

## Notitie

Opdrachtgever

Nuon Warmte N.V.

Datum

19 december 2017

Project

Flexwell onder waterkering

Onderwerp

Bepalen spanningen en vervormingen flexwell-leiding t.g.v.  
bovenbelasting

Opgesteld door

B. Hendriksen

Kenmerk

AE16002-13-N03-a

Pagina

1 van 9

In revisie a van deze notitie zijn enkele tekstuele verbeteringen aangebracht, en is de gronddekking en grondbelasting aangepast a.d.h.v. de vergunningstekening.

### 1. Inleiding

Naar aanleiding van overleg met waterschap Amstel Gooi en Vechtland dient Nuon aan te tonen dat een flexwell leiding bestand is tegen de optredend grondbelastingen. Deze berekening dient te zijn gestoeld op basis van de eisen en de berekeningsmethodiek zoals omschreven in de NEN3650:2012.

Om de berekeningsmethodiek van de NEN3650:2012 aan te kunnen houden met betrekking tot het bepalen van de ovalisatie van een leiding, dient het wandweerstandsmoment en het wandtraagheidsmoment van de leiding bekend te zijn.

In notitie AE16002-13-N02 zijn het wandweerstandsmoment en het wandtraagheidsmoment afgeleid op basis van de geometrie van een flexwell leiding. Hiermee kan een dwarsdoorsnede berekening op basis van de NEN3650-1:2012 worden uitgevoerd. In de notitie is uitgegaan van een drukloze situatie, deze is maatgevend voor het bepalen van de maximale deflectie van een leiding.

### 2. Uitgangspunten

Op basis van de afleiding in notitie AE16002-13-N02 en de door de fabrikant verstrekte tekening van een DN150 flexwell leiding zijn het wandweerstandsmoment ( $W_w$ ) en het wandtraagheidsmoment ( $I_w$ ) bepaald. Teven is bepaald wat de neutrale grondbelasting is bij een gronddekking van 13,75 meter. Hierbij is uitgegaan van de gereduceerde grondbelasting die volgt uit de uitgevoerde D-geo berekening.

Grondbelasting (gereduceerd): 0,04 N/mm<sup>2</sup>

Verkeersbelasting: 0 N/mm<sup>2</sup> i.v.m. gronddekking

Drukloos

$E_{\text{modulus}}$  207000 N/mm<sup>2</sup>

$W_w$  3,62 mm<sup>3</sup>/mm ( $W_i$  buitenzijde leiding) / 3,16 mm<sup>3</sup>/mm ( $W_i$  binnenzijde leiding)

$I_w$  17,3 mm<sup>4</sup>/mm

$D_g$  207,8 mm (gemiddelde diameter mediumvoerende leiding)

Invloed van de dunwandige stalen mantel is niet meegenomen, de mantel zorgt voor enige reductie in de belasting. Niet meenemen van de mantel is daarmee conservatief met betrekking tot spanningen en vervormingen.

Voor het bepalen van de materiaal spanning is zowel gerekend met en zonder neutrale steundruk. De neutrale steundruk voor een HDD is bepaald op basis van C.4.8.6 van de NEN3650-1:2012.

### 3. Bepalen spanning door direct overgedragen bovenbelasting

Omdat een flexwell leiding flexibel is, zal deze zettingen normaliter kunnen volgen. In dat geval is er alleen sprake van een direct overgedragen bovenbelasting.

Vanwege de flexibiliteit van de leiding en de straal van een boring, wordt de materiaalspanning bepaald op basis van een rechte buis. Voor een rechte buis in drukloze situatie geldt (pagina 167 NEN3650:2012):

$$1) \quad \sigma_q = \frac{K \times Q_{tot} \times r_g}{W_w}$$

Hierin is

$K$  momentcoëfficiënt conform tabel D1, afhankelijk van belasting en ondersteuningshoek.

$Q_{tot}$  totale bovenbelasting (neutrale grondruk, verkeersbelasting, eigengewicht van de leiding en eventueel opdrijven van de leiding).

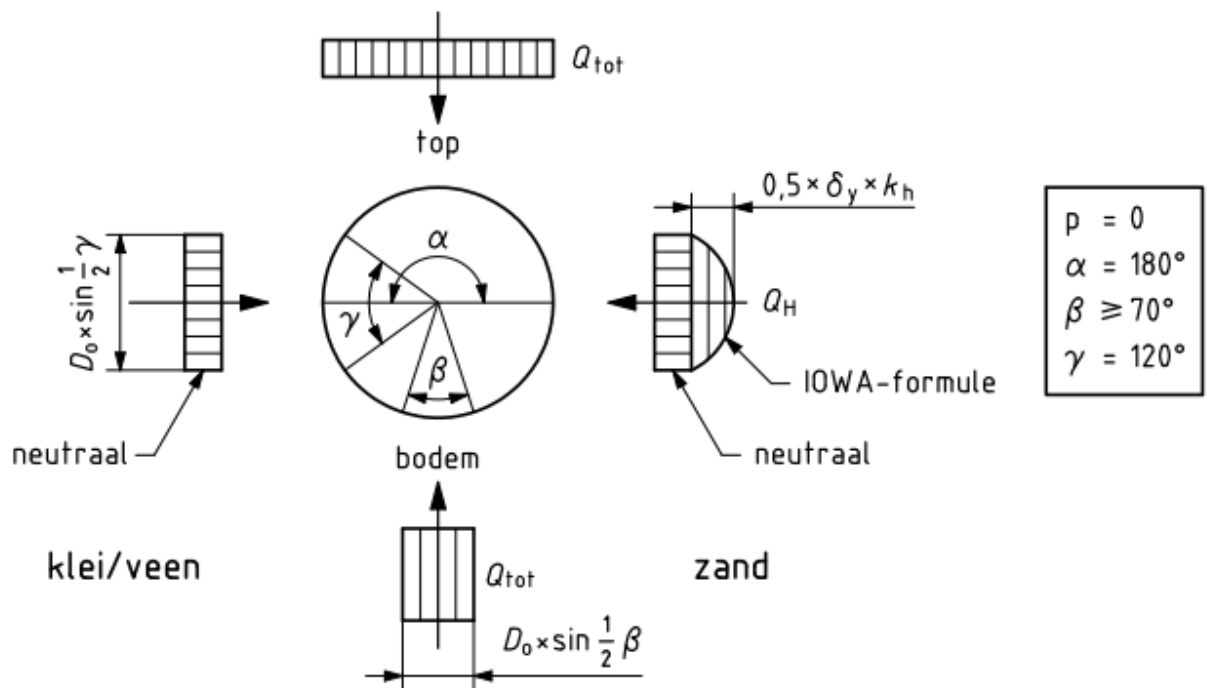
$r_g$  gemiddelde straal van de leiding ( $0,5 \times D_g$ )

$W_w$  Wandweerstandsmoment (zie notitie AE16002-13-N02)

Met deze formule kan tevens de neutrale steundruk in rekening worden gebracht.

#### Belasting en ondersteuningshoek

Het momentcoëfficiënt  $K$  is afhankelijk van de belastinghoek en de ondersteuningshoek. In figuur D.2 (paragraaf D3.1) van de NEN3650-1:2012 zijn de definities van de gehanteerde hoeken gegeven. In figuur 1 is deze overgenomen.



Figuur 1; belastinghoeken, overgenomen uit de NEN3650:2012, figuur D.2 uit paragraaf D3.1

In de NEN3650:2012 is ervoor gekozen om niet alle coëfficiënten meer op te geven in tabel D1. Om de steundruk in rekening te kunnen brengen is daarom gebruik gemaakt van tabel D1 uit de NEN3650:2003.

Voor een drukloze leiding in een HDD kan mag worden aangenomen:

$$\alpha = 180^\circ$$

$$\beta = 120^\circ$$

$$\gamma = 120^\circ$$

Met bovenstaande kunnen de factoren K worden bepaald voor de bovenbelasting en de steundruk. Voor een leiding waarvan de wanddikte niet varieert over de doorsnede, is het buigend moment op de bodem maatgevend. Hiermee kan het maatgevende buigend moment worden bepaald.

$$2) \quad \sigma_q = \frac{0,138 \times Q_{tot} \times r_g - 0,143 \times Q_{steun} \times r_g}{w_w}$$

Voor ligging in een sleuf mag voor steundruk worden gehanteerd:

$$3) \quad Q_{steun} = (1 - \sin \varphi) \times Q_{neutraal}$$

Op basis van paragraaf C.4.8.6 mag bij gereduceerde neutrale grondbelasting voor  $Q_{steun}$  de volgende relatie worden gebruikt in een HDD.

$$4) \quad Q_{steun} = (1 - \sin \varphi) \times Q_{neutraal} \times \sin 60^\circ$$

Conform de NEN3650 mag voor bentoniet een hoek van inwendige wrijving ( $\varphi$ ) van  $25^\circ$  worden toegepast. Dit geeft  $Q_{steun} = 0,5 \times Q_{neutraal}$  bij toepassen van bentoniet in een boring. Bij ligging van leidingen in

Invullen geeft van bovenstaande relatie geeft onderstaande maximale spanningen in de buiswand.

