

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 Venloseweg Grubbenvorst		
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: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 16.084	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,9	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	$f_v$	= 15	mm
Zettingsverschil	$f_z$	= 25	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,02	%
Marstonfactor	$f_m$	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 0,9	m
2018-016		17-10-2018 14:02:09	

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		17-10-2018 14:02:09	

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>			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{40,77^3 \cdot 0,11^5} = 8,01 \text{ m}$ Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 4,01 \text{ m}$ Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 8,01 \text{ m}$ Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 16,03 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 0,90 + 4,01 = 7,61 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 0,90 + 8,01 = 11,61 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 0,90 + 16,03 = 19,63 \text{ m}$			
<b>4. Berekening van de spanningen <math>\sigma_p</math> en <math>\sigma_{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>			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 56,6^3 \cdot 0,102}{170000 \cdot 9,22} \right) = 0,99$			
2018-016		17-10-2018 14:02:09	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,9 = 37,62 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 37,62 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 4,44 \text{ N/mm}^1$	
<b>7. Berekening van de passieve grondbelasting <math>Q_p</math></b>	
$q_p = q_n \cdot \left( 1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 37,62 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{1,9}{0,118} \right) = 219,34 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 219,34 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 25,88 \text{ N/mm}^1$	
<b>8. Berekening van de reële grondbelasting <math>Q_k</math></b>	
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,118}{20^{0,5} \cdot \sqrt{1,9/0,118}} = 0,0013 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 37,62 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,118}{0,0013} \cdot (219,34 - 37,62)}{1 + \frac{219,34 - 37,62}{0,0013 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 110,83 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 110,83 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 13,08 \text{ N/mm}^1$	
<b>9. Berekening van de verkeersbelasting <math>Q_v</math> volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17</b>	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 14,14 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 14,14 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 1,67 \text{ N/mm}^1$	
<b>10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding <math>\lambda</math></b>	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{118 \cdot 0,045}{4 \cdot 170000 \cdot 2.739.179,95}} = 0,0013 \text{ mm}^{-1}$	
2018-016	17-10-2018 14:02:09

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

 Zettingslengte  $L = 16.084$  mm

$$\lambda \cdot L = 0,0013 \cdot 16.084 = 20,90$$

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

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 15 \cdot 118 \cdot 0,045 = 0,029 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,029 \cdot 0,0013 \cdot 16.084 \cdot \left( 0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0013 \cdot 16.084}{6} \right) = 2,42 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot 118 \cdot 0,045 = 0,10 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,10 \cdot 0,0013 \cdot 16.084 \cdot \left( 0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0013 \cdot 16.084}{6} \right) = 8,45 \text{ N/mm}^1$$

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

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

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

$$B = D_o = 0,12 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,90 + 0,12 / 2 = 1,96 \text{ m}$$

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

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

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

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

$$P_{we} = 1.331,36 \text{ kN/m}^2 = 1,33 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 1,33 \cdot 118,00 = 157,10 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen*

Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 13,08 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 4,44 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig
$Q_v = 1,67 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 1,67 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 2,42 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 8,45 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 17,16 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 14,56 \text{ N/mm}^1$	

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>
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (13,08 + 1,67) \cdot 56,60$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 2,42 \cdot 56,60$
$M_q = 148,56 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 16,68 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,99 \cdot (148,56 + 16,68) / 3,84 = \mathbf{42,63 \text{ N/mm}^2}$		
<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>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (4,44 + 1,67) \cdot 56,60$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 8,45 \cdot 56,60$
$M_q = 61,53 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 58,37 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,99 \cdot (61,53 + 58,37) / 3,84 = \mathbf{30,93 \text{ N/mm}^2}$		
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,045}{4,8}} = \mathbf{11,49 \text{ N/mm}^2}$		
<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>		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,045}{4,8}} = \mathbf{40,22 \text{ N/mm}^2}$		
<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:		
$i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
2018-016		17-10-2018 14:02:09

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.5 ©
<b>20. 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> $P_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 9,22}{113,20^3} = 18,75 \text{ N/mm}^2$ $P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 9,22}{113,20^3} = 9,38 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij <b>937,56</b> m grondwater boven de leiding</p>	
<b>21. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (4,44 + 1,67) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (4,44 + 1,67) + 0,048 \cdot 8,45) \cdot 56,60^3}{170000 \cdot 9,22} = \mathbf{0,08 \text{ mm}} (= 0,073\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 3% · importantiefactor S · <math>D_g = 0,03 \cdot 0,85 \cdot 113,20 = \mathbf{2,89 \text{ mm}}</math></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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma,tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 42,63 = \mathbf{23,70 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma,ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,32 + 0,77 \cdot 11,49 + 19,55 = \mathbf{29,72 \text{ N/mm}^2}$ <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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma,tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 30,93 = \mathbf{17,20 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma,ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,32 + 0,77 \cdot 40,22 + 19,55 = \mathbf{51,84 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = \mathbf{142,80 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
2018-016	17-10-2018 14:02:09