

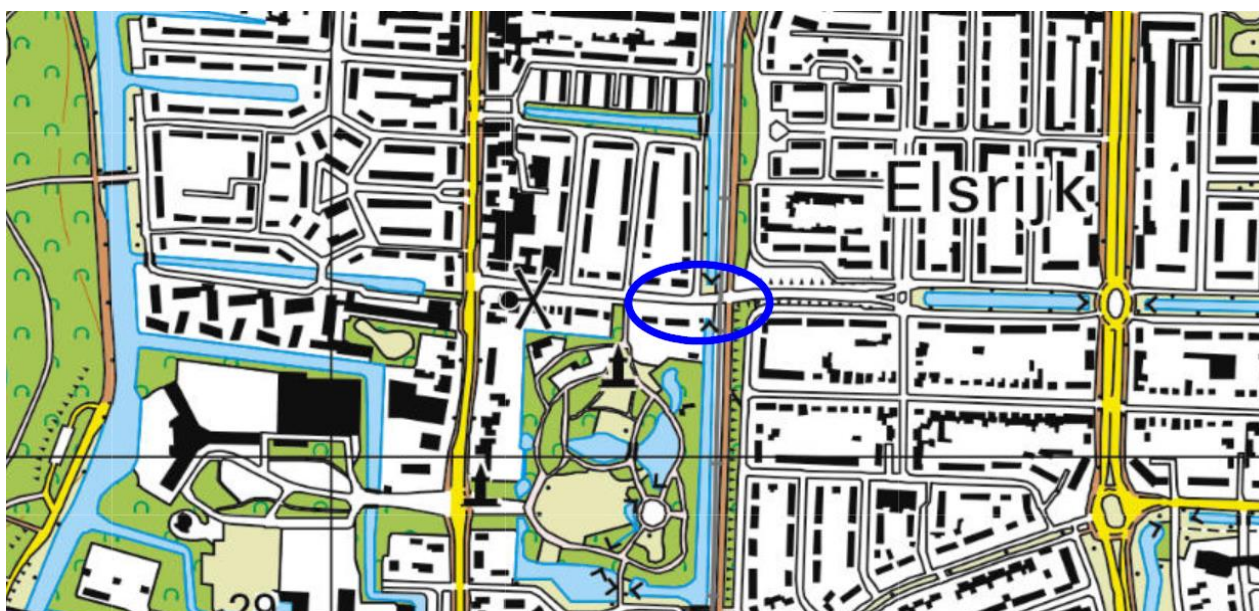
Berekening volgens NEN 3650:2020

Naam van het project : Vervangen waterleidingen omgeving Amsterdamse bos

Projectonderdeel : Aanleg Ø 300 mm Nodulair Gietijzer Molenweg

Opdrachtgever : Waternet

## Vervangen waterleidingen omgeving Amsterdamse bos Aanleg Ø 300 mm Nodulair Gietijzer Molenweg



*Locatie van de te leggen leiding.*

Datum rapport: 28 november 2020



**Kees Schrijvers**  
Adviesbureau Schrijvers BV  
+31(0)6-204 278 34





### Basisgegevens

#### Materiaal en leidinggegevens

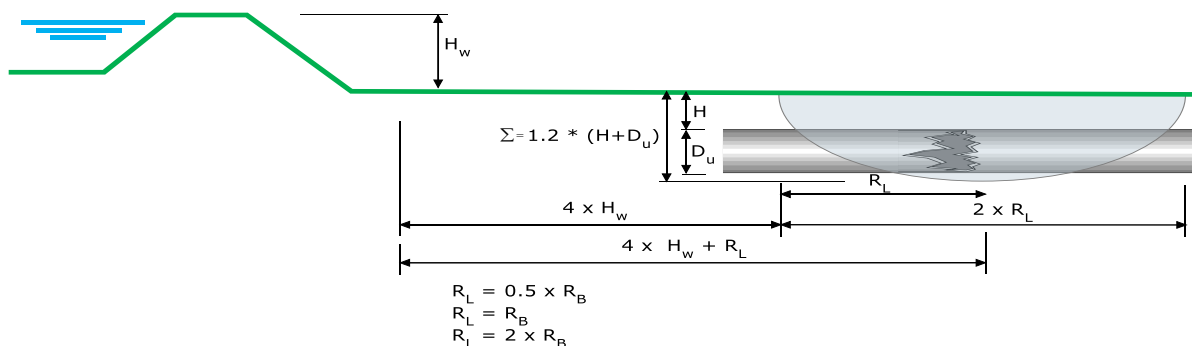
Materiaal		=	Nodulier Gietijzer C40
Uitwendige diameter	$D_e$	=	326 mm
Wanddikte	$d_n$	=	6,2 mm
Inwendige diameter	$D_i$	=	313,6 mm
Gemiddelde diameter	$D$	=	319,8 mm

