

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	Aanpassing gasnet Enexis (100 mbar) ter plaatse van Postbaan nabij 1 te Dinteloord		
Projectonderdeel	Sterkteberekening lagedruk gasleiding Ø 200 mm		
Importatiefactor S	0,95		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 16,0 · 10 <sup>-5</sup>	mm/(mm · K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_{\sigma}$	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 200,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 18,2	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0,01	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho_{omg}$	= 0,833	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta_t$	= 10	°
Expansie constante	$\kappa$	= 1,33	
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.964	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,7	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f <sub>v</sub>	= 15	mm
Zettingsverschil	f <sub>z</sub>	= 25	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,1	%
Marstonfactor	f <sub>m</sub>	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H <sub>werk</sub>	= 1,75	m
		14-03-2021 10:14:19	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Klei		
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 18	kN/m <sup>3</sup>	
Inwendige wrijvingshoek grond	$\varphi$	= 22,5	°	
Effectieve cohesie	$c'$	= 5	kN/m <sup>2</sup>	
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 80	kN/m <sup>2</sup>	
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,022	N/mm <sup>3</sup>	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,025	N/mm <sup>3</sup>	
E-modulus ondergrond	$E_{100}$	= 2	MN/m <sup>2</sup>	
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1		
Vochtgehalte	w	= 5	%	
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			14-03-2021 10:14:19	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.0 ©
<b>1. Eigenschappen van de leiding</b>			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 163,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 181,80	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 200,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 100,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 81,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 90,90	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 43.375.425,69	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 433.754,26	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 502,38	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 55,21	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
<b>2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan</b>			
Voor gasleidingen geldt: $\Phi$ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a \cdot v_1 \cdot D_i^2})^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10 \cdot 8 \cdot 0,16^2})^3}{(1,6 \cdot 0,16 + 0,7)^2} = 0,000076$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$\rho_0 = \rho_{omg} \cdot \frac{p_0}{10.000} = 0,833 \cdot \frac{1000,00}{10.000} = 0,08 \text{ kg/m}^3$ $u^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,33}{1,33+1} \cdot \frac{1000,00}{0,083}} = 117,07 \text{ m/s}$ $p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0,10 \cdot \left(\frac{2}{1,33+1}\right)^{\frac{1,33}{1,33-1}} = 540,36 \text{ kg/m}^2 = 0,054 \text{ bar}$ $\rho^* = \rho_0 \cdot \left(\frac{p^*}{p_0}\right)^{\frac{1}{\kappa}} = 0,083 \cdot \left(\frac{540,36}{1000,00+1}\right)^{\frac{1}{1,33}} = 0,052 \text{ kg/m}^3$ $Q^* = \rho^* \cdot u^* \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 0,052 \cdot 117,07 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,16^2 = 0,13 \text{ kg/s}$ $I = Q^* \cdot u^* + (p^* - p_{omg}) \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 0,13 \cdot 117,07 + 0 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,16^2 = 15,11 \text{ N}$ $w = 5,00 \% \rightarrow R(w) = 0,025$ $D_k = 40 \cdot R(w) \cdot D_0 + H = 40 \cdot 0,025 \cdot 0,20 + 0,70 = 0,90 \text{ m}$ $G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left(\frac{I}{\rho_{omg} \cdot g}\right)^3 \cdot t^2 \right\}^{0,125} = 0,025 \cdot \left\{ \frac{9,81}{0,90^2} \cdot \left(\frac{15,11}{0,83 \cdot 9,81}\right)^3 \cdot 7.200^2 \right\}^{0,125} = 0,40 \text{ m}$ <p>Bij hogedrukleidingen (druk groter of gelijk aan 1 MPa (10 bar)) zijn deze berekeningen indicatief.</p> $G_L = G_B / 4 = 0,40 / 4 = 0,10 \text{ m}$ $\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{werk} + G_L = 4 \cdot 1,75 + 0,10 = 7,10 \text{ m}$			
			14-03-2021 10:14:19



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
<b>4. Berekening van de spanningen <math>\sigma_p</math> en <math>\sigma_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>	
$D_g/d_n = 181,80/18,20 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 81,80^2}{100,00^2 - 81,80^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}$	
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>	
$f_{rr} = 1 / ( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} )$ $f_{rr} = 1 / ( 1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 90,9^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 502,38} ) = 1,00$	
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 = 13,86 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 13,86 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 2,77 \text{ N/mm}^1$	
<b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>	
$q_p = q_n \cdot ( 1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} )$ $q_p = 13,86 \cdot ( 1 + 0,3 \cdot \frac{0,7}{0,2} ) = 28,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 28,41 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 5,68 \text{ N/mm}^1$	
	14-03-2021 10:14:19