Berekening	Staal	$\sigma_{max}$ [MPa]	$\sigma_{toelbaar}$ [MPa]	Voldoet
Zonder steundruk	P235GH	119	330	ja
Met steundruk		65,5	330	ja

#### 4. Bepalen deflectie door direct overgedragen bovenbelasting

Voor het bepalen van de deflectie wordt gebruik gemaakt van paragraaf D4.1.

$$5) \delta_y = \frac{k_y \times Q_{tot} \times r_g^3}{EI_w}$$

Hierin is:

$k_y$  de deflectiefactor

$\delta_y$  de deflectie

In paragraaf D4.2 van de NEN3650 is toepassing van bovenstaande formule uitgewerkt voor een aantal specifieke situaties. Omdat de leiding drukloos wordt beschouwd, kan hiervoor geval 1 (belastinghoek  $\alpha = 180^\circ$ , ondersteuningshoek  $\beta = 120^\circ$ , contacthoek  $\gamma = 120^\circ$ ).

$$6) \delta_y = \frac{(0,089 \times Q_{tot} - 0,083 \times Q_{steun}) \times r_g^3}{EI_w}$$

Invullen van vergelijking 6 geeft onderstaande resultaten. Hierbij is wederom gekeken naar de deflectie met en zonder steundruk.

Berekening	deflectie	Deflectie toelaatbaar (5%)	Voldoet
Zonder steundruk	0,37 mm	5,2 mm	ja
Met steundruk	0,22 mm	5,2 mm	ja

#### 5. Conclusie

Op basis van de afleiding van het wandweerstandsmoment en het wandtraagheidsmoment in notitie AE16002-13-N02 is in deze notitie een doorsnede berekening uitgevoerd. Hieruit blijkt dat een flexwell leiding voor een dwarsdoorsnede berekening voldoet aan de eisen met betrekking tot spanning en vervorming.

#### Bijlagen:

- Afleiding wandtraagheidsmoment en wandweerstandsmoment
- Berekening wandtraagheidsmoment en wandweerstandsmoment
- Ontwerptekening
- D-geo berekening
- Berekening spanning t.g.v. bovenbelasting en ovalisatie

## Afleiding wandtraagheidsmoment en wandweerstandsmoment

## Notitie

Opdrachtgever

Nuon Warmte

Datum

19 december 2017

Project

flexwell onder waterkering

Onderwerp

afleiding wandtraagheidsmoment en  
wandweerstandsmoment

Opgesteld door

B. Hendriksen

Kenmerk

AE16002-13-N02-a

Pagina

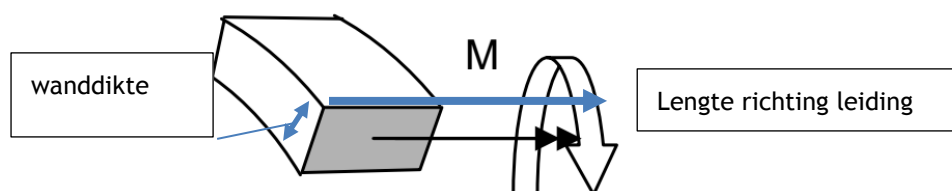
1 van 6

### Aanpassing in document AE16002-13-N02-a

- Formule 9: notatie van de term  $A_2 d_2$
- Formule 10: plus en minus tekens in beide formules

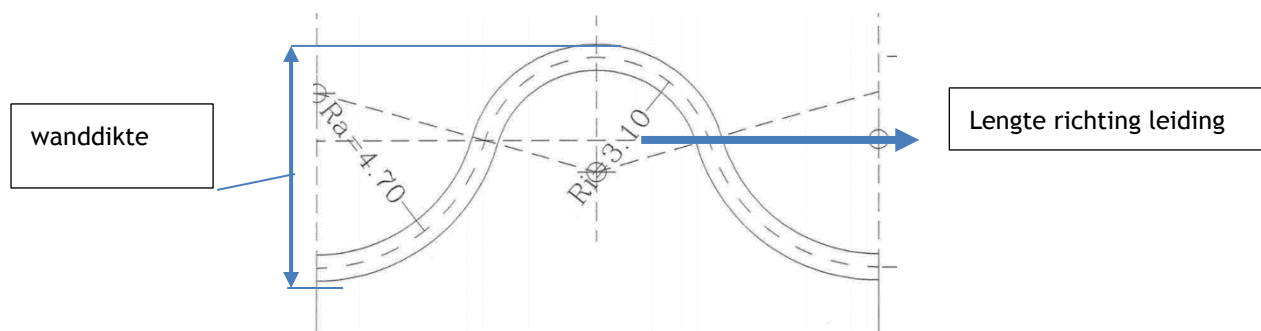
## 1. Bepalen van wandtraagheidsmoment en wandweerstandsmoment

Voor een reguliere leiding wordt voor het bepalen van het wandtraagheidsmoment uitgegaan van een uitsnede uit een ring:



Figuur 1; doorsnede t.b.v. bepalen wandtraagheidsmoment reguliere leiding

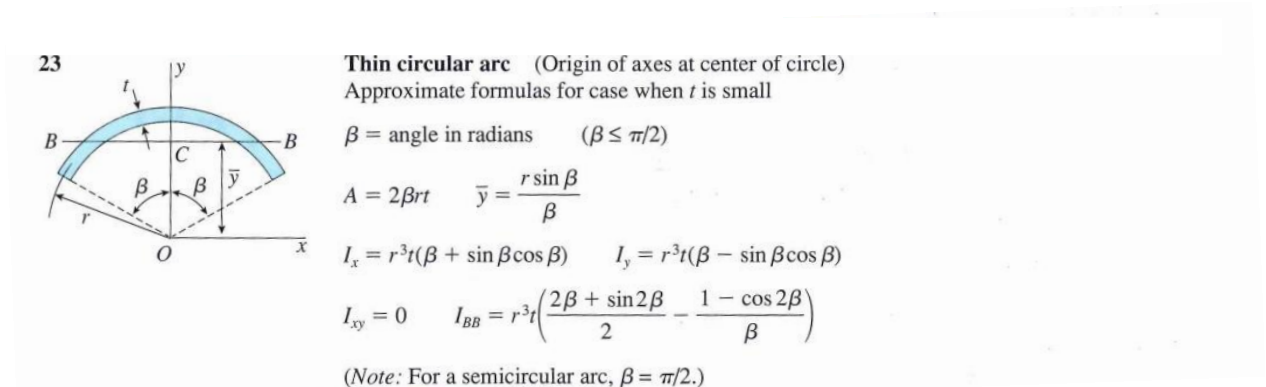
Het wandtraagheidsmoment wordt bepaald op basis van het grijs gemarkeerde vlak. Voor een flexwelleiding is eenzelfde vlak te definiëren:



Figuur 2; doorsnede t.b.v. bepalen wandtraagheidsmoment  
Flexwelleiding

Voor het bepalen van de wandtraagheid van de flexwell leiding kan gebruik worden gemaakt van de relaties voor een dunne cirkelvormige boog. Alle formules zijn gebaseerd op radialen i.v.m. hoekbenadering en lengte bepaling.

Voor een dunne ronde boog is het traagheidsmoment  $I_{BB}$  te bepalen middels onderstaande formules (overgenomen uit Mechanics of Materials, 4<sup>e</sup> SI editie, J. M. Gere en S. P. Timoshenko):

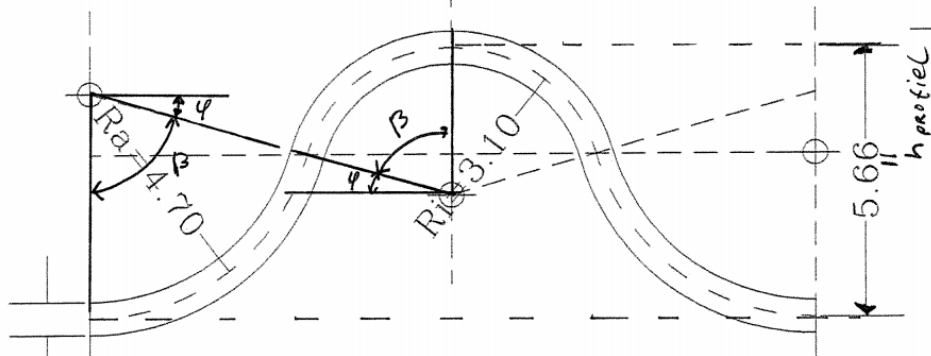


figuur 3; relaties voor dunne cirkelvormige boog uit Mechanics of Materials, pagina 873

Voor afleiding van het wandtraagheidsmoment zal van bovenstaande formules gebruik worden gemaakt. Om dit te kunnen doen zal de wand van de flexwell leiding middels cirkelvormige bogen worden benaderd.

