

WML

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: WML Afferden Hengeland 1, 1A en 3A		
Projectonderdeel	: Waterleiding GY100		
Importatiefactor S	: 0,85		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	Nodulair gietijzer		
Kwaliteit:	NEN-EN 545		
Minimum waarde treksterkte	$R_m$	= 420	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 2,5	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 168,00	N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus	E	= 170000	N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g$	= $1,2 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel	$\alpha_{\sigma, \tan}$	= 0,556	-
Alfa Axiaal	$\alpha_{\sigma, ax}$	= 0,77	-
Toelaatbare deflectie	$\delta$	= 3	%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	$D_e$	= 118,00	mm
Wanddikte	$d_n$	= 4,8	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	$p_d$	= 0,4	N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa vloeistof	$\rho$	= 1000	kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta_t$	= 10	°
<b>Aanleggegevens</b>			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,9	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	$f_v$	= 10,0	mm
Zettingsverschil	$f_z$	= 25	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,075	%
Marstonfactor	$f_m$	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Verheeld			
2018-002		29-11-2018 09:45:24	

WML

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 19	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi$	= 17,5	°
Effectieve cohesie	$c'$	= 13	kN/m <sup>2</sup>
Ongedraineerde schuifsterkte	$c_u$	= 100	kN/m <sup>2</sup>
E-modulus sleufmateriaal	$E_1$	= 2	MN/m <sup>2</sup>
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,016	N/mm <sup>3</sup>
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,024	N/mm <sup>3</sup>
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma$	= 1,1	
<b>Verkeersbelasting</b>			
Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
2018-002		29-11-2018 09:45:24	

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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 108,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 113,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 118,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 59,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 54,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 2.739.179,95	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 46.426,78	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 9,22	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 3,84	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
<b>2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan</b>			
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m <sup>8</sup> zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:			
$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$			
$H = \frac{400.000}{1.000 \cdot 9,81} = 40,77 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 40,77^3 \cdot 0,11^5 = 1,01 \text{ m}^8$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{40,77^3 \cdot 0,11^5} = 8,01 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 8,01 = 8,01 \text{ m}$			
<b>4. Berekening van de spanningen <math>s_p</math> en <math>s_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>			
$D_g/d_n = 113,20/4,80 = 23,58 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow$ Dunwandige leiding			
$\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$			
$\sigma_p = \frac{0,4 \cdot 113,2}{2 \cdot 4,8} = 4,72 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,72 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,28 \cdot 4,72 = 1,32 \text{ N/mm}^2$			
Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = 142,80 \text{ N/mm}^2$			
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 56,6^3 \cdot 0,102}{170000 \cdot 9,22} \right) = 0,99$			
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$			
$q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 0,9 = 18,81 \text{ kN/m}^2$			
$Q_n = q_n \cdot D_o$			
$Q_n = 18,81 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 2,22 \text{ N/mm}^1$			
2018-002		29-11-2018 09:45:24	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>	
$q_p = q_n \cdot \left( 1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 18,81 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{0,9}{0,118} \right) = 61,85 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 61,85 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 7,30 \text{ N/mm}^1$	
<b>8. Berekening van de reële grondbelasting <math>Q_k</math></b>	
$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,118}{2^{1,5} \cdot \sqrt{0,9/0,118}} = 0,0038 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 18,81 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,118}{0,0038} \cdot (61,85 - 18,81)}{1 + \frac{61,85 - 18,81}{0,0038 \cdot 0,0160 \cdot 10^6}} = 77,71 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 77,71 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 9,17 \text{ N/mm}^1$ <p>Aanpassing van <math>Q_k</math> nodig <math>\rightarrow Q_k &gt; Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 7,30 \text{ N/mm}^1</math></p>	
<b>9. Berekening van de verkeersbelasting <math>Q_v</math> volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17</b>	
<p>Niet rekenen met ontlastende invloed</p> $q_v = 62,23 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 62,23 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 7,34 \text{ N/mm}^1$	
<b>10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding <math>\lambda</math></b>	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{118 \cdot 0,024}{4 \cdot 170000 \cdot 2.739.179,95}} = 0,0011 \text{ mm}^{-1}$	
2018-002	29-11-2018 09:45:24

