

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : M.11130 Herten Oost Roermond sanering gasleiding Hondsbegje Projectonderdeel : 110 PE100-RC SDR11 Lagedruk gasleiding Importantiefactor S : 0,75			
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 Tangentiëel / 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	= 0,01	N/mm ²
Temperatuurverschil	Δt	= 7	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,80	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 3,0	m
			31-10-2019 11:46:41

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
Grondmechanische gegevens		
Grondsoort		= Zand
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19 kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35 °
Effectieve cohesie	c'	= 0 kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0 kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 20 MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04 N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045 N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk		
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1
Verkeersbelasting		
Grafiek II:	Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:	Tweelagen structuur	
Dikte deklaag	H_1	= 200 mm
Elast. mod. deklaag	E_1	= 500 MPa
Elast. mod. ondergrond	E_3	= 100 MPa
		31-10-2019 11:46:41

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.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10 \cdot 8 \cdot 0,09^2})^3}{(1,6 \cdot 0,09 + 0,80)^2} = 0,0000022$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0000022} = 0,08 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 3,00 + 0,08 = 12,08 \text{ m}$			
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 $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 50^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 83,33}) = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 0,80 = 16,72 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 16,72 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,84 \text{ N/mm}^1$			
			31-10-2019 11:46:41

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 16,72 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,80}{0,11} \right) = 53,20 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 53,20 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 5,85 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,11}{20^{0,5} \cdot \sqrt{0,80/0,11}} = 0,0018 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 16,72 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,11}{0,0018} \cdot (53,20 - 16,72)}{1 + \frac{53,20 - 16,72}{0,0018 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 46,05 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 46,05 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 5,07 \text{ N/mm}^1$	
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17	
<p>Ontlastende invloed t.g.v. wegdek: Tweelagen structuur</p> $H_{1eq} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 200 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{100}} = 307,80 \text{ mm}$ <p>Fictieve dekkingshoogte: $H_{eq} = H_{1eq} + H - H_1$</p> $H_{eq} = 307,80 + 800,00 - 200 = 907,80 \text{ mm} = 0,91 \text{ m}$ <p>Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 45,06 \text{ kN/m}^2$</p> $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 45,06 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 4,96 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0042 \text{ mm}^{-1}$	

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)																				
<p>Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0042 \cdot 40.000 = 169,18$ $i = 0,988$ (= 98,8 % inklemming) $B_z = 0,000000112$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000112 \cdot 5 \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,0000028 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,0000028 \cdot 0,0042 \cdot 40.000 \cdot (0,988 + \frac{0,988 \cdot 0,0042 \cdot 40.000}{6}) = 0,01 \text{ N/mm}^1$</p>																				
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																				
<p>$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000112 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 110 \cdot 0,045 = 0,0000028 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,0000028 \cdot 0,0042 \cdot 40.000 \cdot (0,988 + \frac{0,988 \cdot 0,0042 \cdot 40.000}{6}) = 0,01 \text{ N/mm}^1$</p>																				
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																				
<p><i>Berekening evenwichtsdraagvermogen</i> $N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$ $N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$ $B = D_o = 0,11 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,11 / 2 = 0,86 \text{ m}$ $S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$ $d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,37$ $\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o/2) / Z = 20,90 \text{ kN/m}^3$ $P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$ $P_{we} = 800,23 \text{ kN/m}^2 = 0,80 \text{ N/mm}^2$ $P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,80 \cdot 110,00 = 88,03 \text{ N/mm}^1$</p> <p><i>Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen</i></p> <table><tr><td><i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td><td><i>Situatie na 2 jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td></tr><tr><td>$Q_k = 5,07 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td><td>$Q_n = 1,84 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 4,96 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 10,04 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table> <table><tr><td><i>Situatie na 2 jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td></tr><tr><td>$Q_n = 1,84 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 4,96 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 6,81 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>			<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	$Q_k = 5,07 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 1,84 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 4,96 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 10,04 \text{ N/mm}^1$	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	$Q_n = 1,84 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 4,96 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 6,81 \text{ N/mm}^1$
<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>																	
$Q_k = 5,07 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 1,84 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig																	
$Q_v = 4,96 \text{ N/mm}^1$																				
$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$																				
$\Sigma = 10,04 \text{ N/mm}^1$																				
<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>																			
$Q_n = 1,84 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig																			
$Q_v = 4,96 \text{ N/mm}^1$																				
$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$																				
$\Sigma = 6,81 \text{ N/mm}^1$																				
		31-10-2019 11:46:41																		

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
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> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (5,07 + 4,96) \cdot 50,00$ $M_q = 89,20 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,01 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,08 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (89,20 + 0,08) / 16,67 = 5,34 \text{ N/mm}^2$		
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> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (1,84 + 4,96) \cdot 50,00$ $M_q = 60,48 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,01 \cdot 50,00$ $M_{qd} = 0,08 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (60,48 + 0,08) / 16,67 = 3,62 \text{ N/mm}^2$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000421 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000421 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{10}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 7 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 1,09 \text{ N/mm}^2$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = 81,25 \text{ kN/m}^2$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m ²		
		31-10-2019 11:46:41

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
<p>Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$</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 27,78 m grondwater boven de leiding</p>	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,84 + 4,96) - 0,083 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (1,84 + 4,96) + 0,048 \cdot 0,01) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33} = 1,56 \text{ mm} (= 1,56\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 100,00 = \mathbf{6,00 \text{ mm}}$</p>	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,34 = \mathbf{3,47 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,00 + 1,09 = \mathbf{1,12 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,62 = \mathbf{2,35 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,00 + 1,09 = \mathbf{1,12 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	31-10-2019 11:46:41