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

### 8. Berekening van de reële grondbelasting $Q_k$

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(22,5) = 0,617$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,617}{1 + 0,617} = 0,38$$

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 2 \cdot (13,86/100)^{0,8} = 0,41 \text{ MN/m}^2$$

$$E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 0,41 / \frac{1 - 0,38 - 2 \cdot 0,38^2}{1 - 0,38} = 0,78 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,2}{0,78^{1,5} \cdot \sqrt{0,7/0,2}} = 0,039 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)$$

$$1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}$$

$$\frac{0,1 \cdot 0,2}{0,039} \cdot (28,41 - 13,86)$$

$$q_k = 13,86 + \frac{0,039}{1 + \frac{28,41 - 13,86}{0,039 \cdot 0,0220 \cdot 10^6}} = 21,21 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 21,21 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 4,24 \text{ N/mm}^1$$

### 9. Berekening van de verkeersbelasting $Q_v$ volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 66,23 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 66,23 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 13,25 \text{ N/mm}^1$$

### 10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding $\lambda$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v, \text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,025}{4 \cdot 975 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

### 11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)

$$\text{Zettingslengte } L = 8.964 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 8.964 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 15 \cdot 200 \cdot 0,025 = 0,027 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,027 \cdot 0,0023 \cdot 8.964 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.964}{6}\right) = 2,27 \text{ N/mm}^1$$



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©														
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000360 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot 200 \cdot 0,025 = 0,12 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,12 \cdot 0,0023 \cdot 8.964 \cdot (0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.964}{6}) = 9,85 \text{ N/mm}^1$																
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																
Berekening evenwichtsdraagvermogen																
$B = D_o = 0,20 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,70 + 0,20 / 2 = 0,80 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,80/0,20) = 0,53$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 80 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,53)$ $P_{we} = 542,04 \text{ kN/m}^2 = 0,54 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,54 \cdot 200,00 = 108,41 \text{ N/mm}^1$																
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																
<table><tr><td><i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td><td><i>Situatie na 2 jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td></tr><tr><td><math>Q_k = 4,24 \text{ N/mm}^1</math></td><td rowspan="4">Geen aanpassing van <math>Q_d</math> nodig</td><td><math>Q_n = 2,77 \text{ N/mm}^1</math></td><td rowspan="4">Geen aanpassing van <math>Q_d</math> nodig</td></tr><tr><td><math>Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1</math></td><td><math>Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1</math></td></tr><tr><td><math>Q_d = 2,27 \text{ N/mm}^1 +</math></td><td><math>Q_d = 9,85 \text{ N/mm}^1 +</math></td></tr><tr><td><math>\Sigma = 19,76 \text{ N/mm}^1</math></td><td><math>\Sigma = 25,87 \text{ N/mm}^1</math></td></tr></table>			<i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	$Q_k = 4,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 2,77 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$	$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 2,27 \text{ N/mm}^1 +$	$Q_d = 9,85 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 19,76 \text{ N/mm}^1$	$\Sigma = 25,87 \text{ N/mm}^1$
<i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>													
$Q_k = 4,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 2,77 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig													
$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$														
$Q_d = 2,27 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 9,85 \text{ N/mm}^1 +$														
$\Sigma = 19,76 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 25,87 \text{ N/mm}^1$														
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar)																
<table><tr><td><i>Moment t.g.v. <math>Q_k</math> en <math>Q_v</math></i></td><td><i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i></td></tr><tr><td><math display="block">M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g</math><math display="block">M_q = 0,177 \cdot (4,24 + 13,25) \cdot 90,90</math><math display="block">M_q = 281,39 \text{ Nmm/mm}^1</math></td><td><math display="block">M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g</math><math display="block">M_{qd} = 0,122 \cdot 2,27 \cdot 90,90</math><math display="block">M_{qd} = 25,22 \text{ Nmm/mm}^1</math></td></tr><tr><td colspan="2"><i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i></td></tr><tr><td colspan="2"><math display="block">\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w</math><math display="block">\sigma_q = 1,00 \cdot (281,39 + 25,22) / 55,21 = 5,54 \text{ N/mm}^2</math></td></tr></table>			<i>Moment t.g.v. <math>Q_k</math> en <math>Q_v</math></i>	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i>	$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (4,24 + 13,25) \cdot 90,90$ $M_q = 281,39 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,27 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 25,22 \text{ Nmm/mm}^1$	<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (281,39 + 25,22) / 55,21 = 5,54 \text{ N/mm}^2$							
<i>Moment t.g.v. <math>Q_k</math> en <math>Q_v</math></i>	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i>															
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (4,24 + 13,25) \cdot 90,90$ $M_q = 281,39 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,27 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 25,22 \text{ Nmm/mm}^1$															
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>																
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (281,39 + 25,22) / 55,21 = 5,54 \text{ N/mm}^2$																
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)																
<table><tr><td><i>Moment t.g.v. <math>Q_n</math> en <math>Q_v</math></i></td><td><i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i></td></tr><tr><td><math display="block">M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g</math><math display="block">M_q = 0,177 \cdot (2,77 + 13,25) \cdot 90,90</math><math display="block">M_q = 257,72 \text{ Nmm/mm}^1</math></td><td><math display="block">M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g</math><math display="block">M_{qd} = 0,122 \cdot 9,85 \cdot 90,90</math><math display="block">M_{qd} = 109,29 \text{ Nmm/mm}^1</math></td></tr><tr><td colspan="2"><i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i></td></tr><tr><td colspan="2"><math display="block">\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w</math><math display="block">\sigma_q = 1,00 \cdot (257,72 + 109,29) / 55,21 = 6,63 \text{ N/mm}^2</math></td></tr></table>			<i>Moment t.g.v. <math>Q_n</math> en <math>Q_v</math></i>	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i>	$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,77 + 13,25) \cdot 90,90$ $M_q = 257,72 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 9,85 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 109,29 \text{ Nmm/mm}^1$	<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (257,72 + 109,29) / 55,21 = 6,63 \text{ N/mm}^2$							
<i>Moment t.g.v. <math>Q_n</math> en <math>Q_v</math></i>	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i>															
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,77 + 13,25) \cdot 90,90$ $M_q = 257,72 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 9,85 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 109,29 \text{ Nmm/mm}^1$															
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>																
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (257,72 + 109,29) / 55,21 = 6,63 \text{ N/mm}^2$																
		14-03-2021 10:14:19														