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©																			
<b>11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)</b>																					
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0011 \cdot 40.000 = 44,42$ $i = 0,954$ (= 95,4 % inklemming) $B_z = 0,0000208$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000208 \cdot 10,0 \cdot 118 \cdot 0,024 = 0,00059 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,00059 \cdot 0,0011 \cdot 40.000 \cdot \left(0,954 + \frac{0,954 \cdot 0,0011 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,21 \text{ N/mm}^1$																					
<b>12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)</b>																					
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000208 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 25) \cdot 118 \cdot 0,024 = 0,0028 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0028 \cdot 0,0011 \cdot 40.000 \cdot \left(0,954 + \frac{0,954 \cdot 0,0011 \cdot 40.000}{6}\right) = 1,00 \text{ N/mm}^1$																					
<b>13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen</b>																					
<i>Berekening evenwichtsdraagvermogen</i>																					
$B = D_o = 0,12 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,90 + 0,12 / 2 = 0,96 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,96/0,12) = 0,58$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,58)$ $P_{we} = 698,97 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 118,00 = 82,48 \text{ N/mm}^1$																					
<i>Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen</i>																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</th> <th>Conclusie:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>Q_k = 7,30 \text{ N/mm}^1</math></td> <td>Geen aanpassing</td> </tr> <tr> <td><math>Q_v = 7,34 \text{ N/mm}^1</math></td> <td>van <math>Q_d</math> nodig</td> </tr> <tr> <td><math>Q_d = 0,21 \text{ N/mm}^1 +</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>\Sigma = 14,85 \text{ N/mm}^1</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	$Q_k = 7,30 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_v = 7,34 \text{ N/mm}^1$	van $Q_d$ nodig	$Q_d = 0,21 \text{ N/mm}^1 +$		$\Sigma = 14,85 \text{ N/mm}^1$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Situatie na 2 jaar</th> <th>Conclusie:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>Q_n = 2,22 \text{ N/mm}^1</math></td> <td>Geen aanpassing</td> </tr> <tr> <td><math>Q_v = 7,34 \text{ N/mm}^1</math></td> <td>van <math>Q_d</math> nodig</td> </tr> <tr> <td><math>Q_d = 1,00 \text{ N/mm}^1 +</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td><math>\Sigma = 10,56 \text{ N/mm}^1</math></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 2,22 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_v = 7,34 \text{ N/mm}^1$	van $Q_d$ nodig	$Q_d = 1,00 \text{ N/mm}^1 +$		$\Sigma = 10,56 \text{ N/mm}^1$	
Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:																				
$Q_k = 7,30 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing																				
$Q_v = 7,34 \text{ N/mm}^1$	van $Q_d$ nodig																				
$Q_d = 0,21 \text{ N/mm}^1 +$																					
$\Sigma = 14,85 \text{ N/mm}^1$																					
Situatie na 2 jaar	Conclusie:																				
$Q_n = 2,22 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing																				
$Q_v = 7,34 \text{ N/mm}^1$	van $Q_d$ nodig																				
$Q_d = 1,00 \text{ N/mm}^1 +$																					
$\Sigma = 10,56 \text{ N/mm}^1$																					
<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> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (7,30 + 7,34) \cdot 56,60$ $M_q = 147,51 \text{ Nmm/mm}^1$	<i>Moment t.g.v. <math>Q_d</math></i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,21 \cdot 56,60$ $M_{qd} = 1,45 \text{ Nmm/mm}^1$																				
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (147,51 + 1,45) / 3,84 = \mathbf{38,43 \text{ N/mm}^2}$																					
2018-002	29-11-2018 09:45:24																				

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
<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>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (2,22 + 7,34) \cdot 56,60$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,00 \cdot 56,60$
$M_q = 96,34 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 6,89 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,99 \cdot (96,34 + 6,89) / 3,84 = \mathbf{26,63 \text{ N/mm}^2}$		
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,00524 \cdot 10,0 \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,024}{4,8}} = \mathbf{1,53 \text{ N/mm}^2}$		
<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>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,00524 \cdot (10,0 + 1,5 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,024}{4,8}} = \mathbf{7,25 \text{ N/mm}^2}$		
<b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$		
$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,0000115 \cdot 170000 = \mathbf{19,55 \text{ N/mm}^2}$		
<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 implosie: berekening van de alzijdige overdruk</b>		
Veiligheidsfactor $\gamma$ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$		
Veiligheidsfactor $\gamma$ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$		
$P_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$		
$P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 9,22}{113,20^3} = 18,75 \text{ N/mm}^2$		
$P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 9,22}{113,20^3} = 9,38 \text{ N/mm}^2$		
Conclusie: Kans op implosie bij <b>937,56</b> m grondwater boven de leiding		
2018-002		29-11-2018 09:45:24

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>21. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,22 + 7,34) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (2,22 + 7,34) + 0,048 \cdot 1,00) \cdot 56,60^3}{170000 \cdot 9,22} = \mathbf{0,04 \text{ mm}} (= 0,035\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 3% · importantiefactor S · D<sub>g</sub> = 0,03 · 0,85 · 113,20 = <b>2,89 mm</b></p>	
<b>22. 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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma, \tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 38,43 = \mathbf{21,37 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma, ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,32 + 0,77 \cdot 1,53 + 19,55 = \mathbf{22,05 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = \mathbf{142,80 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
<b>23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)</b>	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma, \tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 26,63 = \mathbf{14,81 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma, ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,32 + 0,77 \cdot 7,25 + 19,55 = \mathbf{26,46 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = \mathbf{142,80 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
2018-002	29-11-2018 09:45:24