

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 Ruitersdijk 17 Roosteren		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening huisaansluiting HDPE (S.L.A.) ø50 sdr11		
Importatiefactor S	: 0,9		
<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	$D_e$	= 50,00	mm
Wanddikte	$d_n$	= 4,6	mm
Dikte bekleding	e	= 3,50	mm
Geen bocht aanwezig			
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	$p_d$	= 0,3	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	= 1,0	m
Belastinghoek	$\alpha$	= 180	°
Ondersteuningshoek	$\beta$	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	$f_v$	= 15	mm
Zettingsverschil	$f_z$	= 25	mm
Klinkpercentage	$\mu$	= 0,1	%
Marstonfactor	$f_m$	= 0,3	-
<b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 1,8	m
		22-08-2019 13:34:17	

**Grondmechanische gegevens**

Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d$	= 18	kN/m <sup>3</sup>
Inwendige wrijvingshoek grond	$\varphi$	= 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	$k_{v,min}$	= 0,0035	N/mm <sup>3</sup>
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,004	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



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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 40,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 45,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 57,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 25,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 20,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 22,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 170.773,72	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 6.830,95	mm <sup>3</sup>
Wandraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 8,11	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 3,53	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 $40 \text{ m}^8$ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:			
$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,04^5 = 0,0032 \text{ m}^8$			
<b>3. Berekening van de veiligheidszone</b>			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,04^5} = 3,91 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 1,80 + 3,91 = 11,11 \text{ m}$			
<b>4. Berekening van de spanningen <math>\sigma_p</math> en <math>\sigma_{pl}</math> t.g.v. inwendige druk</b>			
$D_g/d_n = 45,40/4,60 = 9,87 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{25,00^2 + 20,40^2}{25,00^2 - 20,40^2} \cdot 0,3 = 1,50 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,50 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,50 = 0,60 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,90 = 7,20 \text{ N/mm}^2$			
<b>5. Berekening reroundingfactor <math>f_{rr}</math></b>			
$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 22,7^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 8,11} \right) = 0,92$			
<b>6. Berekening van de neutrale grondbelasting <math>Q_n</math></b>			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,0 = 19,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 57,00 = 1,13 \text{ N/mm}^1$			
			22-08-2019 13:34:17

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

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

$$q_p = 19,80 \cdot \left( 1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,057} \right) = 124,01 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 124,01 \cdot 10^{-3} \cdot 57,00 = 7,07 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,057}{10^{0,5} \cdot \sqrt{1,0/0,057}} = 0,00086 \text{ m}$$

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

$$q_k = 19,80 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,057}{0,00086} \cdot (124,01 - 19,80)}{1 + \frac{124,01 - 19,80}{0,00086 \cdot 0,0035 \cdot 10^6}} = 39,19 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 39,19 \cdot 10^{-3} \cdot 57,00 = 2,23 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,72 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,72 \cdot 10^{-3} \cdot 57,00 = 2,21 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{57,00 \cdot 0,004}{4 \cdot 975 \cdot 170.773,72}} = 0,0043 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte  $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0043 \cdot 40.000 = 172,06$$

$i = 0,988$  (= 98,8 % inklemming)

$B_z = 0,000000105$  (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000000105 \cdot 15 \cdot 57,00 \cdot 0,004 = 0,00000036 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00000036 \cdot 0,0043 \cdot 40.000 \cdot \left( 0,988 + \frac{0,988 \cdot 0,0043 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$



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

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

$$Q_z = 0,000000105 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot 57,00 \cdot 0,004 = 0,0000013 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0000013 \cdot 0,0043 \cdot 40.000 \cdot \left( 0,988 + \frac{0,988 \cdot 0,0043 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,01 \text{ N/mm}^1$$

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

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

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

$$B = D_o = 0,06 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,06 / 2 = 1,03 \text{ m}$$

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

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

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

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

$$P_{we} = 700,32 \text{ kN/m}^2 = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,70 \cdot 57,00 = 39,92 \text{ N/mm}^1$$

*Controle bovenbelastingen met evenwichtsdragvermogen*

Situatie 1 <sup>e</sup> en 2 <sup>e</sup> jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 2,23 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 1,13 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 2,21 \text{ N/mm}^1$	van $Q_d$ nodig	$Q_v = 2,21 \text{ N/mm}^1$	van $Q_d$ nodig
$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 4,44 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 3,34 \text{ N/mm}^1$	

**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  $Q_v$* 

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

$$M_q = 0,178 \cdot (2,23 + 2,21) \cdot 22,70$$

$$M_q = 17,94 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 22,70$$

$$M_{qd} = 0,01 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,92 \cdot (17,94 + 0,01) / 3,53 = 4,67 \text{ N/mm}^2$$

**15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)**

 Moment t.g.v.  $Q_n$  en  $Q_v$ 

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

$$M_q = 0,178 \cdot (1,13 + 2,21) \cdot 22,70$$

$$M_q = 13,48 \text{ Nmm/mm}^1$$

 Moment t.g.v.  $Q_d$ 

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,01 \cdot 22,70$$

$$M_{qd} = 0,02 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,92 \cdot (13,48 + 0,02) / 3,53 = 3,51 \text{ N/mm}^2$$

**16. Berekening van de spanning  $\sigma_{bx}$  t.g.v. uitvoeringszakkingverschil  $f_v$** 

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,000407 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,004}{4,6}} = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

**17. Berekening van de spanning  $\sigma_{bx}$  t.g.v. uitvoeringszakkingverschil  $f_v$  en zettingsverschil  $f_z$** 

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,000407 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,004}{4,6}} = 0,02 \text{ N/mm}^2$$

**18. Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

**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  $S_N$** 

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{8,11}{45,4^3} = 0,0845 \text{ N/mm}^2 = 84,51 \text{ kN/m}^2$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m<sup>2</sup>

**21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

 Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$ 

 Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$ 

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 8,11}{45,40^3} = 1,61 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 8,11}{45,40^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **28,89** m grondwater boven de leiding



**22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,13 + 2,21) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (1,13 + 2,21) + 0,048 \cdot 0,01) \cdot 22,70^3}{350 \cdot 8,11} = 0,70 \text{ mm } (= 1,53\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,9 \cdot 45,40 = 3,27 \text{ mm}$$

**23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> jaar)**

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,67 = 3,03 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,60 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = 2,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,90 = 7,20 \text{ N/mm}^2$$

**24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)**

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,51 = 2,28 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,60 + 0,65 \cdot 0,02 + 1,56 = 2,17 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,90 = 7,20 \text{ N/mm}^2$$