EKSPLOATACIJI.....	D-2
D.1.1. Ulazni podaci	D-2
D.1.2. Proračun opterećenja ispusta na dionici od stac. 0+5940.00 do stac. 0+900.00.....	D-2
D.1.3. Proračun opterećenja ispusta na dionici od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00.....	D-6
D.1.4. Opterećenje difuzora	D-11
D.2. KOTROLA NAPREZANJA CJEVOVODA U EKSPLOATACIJI.....	D-12
D.3. KOTROLA NAPREZANJA KOD TRANSPORTA I MANIPULACIJE	D-15
D.4. KOTROLA NAPREZANJA KOD PRIDRŽAVANJA KOD POTAPANJA	D-17
D.5. KOTROLA NAPREZANJA KOD POTAPANJA.....	D-18

BROJ PROJEKTA:	T.D.-209/2018
RAZINA PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT
VRSTA PROJEKTA:	GRAĐEVINSKI PROJEKT
NASLOV PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT PODMORSKOG ISPUSTA KANALIZACIJSKOG SUSTAVA VIR
OZNAKA MAPE:	MAPA 1/1
INVESTITOR:	VODOVOD-VIR d.o.o., Put Mula 16, 23234 Vir
NARUČITELJ:	HIDROPROJEKT - ING, d.o.o., Draškovićeve 35II, 10000 ZAGREB
PROJEKTANTSKA TVRTKA:	Sveučilište u Splitu, Fakultet Građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, 21000 Split
PROJEKTANT:	Dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.

SURADNICI: Dr. sc. Veljko Srzić, dipl.ing.građ.

Tatjana Bojanić, dipl.ing.građ.

Split, studeni 2018.

D.1. STATIČKO DIMENZIONIRANJE ISPUSTA U EKSPLOATACIJI

D.1.1. ULAZNI PODACI

U ovom poglavlju dat je proračun stabilnosti ispusta za vrijeme eksploatacije. Također je prikazan i proračun naprezanja cjevovoda kod manipulacije i potapanja. Odabrane su cijevi za unutrašnji tlak od 10 bara iako je radni tlak u najnepovoljnijim uvjetima manji od 3 bara. Praksa je pokazala da cijevi za unutrašnji tlak od 10 bara imaju zadovoljavajuću čvrstoću kod manipuliranja i potapanja kabelskim načinom koji je inače uobičajeni postupak.

Na cjevovod na dnu mora djeluju sile nastale djelovanjem morskih valova i struja. Kod razmatranja djelovanja valova moguće je razlikovati dvije osnovne zone:

- zona dubokog mora kod koje valovi uglavnom nemaju utjecaj na cjevovod;
- zona plitkog mora kod koje je potrebno posebno osiguranje zbog djelovanja valova. Plitko more dijeli se na područje početnih deformacija valova i na područje potpunog rušenja valova.

U zoni dubokog mora obično je dovoljno "osnovno opterećenje" kojim se postiže stabilnost cjevovoda u odnosu na sile uzgona i djelovanja morskih struja. U zoni plitkog mora potrebno je dodatno osiguranje. U zoni rušenja vala najsigurnije je rješenje polaganje cjevovoda u rov sa betoniranjem cjevovoda u rovu. Prema odabranom projektnom rješenju predviđeno je da se na ovakav način stabilizira cjevovod do dubine od 9,0 m.

Za proračun utjecaja valova na cjevovod potrebno je poznavati osnovne pokazatelje vala: duljinu, visinu i period. Vrijednosti ovih pokazatelja ovise prvenstveno o stalnosti smjera vjetra, njegove brzine, vremena trajanja i duljine vodnog lica/razgona na kojem se val stvara.

Stabilnost cjevovoda se preračunava na val povratnog perioda jednak vijeku trajanja cjevovoda, odnosno 50 godina koliki je uglavnom vijek trajanja cijevi iz tvrdog polietilena. Koristeći kraći vremenski period ne bi se znatno uštedjelo na izgradnji jer se time dobije samo nešto manja masa betona po pojedinom utegu, dok su broj utega i time potrebni troškovi manipulacije uvijek isti. Kod izvedbe ovih radova najveći dio troškova se upravo odnosi na manipulaciju i polaganje utega, te dijelom na izradu utega, dok su troškovi proizvodnje betona relativno mali. Zbog toga je poželjno uvijek biti na strani sigurnosti i osigurati zadovoljavajuće veličine/težine utega kojima će se opteretiti/stabilizirati cjevovod na dnu mora.

Podaci o valu 50 godišnjeg povratnog perioda nisu poznati jer ne postoje dugogodišnja mjerenja valovanja mora na ovom prostoru.

Prema studiji: "REZULTATI ISTRAŽIVAČKIH RADOVA TRASE PODMORSKOG ISPUSTA OTPADNIH VODA SUSTAVA JAVNE ODVOĐNJE NASELJA "VIR"" koju je izradio HRVATSKI HIDROGRAFSKI INSTITUT – Split, u rujnu 2004. godine, za projektni val treba usvojiti val sa sljedećim karakteristikama:

$$H_{\max} = 4.0 \text{ m}$$

$$H_{1/3} = 1.7 \text{ m}$$

$$T_{\text{sr}} = 5.0 \text{ s}$$

$$L_{\text{sr}} = 38 \text{ m}$$

Brzina pridnene struje odabrana je na temelju podataka o mjerenju struja na razmatranoj lokaciji od kojih je najveća izmjerena pridnena struja bila na postaji ASS-1 i to 27 (cm/s), na dubini od 48 (m). Na postaji ASS-2 izmjerena je najveća pridnena brzina struje od 28 (cm/s), na dubini od 53 (m). Maksimalna brzina morske struje na dubini od 3 (m) na postaji ASS-1 iznosila je 28 (cm/s), a maksimalna brzina morske struje na dubini od 3 (m) na postaji ASS-2 iznosila je 7 (cm/s).

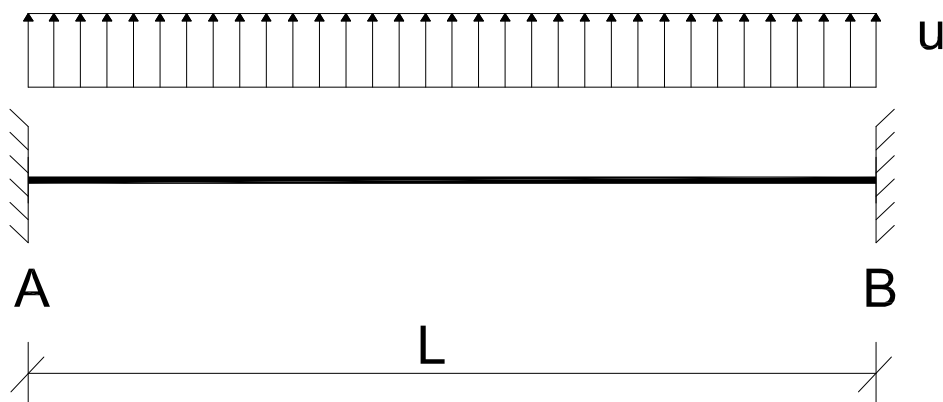
Budući da se ne raspolaže sa brzinama pridnenih morskih struja na manjim dubinama od 46 (m), u ovom projektu za proračun je odabrana brzina od 40 (cm/s), odnosno 0,4 (m/s), radi sigurnosti.

D.1.2. PRORAČUN OPTEREĆENJA ISPUSTA NA DIONICI OD STAC. 0+594.00 DO STAC. 0+900.00

U ovom podpoglavlju dat je proračun stabilnosti ispusta za vrijeme polaganja i ugradnje betona oko cijevi na dionici od stac. 0+594.00 do stac. 0+900.00 u dužini od 306.00 (m). Na ovoj dionici ugradit će se cijev PEHD PE100, PN 10 SDR 17, DN400 (Dv=400 mm, Du=352.6 mm). Ova cijev će se obložiti betonom u skladu s nacrtima. Pri betoniranju prostora oko cijevi nastaje uzgon od betona čije djelovanje treba proračunati. Potrebno je odabrati razmake postavljanja opteživača prilikom polaganja cijevi na ovoj dionici, te proračunati naprezanja i pomake cijevi koji pritom nastaju. Također treba odabrati i dinamiku ugradnje betona, te proračunati naprezanja i pomake cijevi koji pritom nastaju.

Cijev na površini mora

Na slici D.1. dana je skica statičkog djelovanja koje nastaje prilikom postavljanja cijevi na površinu mora sa odabranim rasporedom opteživača. Cijev se tretira kao obostrano upeta na mjestima postavljanja opteživača.