#### Procescondities

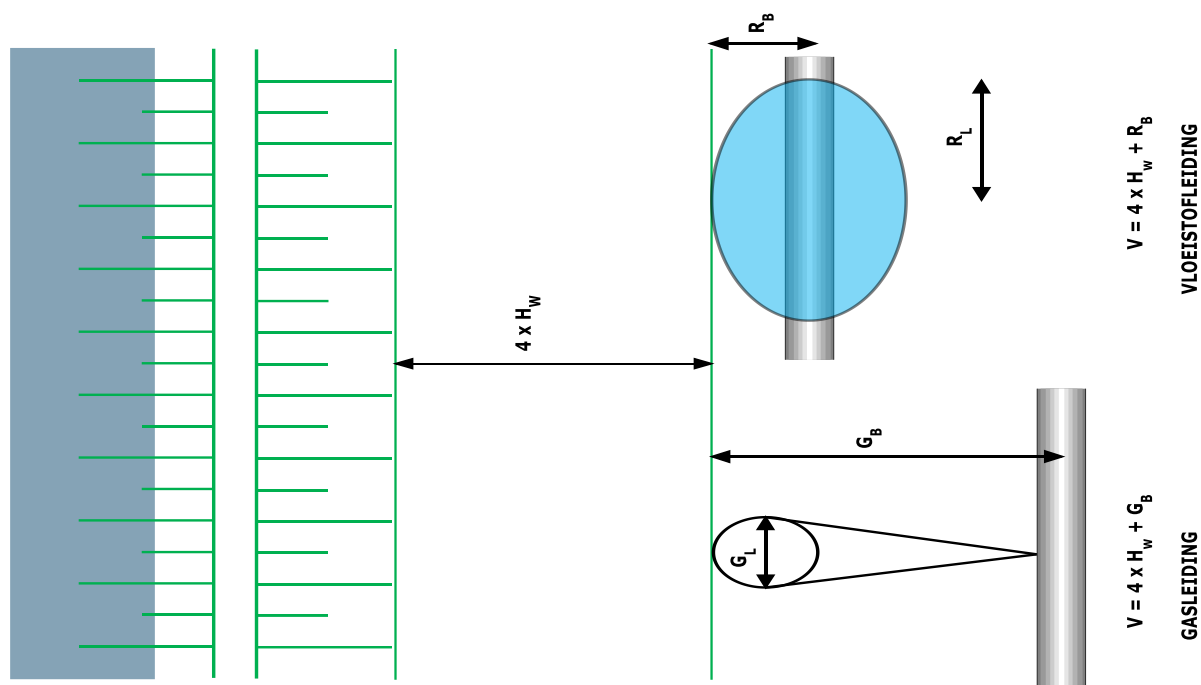
Ontwerpdruk	$p_d$	=	0,3 N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$p$	=	1000 kg/m <sup>3</sup>

#### Gegevens van het waterstaatswerk

Verheeld of niet verheeld waterstaatswerk		Verheeld
Hoogteverschil kruin-maaiveld	$H_{\text{werk}}$	0,00 m
Stabiliteitszone = viermaal hoogteverschil kruin-maaiveld	$H_{\text{werk}} \times 4$	0,00 m



#### Dwarsdoorsnede principe veiligheidszone volgens NEN 3651:2020



Schematische weergave van stabiliteitszone-, verstoringszone en veiligheidszone bij evenwijdige ligging



### Berekening kraters

Factor $H^3 \times D_i^5$	$H^3 \times D_i^5$	=	86,74	m
Halve breedte erosiekrater	$R_B$	=	13,98	m
Halve lengte erosiekrater klein gat	$R_{L1}$	=	6,99	m
Halve lengte erosiekrater groot gat	$R_{L2}$	=	13,98	m
Halve lengte erosiekrater bij volledige afschuiving	$R_{L3}$	=	27,96	m