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{18,2}} = \mathbf{0,33 \text{ N/mm}^2}$		
<b>17. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math> en zettingsverschil <math>f_z</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{18,2}} = \mathbf{1,44 \text{ N/mm}^2}$		
<b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
<b>19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht</b>		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
<b>20. Toetsing op minimale ringstijfheid <math>S_N</math></b>		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = <b>2 kN/m<sup>2</sup></b>		
<b>21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk</b>		
Veiligheidsfactor $\gamma$ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor $\gamma$ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij <b>27,87 m</b> grondwater boven de leiding		
<b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,77 + \frac{1}{2} \cdot 13,25) - 0,095 \cdot (1 - \sin(22,5^\circ)) \cdot (2,77 + \frac{1}{2} \cdot 13,25) + 0,048 \cdot 9,85) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38} = \mathbf{3,24 \text{ mm} (= 1,78\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,95 \cdot 181,80 = \mathbf{13,82 \text{ mm}}$		
		14-03-2021 10:14:20



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
<b>23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,54 = \mathbf{3,60 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,33 + 1,56 = \mathbf{1,80 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
<b>24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,63 = \mathbf{4,31 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 1,44 + 1,56 = \mathbf{2,52 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
	14-03-2021 10:14:20



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	Aanpassing gasnet Enexis (100 mbar) ter plaatse van Postbaan nabij 1 te Dinteloord		
Projectonderdeel	Sterkteberekening lagedruk gasleiding Ø 200 mm		
Importatiefactor S	0,95		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= 16,0 · 10 <sup>-5</sup>	mm/(mm · K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8,00	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 200,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 18,2	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0,01	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa medium	$\rho_{omg}$	= 0,833	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta_t$	= 10	°
Expansie constante	$\kappa$	= 1,33	
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 8.964	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,7	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f <sub>v</sub>	= 15	mm
Zettingsverschil	f <sub>z</sub>	= 25	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,1	%
Marstonfactor	f <sub>m</sub>	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H <sub>werk</sub>	= 1,75	m
		14-03-2021 10:14:19	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Klei		
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 18	kN/m <sup>3</sup>	
Inwendige wrijvingshoek grond	$\varphi$	= 22,5	°	
Effectieve cohesie	$c'$	= 5	kN/m <sup>2</sup>	
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 80	kN/m <sup>2</sup>	
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,022	N/mm <sup>3</sup>	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,025	N/mm <sup>3</sup>	
E-modulus ondergrond	$E_{100}$	= 2	MN/m <sup>2</sup>	
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1		
Vochtgehalte	w	= 5	%	
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			14-03-2021 10:14:19	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.0 ©
<b>1. Eigenschappen van de leiding</b>			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 163,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 181,80	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 200,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 100,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 81,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 90,90	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 43.375.425,69	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 433.754,26	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 502,38	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 55,21	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
<b>2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan</b>			