Slika D.1. Statička shema cijevi prilikom polaganja cijevi na površinu mora

Geometrijske karakteristike cijevi date su tablici D.1.

Tablica D.1. Geometrijske karakteristike cijevi PEHD DN 400

CIJEV PEHD DN 400 (400/352,6)		
vanjski promjer cijevi:	(m)	0,400
svijetli profil cijevi:	(m)	0,3526
površina stijenke:	(m ²)	0,0280
gustoća materijala cijevi:	(kg/m ³)	950,00
težina cijevi po m':	(N/m')	261,111
površina svijetlog profila:	(m ²)	0,09765
gustoća vode:	(kg/m ³)	1000
težina vode u cijevi po m':	(N/m')	957,907
površina profila:	(m ²)	0,12566
gustoća mora:	(kg/m ³)	1028
težina istisnutog mora:	(N/m')	1267,278
neto uzgon cijevi ispunjene zrakom:	(N/m')	1006,167
neto uzgon cijevi ispunjene vodom:	(N/m')	48,260
težina mora u cijevi po m':	(N/m')	984,729
neto uzgon cijevi ispunjene morem:	(N/m')	21,439

Proračun će se provesti od opterećenja u, tj. od uzgonskog djelovanja mora na cijev ispunjenu zrakom, koja je položena na površinu mora. Primarni opteživači su smješteni na razmaku L, a cijev mora plivati. Nakon postupnog upuštanja mora u cijev, cijev s opteživačima tone na dno.

$$M_{\max} = \frac{u \cdot L^2}{12}$$

$$A = \frac{u \cdot L}{2}$$

$$B = \frac{u \cdot L}{2}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{u \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Rezultati proračuna za odabrani razmak L između osnovnih (primarnih) opteživača tip PO-DN400 dati su u tablici D.2. Odabran je razmak opteživača od L=3.5 (m), zbog potrebnog opterećenja pri betoniranju. Proračun prikazan u Tablici D.2. pokazuje da će cijev opterećena opteživačima na razmaku od 7.0 (m) i ispunjena zrakom, plivati.

Tablica D.2. Proračun naprezanja i deformacija pri postavljanju cijevi ispunjene zrakom na površinu mora i opterećene primarnim opteživačima tipa PO-DN400 na razmaku L

PRORAČUN NAPREZANJA NA POVRŠINI MORA		
(cijev ispunjena zrakom)		
L	(m)	7
E	(MPa)	1000
I	(m ⁴)	0,000497886
u (uzgon na cijev ispunjenu zrakom)	(N/m')	1006,17
Mmax od u	(Nm)	4108,52
fmax od u	(mm)	5,160
Reakcija na osloncu od u	(N)	3521,59
W	(m ³)	0,0024894
Maksimalno naprezanje	(MPa)	1,6504
Uronjena težina opteživača	(N)	252
Koef. sig. na tonjenje	(fs)	13,975

Karakteristike primarnih (osnovnih) opteživača tipa PO-DN400 date su u tablici D.3.

Tablica D.3. Karakteristike primarnih (osnovnih) opteživača tip PO-DN400

OSNOVNI OPTEŽIVAČ PO-DN400	
VOLUMEN (m ³)	0,01873
TEŽINA (N)	441,03
URONJENA TEŽINA (N)	252,67
MASA (kg)	44,96

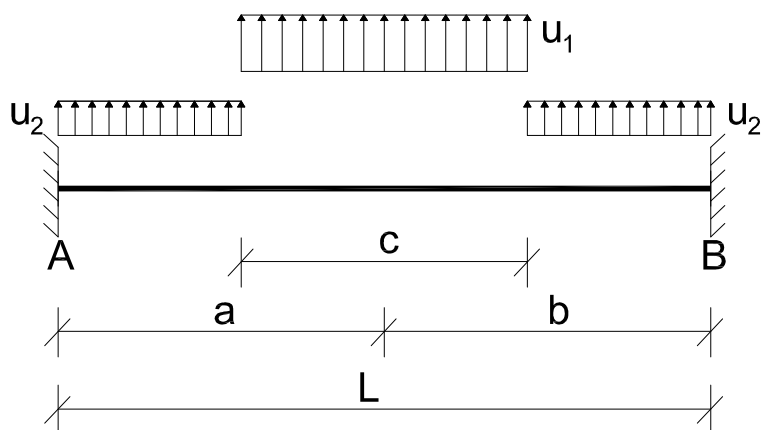
U Tablici D.4. prikazani su rezultati proračuna naprezanja i pomaka nakon što se cijev napuni morem. Proračun prikazan u Tablici D.4. pokazuje da je potreban dodatni uzgon od 101,93 (N) na dionici cijevi dužine L=7,0 (m), da bi se cijev održavala na površini mora.

Tablica D.4. Proračun naprezanja i deformacija nakon punjenja cijevi morem. Razmak opteživača tipa PO-DN 400 je L

PRORAČUN NAPREZANJA NA POVRŠINI MORA		
(cijev ispunjena morem)		
L	(m)	7
E	(MPa)	1000
I	(m ⁴)	0,000497886
u (uzgon na cijev ispunjenu morem)	(N/m')	21,44
Mmax od u	(Nm)	87,54
fmax od u	(mm)	0,110
Reakcija na osloncu od u	(N)	75,04
W	(m ³)	0,0024894
Maksimalno naprezanje	(MPa)	0,0352
Uronjena težina opteživača	(N)	252
Potreban dodatni uzgon na dionici dužine L	(N)	101,93

Cijev na dnu prilikom betoniranja

Na slici D.2. dana je statička shema cijevi prilikom betoniranja središnjeg dijela raspona između dva sekundarna opteživača. Betoniranje se izvodi na dužini „c“. Za statički sustav odabrana je obostrano upeta greda zbog načina spajanja cijevi, tj. usvaja se da je cijev kontinuirani nosač.



Slika D.2. Statička shema cijevi za betoniranje dionice c između dva sekundarna opteživača

U prvoj fazi betonira se dionica dužine „c“. Cijev je napunjena morem. Nakon prve faze vezanja betona (cca 5 sati) može se pristupiti betoniranju prostora na preostalom dijelu cijevi.

Proračun će se provesti od opterećenja $p = u_1 - u_2$, na dijelu koji se betonira u prvoj fazi, a zatim od opterećenja u_2 koje djeluje na cijeloj dužini obostrano upete grede. Ukupno djelovanje odredit će se zbrajanjem djelovanja od opterećenja p i od u_2 .

Djelovanja od opterećenja p (na dužini c).

$$M_{\max} = \frac{p \cdot b \cdot c}{3L^2} \cdot \left(L^2 - b^2 - \frac{c^2}{4} \right)$$

$$A = \frac{p \cdot b \cdot c}{L}$$

$$B = \frac{p \cdot a \cdot c}{L}$$

$$f_{\max} = \frac{p \cdot c}{6 \cdot E \cdot I} \cdot \left[\frac{a \cdot b}{L} \cdot \left(2a \cdot L - 2a^2 - \frac{c^2}{4} \right) + \frac{c^3}{64} \right] - \frac{p \cdot b \cdot c}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left[L^2 - b^2 - \frac{c^2}{4} \right]$$

Djelovanja od opterećenja u_2 (na dužini L).

$$M_{\max} = \frac{u_2 \cdot L^2}{12}$$

$$A = \frac{u_2 \cdot L}{2}$$

$$B = \frac{u_2 \cdot L}{2}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{u_2 \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Sekundarni opteživači tip SO-DN400 imaju sljedeće karakteristike:

SEKUNDARNI OPTEŽIVAČ TIP SO-DN400	
VOLUMEN (m ³)	0,13562
TEŽINA (N)	3193,1
URONJENA TEŽINA (N)	1825,4
MASA (kg)	325,50

Rezultati proračuna za odabrani razmak između sekundarnih opteživača tip SO-DN400 dati su u tablici D.5.