### Berekening veiligheidszones

Bij evenwijdige ligging	$V(R_B)$	=	21,34	m
Bij kruising (hier van toepassing)	$V(R_{L1})$	=	6,99	m
	$V(R_{L2})$	=	13,98	m
	$V(R_{L3})$	=	27,96	m

### Berekening diepte van de erosiekrater

Diepte krater	$D_k$	=	2,31	m
---------------	-------	---	------	---

### Conclusie

Ter plaatse is sprake van kruisin met een waterstaatswerk

Dit betekent dat de veiligheidszone gelijk is aan  $4 \times H_{\text{werk}} + R_B$  = **13,98 m**

De diepte van de krater t.o.v. het maaiveld ter plaatse van de buis bedraagt **2,31 m**

Ter plaatse van het waterstaatswerk en de breedte van de veiligheidszone dient de leiding aan de NEN 3650 en de NEN 3651 te voldoen.

### Berekeningen van de spanningen t.g.v. inwendige druk

Spanning in omtreksrichting volgens Lamé

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d \quad \sigma_p = 7,74 \text{ N/mm}^2$$

In langsrichting bedraagt de spanning t.g.v. inwendige druk:

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p \quad \sigma_{pl} = 2,17 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor = **168,00 N/mm<sup>2</sup>**

Conclusie:

**Voldoet**



Ten gevolge van de inwendige druk "verzet" de leiding zich tegen indrukken voor belastingen van buiten (grond en verkeer). De grootte van de invloed hiervan wordt berekend met de reroundingfactor.

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right) \quad f_{rr} = 0,94 -$$

### Berekeningen van de grondbelastingen

Voor de grondbelasting op de leiding kan gebruik gemaakt worden van informatie uit het Dinoloket, sonderingen, grondboringen of kennis van het gebied.

In de NEN 3650 is tabel B.1 opgenomen. Deze tabel is afgeleid van de NEN 9997-1+C2.

Gelet op het grondonderzoek wordt uitgegaan van : Zand

### Berekening neutrale grondbelasting

Indien geen grondwater aanwezig is:

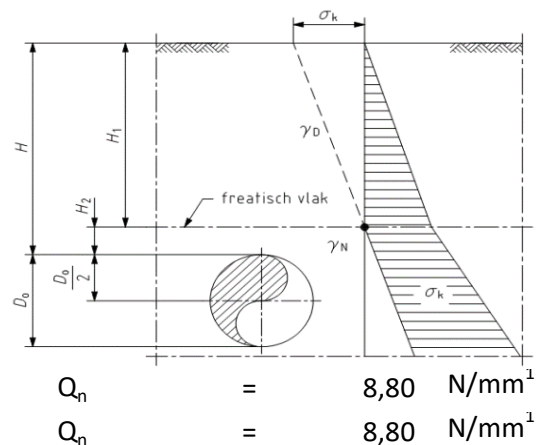
$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

Indien ter plaatse grondwater boven de buis aanwezig is dan volgt:

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

Grondbelasting geperst gedeelte

Grondbelasting gelegde gedeelte



### Passieve grondbelasting t.g.v. inklinken sleuf

$$q_p = q_n \times \left( 1 + f_m \frac{H}{D_0} \right)$$

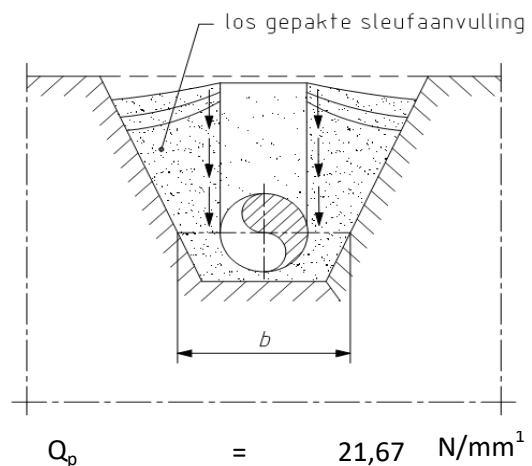
De Marstonfactor  $f_m$  is afhankelijk van de sleufbreedte op buisasniveau.