Voor gasleidingen geldt: $\Phi$ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,16^2)^3}{(1,6 \cdot 0,16 + 0,7)^2} = 0,000076$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$\rho_0 = \rho_{omg} \cdot \frac{p_0}{10.000} = 0,833 \cdot \frac{1000,00}{10.000} = 0,08 \text{ kg/m}^3$ $u^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,33}{1,33+1} \cdot \frac{1000,00}{0,083}} = 117,07 \text{ m/s}$ $p^* = p_0 \cdot \left( \frac{2}{\kappa+1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0,10 \cdot \left( \frac{2}{1,33+1} \right)^{\frac{1,33}{1,33-1}} = 540,36 \text{ kg/m}^2 = 0,054 \text{ bar}$ $\rho^* = \rho_0 \cdot \left( \frac{p^*}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} = 0,083 \cdot \left( \frac{540,36}{1000,00+1} \right)^{\frac{1}{1,33}} = 0,052 \text{ kg/m}^3$ $Q^* = \rho^* \cdot u^* \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 0,052 \cdot 117,07 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,16^2 = 0,13 \text{ kg/s}$ $I = Q^* \cdot u^* + (p^* - p_{omg}) \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 0,13 \cdot 117,07 + 0 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,16^2 = 15,11 \text{ N}$ $w = 5,00 \% \rightarrow R(w) = 0,025$ $D_k = 40 \cdot R(w) \cdot D_0 + H = 40 \cdot 0,025 \cdot 0,20 + 0,70 = 0,90 \text{ m}$ $G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left( \frac{I}{\rho_{omg} \cdot g} \right)^3 \cdot t^2 \right\}^{0,125} = 0,025 \cdot \left\{ \frac{9,81}{0,90^2} \cdot \left( \frac{15,11}{0,83 \cdot 9,81} \right)^3 \cdot 7.200^2 \right\}^{0,125} = 0,40 \text{ m}$ <p>Bij hogedrukleidingen (druk groter of gelijk aan 1 MPa (10 bar)) zijn deze berekeningen indicatief.</p> $G_L = G_B / 4 = 0,40 / 4 = 0,10 \text{ m}$ $\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{werk} + G_L = 4 \cdot 1,75 + 0,10 = 7,10 \text{ m}$			
			14-03-2021 10:14:19



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
<b>4. Berekening van de spanningen <math>\sigma_p</math> en <math>\sigma_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>	
$D_g/d_n = 181,80/18,20 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 81,80^2}{100,00^2 - 81,80^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}$	
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>	
$f_{rr} = 1 / ( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} )$ $f_{rr} = 1 / ( 1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 90,9^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 502,38} ) = 1,00$	
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 = 13,86 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 13,86 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 2,77 \text{ N/mm}^1$	
<b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>	
$q_p = q_n \cdot ( 1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} )$ $q_p = 13,86 \cdot ( 1 + 0,3 \cdot \frac{0,7}{0,2} ) = 28,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 28,41 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 5,68 \text{ N/mm}^1$	
	14-03-2021 10:14:19



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©
<b>8. Berekening van de reële grondbelasting <math>Q_k</math></b>		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(22,5) = 0,617$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,617}{1 + 0,617} = 0,38$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 2 \cdot (13,86/100)^{0,8} = 0,41 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 0,41 / \frac{1 - 0,38 - 2 \cdot 0,38^2}{1 - 0,38} = 0,78 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,2}{0,78^{1,5} \cdot \sqrt{0,7/0,2}} = 0,039 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 13,86 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,2}{0,039} \cdot (28,41 - 13,86)}{1 + \frac{28,41 - 13,86}{0,039 \cdot 0,0220 \cdot 10^6}} = 21,21 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 21,21 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 4,24 \text{ N/mm}^1$		
<b>9. Berekening van de verkeersbelasting <math>Q_v</math> volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17</b>		
<p>Niet rekenen met ontlastende invloed</p> $q_v = 66,23 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 66,23 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 13,25 \text{ N/mm}^1$		
<b>10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding <math>\lambda</math></b>		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v, \text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,025}{4 \cdot 975 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$		
<b>11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>		
<p>Zettingslengte <math>L = 8.964 \text{ mm}</math></p> $\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 8.964 = 20,90$ <p><math>i = 0,900</math> (= 90,0 % inklemming)</p> <p><math>B_z = 0,000360</math> (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)</p> $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$ $Q_z = 0,000360 \cdot 15 \cdot 200 \cdot 0,025 = 0,027 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,027 \cdot 0,0023 \cdot 8.964 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.964}{6}\right) = 2,27 \text{ N/mm}^1$		
		14-03-2021 10:14:19