### Bepalen hoek $\beta$ op basis van de geometrie

Om gebruik te maken van deze relaties dienen er een aantal grootheden te worden bepaald op basis van de geometrie van de flexwell-leiding. De gehanteerde doorsnede van de buiswand dient ter referentie. De gegeven waarden in de afbeelding voor stralen, profielhoogte en wanddikte zijn alleen valide voor een specifiek model flexwell-leiding. Als eerste dienen de hoeken  $\varphi$  en  $\beta$  te worden vastgesteld. Voor de binnenboog en buitenboog van het profiel zijn de waarden van  $\varphi$  en  $\beta$  gelijk.



figuur 4; definitie  $\varphi$  en  $\beta$

Er kan worden gesteld dat:

$$1) \quad h_{profiel} = (1 - \sin(\varphi)) * (Ra + Ri)$$

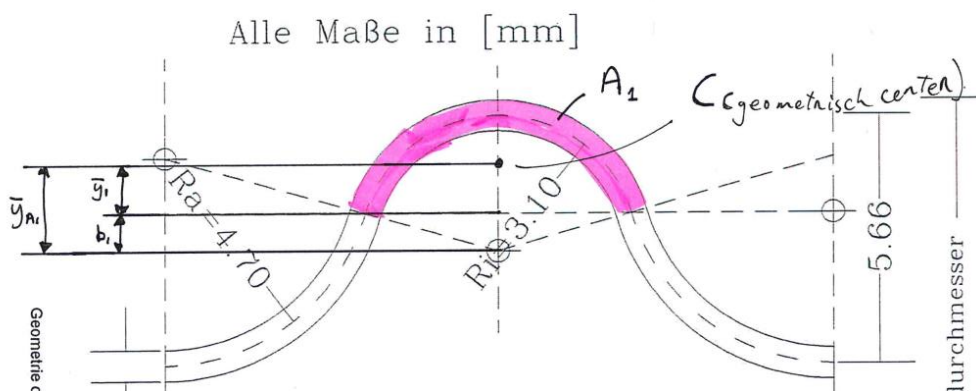
Omschrijven geeft:

$$2) \quad \varphi = -\arcsin\left(\frac{h_{profiel}}{Ra + Ri} - 1\right) \quad \beta = 0.5 * \pi + \arcsin\left(\frac{h_{profiel}}{Ra + Ri} - 1\right)$$

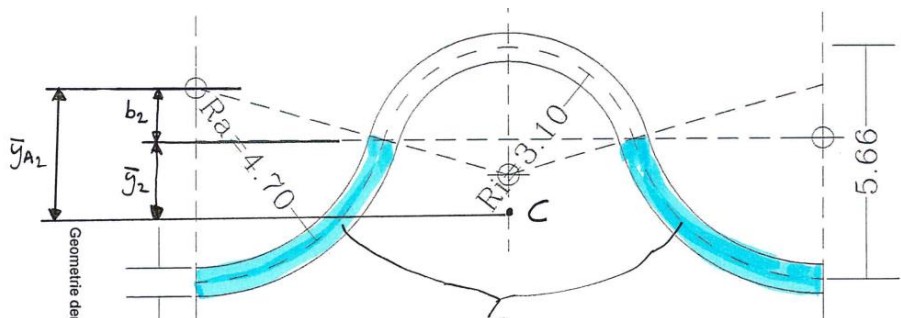


## Opdelen in lichamen A1 en A2

Ten behoeve van het bepalen van het traagheidsmoment is het handig om het profiel in twee delen op te splitsen. Deze beide delen kunnen worden beschouwd op basis van bekende relaties voor een gedeelte van een dunwandig cilindrisch profiel. In figuren 3 en 4 is de opsplitsing in twee delen aangegeven.



figuur 5; lichaam A1, roze gemarkeerd



figuur 6; lichaam A2, blauw gemarkeerd

### Bepalen traagheidsmoment A1 en A2

$$1) I_{BB,A1} = R_i^3 t \left( \frac{2\beta + \sin(2\beta)}{2} - \frac{1 - \cos(2\beta)}{\beta} \right)$$

$$2) I_{BB,A2} = R_a^3 t \left( \frac{2\beta + \sin(2\beta)}{2} - \frac{1 - \cos(2\beta)}{\beta} \right)$$

Om  $I_{BB,A1}$  en  $I_{BB,A2}$  te combineren, kunnen we gebruik maken van de parallel axis theorem (pagina 815 Timoshenko). Hiervoor dient eerst de geometrische centerlijn te worden bepaald (neutrale lijn).

### Bepalen geometrische centerlijn lichamen A1 en A2

Voor het bepalen van de geometrische centerlijn, dient eerst de geometrische centerlijn voor lichamen A1 en A2 te worden bepaald:

$$3) \bar{y}_{Ai} = \frac{R_i \sin \beta}{\beta}$$

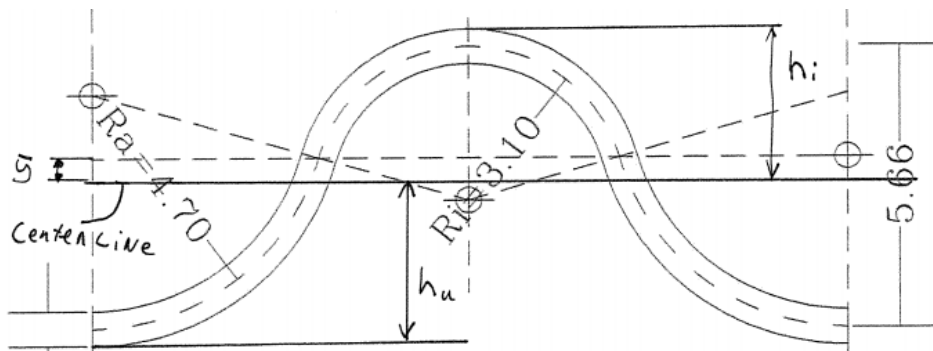
In figuur 5 en figuur 6 zijn  $\bar{y}_{A1}$  en  $\bar{y}_{A2}$  gedefinieerd.

### Bepalen geometrische centerlijn lichamen A1 en A2 gecombineerd

Om de geometrische centerline te bepalen kan gebruik worden gemaakt van de volgende relatie (pagina 809 Timoshenko):

$$4) \bar{y} = \frac{\sum_i^n \bar{y}_i A_i}{\sum_i^n A_i}$$

Hierin is  $\bar{y}$  de afstand van de gekozen referentielijn tot aan de geometrische centerlijn en  $\bar{y}_i$  de afstand van het de geometrische centerlijn van de gekozen deelstukken (A1 en A2)



figuur 7; centerline,  $\bar{y}$ ,  $h_i$  en  $h_u$

Hierbij is  $\bar{y}_i$  de afstand van het geometrische center tot een willekeurig gekozen referentielijn. Voor beide lichamen dient uiteraard wel dezelfde referentielijn te worden gebruikt. In dit geval ligt de gekozen referentielijn op de grens tussen lichamen A1 en A2. In figuur 5 en figuur 6 zijn  $\bar{y}_1$  en  $\bar{y}_2$  gedefinieerd.

De oppervlaktes van A1 en A2 zijn hieronder gegeven:

$$5) A_1 = \beta * ((R_i + 0,5t)^2 - (R_i - 0,5t)^2)$$

$$6) A_2 = \beta * ((R_a + 0,5t)^2 - (R_a - 0,5t)^2)$$

Bepalen  $\bar{y}_i$ :

$$7) \quad b_i = \sin\varphi * R_i$$

$$8) \quad \bar{y}_i = \bar{y}_{Ai} - b_i$$

Hiermee is de vergelijking voor  $\bar{y}$  volledig in te vullen, en kan de geometrische centerlijn worden bepaald t.o.v. de gekozen referentielijn.

#### Combineren $I_{BB,A1}$ en $I_{BB,A2}$

Met bovenstaande is het mogelijk om  $I_{BB,A1}$  en  $I_{BB,A2}$  te bepalen. Om deze te kunnen combineren wordt gebruik gemaakt van de “parallel axis theorem” (pagina 814-815). Op deze wijze kunnen we het traagheidsmoment bepalen om de geometrische centerlijn.

Op basis van de “parallel axis theorem” kan het volgende worden gesteld:

$$9) \quad I_{centerline} = I_{BB,A1} + A_1 d_1^2 + I_{BB,A2} + A_2 d_2^2$$

Hierin zijn  $d_1$  en  $d_2$  de afstanden van het geometrisch center van respectievelijk  $A_1$  en  $A_2$  tot aan de geometrische centerline van lichamen  $A_1$  en  $A_2$  samen.

$$10) \quad d_1 = \bar{y}_1 + \bar{y} \quad d_2 = \bar{y}_2 - \bar{y}$$

Hiermee is  $I_{centerline}$  gedefinieerd.