Zeer smalle sleuf ( $b \leq 1,5 \times D_0$ ):  $f_m = 0$

Smalle sleuf ( $>1,5 \times D_0$   $b \leq 3 \times D_0$ ):  $f_m = 0,1$

Brede sleuf ( $> 3 \times D_0$ ):  $f_m = 0,3$

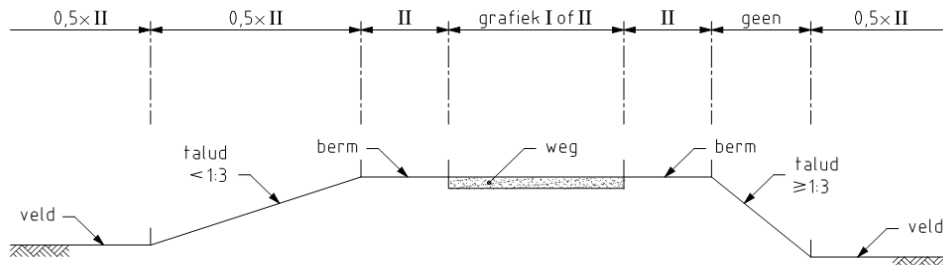
Passieve grondbelasting t.p.v. open sleuf





### Berekening van de verkeersbelasting:

Er wordt bij verkeersbelasting onderscheid gemaakt in drie verkeersklassen:

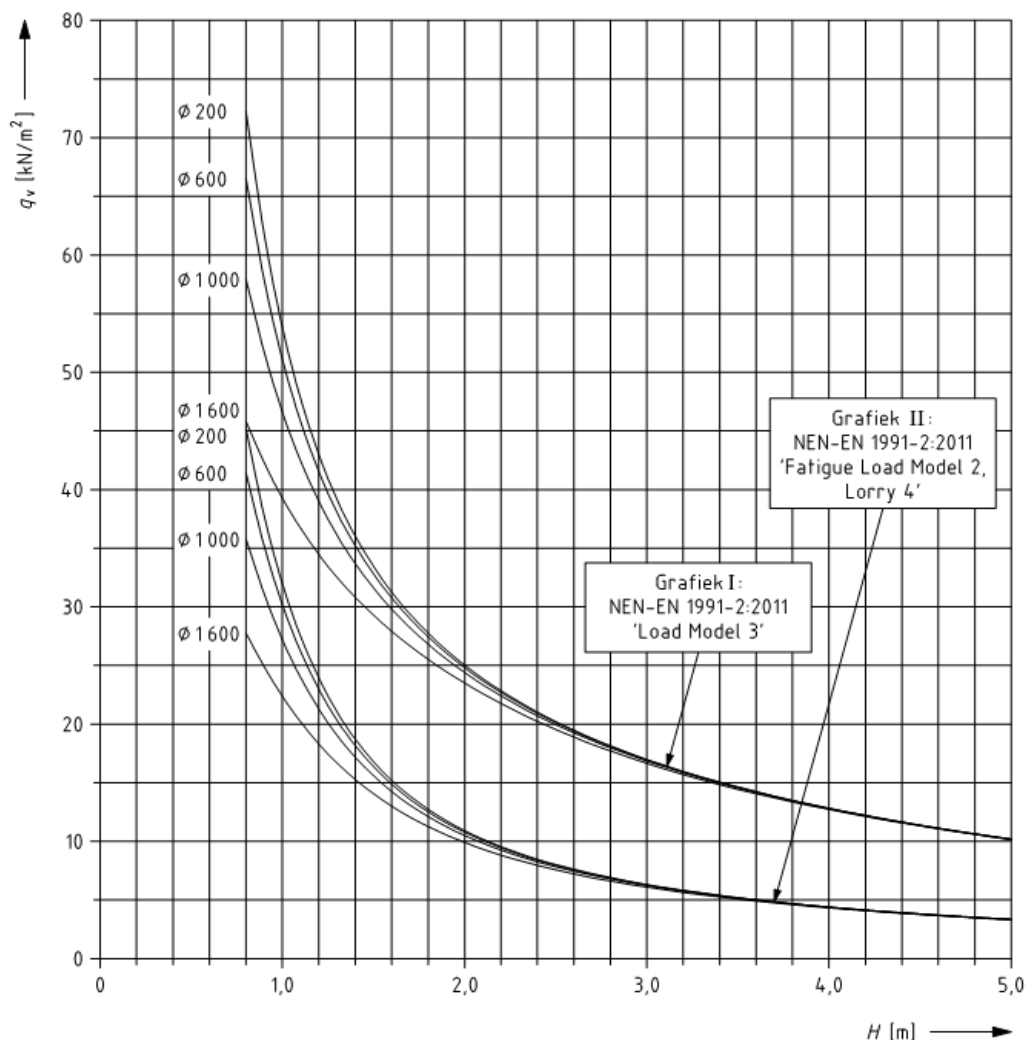


Grafiek I is van toepassing op stroomwegen zoals rijkswegen en provinciale wegen.

