

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 Venloseweg Grubbenvorst		
Projectonderdeel	: LD Gasleiding PE ø110 sdr11		
Importatiefactor S	: 0,85		
<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 Tangentiël / 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>	= 0,3	N/mm <sup>2</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 10	°
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 4.941	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,48	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		= 0,9	m
2018-016		08-10-2018 14:28:04	

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	$\gamma_d$	= 18	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 32,5	°
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	$k_{v,gem}$	= 0,045	N/mm <sup>3</sup>
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
<b>Verkeersbelasting</b>			
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
2018-016		08-10-2018 14:28:04	

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.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{\rho_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{3,00} \cdot 12 \cdot 0,09^2)^3}{(1,6 \cdot 0,09 + 1,48)^2} = 0,0037$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0037} = 0,27 \text{ m}$ $G_L = G_B / 4 = 0,27 / 4 = 0,07 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 0,90 + 0,07 = 3,67 \text{ m}$			
<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 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,52 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,52 = 0,61 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$			
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,91$			
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,48 = 29,30 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 29,30 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,22 \text{ N/mm}^1$			
2018-016		08-10-2018 14:28:04	

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

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

$$q_p = 29,30 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{1,48}{0,11} \right) = 147,59 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 147,59 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 16,23 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{20^{0,5} \cdot \sqrt{1,48/0,11}} = 0,0013 \text{ m}$$

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

$$q_k = 29,30 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,11}{0,0013} \cdot (147,59 - 29,30)}{1 + \frac{147,59 - 29,30}{0,0013 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 332,01 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 332,01 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 36,52 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van  $Q_k$  nodig  $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 16,23 \text{ N/mm}^1$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 20,65 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 20,65 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,27 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$$

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

 Zettingslengte  $L = 4.941$  mm

$$\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 4.941 = 20,90$$

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

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 15 \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,027 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,027 \cdot 0,0042 \cdot 4.941 \cdot \left( 0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0042 \cdot 4.941}{6} \right) = 2,25 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,093 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,093 \cdot 0,0042 \cdot 4.941 \cdot \left( 0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0042 \cdot 4.941}{6} \right) = 7,88 \text{ N/mm}^1$$

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

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,48 + 0,11 / 2 = 1,54 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,41$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 1.038,50 \text{ kN/m}^2 = 1,04 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,04 \cdot 110,00 = 114,24 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen*

Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 16,23 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 3,22 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig
$Q_v = 2,27 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 2,27 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 2,25 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 7,88 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 20,76 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 13,38 \text{ N/mm}^1$	

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>		
<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>
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (16,23 + 2,27) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 2,25 \cdot 50,00$
$M_q = 164,70 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 13,73 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,91 \cdot (164,70 + 13,73) / 16,67 = \mathbf{9,78 \text{ N/mm}^2}$		
<b>15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)</b>		
<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>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (3,22 + 2,27) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 7,88 \cdot 50,00$
$M_q = 48,90 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 48,07 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,91 \cdot (48,90 + 48,07) / 16,67 = \mathbf{5,32 \text{ N/mm}^2}$		
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{0,60 \text{ N/mm}^2}$		
<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>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = \mathbf{2,11 \text{ N/mm}^2}$		
<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>		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = <b>2 kN/m<sup>2</sup></b>		
2018-016		08-10-2018 14:28:04

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk</b>	
<p>Veiligheidsfactor <math>\gamma</math> voor langdurige onderdruk: <math>\gamma = 3</math>                  Veiligheidsfactor <math>\gamma</math> voor kortdurende onderdruk: <math>\gamma = 1,5</math></p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij <b>27,78</b> m grondwater boven de leiding</p>	
<b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>	
$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (3,22 + 2,27) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (3,22 + 2,27) + 0,048 \cdot 7,88) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = 2,81 \text{ mm} (= 2,81\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · <math>D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 100,00 = 6,80</math> mm</p>	
<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> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 9,78 = 6,36 \text{ N/mm}^2$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,61 + 0,65 \cdot 0,60 + 1,56 = 2,56 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \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> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,32 = 3,46 \text{ N/mm}^2$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,61 + 0,65 \cdot 2,11 + 1,56 = 3,54 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2</math></p>	
2018-016	08-10-2018 14:28:04