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©													
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)															
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000360 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot 200 \cdot 0,025 = 0,12 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,12 \cdot 0,0023 \cdot 8.964 \cdot (0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 8.964}{6}) = 9,85 \text{ N/mm}^1$															
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen															
Berekening evenwichtsdraagvermogen															
$B = D_o = 0,20 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,70 + 0,20 / 2 = 0,80 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,80/0,20) = 0,53$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 80 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,53)$ $P_{we} = 542,04 \text{ kN/m}^2 = 0,54 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,54 \cdot 200,00 = 108,41 \text{ N/mm}^1$															
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen															
<table><tr><td>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td><math>Q_k = 4,24 \text{ N/mm}^1</math></td><td rowspan="4">Geen aanpassing van <math>Q_d</math> nodig</td></tr><tr><td><math>Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1</math></td></tr><tr><td><math>Q_d = 2,27 \text{ N/mm}^1 +</math></td></tr><tr><td><math>\Sigma = 19,76 \text{ N/mm}^1</math></td></tr></table>	Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	$Q_k = 4,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 2,27 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 19,76 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td><math>Q_n = 2,77 \text{ N/mm}^1</math></td><td rowspan="4">Geen aanpassing van <math>Q_d</math> nodig</td></tr><tr><td><math>Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1</math></td></tr><tr><td><math>Q_d = 9,85 \text{ N/mm}^1 +</math></td></tr><tr><td><math>\Sigma = 25,87 \text{ N/mm}^1</math></td></tr></table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 2,77 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 9,85 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 25,87 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:														
$Q_k = 4,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig														
$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 2,27 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 19,76 \text{ N/mm}^1$															
Situatie na 2 jaar	Conclusie:														
$Q_n = 2,77 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig														
$Q_v = 13,25 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 9,85 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 25,87 \text{ N/mm}^1$															
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar)															
Moment t.g.v. $Q_k$ en $Q_v$		Moment t.g.v. $Q_d$													
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (4,24 + 13,25) \cdot 90,90$ $M_q = 281,39 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 2,27 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 25,22 \text{ Nmm/mm}^1$													
Spanning t.g.v. $M_q$ en $M_{qd}$															
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (281,39 + 25,22) / 55,21 = 5,54 \text{ N/mm}^2$															
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)															
Moment t.g.v. $Q_n$ en $Q_v$		Moment t.g.v. $Q_d$													
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,77 + 13,25) \cdot 90,90$ $M_q = 257,72 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 9,85 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 109,29 \text{ Nmm/mm}^1$													
Spanning t.g.v. $M_q$ en $M_{qd}$															
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (257,72 + 109,29) / 55,21 = 6,63 \text{ N/mm}^2$															
		14-03-2021 10:14:19													



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{18,2}} = \mathbf{0,33 \text{ N/mm}^2}$		
<b>17. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math> en zettingsverschil <math>f_z</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{18,2}} = \mathbf{1,44 \text{ N/mm}^2}$		
<b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
<b>19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht</b>		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
<b>20. Toetsing op minimale ringstijfheid <math>S_N</math></b>		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = <b>2 kN/m<sup>2</sup></b>		
<b>21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk</b>		
Veiligheidsfactor $\gamma$ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor $\gamma$ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij <b>27,87 m</b> grondwater boven de leiding		
<b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,77 + \frac{1}{2} \cdot 13,25) - 0,095 \cdot (1 - \sin(22,5^\circ)) \cdot (2,77 + \frac{1}{2} \cdot 13,25) + 0,048 \cdot 9,85) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38} = \mathbf{3,24 \text{ mm} (= 1,78\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,95 \cdot 181,80 = \mathbf{13,82 \text{ mm}}$		
		14-03-2021 10:14:20



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2020 2.0 ©
<b>23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,54 = \mathbf{3,60 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,33 + 1,56 = \mathbf{1,80 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
<b>24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,63 = \mathbf{4,31 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 1,44 + 1,56 = \mathbf{2,52 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
	14-03-2021 10:14:20