Grafiek II is van toepassing voor stadswegen.

Grafiek ½ x II is wordt gebruikt voor gebieden waar incidenteel verkeer komt  
bijvoorbeeld voor bij maaiwerkzaamheden

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

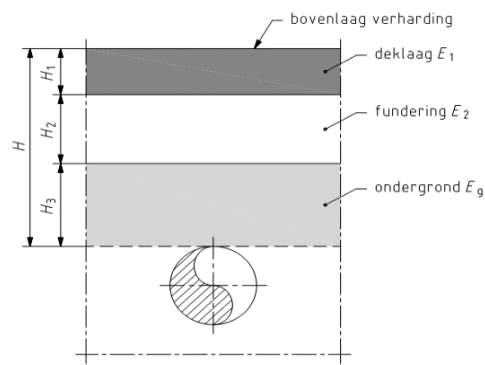
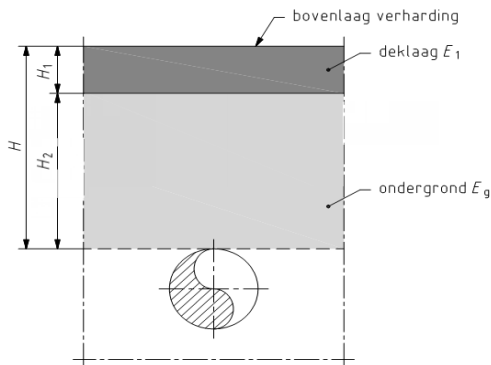




Vanwege de wegconstructie mag in het algemeen de ontlastende invloed hiervan in de berekening worden verdisconteerd. Er wordt onderscheid gemaakt in tweelagen-structuur en drielagenstructuur. Op basis daarvan wordt een equivalente dekkingshoogte bepaald volgens:

$$H_{n,eq} = 0,9 H_n \sqrt[3]{E_n/E_g}$$

In de NEN 3650:2020 wordt onderscheid gemaakt in tweelagenstructuur of drielagenstructuur



In de berekening is geen rekening gehouden met ontlastende invloed van het wegdek

Verkeersbelasting geperst gedeelte	$Q_v$	=	0,00	N/mm <sup>1</sup>
Verkeersbelasting open sleuf gedeelte	$Q_v$	=	5,92	N/mm <sup>1</sup>

### Berekening indirecte belastingen

Berekening invloed zettingen (tijdens uitvoering) gebeurt door het uitvoeringszakkingsverschil in rekening te brengen. De zettingslengte L volgt uit de berekeningsmethode.

Bij dit project is de z-sprongmethode van toepassing.

Op langere termijn komt daar nog een zetting of zakking van de ondergrond daar boven op.

Uitvoeringszakkingsverschil tijdens de uitvoering	$f_v$	=	5,00	mm
Zettingsverschil in gebruiksfase leiding	$f_z$	=	0,00	mm

In de berekening is rekening gehouden met: Kruising met het waterstaatswerk

De zettingslengte waarmee gerekend is bedraagt	L	=	3.770	mm
--	---	---	-------	----



### Spanningen t.g.v. uitvoeringszakkingverschil en zettingsverschil

Als gevolg van de overgang van het geperst deel naar het gelegd deel ontstaat spanning in langsrichting.

