



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: Saneren AC leidingen Wellerlooij Rijksweg N271		
Projectonderdeel	: Nodulair gietijzer evenwijdig aan waterkering		
Importatiefactor S	: 0,75		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	Nodulair gietijzer		
Kwaliteit:	NEN-EN 545		
Minimum waarde treksterkte	$R_m$	= 270	N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M$	= 2,5	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 108,00	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	$D_e$	= <b>222,00</b>	mm
Wanddikte	$d_n$	= <b>5,4</b>	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	= 1	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	$f_v$	= 5,0	mm
Zettingsverschil	$f_z$	= 0	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,02	%
Marstonfactor	$f_m$	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Verheeld			



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©	
<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	$E_1$	= 10	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			



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©	
<b>1. Eigenschappen van de leiding</b>			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 211,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 216,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 222,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 111,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 105,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 108,30	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 21.562.487,02	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 194.256,64	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 13,12	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 4,86	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:			
$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$			
$H = \frac{400.000}{1.000 \cdot 9,81} = 40,77 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 40,77^3 \cdot 0,21^5 = 28,49 \text{ m}^8$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{40,77^3 \cdot 0,21^5} = 12,16 \text{ m}$			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 12,16 = 12,16 \text{ m}$			
<b>4. Berekening van de spanningen <math>s_p</math> en <math>s_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>			
$D_g/d_n = 216,60/5,40 = 40,11 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow$ Dunwandige leiding			
$\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$			
$\sigma_p = \frac{0,4 \cdot 216,6}{2 \cdot 5,4} = 8,02 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{y1} = \sigma_p = 8,02 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,28 \cdot 8,02 = 2,25 \text{ N/mm}^2$			
Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 108,00 \cdot 0,75 = 81,00 \text{ N/mm}^2$			
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 108,3^3 \cdot 0,102}{170000 \cdot 13,12} \right) = 0,96$			
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$			
$q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1 = 19,80 \text{ kN/m}^2$			
$Q_n = q_n \cdot D_o$			
$Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 4,40 \text{ N/mm}^1$			
		06-02-2017 20:53:11	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.4 ©
--	------------------

**7. Berekening van de passieve grondbelasting  $Q_p$** 

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

$$q_p = 19,80 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{1}{0,222} \right) = 46,56 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 46,56 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 10,34 \text{ N/mm}^1$$

**8. Berekening van de reële grondbelasting  $Q_k$** 

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,222}{10^{0,5} \cdot \sqrt{1/0,222}} = 0,0066 \text{ m}$$

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

$$q_k = 19,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,222}{0,0066} \cdot (46,56 - 19,80)}{1 + \frac{46,56 - 19,80}{0,0066 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 36,11 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 36,11 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 8,02 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,38 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,38 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 8,52 \text{ N/mm}^1$$

**10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding  $\lambda$** 

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{222 \cdot 0,045}{4 \cdot 170000 \cdot 21.562.487,02}} = 0,00091 \text{ mm}^{-1}$$

**11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**Zettingslengte  $L = 40.000 \text{ mm}$ 

$$\lambda \cdot L = 0,00091 \cdot 40.000 = 36,34$$

 $i = 0,944$  (= 94,4 % inklemming) $B_z = 0,0000449$  (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,0000449 \cdot 5,0 \cdot 222 \cdot 0,045 = 0,0022 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0022 \cdot 0,00091 \cdot 40.000 \cdot \left( 0,944 + \frac{0,944 \cdot 0,00091 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,54 \text{ N/mm}^1$$



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.4 ©
--	------------------

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

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

$$Q_z = 0,0000449 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 222 \cdot 0,045 = 0,0022 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0022 \cdot 0,00091 \cdot 40.000 \cdot \left(0,944 + \frac{0,944 \cdot 0,00091 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,54 \text{ N/mm}^1$$

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

*Berekening evenwichtsdragvermogen*

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

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

$$B = D_o = 0,22 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,22 / 2 = 1,11 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,37$$

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

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

$$P_{we} = 715,03 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,72 \cdot 222,00 = 158,74 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdragvermogen*

<i>Situatie 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 8,02 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig	$Q_n = 4,40 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van $Q_d$ nodig
$Q_v = 8,52 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 8,52 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,54 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,54 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 17,08 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 13,46 \text{ N/mm}^1$	

**14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

*Moment t.g.v.  $Q_k$  en  $Q_v$*

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (8,02 + 8,52) \cdot 108,30$$

$$M_q = 318,80 \text{ Nmm/mm}^1$$

*Moment t.g.v.  $Q_d$*

$$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,54 \cdot 108,30$$

$$M_{qd} = 7,17 \text{ Nmm/mm}^1$$

*Spanning t.g.v.  $M_q$  en  $M_{qd}$*

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 0,96 \cdot (318,80 + 7,17) / 4,86 = \mathbf{64,09 \text{ N/mm}^2}$$



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.4 ©
<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>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$	$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (4,40 + 8,52) \cdot 108,30$	$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,54 \cdot 108,30$
$M_q = 249,00 \text{ Nmm/mm}^1$	$M_{qd} = 7,17 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. <math>M_q</math> en <math>M_{qd}</math></i>	
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$	
$\sigma_q = 0,96 \cdot (249,00 + 7,17) / 4,86 = 50,37 \text{ N/mm}^2$	
<b>16. Berekening van de spanning <math>\sigma_{bx}</math> t.g.v. uitvoeringszakkingverschil <math>f_v</math></b>	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$	
$\sigma_{bx} = 0,00749 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,045}{5,4}} = 1,41 \text{ N/mm}^2$	
<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>	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$	
$\sigma_{bx} = 0,00749 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,045}{5,4}} = 1,41 \text{ N/mm}^2$	
<b>18. Berekening van de spanning <math>\sigma_{ax}</math> t.g.v. temperatuurverschil</b>	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$	
$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,0000115 \cdot 170000 = 19,55 \text{ N/mm}^2$	
<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: $\gamma = 1,5$	
$P_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$	
$P_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 13,12}{216,60^3} = 3,81 \text{ N/mm}^2$	
$P_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 13,12}{216,60^3} = 1,91 \text{ N/mm}^2$	
Conclusie: Kans op implosie bij <b>190,56</b> m grondwater boven de leiding	
1.4.0.0/07-2016/	06-02-2017 20:53:11



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.4 ©
<b>21. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie</b>	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (4,40 + 8,52) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (4,40 + 8,52) + 0,048 \cdot 0,54) \cdot 108,30^3}{170000 \cdot 13,12} = \mathbf{0,39 \text{ mm}} (= 0,18\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 3% · importantiefactor S · D<sub>g</sub> = 0,03 · 0,75 · 216,60 = <b>4,87 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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma, \tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 64,09 = \mathbf{35,64 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma, ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,25 + 0,77 \cdot 1,41 + 19,55 = \mathbf{22,88 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 108,00 \cdot 0,75 = \mathbf{81,00 \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> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma, \tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 50,37 = \mathbf{28,01 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma, ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,25 + 0,77 \cdot 1,41 + 19,55 = \mathbf{22,88 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = <math>\bar{\sigma}_t \cdot S = 108,00 \cdot 0,75 = \mathbf{81,00 \text{ N/mm}^2}</math></p>	
1.4.0.0/07-2016/	06-02-2017 20:53:11