Tablica D.5. Proračun naprezanja i deformacija pri betoniranju prostora oko cijevi PEHD DN400

PRORAČUN NAPREZANJA KOD BETONIRANJA		
(cijev ispunjena morem)		
L	(m)	3,5
c	(m)	1,75
a	(m)	1,75
b	(m)	1,75
E	(MPa)	1000
I	(m ⁴)	0,000497886
gustoća betona	(kg/m ³)	2400
u _b	(N/m')	-2958,63
u ₁ (uzgon na dijelu pod betonom)	(N/m')	-1712,79
u ₂ (uzgon cijevi ispunjene morem)	(N/m')	-21,44
p = u ₁ -u ₂	(N/m')	-1691,35
M _{max} od p	(Nm)	-1187,03
f _{max} od p	(mm)	-1,079
Reakcija na osloncu od p	(N)	-1479,93
u ₂ (uronjena težina cijevi ispunjene morem)	(N/m')	-21,44
M _{max} od u ₂	(Nm)	-21,89
f _{max} od u ₂	(mm)	-0,0168
Reakcija na osloncu od u ₂	(N)	-37,52
M _{max} ukupno	(Nm)	-1208,91
f _{max} ukupno	(mm)	-1,095
Reakcija na osloncu ukupno	(N)	-1517,45
W	(m ³)	0,0024894
Maksimalno naprezanje	(MPa)	-0,0088
Uronjena težina opteživača	(N)	1825,39
Koef. sig. na isplivavanje	(fs)	1,203

Iz tablice D.5. je vidljivo da će se prilikom betoniranja središnje dužine od c=1.75 (m) pojaviti maksimalni moment na ležaju (opteživač) od 1208,91 (Nm). Maksimalni progib (izdizanje sredine dionice cijevi između dva opteživača) iznositi će 1,095 (mm). Pri tom je koeficijent sigurnosti na isplivavanje 1.203.

U prvoj fazi betonira se cijev na dužini od 1,75 (m) u središnjem dijelu dionice dužine 3,5 (m). Naprezanja u cijevi su pritom vrlo mala (0.0088 (MPa)), ali je deformacija cijevi ograničavajući faktor (1,095 (mm) prema gore), kao i uvjet da čitava dionica ne ispliva. Za graničnu dozvoljenu deformaciju cijevi usvojena je vrijednost od cca 1,5 (mm).

Na navedenoj dionici dužine 306 (m) ugradit će se 88 sekundarnih opteživača tipa SO-DN400, na međusobnom razmaku od 3.5 (m).

D.1.3. PRORAČUN OPTEREĆENJA ISPUSTA NA DIONICI OD STAC. 0+900.00 DO STAC. 1+765.00

Proračun je proveden korištenjem postupka objašnjenog u knjizi "Kanalizacija naselja", J. Margeta, Split, 2009.

Uzgon cjevovoda:

Jedinična težina tvrdog polietilena manja je od jedinične težine mora, pa bi cjevovod ispunjen morem ili vodom još uvijek plivao. Cjevovod je potrebno sidriti betonskim utezima na dnu, da bi se eliminirao utjecaj uzgona.

Cjevovod podmorskog dijela podmorskog ispusta je projektiran prema sljedećem:

- Od stac. 0+594.00 do stac. 1+765.00 ugradit će se cijevi od tvrdog polietilena oznake: PEHD PE100, PN 10 SDR 17, DN400 (D_v=400 mm, D_u=352.6 mm). Dužina primjene ove vrste cijevi iznosi 1171.00 (m).

Dužina dionice od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00 iznosi 865.00 (m). U ovom podpoglavlju razmatraju se djelovanja na cijev podmorskog dijela podmorskog ispusta koji se ne betonira, tj ova dionica od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00 u dužini od 865.00 (m). Osnovne karakteristike cijevi PEHD DN400 date su u tablici D.1.

Utjecaj morskih struja:

Brzina struje na udaljenosti od dna jednakoj promjeru cijevi je:

$$V_T = 0,4 \text{ (m/s)}$$

Horizontalna i vertikalna komponenta dinamičke tlačne sile prouzrokovane strujanjem mora definirane su izrazima:

$$P_{XT} = 0,6 \cdot \rho_m \cdot D_v \cdot V_T^2 \text{ (N/m')}$$

$$P_{ZT} = 0,6 \cdot P_{XT} \text{ (N/m')}$$

gdje je:

ρ_m - gustoća mora (kg/m^3),

D_v - vanjski promjer cijevi (m).

Izračunato je:

$$P_{XT} = 39,475 \text{ (N/m')}$$

$$P_{ZT} = 23,685 \text{ (N/m')}$$

Utjecaj valova:

Proračun stabilnosti vrši se prema ruskim normama. Visina vala H_0 i dužina vala L_0 su:

$$H_0 = 4,0 \text{ m,}$$

$$L_0 = 38 \text{ m.}$$

U zoni plitkog mora vrši se transformacija vala. Proračun je proveden prema Iskenderovu. Ako je H dubina mora na mjestu transformacije:

$$H_{0X} = 1,27 \cdot \sqrt{\frac{H}{L_0}} \cdot H_0$$

$$L_{0X} = 1,41 \cdot \sqrt{\frac{H}{L_0}} \cdot L_0$$

H_{0X} je visina vala na stacionaži sa dubinom mora H , a L_{0X} je dužina vala na istoj stacionaži.

Proračun utjecaja valova se vrši za dubine veće od dubine ukapanja cjevovoda.

Inercijska i brzinska komponenta dinamičke tlačne sile, prouzrokovane djelovanjem valova na cjevovod, računaju se po formulama:

$$\max P_{xi} = \frac{7,4 \cdot \rho \cdot g \cdot d^2 \cdot H_{0X}}{L_{0X} \cdot \cosh(2 \cdot \pi \cdot H/L_{0X})}$$

$$\max P_{xs} = \frac{7,8 \cdot \rho \cdot g \cdot d^2 \cdot H_{0X}}{L_{0X} \cdot \sinh(4 \cdot \pi \cdot H/L_{0X})}$$

gdje je:

ρ - gustoća mora u kg/m^3 ,

d - vanjski promjer cijevi u m.

Horizontalna i vertikalna projekcija sile pritiska valova ovise o omjeru inercijske i brzinske komponente:

$$A = \frac{\max P_{xi}}{\max P_{xs}}$$

Ako je $A \geq 2$, tada je:

$$\max P_x = \max P_{xi}$$

$$P_z = 0$$

Ako je $0,5 \leq A < 2$, tada je:

$$\max P_x = 0,5A \cdot \max P_{xi} + (1 - 0,25A^2) \max P_{xs}$$

$$P_z = (1 - 0,25A^2) \max P_{xs}$$

Ako je $A < 0,5$

$$\max P_x = \max P_{xs}$$

$$P_z = \max P_{xs}$$

Rezultati proračuna utjecaja valova na podmorski ispust prikazani su u tablici D.6.

Tablica D.6. Rezultati proračuna utjecaja valova na podmorski ispust

Stacionaža x	Dubina mora H	Visina vala H_{0x}	Duljina vala L_{0x}	Dv cijevi	Inercijska komponenta sile $\max P_{xi}$	Brzinska komponenta sile $\max P_{xs}$	A	$\max P_x$	P_z
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(N/m')	(N/m')		(N/m')	(N/m')
900,00	9,00	2,472	26,075	0,400	255,52	12,62	20,25	255,52	0,00
1000,00	18,25	3,520	37,131	0,400	103,00	1,41	73,12	103,00	0,00
1100,00	27,60	4,329	45,663	0,400	50,74	0,28	183,09	50,74	0,00
1200,00	36,40	4,972	52,440	0,400	28,89	0,08	369,57	28,89	0,00
1300,00	43,45	5,432	57,294	0,400	19,30	0,03	604,63	19,30	0,00
1400,00	50,30	5,845	61,645	0,400	13,44	0,01	934,23	13,44	0,00
1500,00	56,90	6,216	65,564	0,400	9,70	0,01	1376,60	9,70	0,00
1600,00	58,50	6,303	66,480	0,400	8,99	0,01	1506,25	8,99	0,00
1765,00	60,00	6,383	67,327	0,400	8,38	0,01	1636,76	8,38	0,00

Na položeni cjevovod istovremeno djeluju sile dinamičkog tlaka od valova i od morskih struja. Vrijednosti komponenti tlačne sile (bočne horizontalne P_{xrac} i vertikalne uzlazne P_{zrac}) na slobodno položeni podmorski cjevovod definiraju izrazi:

$$P_{xrac} = K_{SN} \cdot \cos^2(\alpha) \cdot \max P_x + \cos^2(\beta) \cdot P_{xT}$$

$$P_{zrac} = K_{SN} \cdot \cos^2(\alpha) \cdot P_z + 0,6 \cdot \cos^2(\beta) \cdot P_{zT}$$

gdje je:

K_{SN} – koeficijent redukcije utjecaja valova, zbog nejednolikosti njihova djelovanja duž trase, ovisi o razmaku blokova za opterećenje (l_g) i dužini vala (L_0):

$l_g < 0,25 L_0$	$0,25 L_0 < l_g < 0,5 L_0$	$0,5 L_0 < l_g < 1 L_0$	$L_0 < l_g$
$K_{SN} = 0,8$	$K_{SN} = 0,70$	$K_{SN} = 0,6$	$K_{SN} = 0,5$

- φ – kut što ga zatvara normala na trasu cjevovoda sa smjerom kretanja valova, odabrano 0° ,
 β – kut između normale na trasu cjevovoda i smjera toka struje, odabrano 0° ,
 $\max P_x$ – horizontalna komponenta dinamičke tlačne sile od valova;
 P_z – vertikalna komponenta dinamičke tlačne sile od valova;
 P_{xT} – horizontalna tlačna sila od morske struje.