#### Omzetten $I_{centerline}$ naar $I_{wand}$

Voor het uitvoeren van doorsnede berekeningen wordt gebruik gemaakt van het wandtraagheidsmoment. Dit is in principe gelijk aan het traagheidsmoment, echter dan uitgedrukt per lengte-eenheid ( $\text{mm}^4/\text{mm}$ ). Om dit om te zetten dient de lengte van het beschouwde profiel te worden vastgesteld. Er geldt dat:

$$11) \quad L_{profiel} = 2\sin\beta * (R_i + R_a)$$

$$12) \quad I_{wand} = \frac{I_{centerline}}{L_{profiel}}$$

#### Omzetten $I_{wand}$ naar $W_{wand}$

Voor het berekenen van de materiaalspanning wordt gebruik gemaakt van het wandweerstandsmoment. Per definitie geldt dat:

$$13) \quad W_{wand} = \frac{I_{wand}}{h_{uiterste\ vezel}}$$

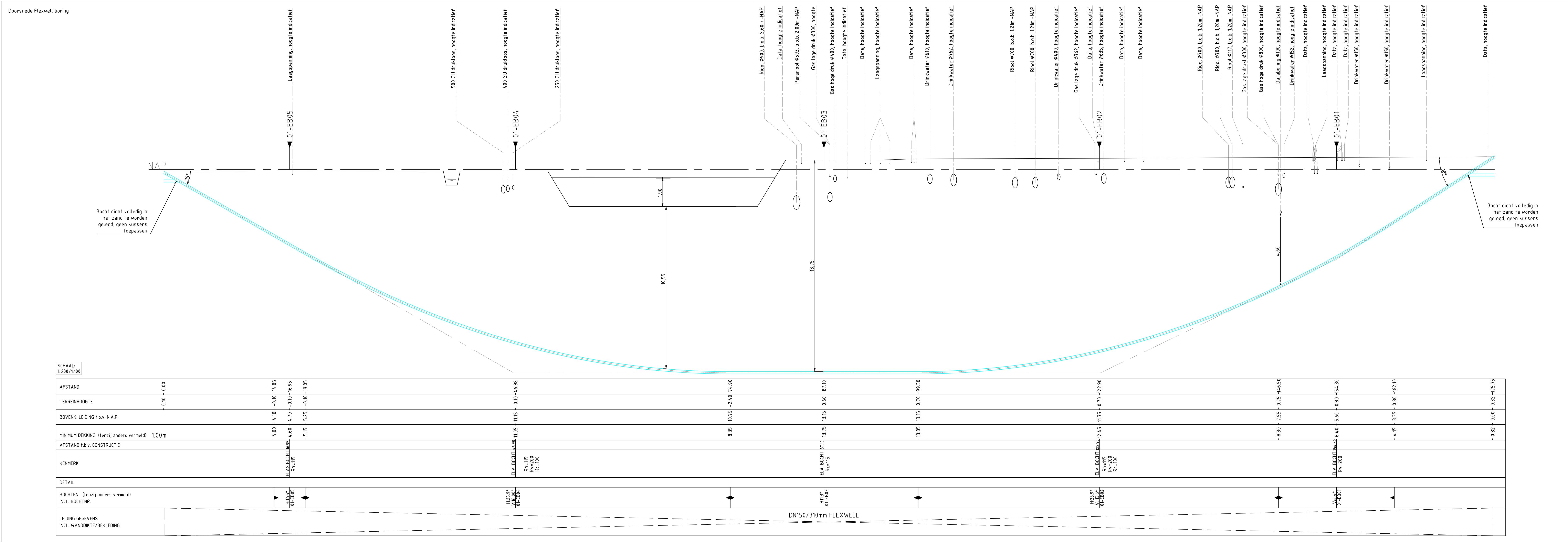
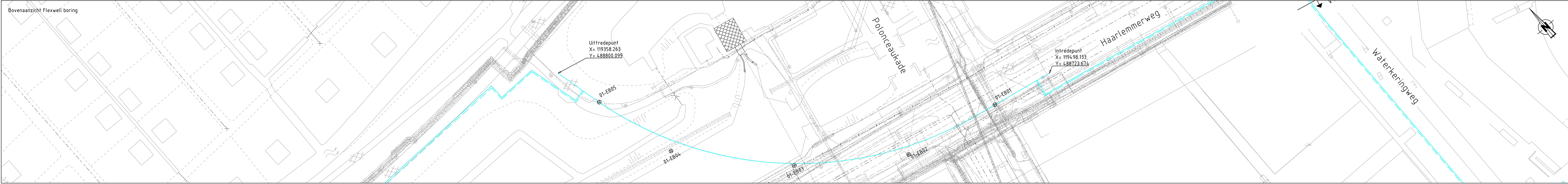
Hierin is  $h_{uiterste\ vezel}$  de afstand van de neutrale lijn (geometrische centerlijn) tot aan de buitenkant/binnenkant van het profiel. Omdat deze afstand niet gelijk is voor de binnen en buitenzijde, is er bij een flexwell leiding dan ook sprake van een verschillend wandweerstandsmoment voor de binnenboog en de buitenboog:

$$14) \quad h_i = (1 - \sin\varphi)R_i - \bar{y} + t/2 \quad h_u = (1 - \sin\varphi)R_a + \bar{y} + t/2 \quad (\text{n.b. } \bar{y} \text{ is negatief in figuur 7})$$

Met bovenstaande gegevens is het mogelijk om de deflectie en de spanningen in een flexwellleiding te bepalen middels de NEN3650:2012.

## Ontwerptekening





HL-profiel, schaal Y 1:100, schaal X 1:500

2x Mantelbuis ø90mm  
PE100 SDR 11

(1) Definitieve diameter ruimgang door aannemer te bepalen.

Doorsnede over Flexwell leidingen, schaal 1:20

**TER GOEDKEURING**

datum van uitgifte  
**11-12-2017**

werkvoorbereider  
projectleider

**COORDINATEN KNIKPUNTEN**

KNIK #	X - COORDINAAT	Y - COORDINAAT
01-EB01	X= 119365.495	Y= 488785.467
01-EB02	X= 119378.354	Y= 488760.430
01-EB03	X= 119411.244	Y= 488737.108
01-EB04	X= 119445.468	Y= 488722.450
01-EB05	X= 119477.788	Y= 488723.201

**ALGEMENE OPMERKINGEN**

- BIJ BOCHTEN EN EXPANSIEVOORZIENINGEN VAN TERREINLEIDINGEN, EXTRA GRONDVERBETERINGEN TOEPASSEN, I.O.M. UITVOERING WARMTE.
- TRACE WARMTEDESTRIBUTIE VRIJHOUDEN VAN BOUWMATERIAAL.
- VOOR POSITIE EN AFMETINGEN MANTELBUZEN, ZIE REVISIE-GEGEVENEN.
- ALLE AFTAKKINGEN BOVENUIT, TENZIJ ANDERS VERMELD.
- KRUSING MET KABELS/LEIDINGEN TER PLAATSE IN OVERLEG OPLOSSEN.
- CRKA-HATEN TIJDENS MONTAGE CONTROLLEREN EN ZONDIG AANPASSEN.
- ALLE MAAI-TOEGANGEN IN HULP-TOEGANGEN, TENZIJ ANDERS VERMELD.
- DE AANGEGEVENEN NAP HOOGTE IS VANAF BOVENKANT WARMTELEIDING.
- DE OPGEGEVENEN X-Y COÖRDINATEN GEVEN HART WARMTELEIDING AAN.
- BIJ KRUSINGEN MET RIOL EEN TUSSENRIJPE VAN 20 CM AANHOUDEN.
- NDO CONFORM NEN-3650, NEN-3651 & EN-13941.
- PRIMAIR TRACE UITVOEREN IN 2 DRAADS LEKDETECTIE TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN.
- ELECTROLASCHOPPEN TOEPASSEN TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN.
- INDEN NIET ANDERS OP TEKENING AANGEGEVEN, DIENEN MINIMAAL DE EISEN VAN DE LEVERANCIER AANGEHOUDEN TE WORDEN.
- DE OP TEKENING AANGEGEVEN EXPANSIEKUSSENS DIENEN ZOWEL AAN DE BINNEN- ALS DE BUITENZIJDE VAN DE LEIDINGEN TE WORDEN TOEGEPAST.
- LOKATIE K&L-ROOD, ZIJN TER INDICATIE, DE WERKELIJKE DIEPTELIGING DIENST GELIJKTARIGERLOO TE WORDEN OMV. PROEFLEUVEN.
- UITGANGSPUNTEN RIOLERING VOLGENS DOOR WATERNET AANGELEVERDE TEKENINGEN.
- Rv00 64.37-01 bestek PDF en Rv00 64.37-02 bestek PDF.
- UITGANGSPUNTEN K&L VOLGENS DTA TEKENING, BOUWMEESTER K&L dpo AANGELEVERD DOOR GEMEENTE AMSTERDAM NIEUW-WEST OP 14-11-2014.

