

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: Enexis DR74 te Neer		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening HD Gas Zwaarveld/Eiland (klus 4)		
Importatiefactor S	: 0,75		
<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 Tangentiële / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 110,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 10	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0,8	N/mm <sup>2</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 0	°
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 3.952	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma$	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f <sub>v</sub>	= 0	mm
Zettingsverschil	f <sub>z</sub>	= 10	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,02	%
Marstonfactor	f <sub>m</sub>	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 2,98	m
		17-10-2019 07:45:52	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 20	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 40	°
Effectieve cohesie	$c'$	= 0	kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 0	kN/m <sup>2</sup>
E-modulus sleufmateriaal	$E_1$	= 20	MN/m <sup>2</sup>
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm <sup>3</sup>
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,11	N/mm <sup>3</sup>
Rekenen met horizontale steundruk			
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
<b>Verkeersbelasting</b>			
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:		Tweelagen structuur	
Dikte deklaag	$H_1$	= 105	mm
Elast. mod. deklaag	$E_1$	= 500	MPa
Elast. mod. ondergrond	$E_3$	= 100	MPa
		17-10-2019 07:45:52	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
<b>1. Eigenschappen van de leiding</b>			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 3.966.260,73	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	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.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{\rho_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{8,00} \cdot 20 \cdot 0,09^2)^3}{(1,6 \cdot 0,09 + 1,0)^2} = 0,28$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,28} = 0,57 \text{ m}$ $G_L = G_B / 4 = 0,57 / 4 = 0,14 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 2,98 + 0,14 = 12,06 \text{ m}$			
<b>4. Berekening van de spanningen <math>s_p</math> en <math>s_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>			
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,8 = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,04 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,04 = 1,62 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = 6,00 \text{ N/mm}^2$			
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,80$			
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 1,0 = 22,00 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 22,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,42 \text{ N/mm}^1$			

**7. Berekening van de passieve grondbelasting  $Q_p$** 

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

$$q_p = 22,00 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,11} \right) = 82,00 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 82,00 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 9,02 \text{ N/mm}^1$$

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

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{20^{0,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,0016 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$$

$$q_k = 22,00 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0016} \cdot (82,00 - 22,00)}{1 + \frac{82,00 - 22,00}{0,0016 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 64,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 64,15 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 7,06 \text{ N/mm}^1$$

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

Ontlastende invloed t.g.v. wegdek: Tweelagen structuur

$$H_{1eq} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 105 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{100}} = 161,59 \text{ mm}$$

 Fictieve dekkingshoogte:  $H_{eq} = H_{1eq} + H - H_1$ 

$$H_{eq} = 161,59 + 1000,0 - 105 = 1.056,59 \text{ mm} = 1,06 \text{ m}$$

 Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt:  $q_v = 35,39 \text{ kN/m}^2$ 

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 35,39 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,89 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,11}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0053 \text{ mm}^{-1}$$

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

 Zettingslengte  $L = 3.952$  mm

$$\lambda \cdot L = 0,0053 \cdot 3.952 = 20,90$$

 $i = 0,900$  (= 90,0 % inklemming)

 $B_z = 0,000360$  (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 0 \cdot 110 \cdot 0,11 = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00 \cdot 0,0053 \cdot 3.952 \cdot \left( 0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0053 \cdot 3.952}{6} \right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

**12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)**

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (0 + 1,5 \cdot 10) \cdot 110 \cdot 0,11 = 0,065 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,065 \cdot 0,0053 \cdot 3.952 \cdot \left( 0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0053 \cdot 3.952}{6} \right) = 5,50 \text{ N/mm}^1$$

**13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen**
*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 64,20$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 79,54$$

$$B = D_o = 0,11 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,11 / 2 = 1,06 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,31$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 22,00 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 1.964,24 \text{ kN/m}^2 = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,96 \cdot 110,00 = 216,07 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen*

Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar		Conclusie:	Situatie na 2 jaar		Conclusie:
$Q_k = 7,06$	$\text{N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 2,42$	$\text{N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig
$Q_v = 3,89$	$\text{N/mm}^1$		$Q_v = 3,89$	$\text{N/mm}^1$	
$Q_d = 0,00$	$\text{N/mm}^1 +$		$Q_d = 5,50$	$\text{N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 10,95$	$\text{N/mm}^1$		$\Sigma = 11,82$	$\text{N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>	
<p><i>Moment t.g.v. <math>Q_k</math> en <math>Q_v</math></i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (7,06 + 3,89) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(40^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (7,06 + 3,89) \cdot 50,00$ $M_q = 73,23 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,80 \cdot (73,23 + 0,00) / 16,67 = 3,51 \text{ N/mm}^2$	
<b>15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)</b>	
<p><i>Moment t.g.v. <math>Q_n</math> en <math>Q_v</math></i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (2,42 + 3,89) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin(40^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (2,42 + 3,89) \cdot 50,00$ $M_q = 42,22 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 5,50 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 33,57 \text{ Nmm/mm}^1$ <p><i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,80 \cdot (42,22 + 33,57) / 16,67 = 3,64 \text{ N/mm}^2$	
<b>16. Berekening van de spanning <math>s_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,11}{10}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$	
<b>17. Berekening van de spanning <math>s_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math> en zettingsverschil <math>f_z</math></b>	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (0 + 1,5 \cdot 10) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,11}{10}} = 0,94 \text{ N/mm}^2$	
.	17-10-2019 07:45:53

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 0 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$	
<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>	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij <b>27,78 m</b> grondwater boven de leiding	
<b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,42 + 3,89) - 0,083 \cdot (1 - \sin(40^\circ)) \cdot (2,42 + 3,89) + 0,048 \cdot 5,50) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{2,74 \text{ mm} (= 2,74\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$	
	17-10-2019 07:45:53

**23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,51 = \mathbf{2,28 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 0,00 + 0,00 = \mathbf{1,62 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$$

**24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)**

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,64 = \mathbf{2,36 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 1,62 + 0,65 \cdot 0,94 + 0,00 = \mathbf{2,23 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$$