Odabrano je $K_{SN}=0,8$

Rezultati proračuna utjecaja valova i morskih struja na podmorski ispust prikazani su u tablici D.7.

Tablica D.7. Rezultati proračuna utjecaja valova i morskih struja na podmorski ispust

Stacionaža x	Dubina mora H	Visina vala H _{0x}	Duljina vala L _{0x}	Dv cijevi	Inercijska komponenta sile maxP _{si}	Brzinska komponenta sile maxP _{xs}	A	maxP _x	P _z	P _{xt}	P _{zt}	P _{xrac}	P _{zrac}
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(N/m')	(N/m')		(N/m')	(N/m')	(N/m')	(N/m')	(N/m')	(N/m')
900,00	9,00	2,472	26,075	0,400	255,52	12,62	20,25	255,52	0,00	39,475	23,685	243,89	14,211
1000,00	18,25	3,520	37,131	0,400	103,00	1,41	73,12	103,00	0,00	39,475	23,685	121,87	14,211
1100,00	27,60	4,329	45,663	0,400	50,74	0,28	183,09	50,74	0,00	39,475	23,685	80,07	14,211
1200,00	36,40	4,972	52,440	0,400	28,89	0,08	369,57	28,89	0,00	39,475	23,685	62,59	14,211
1300,00	43,45	5,432	57,294	0,400	19,30	0,03	604,63	19,30	0,00	39,475	23,685	54,91	14,211
1400,00	50,30	5,845	61,645	0,400	13,44	0,01	934,23	13,44	0,00	39,475	23,685	50,23	14,211
1500,00	56,90	6,216	65,564	0,400	9,70	0,01	1376,60	9,70	0,00	39,475	23,685	47,23	14,211
1600,00	58,50	6,303	66,480	0,400	8,99	0,01	1506,25	8,99	0,00	39,475	23,685	46,67	14,211
1765,00	60,00	6,383	67,327	0,400	8,38	0,01	1636,76	8,38	0,00	39,475	23,685	46,18	14,211

Proračun potrebnog opterećenja:

Silama uslijed djelovanja valova, struja i uzgona na potopljeni cjevovod, suprotstavljaju se težina i trenje izazvano betonskim utezima, čija se najmanja dopuštena težina određuje prema:

$$G_{\text{MIN}} > \frac{M_1}{M_4 \cdot NF} \cdot P_{\text{xrac}} + \frac{M_2}{M_4} \cdot P_{\text{zrac}} + \frac{M_3}{M_4} \cdot UP$$

UP – neto uzgon cijevi ispunjene morem;

NF – koeficijent karakterističnih uvjeta dodirivanja cjevovoda sa podložnim tlom;

Koeficijenti opterećenja M iznose:

$$M_1 = 1,00$$

$$M_2 = 1,05,$$

$$M_3 = 0,95,$$

$$M_4 = 0,90,$$

$$NF = 1/1.65 \text{ za pjeskovito muljevito tlo.}$$

Rezultati proračuna potrebnog opterećenja podmorskog ispusta (po m') dati su u tablici D.8. U tablici je sa G_{POT} označena potrebna uronjena težina opterećenja po m' podmorskog ispusta.

Tablica D.8. Proračun potrebnog opterećenja podmorskog ispusta

Stacionaža	Dubina mora H	P _{xrac}	P _{zrac}	UP	G _{MIN}	Koeficijent sigurnosti	G _{POT}
(m)	(m)	(N/m')	(N/m')	(N/m')	(N/m')		(N/m')
900,00	9,00	243,89	14,21	21,44	486,35	1,30	632,25
1000,00	18,25	121,87	14,21	21,44	262,64	1,30	341,44
1100,00	27,60	80,07	14,21	21,44	186,00	1,30	241,80
1200,00	36,40	62,59	14,21	21,44	153,95	1,30	200,14
1300,00	43,45	54,91	14,21	21,44	139,88	1,30	181,84
1400,00	50,30	50,23	14,21	21,44	131,29	1,30	170,68
1500,00	56,90	47,23	14,21	21,44	125,81	1,30	163,55
1600,00	58,50	46,67	14,21	21,44	124,76	1,30	162,19
1765,00	60,00	46,18	14,21	21,44	123,87	1,30	161,03

Broj i raspored opteživača/utega:

Cjevovod će se ukopati u dno do dubine od 9,0 (m) (tjeme cijevi). Od ove dubine nadalje cjevovod će se opteretiti betonskim utezima u skladu s rezultatima proračuna iz tablice D.8., uz odabrani minimalni koeficijent sigurnosti od k=1,3.

Na većoj dubini potrebno je manje opterećenje, odnosno što je dubina veća to je potrebno manje opterećenje. Ovim glavnim projektom predviđen je kabelski način potapanja cjevovoda.

Prijedlog rasporeda opteživača daje se u sljedećoj tablici gdje se, kao djelujuće opterećenje, primjenjuje samo jedno (konačno odnosno sekundarno) opterećenje. Primarno opterećenje koje se koristi za potapanje cjevovoda, se neće računati u osiguranje stabilnosti cjevovoda. Ono se, zbog oblika sekundarnih opteživača, mora ukloniti nakon postavljanja podmorskog ispusta na dno. Samo oni primarni opteživači koji ne budu smetali normalnom položaju podmorskog ispusta mogu ostati na cijevi podmorskog ispusta tijekom eksploatacije.

U tablici D.9. dat je raspored sekundarnih opteživača po pojedinim dionicama podmorskog ispusta, za profil DN 400 (400/352.6 mm). Ukupno je potrebno 183 opteživača ukupne mase 59480 (kg) betona. Volumen betona, odnosno volumen svih opteživača iznosi 24.78 (m³).

Na dionici od stac. 0+594.00 do stac. 0+900.00, za potrebe stabilizacije cjevovoda pri betoniranju prostora oko cjevovoda ugradit će se sekundarni opteživači na razmaku od 3.5 (m). Na ovoj dionici potreban broj takvih opteživača iznosi 88 (kom) pojedinačne mase od 325.50 (kg/kom.). Ukupna masa ovih opteživača iznosi 28644 (kg).

Na difuzoru će se ugraditi sljedeći sekundarni opteživači (nosači):

- 8 sekundarnih opteživača tipa A, pojedinačne mase 303,34 (kg); ukupno 2426,7 (kg),
 - 7 sekundarnih opteživača tipa B, pojedinačne mase 300,82 (kg); ukupno 2105,7 (kg),
 - 5 sekundarnih opteživača tipa C, pojedinačne mase 297,65 (kg); ukupno 1488,2 (kg),
 - 4 sekundarnih opteživača tipa D, pojedinačne mase 294,12 (kg); ukupno 1176,5 (kg),
 - 2 sekundarna opteživača tipa E, pojedinačne mase 290,52 (kg); ukupno 581,0 (kg),
 - 4 sekundarna opteživača tipa F, pojedinačne mase 287,14 (kg); ukupno 1148,5 (kg),
 - 2 sekundarna opteživača tipa G, pojedinačne mase 283,39 (kg); ukupno 566,8 (kg),
 - 4 sekundarna opteživača tipa H, pojedinačne mase 280,15 (kg); ukupno 1120,6 (kg),
- Sveukupna masa svih sekundarnih opteživača (nosača) difuzora (36 kom.) iznositi će 10614,1 (kg).

Sveukupna masa sekundarnih opteživača od stac. 0+594.00 do kraja difuzora na stac. 1+965.00 iznositi će 98738 (kg) (307 kom.).