**LEGENDA STAAL**

— AANVOERLEIDING

— RETOURLEIDING

2 MONTAGEMOF 2-VOUDIG AFGEDICHT (GELDT VOOR TERREINLEIDING)

3 MONTAGEMOF 3-VOUDIG AFGEDICHT (GELDT VOOR LEIDING BIJ EEN ZINKER/MANTELBUIJ)

— SLUITMOF

— THERMISCHE CY-OMLOOP 70°C

— ELEKTROBANDMOF

**LEGENDA**

BEGIN RESP. ENDE ELAST. STRAAL (MM R=1000.0)

— BOOM

— BOOM INGETIMEN

— TE KAPPEN BOOM

**amsterdam engineering**

0 10 20 30 40 50m

schaal: 1:500

Amerikaanse projectie

Schaal: 1:200/500 Formaat: A1+ Afdeling: AANLEG

Projectnummer: NWT XXXXXXXXX

Netwerkplannummer: XXXXXXXXXX

Amsterdam, Westerpark

CWL terrein

Flexwell Boring Haarlemmerweg DN150

WAK-XXXX-001-A-TG

Bld 001

Rev. Wijziging Datum Get. WAKTE.TEKENINGEN.AMERSTADAM.COM

## D-geo berekening

## **Report for D-Geo Pipeline 16.1**

Model : Horizontal Directional Drilling  
Developed by Deltares

Date of report: 19-12-2017  
Time of report: 10:17:55

Filename: F:\..8-Results\4-Berekening\D-Geo\HDD Haarlemmervaart

Project identification: HDD Haarlemmervaart

# 1 Table of Contents

1 Table of Contents	2
2 Input Data	3
2.1 Model Used	3
2.2 Layer Boundaries	3
2.3 PI-lines	3
2.4 Phreatic Line	3
2.5 Soil Profiles	3
2.6 Selected Boundaries	4
2.7 Configuration of the Pipe Line	4
2.8 Calculation Verticals	4
2.9 Material Types	4
2.10 Product Pipe Material Data	5
2.11 Pipe Engineering Data	5
2.12 Geometry	6
2.12.1 Geometry Section, Detailed	6
2.12.2 Geometry Top View	6
2.13 Drilling Fluid Data	7
2.14 Factors	7
3 Drilling Fluid Pressures	8
3.1 Drilling Fluid Data	8
3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	9
3.3 Drilling Fluid Pressure Plots	10
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot	10
3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming	10
3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	11
4 Soil Mechanical Parameters	12
4.1 Soil Mechanical Parameters (Pipe: DN150/250)	12
5 Data for Stress Analysis	13
5.1 General data	13
5.2 Buoyancy Control	13
5.3 Calculation Pulling Force	13
6 Stress Analysis of Pipe: DN150/250	14
6.1 Material Data of Pipe: DN150/250	14
6.2 Results Stress Analysis of Pipe: DN150/250	14
6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	14
6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	15
6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	15
6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	15
6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	15
6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe: DN150/250	16



## 2 Input Data

### 2.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

### 2.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
9 - X -	0,000	49,925	50,325	51,725	52,125
9 - Y -	-0,100	-0,101	-0,900	-0,900	-0,101
9 - X -	59,200	63,085	66,275	90,725	91,873
9 - Y -	-0,103	-1,316	-2,300	-2,300	-1,446
9 - X -	94,375	200,000			
9 - Y -	0,650	0,813			
8 - X -	0,000	63,085	66,275	90,725	91,873
8 - Y -	-1,000	-1,316	-2,300	-2,300	-1,446
8 - X -	94,375	200,000			
8 - Y -	0,650	0,813			
7 - X -	0,000	63,085	66,275	90,725	91,873
7 - Y -	-1,000	-1,316	-2,300	-2,300	-1,446
7 - X -	200,000				
7 - Y -	-2,000				
6 - X -	0,000	200,000			
6 - Y -	-2,000	-3,000			
5 - X -	0,000	200,000			
5 - Y -	-4,500	-5,500			
4 - X -	0,000	200,000			
4 - Y -	-12,300	-12,000			
3 - X -	0,000	200,000			
3 - Y -	-12,800	-12,500			
2 - X -	0,000	200,000			
2 - Y -	-16,500	-16,800			
1 - X -	0,000	200,000			
1 - Y -	-18,500	-18,000			
0 - X -	0,000	200,000			
0 - Y -	-20,500	-20,500			

### 2.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - X -	0,000	200,000			
1 - Y -	-0,417	-0,417			

### 2.4 Phreatic Line

Piezo-line 1 is used as phreatic line (groundwater).

### 2.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
9	Matig vast zand	1	1
8	Matig vast zand	1	1
7	Matig vast klei	1	1
6	Veen	1	1
5	Matig vast klei	1	1
4	Veen	1	1
3	Matig vast zand	1	1
2	Matig vast klei	1	1
1	Vast Zand	1	1

## 2.6 Selected Boundaries

The boundary between cohesive top layers and under laying non-cohesive drained layers, is situated at the top of layer number 3: Matig vast zand

The boundary between compressible top layers and under laying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 1: Vast Zand

## 2.7 Configuration of the Pipe Line

X co-ordinate left point	13,67	[m]
Y co-ordinate left point	-0,10	[m]
Z co-ordinate left point	0,00	[m]
X co-ordinate right point	173,06	[m]
Y co-ordinate right point	0,80	[m]
Z co-ordinate right point	0,00	[m]
Angle left	18,00	[degrees]
Angle right	18,00	[degrees]
Lowest level of pipe (centre bore hole)	-13,20	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,00	[degrees]
Bending radius pipe on rollers	150,00	[m]
Bending radius left, vertical in/out	200,00	[m]
Bending radius right, vertical in/out	200,00	[m]
Number of horizontal bends	1	[-]

The pulling direction of the product pipe is from left to right

Bending nr.	X1-coord [m]	Z1-coord [m]	X2-coord [m]	Z2-coord [m]	Bending radius [m]	Direction [-]
1	13,67	0,00	173,06	0,00	115,00	right

## 2.8 Calculation Verticals

Vertical nr.	L-coord [m]	Z-coord [m]	Additional settlement [mm]
1	20,00	-2,16	0,00
2	30,00	-5,30	0,00
3	40,00	-7,92	0,00
4	50,00	-9,99	0,00
5	60,00	-11,55	0,00
6	70,00	-12,59	0,00
7	80,00	-13,12	0,00
8	90,00	-13,20	0,00
9	100,00	-13,20	0,00
10	110,00	-13,20	0,00
11	120,00	-13,14	0,00
12	130,00	-12,64	0,00
13	140,00	-11,63	0,00
14	150,00	-10,12	0,00
15	160,00	-8,07	0,00
16	170,00	-5,49	0,00
17	180,00	-2,38	0,00

Locations of the calculation verticals; L represents distance along the pipe line projection in the horizontal plane, incremented with the entry co-ordinate.

## 2.9 Material Types

Name	Gamma unsat [kN/m <sup>3</sup> ]	Gamma sat [kN/m <sup>3</sup> ]	Cohesion [kN/m <sup>2</sup> ]	Phi [degrees]	Cu top [kN/m <sup>2</sup> ]	Cu bottom [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod top [kN/m <sup>2</sup> ]	Emod bottom [kN/m <sup>2</sup> ]
Veen	10,00	12,00	1,25	15,00	10,00	20,00	200	500
Matig vast klei	17,00	17,00	5,00	17,50	50,00	50,00	2000	2000
Matig vast zand	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00	45000	45000
Vast Zand	19,50	21,50	0,00	37,50	0,00	0,00	75000	110000

Name	Adhesion A [kN/m²]	Delta D [degrees]	Nu [-]
Veen	-	-	0,20
Matig vast klei	-	-	0,41
Matig vast zand	-	-	0,31
Vast Zand	-	-	0,29

## 2.10 Product Pipe Material Data

Material	Steel
Quality	Flexwell
Negative wall thickness tolerance	10 [%]
Yield strength (Re)	235 [N/mm²]
Partial material factor	1,10 [-]
Partial material factor for test pressure	1,00 [-]
Young's modulus	207000 [N/mm²]
Outer diameter product pipe	267,02 [mm]
Wall thickness (Nominal)	1,80 [mm]
Unit weight pipe material	370,09 [kN/m³]
Design pressure	23,00 [bar]
Test pressure	50,00 [bar]
Temperature variation	120,00 [deg C]

## 2.11 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No
Part of cross section filled with fluid	0 [%]
Unit weight fluid	10,00 [kN/m³]
Relative displacement	10,00 [mm]
Compression index	6,00 [-]
Linear settlement coefficient (alpha_g) for steel	0,00 [mm/mmK]
Linear settlement coefficient (alpha_g) for PE	0,00 [mm/mmK]
Modulus of subgrade reaction drilling fluid (Kv)	500,00 [kN/m³]
Phi drilling fluid	15,00 [degrees]
Cohesion drilling fluid	5,00 [kN/m²]
Bedding angle	120 [degrees]
Load angle	180 [degrees]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10 [-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050 [N/mm²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20 [-]
Special stress analysis	not used