Beddingsconstante geperste deel  $k_1 = 0,04 \text{ N/mm}^3$

Beddingsconstante gelegde deel  $k_2 = 0,016 \text{ N/mm}^3$

De spanning  $\sigma_{bx}$  ten gevolge van het zettingsverschil wordt als volgt berekend:

$$\sigma_{bx} = m^- \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$$

Deze spanning bedraagt  $\sigma_{bx} = 155,68 \text{ N/mm}^2$

In het gelegde deel wordt de buigspanning als volgt berekend:

$$\sigma_{bx} = m^+ \cdot q_0 \cdot D_e \cdot \frac{L^2}{W_b}$$

Deze spanning bedraagt  $\sigma_{bx} = 126,57 \text{ N/mm}^2$

### Spanningen t.g.v. temperatuurverschil

Indien de leiding in de winter wordt gelegd en er sprake is van een groot verschil in temperatuur tussen medium en omgeving dan is het gebruikelijk om met 10° temperatuurverschil te rekenen. Dit verschil in temperatuur zorgt voor een spanning in langsrichting van de leiding.

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

In deze formule wordt gerekend met het temperatuurverschil, de uitzettingscoëfficiënt en de elasticiteitsmodulus.

De spanning ten gevolge van temperatuurverschil bedraagt  $\sigma_{ax} = 19,55 \text{ N/mm}^2$

### Toeslag op spanningen indien een bocht wordt toegepast $i_x$ , $i_y$ , $i_{xp}$ en $i_{yp}$

Een bocht is slapper dan een rechte buis. Als er een bocht wordt toegepast dan zijn gegevens van de bochtstraal en de wanddikte van de bocht van belang.

Bochtstraal  $R = 0,00 \text{ mm}$

Wanddikte van de bocht  $t = 0,00 \text{ mm}$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} \quad i_{xp} = \frac{i_x}{C_2}$$

$i_x = 0,00 -$

$i_{xp} = 0,00 -$

$i_y = 0,00 -$

$i_{yp} = 0,00 -$



Toetsen berekeningsresultaten aan eisen NEN 3650:2020
---

**1. Toetsen op minimale ringstijfheid**

Met de wanddikte en de elasticiteitsmoduls van het materiaal kan de wandstijfheid worden berekend.

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

De ringstijfheid van de leiding is	$S_N$	=	N.v.t.	$\text{kN/m}^2$
Minimale ringstijfheid volgens NEN 3650	$S_{N\_min}$	=	N.v.t.	$\text{kN/m}^2$

Conclusie toetsing op minimale ringstijfheid:

**Voldoet**

**2. Toetsen op implosie**

Als gevolg van de druk van het grondwater kan de leiding imploderen. Bij horizontaal gestuurde boringen kan de leiding imploderen door te hoge boorspoeldrukken.

Volgens de NEN 3650 moet daarom getoetst worden op implosie. Hierbij wordt gekeken naar implosie korte duur en implosie lange duur.

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

Implosie korte duur	$p_{o,kort}$	=	1,79	$\text{N/mm}^2$
---------------------	--------------	---	------	-----------------

Implosie lange duur	$p_{o,lang}$	=	0,9	$\text{N/mm}^2$
---------------------	--------------	---	-----	-----------------

Er is een risico op implosie indien meer grondwater aanwezig is dan			27,87	m
---	--	--	-------	---

Ter plaatse is grondwater boven de buis van	$h_n$	=	0,60	m
---	-------	---	------	---

Conclusie toetsing op implosie:

**Voldoet**

**3. Toetsen op deflectie (vervorming)**

Met name bij kunststofleidingen is toetsing op deflectie noodzakelijk. Bij het berekenen hiervan wordt bij kunststof gerekend met  $E'$ . Bij staal met  $E$ .

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

Optredende deflectie geperste deel		=	3,09	mm
------------------------------------	--	---	------	----

Optredende deflectie gelegde deel		=	2,26	mm
-----------------------------------	--	---	------	----

Maximaal toelaatbare deflectie		=	9,59	mm
--------------------------------	--	---	------	----

Conclusie toetsing op implosie:

**Voldoet**





#### 4. Toetsen op optredende spanningen

Toelaatbare spanning (Toelaatbare materiaalspanning x importantiefactor) = 168,00 N/mm<sup>2</sup>

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx}) \quad \sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

##### Gedurende 1e en 2e jaar na aanleg

Optredende spanningen in omtreksrichting  $\sigma_{y2} = 63,32 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

Optredende spanningen in langsrichting  $\sigma_x = 141,59 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

##### Na 2 jaar na aanleg

Optredende spanningen in omtreksrichting  $\sigma_{y2} = 70,55 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**

Optredende spanningen in langsrichting  $\sigma_x = 119,17 \text{ N/mm}^2$  **Voldoet**