Tablica D.9. Raspored konačnih (sekundarnih) opteživača duž podmorskog ispusta

Stacionaža (m)		Dubina mora (m)		Dužina dionice (m)	G potrebno (N/m ³)		G ukupno potrebno	Gur. jednog opteživača	V jednog optež.	G jednog optež.	M jednog optež.	Razmak optež.	Broj optež.	Ostvareno opteživ.	G ostvareno na dionici	V betona	G betona	Masa betona	
Početak	Kraj	Početak	Kraj		Početak	Kraj	(N)	(N)	(m ³)	(N)	(kg)	(m)	(kom.)	(N/m)	(N)	(m ³)	(N)	(kg)	
900,00	- 1000,00	9,00	- 18,25	100,00	632,25	- 341,44	48685	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	2,5	40,0	730,16	73016	5,425	127724	13020	
1000,00	- 1100,00	18,25	- 27,60	100,00	341,44	- 241,80	29162	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	3,5	28,6	521,54	52154	3,875	91232	9300	
1100,00	- 1200,00	27,60	- 36,40	100,00	241,80	- 200,14	22097	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	5,0	20,0	365,08	36508	2,712	63862	6510	
1200,00	- 1300,00	36,40	- 43,45	100,00	200,14	- 181,84	19099	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	6,0	16,7	304,23	30423	2,260	53218	5425	
1300,00	- 1400,00	43,45	- 50,30	100,00	181,84	- 170,68	17626	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	6,0	16,7	304,23	30423	2,260	53218	5425	
1400,00	- 1500,00	50,30	- 56,90	100,00	170,68	- 163,55	16711	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	6,0	16,7	304,23	30423	2,260	53218	5425	
1500,00	- 1600,00	56,90	- 58,50	100,00	163,55	- 162,19	16287	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	6,0	16,7	304,23	30423	2,260	53218	5425	
1600,00	- 1765,00	58,50	- 60,00	165,00	162,19	- 161,03	26666	1825,39	0,13562	3193,11	325,50	6,0	27,5	304,23	50198	3,730	87810	8951	
Sveukupno:					865,00			196332						183		333568	24,78	583502	59480

U tablici D.9a. dat je raspored primarnih opteživača po pojedinim dionicama podmorskog ispusta, od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00, za profil DN 400 (400/352.6 mm). Ukupno su potrebna 124 primarna opteživača ukupne mase 5553 (kg) betona. Volumen betona, odnosno volumen svih primarnih opteživača na ovom dijelu podmorskog ispusta iznosi 2.314 (m³).

Na dionici od stac. 0+594.00 do stac. 0+900.00, za potrebe polaganja cjevovoda postaviti će se primarni opteživači na razmaku od 7.0 (m). Na ovoj dionici potreban broj takvih opteživača iznosi 44 (kom) pojedinačne mase od 44.96 (kg/kom.). Ukupna masa ovih opteživača iznosi 1978.24 (kg).

Na difuzoru će se ugraditi sljedeći osnovni (primarni) opteživači:

- 7 osnovnih (primarnih) opteživača tipa PO-DN400, pojedinačne mase 44,96 (kg); ukupno 314,7 (kg),
 - 6 osnovnih (primarnih) opteživača tipa PO-DN355, pojedinačne mase 41,12 (kg); ukupno 246,7 (kg),
 - 5 osnovnih (primarnih) opteživača tipa PO-DN315, pojedinačne mase 37,71 (kg); ukupno 188,5 (kg),
 - 3 osnovna (primarna) opteživača tipa PO-DN280, pojedinačne mase 34,73 (kg); ukupno 104,2 (kg),
 - 2 osnovna (primarna) opteživača tipa PO-DN250, pojedinačne mase 32,18 (kg); ukupno 64,4 (kg),
 - 3 osnovna (primarna) opteživača tipa PO-DN225, pojedinačne mase 30,05 (kg); ukupno 90,2 (kg),
 - 2 osnovna (primarna) opteživača tipa PO-DN200, pojedinačne mase 27,93 (kg); ukupno 55,9 (kg),
 - 3 osnovna (primarna) opteživača tipa PO-DN180, pojedinačne mase 26,23 (kg); ukupno 78,7 (kg).
- Sveukupna masa svih osnovnih (primarnih) opteživača difuzora (31 kom.) iznositi će 1143,2 (kg).

Sveukupna masa primarnih opteživača od stac. 0+594.00 do kraja difuzora na stac. 1+965.00 iznositi će 8674,44 (kg) (199 kom.).

Tablica D.9a. Rapored osnovnih (primarnih) opteživača duž podmorskog ispusta, od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00

RASPORED PRIMARNIH OPTEŽIVAČA																
Stacionaža (m)		Neto uzgon cijevi ispunjene morem (N/m')	G potrebno (N/m')	Dužina dionice (m)	G ukupno potrebno (N)	Gur. jednog para optež. (N)	V jednog para optež. (m ³)	G jednog para optež. (N)	M jednog para optež. (kg)	Razmak optež. (m)	Broj optež. (kom.)	Ostvareno opteživ. (N/m')	G ostvareno na dionici (N)	V betona (m ³)	G betona (N)	Masa betona (kg)
Početak	Kraj															
900,00	- 1000,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1000,00	- 1100,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1100,00	- 1200,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1200,00	- 1300,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1300,00	- 1400,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1400,00	- 1500,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1500,00	- 1600,00	21,439	27,870	100,00	2787	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	14,29	36,00	3600	0,267	6297	642
1600,00	- 1765,00	21,439	27,870	165,00	4599	252,00	0,018723	440,81	44,94	7,000	23,57	36,00	5940	0,441	10391	1059
UKUPNO:											124			2,314	54472	5553

D.1.4. OPTEREĆENJE DIFUZORA

Difuzor se izgrađuje od manjih cijevi u odnosu na cijev podmorskog ispusta. Za difuzor su predviđeni posebni nosači (sekundarni opteživači) sa obujmicama od nehrđajućeg čelika. Razmak ovih nosača je oko 6 (m). Proračun za ispust usvaja se i za difuzor. Prema tablici D.9. razmak sekundarnih opteživača na dionici podmorskog ispusta od stac. 1+200.00 do stac. 1+765.00 iznosi 6 (m). Isti razmak usvojen je i za sekundarne opteživače difuzora. Iz proračuna je vidljivo da je za krajnju dionicu ispusta, odnosno početak difuzora (stac. 1+765.00), potrebna sila od opterećenja jednaka 161.03 (N/m').

Detaljni nacrti svih tipova primarnih i sekundarnih opteživača difuzora definirani su u ovom glavnom projektu (prilozi 14 i 15).

Ukupno je potrebno 8 tipova primarnih i 8 tipova sekundarnih opteživača na difuzoru.

Difuzor mora biti postavljen iznad terena za što se koriste betonski nosači koji su ujedno i sekundarni opteživači difuzora.

Zbog oblika sekundarnog opteživača (nosača) difuzora osnovni opteživači neće smetati normalnom postavljanju difuzora, te mogu ostati pričvršćeni na cjevovodu tijekom eksploatacije podmorskog ispusta.

D.2. KONTROLA NAPREZANJA CJEVOVODA U EKSPLOATACIJI

Maksimalna tlačna visina koja može nastati u cjevovodu kod najnepovoljnijih prilika, na dionici od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00, odredit će se iz rezultata hidrauličkog proračuna. Na stac. 0+900.00 piezometarska kota, pri maksimalnoj plimi, iznosi:

$$h_{900.00} = 19.098 - 0.019946 \times 293,07 \times 1.2152^2 / (0.4406 \times 19,62) - 0.020778 \times 306 \times 1.8974^2 / (0.3526 \times 19,62) = 14.79 \text{ (m n.m.)}$$

Tlačna visina na toj stacionaži iznositi će 14.79-2.4225=12.368 (m V.S.). Radi sigurnosti, za daljnji proračun naprezanja, usvaja se 15 (m V. s.).

Osnovne značajke cjevovoda podmorskog dijela podmorskog ispusta na dionici od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00 (PEHD DN400 (400/352.6 mm)) su:

CIJEV PEHD DN 400 (400/352,6)

vanjski promjer cijevi:	(m)	0,400
svijetli profil cijevi:	(m)	0,3526
površina stijenke:	(m ²)	0,0280
gustoća materijala cijevi:	(kg/m ³)	950,00
težina cijevi po m':	(N/m')	261,111
površina svijetlog profila:	(m ²)	0,09765
gustoća vode:	(kg/m ³)	1000
težina vode u cijevi po m':	(N/m')	957,907
površina profila:	(m ²)	0,12566
gustoća mora:	(kg/m ³)	1028
težina istisnutog mora:	(N/m')	1267,278
neto uzgon cijevi ispunjene zrakom:	(N/m')	1006,167
neto uzgon cijevi ispunjene vodom:	(N/m')	48,260
težina mora u cijevi po m':	(N/m')	984,729
neto uzgon cijevi ispunjene morem:	(N/m')	21,439