## 2.13 Drilling Fluid Data

Diameter pilot hole	0,150	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,013	[m]
Diameter preream hole	0,250	[m]
Outer diameter drillpipe	0,080	[m]
Diameter bore hole product pipe	0,345	[m]
Outer diameter product pipe	0,267	[m]
Annular back flow rate pilot	780,0	[liter/minute]
Annular back flow rate pre-reaming	1960,2	[liter/minute]
Annular back flow rate ream and pull-back	949,8	[liter/minute]
Circulation loss factor pilot	0,30	[-]
Circulation loss factor pre-reaming	0,20	[-]
Circulation loss factor ream and pull-back	0,20	[-]
Unit weight drilling fluid (gamma)	11,1	[kN/m <sup>3</sup> ]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m <sup>2</sup> ]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m <sup>2</sup> ]

## 2.14 Factors

Safety factor implosion (Long)	3,0	[-]
Safety factor implosion (Short)	1,5	[-]
Contingency factor on total unit weight		
material types below and above phreatic level	1,10	[-]
Contingency factor on Cu/cohesion	1,40	[-]
Contingency factor on Phi	1,10	[-]
Contingency factor on E-modulus	1,25	[-]
Contingency factor on pulling force	1,40	[-]
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	1,60	[-]
Contingency factor on soil load Qn	1,10	[-]
Contingency factor on pressure borehole	1,10	[-]
Steel: Contingency factor on bending radius	1,10	[-]
Contingency factor on bending moment (Steel)	1,15	[-]
Contingency factor on bending moment (Polyethene)	1,40	[-]
Steel: Load factor on design pressure	1,20	[-]
Steel: Load factor on design pressure (combination)	1,20	[-]
Steel: Load factor on test pressure	1,00	[-]
Steel: Load factor installation	1,00	[-]
Steel: Load factor on soil load Qn	1,50	[-]
Steel: Load factor on temperature	1,00	[-]
Steel: Load factor on traffic load	1,35	[-]
Factor of importance (S)	1,00	[-]
Allowable deflection of steel pipe	15,00	[%]
Allowable piggability of steel pipe	6,00	[%]
Allowable deflection of polyethene pipe	8,00	[%]
Allowable piggability of polyethene pipe	6,00	[%]
Unit weight water	10,00	[kN/m <sup>3</sup> ]
Safety factor cover (drained layer)	0,50	[-]
Safety factor cover (undrained layer)	0,50	[-]

### 3 Drilling Fluid Pressures

#### 3.1 Drilling Fluid Data

Vertical nr.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	172	172	26	126
2	182	182	67	155
3	227	227	102	179
4	255	255	130	196
5	276	276	153	208
6	231	231	170	214
7	340	247	181	215
8	352	268	187	210
9	433	352	193	205
10	436	357	198	199
11	430	342	203	193
12	269	263	203	182
13	291	291	197	166
14	270	270	186	143
15	242	242	169	115
16	146	146	145	81
17	188	188	117	41

Vertical nr.	Drilling fluid pressures prereum [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	172	172	26	26
2	182	182	65	67
3	227	227	99	102
4	255	255	126	130
5	276	276	148	153
6	231	231	164	170
7	340	215	174	181
8	352	230	180	187
9	433	291	184	193
10	436	295	188	191
11	430	284	192	186
12	269	263	182	176
13	291	291	166	161
14	270	270	143	139
15	242	242	115	112
16	146	146	81	79
17	188	188	41	40

Vertical nr.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	163	163	29	26
2	182	182	75	65
3	227	227	114	99
4	255	255	147	126
5	276	276	175	148
6	231	231	196	164
7	340	214	203	174
8	352	211	200	180
9	433	261	195	184
10	436	264	191	188
11	430	255	186	192
12	269	263	176	191
13	291	291	161	184
14	270	270	139	162
15	242	242	112	129

Vertical nr.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m <sup>2</sup> ]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
16	146	146	79	91
17	180	180	40	45

The minimum required drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated maximum allowable drilling fluid pressure. The maximum pressure based on deformation indicates the formation of cracks around the borehole, while the maximum pressure based on soilcover indicates a frac-out towards the surface.

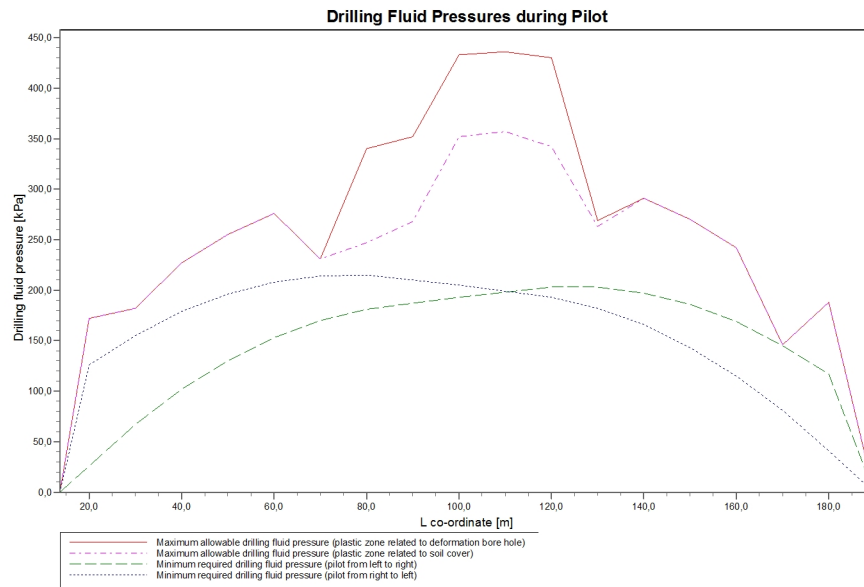
### 3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

Vertical nr.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m <sup>2</sup> ]	Water [kN/m <sup>2</sup> ]	Safety [-]	Result
1	23	17	1,31	sufficient
2	58	49	1,19	sufficient
3	88	75	1,17	sufficient
4	112	96	1,16	sufficient
5	129	111	1,16	sufficient
6	142	122	1,16	sufficient
7	148	127	1,17	sufficient
8	150	128	1,17	sufficient
9	150	128	1,18	sufficient
10	151	128	1,18	sufficient
11	151	127	1,19	sufficient
12	146	122	1,20	sufficient
13	136	112	1,21	sufficient
14	119	97	1,23	sufficient
15	97	77	1,27	sufficient
16	69	51	1,37	sufficient
17	35	20	1,80	sufficient

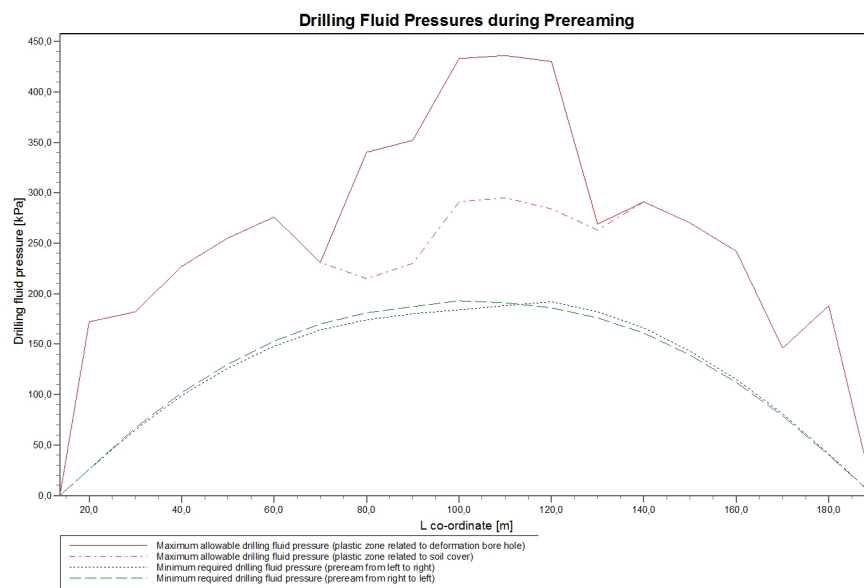
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

