

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project : Amsteldijk zuid D125 PE100 SDR11 Projectonderdeel : Amsteldijk zuid nabij 21 Importantiefactor 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 Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma$	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 8	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub>	= 125,00	mm
Wanddikte	d <sub>n</sub>	= 11,4	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Temperatuurverschil	$\Delta t$	= 10	°
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub>	= 0,01	N/mm <sup>2</sup>
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,8	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H <sub>d</sub>	= 0,5	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H <sub>n</sub>	= 0,30	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: Verheeld			
		07-12-2018 08:41:15	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2012 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Klei		
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 17	kN/m <sup>3</sup>	
Volumiek gewicht natte grond	$\gamma_n$	= 17	kN/m <sup>3</sup>	
Volumiek gewicht water	$\gamma_w$	= 10	kN/m <sup>3</sup>	
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 17,5	°	
Effectieve cohesie	$c'$	= 10	kN/m <sup>2</sup>	
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 50	kN/m <sup>2</sup>	
E-modulus sleufmateriaal	$E_1$	= 1	MN/m <sup>2</sup>	
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,004	N/mm <sup>3</sup>	
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006	N/mm <sup>3</sup>	
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			07-12-2018 08:41:15	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2012 3.0 ©
<b>1. Eigenschappen van de leiding</b>				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 102,20	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,60	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 125,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 51,10	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,80	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 6.629.052,19	mm <sup>4</sup>	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	mm <sup>3</sup>	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	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.				
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,10^2)^3}{(1,6 \cdot 0,10 + 0,8)^2} = 0,0000045$				
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>				
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0000045} = 0,09 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,09 = 0,09 \text{ m}$				
<b>4. Berekening van de spanningen <math>s_p</math> en <math>s_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>				
$D_g/d_n = 113,60/11,40 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{62,50^2 + 51,10^2}{62,50^2 - 51,10^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ 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>				
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 56,8^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 123,46}) = 1,00$				
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,5 + 1,1 \cdot 17 \cdot 0,3 - 10 \cdot 0,3 = 11,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 11,96 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 1,50 \text{ N/mm}^1$				
				07-12-2018 08:41:15

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
<b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>		
$q_p = q_n \cdot \left( 1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 11,96 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,125} \right) = 34,92 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 34,92 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 4,37 \text{ N/mm}^1$		
<b>8. Berekening van de reële grondbelasting <math>Q_k</math></b>		
$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,125}{1^{1,5} \cdot \sqrt{0,8/0,125}} = 0,012 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 11,96 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,125}{0,012} \cdot (34,92 - 11,96)}{1 + \frac{34,92 - 11,96}{0,012 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 27,82 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 27,82 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 3,48 \text{ N/mm}^1$		
<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> $q_v = 54,76 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 54,76 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 6,84 \text{ N/mm}^1$		
<b>10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding <math>\lambda</math></b>		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{125 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$		
<b>11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>		
<p>Zettingslengte <math>L = 40.000 \text{ mm}</math></p> $\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 40.000 = 92,83$ <p><math>i = 0,978</math> (= 97,8 % inklemming)</p> <p><math>B_z = 0,00000119</math> (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)</p> $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,00000119 \cdot 15 \cdot 125 \cdot 0,006 = 0,000013 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left( i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$ $Q_d = 0,000013 \cdot 0,0023 \cdot 40.000 \cdot \left( 0,978 + \frac{0,978 \cdot 0,0023 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,02 \text{ N/mm}^1$		

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©													
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)															
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000119 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot 125 \cdot 0,006 = 0,000047 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,000047 \cdot 0,0023 \cdot 40.000 \cdot (0,978 + \frac{0,978 \cdot 0,0023 \cdot 40.000}{6}) = 0,07 \text{ N/mm}^1$															
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen															
<i>Berekening evenwichtsdraagvermogen</i> $B = D_o = 0,13 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,13 / 2 = 0,86 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,86/0,13) = 0,57$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,57)$ $P_{we} = 347,61 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 125,00 = 43,45 \text{ N/mm}^1$															
<i>Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen</i>															
<table><tr><td><i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td></tr><tr><td><math>Q_k = 3,48 \text{ N/mm}^1</math></td><td rowspan="4">Geen aanpassing van <math>Q_d</math> nodig</td></tr><tr><td><math>Q_v = 6,84 \text{ N/mm}^1</math></td></tr><tr><td><math>Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +</math></td></tr><tr><td><math>\Sigma = 10,34 \text{ N/mm}^1</math></td></tr></table>	<i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	$Q_k = 3,48 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_v = 6,84 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 10,34 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td><i>Situatie na 2 jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td></tr><tr><td><math>Q_n = 1,50 \text{ N/mm}^1</math></td><td rowspan="4">Geen aanpassing van <math>Q_d</math> nodig</td></tr><tr><td><math>Q_v = 6,84 \text{ N/mm}^1</math></td></tr><tr><td><math>Q_d = 0,07 \text{ N/mm}^1 +</math></td></tr><tr><td><math>\Sigma = 8,41 \text{ N/mm}^1</math></td></tr></table>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	$Q_n = 1,50 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_v = 6,84 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,07 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 8,41 \text{ N/mm}^1$
<i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i>	<i>Conclusie:</i>														
$Q_k = 3,48 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig														
$Q_v = 6,84 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 0,02 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 10,34 \text{ N/mm}^1$															
<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>														
$Q_n = 1,50 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig														
$Q_v = 6,84 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 0,07 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 8,41 \text{ N/mm}^1$															
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar)															
<i>Moment t.g.v. <math>Q_k</math> en <math>Q_v</math></i> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (3,48 + 6,84) \cdot 56,80$ $M_q = 104,37 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,02 \cdot 56,80$ $M_{qd} = 0,14 \text{ Nmm/mm}^1$													
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (104,37 + 0,14) / 21,66 = 4,81 \text{ N/mm}^2$															
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)															
<i>Moment t.g.v. <math>Q_n</math> en <math>Q_v</math></i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (1,50 + 6,84) \cdot 56,80$ $M_q = 84,32 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,07 \cdot 56,80$ $M_{qd} = 0,49 \text{ Nmm/mm}^1$													
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (84,32 + 0,49) / 21,66 = 3,90 \text{ N/mm}^2$															
		07-12-2018 08:41:15													

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
<b>16. Berekening van de spanning <math>s_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00133 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
<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>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00133 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,05 \text{ N/mm}^2}$		
<b>18. Berekening van de spanning <math>s_{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>		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = <b>0,5 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij <b>28,07 m</b> grondwater boven de leiding		
<b>22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,50 + 6,84) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (1,50 + 6,84) + 0,048 \cdot 0,07) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46} = \mathbf{1,11 \text{ mm} (= 0,98\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 113,60 = \mathbf{7,72 \text{ mm}}$		

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
<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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,81 = \mathbf{3,13 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{1,57 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,90 = \mathbf{2,54 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,05 + 1,56 = \mathbf{1,59 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
	07-12-2018 08:41:15