Maksimalno naprezanje uslijed unutrašnjeg tlaka za PEHD cijevi podmorskog dijela podmorskog ispusta od stac. 0+900.00 do stac. 1+765.00 (PEHD DN400 (400/352.6 mm)) je:

$$\sigma = P_{NT} \cdot \frac{\frac{r_v^2}{r_u^2} + 1}{\frac{r_v^2}{r_u^2} - 1} = 15 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot \frac{\frac{0,200^2}{0,1763^2} + 1}{\frac{0,200^2}{0,1763^2} - 1} = 1172831 \text{ (Pa)} = 117,283 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

Naprezanje uslijed promjene temperature:

- u poprečnom presjeku
temperatura mora 12⁰ C
temperatura otpadne vode 30⁰ C

$$\Delta T = 30 - 12 = 18^0 \text{ C ; } E_k = 20000 \text{ (N/cm}^2\text{)} \quad \alpha_T = 2 \times 10^{-4} / \text{C}^0$$

$$\sigma = \Delta T \cdot \alpha_T \cdot E_k \cdot \frac{1}{2} = 18 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 20000 = 72,0 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

- u uzdužnom smjeru

$$\sigma = \Delta T \cdot \alpha_T E_k = 18 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 20000 = 72,0 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

Naprezanja uslijed nejednolikog naližeganja na rasponu od dva razmaka između 3 oslonca (pretpostavka da se srednji opteživač nije naslonio na podlogu) data su u tablici D.10., a računaju se prema sljedećim izrazima:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot D^3 \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] = 4047,14 \text{ cm}^3$$

q – ostvareno opteživanje (neto uzgon).

$$M = q \cdot \frac{l^2}{12}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Tablica D.10. Naprezanja uslijed nejednolikog nalijezanja

NAPREZANJA USLIJED NEJEDNOLIKOG NALIJEKANJA										
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	Ostvareno opteživanje (N/m')	Neto uzgon (N/m')	q (N/m')	Razmak oslonaca (m)	M (Ncm)	σ (N/cm ²)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	730,16	48,260	681,896	5,00	142061,67	57,066
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	521,54	48,260	473,280	7,00	193256,01	77,631
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	365,08	48,260	316,818	10,00	264015,01	106,054
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	304,23	48,260	255,972	12,00	307166,02	123,388
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	304,23	48,260	255,972	12,00	307166,02	123,388
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	304,23	48,260	255,972	12,00	307166,02	123,388
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	304,23	48,260	255,972	12,00	307166,02	123,388
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	304,23	48,260	255,972	12,00	307166,02	123,388

Naprezanja uslijed uzgona između opteživača (slučaj otkočena dva opteživača) prikazana su u tablici D.11.

$$M = q \cdot \frac{l^2}{12}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Tablica D.11. Naprezanja uslijed uzgona između opteživača (otkočena 2 susjedna opteživača)

NAPREZANJA USLIJED UZGONA IZMEĐU OPTEŽIVAČA (OTKOČENA 2 OPTEŽIVAČA)								
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	Neto uzgon (N/m')	Razmak oslonaca (m)	M (Ncm)	σ (N/cm ²)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	7,50	22621,87	9,087
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	10,50	44338,86	17,811
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	15,00	90487,48	36,349
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	18,00	130301,97	52,342
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	18,00	130301,97	52,342
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	18,00	130301,97	52,342
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	18,00	130301,97	52,342
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	48,260	18,00	130301,97	52,342

Naprezanja uslijed djelovanja stalne struje prikazana su u tablici D.12.

$$M = p_{st} \cdot \frac{l^2}{12}$$

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Tablica D.12. Naprezanja uslijed djelovanja stalne struje (otkačen 1 opteživač)

NAPREZANJA USLIJED DJELOVANJA STALNE STRUJE (OTKAČEN JEDAN OPTEŽIVAČ)								
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	Pxt (N/m')	Razmak oslonaca (m)	M (Ncm)	σ (N/cm ²)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	5,00	12336,00	4,955
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	7,00	24178,56	9,712
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	10,00	49344,00	19,821
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	12,00	71055,36	28,543
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	12,00	71055,36	28,543
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	12,00	71055,36	28,543
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	12,00	71055,36	28,543
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	39,475	12,00	71055,36	28,543

Kontrola glavnih naprezanja:

- normalni napon u poprečnom smjeru:

$$\sigma_x = \sigma_{\text{unut. tlaka}} + \sigma_{\text{popr. od temp.}}$$

- normalni napon u uzdužnom smjeru:

$$\sigma_y = \sigma_{\text{uzdt. od temp.}} + \sigma_{\text{od. nejed. nalijeganja}} + \sigma_{\text{od. uzgona}} + \sigma_{\text{od. stalne. struje}}$$

- napon smicanja:

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_y - \sigma_x)$$

- glavni napon:

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

U tablici D.13. prikazani su rezultati izračuna glavnih naprezanja za svaku pojedinu dionicu ispusta.

Tablica D.13. Rezultati izračuna glavnih naprezanja za svaku pojedinu dionicu ispusta

KONTROLA GLAVNIH NAPREZANJA											
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	σ (N/cm ²) od unutr. tlaka	σ (N/cm ²) popr. od temp.	σ (N/cm ²) uzd. od temp.	σ (N/cm ²) od nejed. nalijeganja	σ (N/cm ²) od uzgona	σ (N/cm ²) od stalne struje	σ _x (N/cm ²)	σ _y (N/cm ²)	τ (N/cm ²)	σ ₁ (N/cm ²)
900,00	1000,00	117,28	72,00	72,00	57,066	9,09	4,96	189,283	143,108	-23,087	237,293
1000,00	1100,00	117,28	72,00	72,00	77,631	17,81	9,71	189,283	177,154	-6,065	259,252
1100,00	1200,00	117,28	72,00	72,00	106,054	36,35	19,82	189,283	234,224	22,471	301,146
1200,00	1300,00	117,28	72,00	72,00	123,388	52,34	28,54	189,283	276,273	43,495	334,895
1300,00	1400,00	117,28	72,00	72,00	123,388	52,34	28,54	189,283	276,273	43,495	334,895
1400,00	1500,00	117,28	72,00	72,00	123,388	52,34	28,54	189,283	276,273	43,495	334,895
1500,00	1600,00	117,28	72,00	72,00	123,388	52,34	28,54	189,283	276,273	43,495	334,895
1600,00	1765,00	117,28	72,00	72,00	123,388	52,34	28,54	189,283	276,273	43,495	334,895

Dimenzioniranje stijenki PEHD cijevi se vrši prema dozvoljenom naprezanju kod trajanja opterećenja u vremenu od 50 godina i uz faktor sigurnosti od 1,6. Dozvoljeno naprezanje za MRS 8 (PE80) je 500 (N/cm²), a vrijedi uz uvjet da temperatura u cijevi ne prelazi 20⁰ C, a dozvoljeno naprezanje za MRS 10 (PE100) je 620 (N/cm²). Uz minimalni faktor sigurnosti od 1,25 dozvoljeno naprezanje je 496 (N/cm²).

Pretpostavlja se da će cjevovodom teći voda do maksimalno 30⁰ C te je stoga dozvoljeno naprezanje umanjeno i to na iznos od 400 (N/cm²),

$$\sigma_{\text{doz}} = 400 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

Ako se uzme u obzir i moguće smanjenje nosivosti vara tako da se tražena čvrstoća dobiva uz σ=0,95, tada je dozvoljena nosivost manja i iznosi:

$$\sigma_{\text{doz}} = 400 \times 0,95 = 380 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

Kao što se može vidjeti, maksimalno naprezanje u eksploataciji, za kombinaciju najnepovoljnijih uvjeta rada, je manje od dozvoljenog:

$$\sigma_p = 334,895 < 380 \text{ (N/cm}^2\text{)}.$$

D.3. KONTROLA NAPREZANJA KOD TRANSPORTA I MANIPULACIJE

Kontrola naprezanja cjevovoda kod manipulacije provodi se za slučaj da se cijevi proizvode u komadima duljine od 12–13 (m). Manipulacija - prenošenje cijevi obavljat će se uz pridržavanje cijevi na dva mjesta. Za kratkoročno naprezanje dozvoljeni napon iznosi $\sigma_{\text{doz}} = 1000 \text{ (N/cm}^2\text{)}$, a $E_k = 90000 \text{ (N/cm}^2\text{)}$.

Duljina savijanja u slučaju dizanja jednog kraja (pretpostavlja se da je drugi kraj upet) računa se iz sljedećeg izraza:

$$M = q \cdot \frac{L^2}{2}$$

$$L_{\text{max.}} = \sqrt{2 \cdot \frac{M_{\text{max.}}}{q}} = \sqrt{2 \cdot \frac{\sigma_{\text{max.}} \cdot W}{q}}$$

Rezultati proračuna za sve dionice cjevovoda date su u tablici D.14.