### 3.3 Drilling Fluid Pressure Plots

#### 3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot

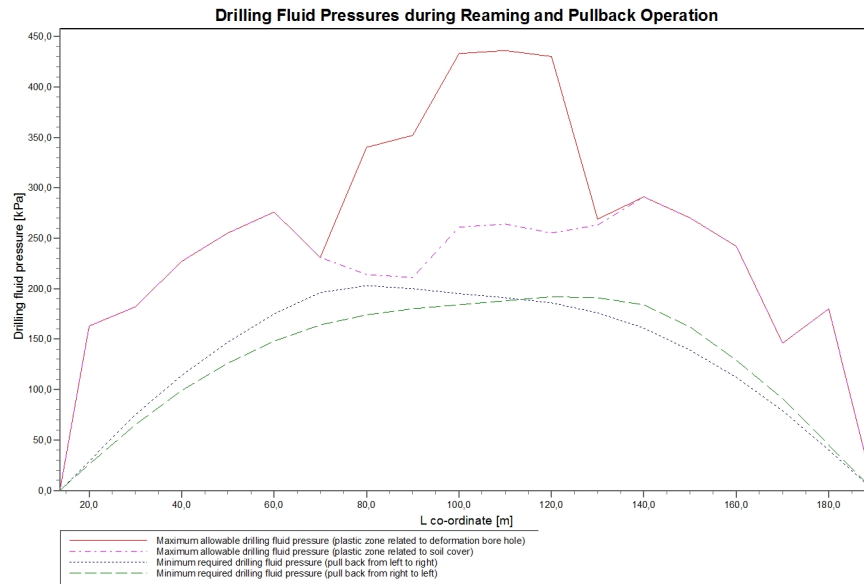


#### 3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming





### 3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



## 4 Soil Mechanical Parameters

### 4.1 Soil Mechanical Parameters (Pipe: DN150/250)

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

Pv;p	Passive soil load	kN/m <sup>2</sup>
Pv;n	Neutral soil load	kN/m <sup>2</sup>
Ph;n	Neutral horizontal soil load	kN/m <sup>2</sup>
Pv;r;n	Reduced neutral soil load	kN/m <sup>2</sup>
kv;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
kv;top,max	Maximum vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m <sup>3</sup>
dv	Vertical displacement	mm
kv	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m <sup>3</sup>
Pv;e	Vertical bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
kh	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m <sup>3</sup>
Ph;e	Horizontal bearing capacity	kN/m <sup>2</sup>
tmax	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m <sup>2</sup>
dmax	Displacement at maximal friction	mm

Vertical nr.	Pv;p [kN/m <sup>2</sup> ]	Pv;n [kN/m <sup>2</sup> ]	Ph;n [kN/m <sup>2</sup> ]	Pv;r;n [kN/m <sup>2</sup> ]	kv;top [kN/m <sup>3</sup> ]
1	43	19	14	19	28098
2	119	29	14	19	1541
3	158	47	20	27	3388
4	182	59	23	32	3388
5	200	68	25	34	3388
6	112	57	22	30	2694
7	666	61	21	29	19110
8	673	62	21	29	24549
9	920	98	28	37	25407
10	923	98	28	38	26266
11	922	98	28	38	23566
12	893	94	28	38	2359
13	239	90	29	40	3388
14	220	79	28	38	3388
15	194	66	25	34	3388
16	159	48	22	30	582
17	139	39	20	27	62937

Vertical nr.	dv [mm]	kv [kN/m <sup>3</sup> ]	Pv;e [kN/m <sup>2</sup> ]	kh [kN/m <sup>3</sup> ]	Ph;e [kN/m <sup>2</sup> ]	tmax [kN/m <sup>2</sup> ]	dmax [mm]
1	0	402	129	281	43	0,05	8
2	0	3388	313	2371	119	0,05	8
3	0	3388	448	2371	158	0,05	8
4	0	3388	536	2371	182	0,05	8
5	0	19022	602	13315	200	0,05	8
6	0	83445	2041	58412	112	0,05	8
7	0	83445	2199	58412	666	0,05	8
8	0	83445	2229	58412	673	0,05	8
9	0	83445	3485	58412	920	0,05	8
10	0	83445	3502	58412	923	0,05	8
11	0	83445	3496	58412	922	0,05	8
12	0	83445	3337	58412	893	0,05	8
13	0	30856	756	21599	239	0,05	8
14	0	3388	681	2371	220	0,05	8
15	0	3388	580	2371	194	0,05	8
16	0	3388	452	2371	159	0,05	8
17	0	1098	384	769	139	0,05	8

Maximum soil load	:	Pv;n;max = 98 kN/m <sup>2</sup>
Maximum reduced soil load	:	Pv;r;n;max = 40 kN/m <sup>2</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	kv;max = 83445 kN/m <sup>3</sup>
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)	:	kv;max = 169289 kN/m <sup>3</sup>

## 5 Data for Stress Analysis

### 5.1 General data

Pipeline diameter	:	Do = 267,02 mm
Wall thickness	:	t = 1,8 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 370,09 kN/m <sup>3</sup>
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 kN/m <sup>3</sup>
Minimum bending radius	:	Rmin = 100 m
Bending radius on rollers	:	Rrol = 150 m
Friction coefficient pipe/rollers	:	f1 = 0,10
Friction between pipe and drilling fluid	:	f2 = 0,000050 N/mm <sup>2</sup>
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20
Maximal modulus of subgrade reaction	:	kv, max = 169289 kN/m <sup>3</sup>

### 5.2 Buoyancy Control

The friction between soil and pipe is partially caused by buoyancy of the pipeline in the drilling fluid. Uplift forces resulting from buoyancy can be neutralized by filling the pipeline. The optimal volume of fluid placed in the pipe provides the most advantageous distribution of buoyant forces.

Buoyancy of the pipeline when filled with fluid for 0%

Uplift forces	:	62	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	56	[kg/m]
		-----	
Result	:	7	[kg/m] (Pipeline moves upwards)

### 5.3 Calculation Pulling Force

During the pullback operation the pipe experiences friction which is based on:

- friction between pipe and pipe-roller ( $f_1 = 0,10$  )
- friction between pipe and drilling fluid ( $f_2 = 0,000050$  [N/mm<sup>2</sup>] )
- friction between pipe and soil ( $f_3 = 0,20$  )

Due to the friction a pulling force is induced in the pipeline.  
The pulling direction of the product pipe is from left to right

This calculation takes into account that the length of the pipe on the rollers decreases while pulling back the pipeline. During the pull back operation the bore hole is supposed to be stable.

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Expected pulling force (kN)
T1	0	10
T2	11	11
T3	74	30
T4	103	34
T5	166	53
T6	179	55

The calculated pulling force is the mean value. It is recommended to use a contingency factor of at least 1.4 for the stress analysis. In the subsequent pipe stress analysis a factor of 1,40 is used and a load factor of 1,00 (steel only).

The maximum representative pulling force is 0 kN, calculation factor excluded. At this pulling force level the stresses in the pipeline are equal to the yield strength.

## 6 Stress Analysis of Pipe: DN150/250

### 6.1 Material Data of Pipe: DN150/250

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Steel Flexwell
Outer diameter	:	Do = 267,02 mm
Wall thickness	:	t = 1,80 mm
Negative wall thickness tolerance	:	10,00 %
Design pressure	:	pd = 23,00 bar
Test pressure	:	pt = 50,00 bar
Temperature variation	:	dt = 120,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 179 m
Young's modulus	:	E = 207000 N/mm <sup>2</sup>
Yield strength	:	Re = 235 N/mm <sup>2</sup>
Partial material factor	:	gamma_m = 1,10
Partial material factor for test pressure	:	gamma_mtest = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 370,09 kN/m <sup>3</sup>
Contingency factor on bending radius	:	sf = 1,10
Bedding angle	:	beta = 120 degrees
Load angle	:	alpha = 180 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,061
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,083
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,131
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,138
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,089
Maximal vertical soil load	:	Pv;r;n;max = 40 kN/m <sup>2</sup>
Maximal modulus of subgrade reaction	:	kv;max = 169289 kN/m <sup>3</sup>
Load factor installation	:	f_Install = 1,00
Load factor on soil load Qn	:	f_Qn1 = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,20
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,20
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,00
Contingency factor on bending moment	:	f_M = 1,15
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on soil load Qn	:	f_Qn2 = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 1,60
Overall safety factor on moment (contribution of 3 factors)	:	f_k = f_M * f_Install / f_R = 1,05
Linear settlement coefficient	:	alpha_g = 1,24E-5 mm/mmK

### 6.2 Results Stress Analysis of Pipe: DN150/250

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The nominal wall thickness is 1,8 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is not sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 and NEN 3651.

#### 6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b)$	=	193	[N/mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_t = f_{pull} \cdot T1/A$	=	10	[N/mm <sup>2</sup> ]
Maximum axial stress $\sigma_{a,max}$	=	203	[N/mm <sup>2</sup> ]

In this load combination the tangential stress is negligible.

