

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Enexis Afferden Hengeland 13-7		
Projectonderdeel	: HD Gasleiding PE ø110 sdr11		
Importatiefactor S	: 0,85		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiël / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,03	N/mm ²
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,9	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 10,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25,0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,075	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 1,3	m
2018-001		02-11-2018 13:12:41	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 13	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 100	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 2	MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,016	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,024	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
2018-001		02-11-2018 13:12:41	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
1. Eigenschappen van de leiding			
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 ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,30} \cdot 8 \cdot 0,09^2)^3}{(1,6 \cdot 0,09 + 0,9)^2} = 0,000019$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,000019} = 0,11 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 1,30 + 0,11 = 5,31 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,03 = 0,15 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,15 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,15 = 0,06 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,99$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 0,9 = 18,81 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 18,81 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 2,07 \text{ N/mm}^1$			
2018-001		02-11-2018 13:12:41	

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$q_p = 18,81 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,9}{0,11} \right) = 64,98 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 64,98 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 7,15 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{2^{1,5} \cdot \sqrt{0,9/0,11}} = 0,0034 \text{ m}$$

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

$$q_k = 18,81 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,11}{0,0034} \cdot (64,98 - 18,81)}{1 + \frac{64,98 - 18,81}{0,0034 \cdot 0,0160 \cdot 10^6}} = 79,42 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 79,42 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 8,74 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 7,15 \text{ N/mm}^1$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 45,68 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 45,68 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 5,02 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,024}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0036 \text{ mm}^{-1}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©																				
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)																						
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0036 \cdot 40.000 = 144,58$ $i = 0,986$ (= 98,6 % inklemming) $B_z = 0,000000208$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000208 \cdot 10,0 \cdot 110 \cdot 0,024 = 0,0000055 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0000055 \cdot 0,0036 \cdot 40.000 \cdot \left(0,986 + \frac{0,986 \cdot 0,0036 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,02 \text{ N/mm}^1$																						
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																						
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000208 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 25,0) \cdot 110 \cdot 0,024 = 0,000026 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,000026 \cdot 0,0036 \cdot 40.000 \cdot \left(0,986 + \frac{0,986 \cdot 0,0036 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,09 \text{ N/mm}^1$																						
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																						
<i>Berekening evenwichtsdraagvermogen</i> $B = D_o = 0,11 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,90 + 0,11 / 2 = 0,96 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,96/0,11) = 0,58$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,58)$ $P_{we} = 700,33 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 110,00 = 77,04 \text{ N/mm}^1$																						
<i>Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen</i>																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Situatie 1^e en 2^e jaar</th> <th>Conclusie:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$Q_k = 7,15 \text{ N/mm}^1$</td> <td>Geen aanpassing</td> </tr> <tr> <td>$Q_v = 5,02 \text{ N/mm}^1$</td> <td>van Q_d nodig</td> </tr> <tr> <td>$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\Sigma = 12,19 \text{ N/mm}^1$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 7,15 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_v = 5,02 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$		$\Sigma = 12,19 \text{ N/mm}^1$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Situatie na 2 jaar</th> <th>Conclusie:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$Q_n = 2,07 \text{ N/mm}^1$</td> <td>Geen aanpassing</td> </tr> <tr> <td>$Q_v = 5,02 \text{ N/mm}^1$</td> <td>van Q_d nodig</td> </tr> <tr> <td>$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\Sigma = 7,19 \text{ N/mm}^1$</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 2,07 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_v = 5,02 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$		$\Sigma = 7,19 \text{ N/mm}^1$	
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:																					
$Q_k = 7,15 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing																					
$Q_v = 5,02 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig																					
$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$																						
$\Sigma = 12,19 \text{ N/mm}^1$																						
Situatie na 2 jaar	Conclusie:																					
$Q_n = 2,07 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing																					
$Q_v = 5,02 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig																					
$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$																						
$\Sigma = 7,19 \text{ N/mm}^1$																						
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)																						
<i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (7,15 + 5,02) \cdot 50,00$ $M_q = 108,33 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,02 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,12 \text{ Nmm/mm}^1$																				
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (108,33 + 0,12) / 16,67 = 6,45 \text{ N/mm}^2$																						
2018-001		02-11-2018 13:12:41																				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i>		<i>Moment t.g.v. Q_d</i>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (2,07 + 5,02) \cdot 50,00$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,09 \cdot 50,00$
$M_q = 63,13 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,57 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,99 \cdot (63,13 + 0,57) / 16,67 = \mathbf{3,79 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,000571 \cdot 10,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,024}{10}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,000571 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 25,0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,024}{10}} = \mathbf{0,04 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$		
$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:		
$i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$		
Veiligheidsfactor γ 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 27,78 m grondwater boven de leiding		
2018-001		02-11-2018 13:12:41

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,07 + 5,02) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (2,07 + 5,02) + 0,048 \cdot 0,09) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = \mathbf{0,96 \text{ mm}} (= 0,96\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 0,85 · 100,00 = 6,80 mm</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,45 = \mathbf{4,19 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,06 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{1,63 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,79 = \mathbf{2,46 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,06 + 0,65 \cdot 0,04 + 1,56 = \mathbf{1,65 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$</p>	
2018-001	02-11-2018 13:12:42