Tablica D.14. Duljine savijanja u slučaju dizanja jednog kraja (pretpostavlja se da je drugi kraj upet)

MAKSIMALNE DUŽINE SAVIJANJA (trajanje manipulacije kraće od 3 min)							
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	q (N/cm')	$\sigma_{\text{max.}}$ (N/cm ²)	L _{max.} (cm)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	1000,00	1380,87

Iz prethodne tablice vidi se da su sve dužine veće od maksimalne dužine cijevi koja iznosi 13 (m).

Dozvoljena visina dizanja jednog kraja cijevi dužine 13 (m) računa se prema sljedećem izrazu (uz uvjet da manipulacija traje kraće od 3 minute i uz pretpostavku da je drugi kraj upet):

$$f_{\text{max.}} = \sigma_{\text{max.}} \cdot W \cdot \frac{L^2}{3 \cdot E \cdot I}$$

Rezultati proračuna za sve dionice cjevovoda date su u tablici D.15.

Tablica D.15. Dozvoljene visine dizanja jednog kraja cijevi dužine 13 (m)

DOZVOLJENA VISINA DIZANJA JEDNOG KRAJA CIJEVI (trajanje manipulacije kraće od 3 min)								
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	q (N/cm')	I (cm ⁴)	$\sigma_{\text{max.}}$ (N/cm ²)	f _{max.} (cm)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	1000,00	312,96

U slučaju prijenosa i micanja koje traje dulje od 5 minuta dozvoljene duljine savijanja i visine dizanja jednog kraja su date u tablicama D.16. i D.17.

Tablica D.16. Duljine savijanja u slučaju dizanja jednog kraja (pretpostavlja se da je drugi kraj upet), za trajanje manipulacije duže od 5 (min)

MAKSIMALNE DUŽINE SAVIJANJA (trajanje manipulacije duže od 5 min)							
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	q (N/cm')	σ_{\max} (N/cm ²)	L _{max} (cm)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	976,42

Tablica D.17. Dozvoljene visine dizanja jednog kraja cijevi dužine 13 (m), za trajanje manipulacije duže od 5 (min)

DOZVOLJENA VISINA DIZANJA JEDNOG KRAJA CIJEVI (trajanje manipulacije duže od 5 min)								
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	q (N/cm')	I (cm ⁴)	σ_{\max} (N/cm ²)	f _{max} (cm)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	49788,63	500,00	156,48

Za slučaj da se vrši manipulacija sa cjevovodom na kojem su postavljeni opteživači, maksimalni razmak između zahvaćanja dizalicom smije biti (rezultati u tablici D.18.):

$$q = T_c + G$$

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{\max} \cdot W}{q}}$$

Tablica D.18. Duljine savijanja u slučaju dizanja cjevovoda s postavljenim opteživačima

MAKSIMALNE DUŽINE SAVIJANJA (težina cijevi i primarni opteživači)								
Početak dionice (m)	Kraj dionice (m)	Dv (cm)	Du (cm)	W (cm ³)	T _c (N/cm')	σ_{\max} (N/cm ²)	G (N/cm')	L _{max} (cm)
900,00	1000,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1000,00	1100,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1100,00	1200,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1200,00	1300,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1300,00	1400,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1400,00	1500,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1500,00	1600,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36
1600,00	1765,00	40,00	35,26	2489,43	2,611	500,00	0,360	915,36

D.4. KONTROLA NAPREZANJA KOD PRIDRŽAVANJA KOD POTAPANJA

Pod pritiskom morskih struja cjevovod se deformira te ga je stoga nužno pridržavati kako bi se postigao željeni pravac potapanja cjevovoda. Deformacija cjevovoda "δ" za slučaj pridržavanja cjevovoda brodicama na razmaku "L" iznosi:

$$\delta = \frac{\sigma \cdot L^2}{16 \cdot E_K \cdot D}$$

Dozvoljeno naprezanje se računa kod temperature vode (mora) jednake ili manje od 20 °C i uz maksimalno trajanje do 20 sati. Za ove uvjete dozvoljeno naprezanje i modul elastičnosti bit će:

$$\sigma = 450 \text{ N/cm}^2$$

$$\varepsilon = 1 \%$$

$$E_K = (450/0,01) = 45000 \text{ N/cm}^2$$

Deformacija se računa za razmake brodova:

$$L_1 = 50 \text{ m}; \quad L_2 = 100 \text{ m}; \quad L_3 = 150 \text{ m}$$

Uvrštavanjem se dobije:

$$\delta_1 = \frac{450}{16 \cdot 45000} \cdot \frac{50^2}{0,400} = 4,34 \text{ m}$$

$$\delta_2 = \frac{450}{16 \cdot 45000} \cdot \frac{100^2}{0,400} = 17,36 \text{ m}$$

$$\delta_3 = \frac{450}{16 \cdot 45000} \cdot \frac{150^2}{0,400} = 39,06 \text{ m}$$

Veličina opterećenja koje djeluje na cjevovod iznosi:

$$q = \frac{6 \cdot \pi \cdot E_K \cdot (D^4 - d^4)}{L^4} \cdot \delta$$

a veličina sila izazvana morskim strujama iznosi:

$$q = p_{XT} = 0,6 \cdot \rho_m \cdot D_v \cdot V_{XT}^2 \text{ (N/m')}$$

gdje je:

$$\rho_m \text{ - gustoća mora (kg/m}^3\text{),}$$

$$D_v = D \text{ - vanjski promjer cijevi (m).}$$

Iz navedenih izraza slijedi:

$$V_{XT} = \frac{1}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot \pi \cdot E_K \cdot (D^4 - d^4) \cdot \delta}{\rho_m \cdot D}} = \frac{1}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot \pi \cdot 450 \cdot 10^6 \cdot (0,4^4 - 0,3526^4) \cdot \delta}{1028 \cdot 0,4}}$$

$$V_{XT} = \frac{1}{L^2} \cdot \sqrt{348714,15 \cdot \delta}$$

Uvrštavajući računske razmake brodica dobiju se kritične odnosno maksimalno dozvoljene veličine morskih struja:

$$V_{XT1} = \frac{1}{50^2} \cdot \sqrt{348714,15 \cdot 4,34} = 0,492 \text{ (m/s)}; \quad V_{XT2} = \frac{1}{100^2} \cdot \sqrt{348714,15 \cdot 17,36} = 0,246 \text{ (m/s)}$$

$$V_{XT3} = \frac{1}{150^2} \cdot \sqrt{348714,15 \cdot 39,06} = 0,164 \text{ (m/s)}$$

Ovisno o veličini morske struje odredit će se i potreban broj brodica za pridržavanje.

D.5. KONTROLA NAPREZANJA KOD POTAPANJA

Potapanje cjevovoda se vrši na razne načine shodno lokalnim uvjetima, uvjetima koji će vladati u vrijeme kada se potapanje bude provodilo, tehnologiji koju preferira izvođač radova shodno svom iskustvu, te vrsti cijevi koje će se koristiti za izvedbu. Zbog toga nije moguće unaprijed u cjelini predvidjeti samu tehnologiju potapanja, te provesti cjelovitu kontrolu naprezanja za ovu radnju. U tekstu dalje dat će se mogući okvir kojeg se potrebno pridržavati ako se budu koristile predviđene cijevi od PEHD i ako se cjevovod bude potapao takozvanim "kabelskim načinom". To je tehnologija u kojoj se potapa cjelovita duljina cjevovoda odjednom, na način da se cjevovod optereti osnovnim opteživačima i postupno puni vodom s jednog kraja, s obale. Voda/more i osnovni opteživači su odabrani tako da osiguravaju da će cjevovod tonuti na dno. Prije potapanja potrebno je cjevovod dovesti u planirani položaj odnosno trasu, te ga odgovarajuće učvrstiti na obali.

Brzina punjenja vodom cijevi će regulirati brzinu potapanja za odabrano osnovno opterećenje i time trajanje naprezanja cjevovoda uslijed potapanja. Što je brzina potapanja veća to je mogućnost pojave nepovratnih deformacija cijevi manja. Preporučljiva brzina tonjenja je $v > 500$ (m/h) (E. Janseon, 1999). U ovom projektu predviđena je brzina tonjenja cjevovoda od 3 (m/min.).

Punjenjem vode zrak se u cjevovodu tlači prema izlazu. Postavljanjem prirubnice sa otvorom i ventilom na otvoru, na kraju cjevovoda, moguće je kontrolirati veličinu istjecanja zraka i time tlak u cijevi. Održavanjem tlaka na određenoj razini, obično oko 1 – 2 bara, sprječava se nedozvoljena deformacija cijevi, odnosno prevelika zakrivljenost (mali radijus zakrivljenja). Isto nije dovoljno kod potapanja na veće dubine ($h > 50 D$) kada je potrebno sprječavati preveliko i naglo savijanje cijevi vučnom silom na kraju cjevovoda.