### 6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\text{Sigma}_b = \text{Mb}/\text{Wb} = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{\min} \cdot \text{Wb}) = 290 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_t = f_{\text{pull}} \cdot T_{\max} / A = 57 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress Sigma}_{a,\max} = 347 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load  $q_r$  on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot Y = (0.322 \cdot \text{Lambda}^2 \cdot E \cdot I) / (f_R \cdot \text{Do} \cdot R)$$

$$\text{Lambda} = (k_v \cdot \text{Do} / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 1,4\text{E-}3 \text{ mm}^{-1}$$

$$q_r = 0,07399 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / \text{Ww}) \cdot \text{Do} = 403 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress Sigma}_{t,\max} = 403 \text{ N/mm}^2$$

### 6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\text{Sigma}_{py} = p_d \cdot (\text{Do} - t) / (2 \cdot t) = 226 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py} = 113 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_{ptest} = s_f \cdot p_t \cdot (\text{Do} - t) / (2 \cdot t) = 410 \text{ N/mm}^2$$

### 6.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\text{Sigma}_b = \text{Mb}/\text{Wb} = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{\text{rol}} \cdot \text{Wb}) = 290 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress Sigma}_{a,\max} = 290 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / \text{Ww}) \cdot \text{Do} = 403 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / \text{Ww}) \cdot \text{Do} = 593 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress Sigma}_{t,\max} = 996 \text{ N/mm}^2$$

### 6.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\text{Sigma}_b = \text{Mb}/\text{Wb} = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{\text{rol}} \cdot \text{Wb}) = 290 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\text{Sigma}_{py} = p_d \cdot (\text{Do} - t) / (2 \cdot t) = 226 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py} = 113 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Sigma}_{ptest} = s_f \cdot p_t \cdot (\text{Do} - t) / (2 \cdot t) = 410 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma\_Temp} = \text{dt} \cdot \text{gamma\_t} \cdot \text{alpha\_g} \cdot E$	=	291	N/mm <sup>2</sup>
Maximum axial stress $\text{Sigma\_a,max}$	=	693	N/mm <sup>2</sup>
Tangential stress:			
$\text{Sigma\_qr} = k' \cdot \text{qr} \cdot (\text{rg}/\text{Ww}) \cdot \text{Do}$	=	403	N/mm <sup>2</sup>
$\text{Sigma\_qn} = k \cdot \text{qn} \cdot (\text{rg}/\text{Ww}) \cdot \text{Do}$	=	593	N/mm <sup>2</sup>
Rerounding factor $\text{Frr}$	=	0,095	
Rerounding factor $\text{F'rr}$	=	0,163	
$\text{Sigma\_t,max} = \text{Sigma\_py} + ((\text{F'rr} \cdot \text{Sigma\_qr}) + (\text{Frr} \cdot \text{Sigma\_qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma\_t,max}$	=	348	N/mm <sup>2</sup>

### 6.3 Check on Calculated Stresses of Pipe: DN150/250

According to NEN 3650-2 art.5 D.3.1 the calculated stresses for the load combinations, must meet the following conditions (note:  $\text{Re} = 235 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ ) :

Load combination 1

$$\text{Sigma\_v} \leq \text{Re}/\text{Gamma\_m}$$

Load combination 2

$$- \text{Sigma\_ptest} \leq \text{Re}/\text{Gamma\_test}$$

$$- \text{Sigma\_py} \leq \text{Re}/\text{Gamma\_m}$$

$$- \text{Sigma\_pm} \leq 1.1 \cdot \text{Re}/\text{Gamma\_m}$$

Load combinations 3 and 4

$$- \text{Sigma\_vmax} \leq 0.85(\text{Re} + \text{Re}_{20\text{deg}})/\text{Gamma\_m}$$

In load combination 1B/2/3/4 stresses are NOT allowable.

	Max allowable stress [N/mm <sup>2</sup> ]	Load combination1A	Load combination1B	Load combination2	Load combination3	Load combination4
$\text{Sigma\_v}$	213,64	203	650	-	-	-
$\text{Sigma\_ptest}$	235,00	-	-	410	-	-
$\text{Sigma\_py}$	213,64	-	-	226	-	-
$\text{Sigma\_pm}$	235,00	-	-	196	-	-
$\text{Sigma\_vmax}$	363,18	-	-	-	1168	444

Stresses in pipeline [N/mm<sup>2</sup>]

The deflection of the pipeline is 40,7 mm (15,23% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 40,1 mm (15,00% x Do). The deflection is not allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 16,0 mm (6,00% x Do). The deflection is not allowable.

**End of Report**

## Berekening spanning t.g.v. bovenbelasting en ovalisatie

# Bepalen spanningen en deflectie

<b>input</b>	
Do mantel	298,00 mm
Di mantel	268,00 mm
Do medium	218,00 mm
Di medium	197,50 mm
Dg medium	207,75 mm
rg	103,88 mm
eigen gewicht vulling	998,00 kg/m^3
eigen gewicht bentoniet	1100,00 kg/m^3
neutrale grondbelasting	0,04 N/mm2
gewicht leeg leiding	33,20 kg/m
I_wand (per mm)	17,30 mm4/mm

<b>Berekeningsstappen</b>	
neutrale grondbelasting met partiële factor	0,04 N/mm2
Qn	13,12 N/mm
Qverkeer	0,00 N/mm
Qeg	0,33 N/mm
Qvul	0,33 N/mm
Qop	-0,68 N/mm
Qtot	13,10 N/mm
lambda	0,50 dimensieloos
Qsteun	5,68 N/mm
Ktop	0,13
Kside	-0,13
Kbottom	0,14
Mtop	356,59 Nmm
Mside	-362,03 Nmm
Mbottom	375,64 Nmm



uitlezen, in principe bij drukloze leiding alpha = 180 beta = 120 graden

Steundruk	
Ktop	-0,14 aflezen K-side
Kside	0,14 aflezen K-top
Kbottom	-0,14 aflezen K-side

Mtop	-168,80 Nmm
Mside	168,80 Nmm
Mbottom	-168,80 Nmm
Mtop totaal	187,79 Nmm
Mside totaal	-193,23 Nmm
Mbottom totaal	206,84 Nmm

sigmai geen steun	103,61 N/mm^2
sigmau geen steun	118,99 N/mm^2
sigmai steun	57,05 N/mm^2
sigmau steun	65,52 N/mm^2

alpha = 120 graden, beta = 120 graden

Figuur D.1 — Momentcoëfficiënten en deflectiefactoren voor direct overgedragen grondrukken

Tabel D.1 — Momentcoëfficiënten en deflectiefactoren voor direct overgedragen grondrukken											
$\alpha$ graden	$\beta$ graden	$K_0$ bodem	$K_1$ top	$K_2$ zijden	$k_y$ verticaal	$\alpha$ graden	$\beta$ graden	$K_0$ bodem	$K_1$ top	$K_2$ zijden	$k_y$ verticaal
0	0	0,318	0,318	-0,182	0,149	90	0	0,306	0,182	-0,168	0,129
	30	0,259	0,317	-0,180	0,146		30	0,246	0,180	-0,166	0,127
	60	0,213	0,312	-0,176	0,138		60	0,201	0,176	-0,161	0,118
	90	0,182	0,305	-0,168	0,129		90	0,169	0,168	-0,154	0,110
	120	0,162	0,299	-0,161	0,122		120	0,150	0,163	-0,147	0,103
	150	0,153	0,295	-0,156	0,117		150	0,140	0,158	-0,142	0,098
30	180	0,160	0,294	-0,153	0,116	120	180	0,137	0,157	-0,140	0,096
	0	0,217	0,259	-0,190	0,145		0	0,299	0,162	-0,161	0,122
	30	0,257	0,257	-0,178	0,143		30	0,240	0,160	-0,159	0,119
	60	0,211	0,252	-0,173	0,135		60	0,194	0,158	-0,154	0,111
	90	0,180	0,246	-0,166	0,127		90	0,163	0,150	-0,147	0,103
	120	0,160	0,240	-0,159	0,119		120	0,143	0,143	-0,143	0,096
60	150	0,151	0,235	-0,154	0,115	150	150	0,138	0,138	-0,135	0,091
	180	0,148	0,235	-0,152	0,113		180	0,138	0,138	-0,133	0,089
	0	0,312	0,213	-0,175	0,138		0	0,295	0,153	-0,156	0,117
	30	0,262	0,211	-0,173	0,135		30	0,236	0,151	-0,154	0,115
	60	0,207	0,207	-0,168	0,122		60	0,190	0,146	-0,149	0,107
	90	0,176	0,201	-0,161	0,118		90	0,158	0,145	-0,142	0,098
90	120	0,156	0,198	-0,154	0,111	180	120	0,139	0,134	-0,138	0,091
	150	0,146	0,190	-0,149	0,107		150	0,129	0,129	-0,129	0,086
	180	0,143	0,189	-0,147	0,105		180	0,126	0,128	-0,128	0,085
	0	0,294	0,150	-0,153	0,116		0	0,294	0,150	-0,153	0,116
	30	0,236	0,148	-0,162	0,113		30	0,236	0,148	-0,162	0,113
	60	0,189	0,143	-0,147	0,105		60	0,189	0,143	-0,147	0,105
120	90	0,178	0,141	-0,145	0,102	180	90	0,157	0,137	-0,140	0,096
	120	0,138	0,131	-0,133	0,089		120	0,138	0,131	-0,133	0,089
	150	0,128	0,128	-0,127	0,085		150	0,128	0,128	-0,127	0,085
	180	0,125	0,125	-0,126	0,083		180	0,125	0,125	-0,126	0,083
	0	0,294	0,150	-0,153	0,116		0	0,294	0,150	-0,153	0,116
	30	0,236	0,148	-0,162	0,113		30	0,236	0,148	-0,162	0,113

## Deflectie

Geval 1 conform NEN3650	
deltaY met steun	0,22 mm
delta y zonder steundruk	0,37 mm

$$\delta_y = \frac{(0,089 \times Q - 0,083 \times Q_{n,h} + 0,048 \times Q_{indir}) r_g^3}{E I_w}$$

$$\delta_y = \frac{k_y \times Q_{tot} \times r_g^3}{E I_w}$$