Dozvoljeni radijus zakrivljenja cijevi kod potapanja je oko (E. Janseon, 1999):

$$R_b = \frac{D}{1,12 \cdot \frac{s}{d}} = \frac{0,400}{1,12 \cdot \frac{0,0237}{0,3526}} = 5,31(m)$$

Isti se ograničava da bi se spriječila kritična aksijalna deformacija kod potapanja cjevovoda. Za PE 100 cijevi SDR 26 kritična aksijalna deformacija je 4,6 %. Uz faktor sigurnosti $n=2$, minimalni dozvoljeni koeficijent zakrivljenja je:

$$\alpha \geq 2,0 \cdot \frac{100}{2 \cdot 5,31} = 18,83$$

odnosno minimalno dozvoljeni radijus zakrivljenja je:

$$\alpha = \frac{R}{D} = \frac{R}{0,400}$$

$$R = \alpha \cdot 0,400 = 18,83 \cdot 0,40 = 7,53(m)$$

Kod ove klase cijevi potrebni koeficijent korekcije u odnosu na dozvoljenu deformaciju mora biti $k > 1,5$ čime se povećava minimalno dozvoljeni radijus zakrivljenosti, odnosno koeficijent zakrivljenosti "α". Ovo povećanje se mora postići povećanjem unutrašnjeg tlaka u cijevi za vrijeme potapanja.

Kod većih dubina tlak u cijevi nije dominantan čimbenik nego veći značaj ima vučna sila kojom se cjevovod pridržava tijekom potapanja.

Uz korištenje:

- faktora opterećenja $\beta = 0,25$,
- faktora tlaka zraka $\chi = 0,25$,
- koeficijenta zakrivljenosti $\alpha = 40$,

potrebna sila pridržavanja cjevovoda kod potapanja na dubine od 13 (m) do 61 (m), je od 50 do 30 (kN), a minimalno dozvoljeni radijus zakrivljenja je oko 35 m.

Potreban tlak u cijevi za dubinu od 61 i 30 m je:

$$P_i = 0,25 \times 10 \times H = 0,25 \times 10 \times 61 (m) = 152,5 (kPa) = 1,53 (bara)$$

$$P_i = 0,25 \times 10 \times H = 0,25 \times 10 \times 30 (m) = 75 (kPa) = 0,75 (bara).$$

Sila izdizanja cjevovoda kod potapanja je:

$$P_{b2} = 10 \times \pi \times 0,25 \times 0,40^2 \times (1-0,25) = 0,942 \text{ (kN/m)}.$$

Vučna sila treba biti veća od:

$$F > \alpha_{\min} \times D \times P_{b2} = 18,83 \times 0,400 \times 0,942 = 7,10 \text{ (kN)}.$$

Izračunata veličina je znatno manja od dozvoljene sile koja iznosi 140,0 (kN) na 20⁰ C, pri dozvoljenom vlačnom naprezanju od 5 (MPa).

Da bi se spriječilo lokalno zakrivljenje, maksimalna udaljenost opteživača je:

$$L = 10 \times D \times (2-D) = 10 \times 0,400 \times (2-0,400) = 6,4 \text{ (m)}.$$

Odnosno, prema uputama proizvođača cijevi:

$$\text{SDR 26 } L = 2,7 - 3,7$$

$$\text{SDR 17 } L = 2,9 - 3,3$$

Projektiran je razmak osnovnih opteživača od 7 (m) čime se ostvaruju dovoljno dobre pretpostavke cijelog proračuna potapanja.

Izborom razmaka opteživača od 7 (m) postiže se sljedeće:

Na površini mora, dok je cijev ispunjena zrakom i opterećena primarnim opteživačima, maksimalan progib cijevi iznosi 5,16 (mm) prema gore, a maksimalno naprezanje u stijenci iznosi 1,65 (MPa) (tablica D.2.). Ovo vrijedi uz pretpostavku da su sile na mjestima opteživača dovoljno velike da drže uronjenu kompletnu cijev. U tom slučaju sila prema dolje na svakom osloncu bi iznosila 3521,59 (N), a uronjena težina primarnog opteživača iznosi samo 252 (N). Dakle, ovakvi progibi i naprezanja se neće ostvariti jer će cijev samo djelomično biti uronjena, pa će i uzgon biti manji, a time i sile na ležajevima manje. Također će stvarna naprezanja i pomaci biti znatno manji nego li je to napisano na početku ovog pasusa.

Na površini mora, kad se cijev napuni morem i optereti primarnim opteživačima, maksimalan progib cijevi iznosi 0,11 (mm) prema gore, a maksimalno naprezanje u stijenci iznosi 0,0352 (MPa) (tablica D.4.).

Težina osnovnog opteživača za dionicu od 0+900,00 do stac. 1+765,00 iznosi: 441,03 (N). Uronjena težina osnovnog opteživača u moru iznosi: 252,12 (N), što daje 252,12/7 = 36,02 (N/m').

Izračunato opterećenje kod potapanja je 36,02–21,439=14,581 N/m' (za slučaj punjenja morem).

Za kratkotrajno stanje savijenosti cijevi (kraće od 3 minute) može se izračunati naprezanje, za radijus zakrivljenosti cijevi od R=35 m:

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{E \cdot I}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D_V^4 - d_u^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (40^4 - 35,26^4) = 49788,6 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$M = \frac{E \cdot I}{R} = \frac{90000 \cdot 49788,6}{3500} = 1280279 \text{ (Ncm)}$$

$$W = \frac{I}{\frac{D_V}{2}} = \frac{49788,6}{20} = 2489,43 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1280279}{2489,43} = 514,3 \text{ (N/cm}^2\text{)} < 630 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

Za kratkotrajno stanje savijenosti cijevi (kraće od 3 minute) može se izračunati naprezanje, za radijus zakrivljenosti cijevi od R=30 m:

$$M = \frac{E \cdot I}{R} = \frac{90000 \cdot 49788,6}{3000} = 1493658 \text{ (Ncm)}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1493658}{2489,43} = 600,0 \text{ (N/cm}^2\text{)} < 630 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

Za kratkotrajno stanje savijenosti cijevi (kraće od 3 minute) može se izračunati naprezanje, za radijus zakrivljenosti cijevi od $R=28$ (m):

$$M = \frac{E \cdot I}{R} = \frac{90000 \cdot 49788,6}{2800} = 1600347,9 (Ncm)$$
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1600347,9}{2489,43} = 642,9 (N/cm^2) > 630 (N/cm^2)$$

Iz navedenog se vidi da radijus zakrivljenosti cijevi ne smije biti manji od 30 (m).

Temeljem prezentiranih proračuna vidi se da je polaganje cjevovoda na dubinama od 30 do 61 (m) složen zadatak koji zahtijeva dobro planiranje i vođenje cijelog procesa kako bi se cjevovod u cjelini položio na planiranu trasu. Zbog toga je nužno prije potapanja izraditi projekt potapanja cjevovoda kojim će se odrediti svi elementi za odabranu tehnologiju potapanja. Napominje se, da vrsta cijevi značajno utječe na tehnologiju potapanja i time odabir težine i rasporeda osnovnih opteživača pa stoga kod izvedbenog projekta analizu i proračun opterećenja cjevovoda treba u cjelini provesti za konačno odabranu vrstu cijevi i u skladu sa zahtjevima proizvođača, te u skladu sa odabranom tehnologijom izvođača radova. Ovdje prikazani proračun i veličine su samo okvir za mogući izbor tehnologije potapanja.

U fazi izvedbenog projekta potrebno je provesti detaljniji proračun potapanja za pretpostavljen tzv. "kabelski način" polaganja podmorskog ispusta. Također je potrebno u izvedbenom projektu definirati polaganje difuzora, s detaljnim proračunom deformacija i naprezanja u stijenkama cjevovoda, s pretpostavljenom tehnologijom polaganja "odjednom". Spajanje kraja podmorskog ispusta i difuzora izvest će se na licu mjesta, pod morem, uz pomoć flanši od nehrđajućeg čelika.

U fazi izvedbenog projekta nužno je izraditi detaljan projekt potapanja prilagođen stvarnim potrebama i mogućnostima izvođača radova. Projektant treba prisustvovati polaganju cjevovoda u more, što ne umanjuje odgovornost Izvođača radova za kvalitetno obavljanje posla.

Projektant: Dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.