

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.1 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: 125 SLM PE100-SDR11-PN16 leiding - Diemerzeedijk		
Overdiemerweg			
Projectonderdeel	: 16-21		
Importatiefactor S	: 0,85		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 9.006	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,8	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
			07-03-2016 09:11:20

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 30	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 5	MN/m ²
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,004	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

Verkeersbelasting

Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:		Tweelagen structuur	
Dikte deklaag	H_1	= 200	mm
Elast. mod. deklaag	E_1	= 500	MPa
Elast. mod. ondergrond	E_3	= 100	MPa

1. Eigenschappen van de leiding

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 ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm ³ /mm ¹

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.

H is de druk in meters vloeistofkolom.

Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:

$$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,10^5 = 0,32 \text{ m}^8$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$R_B = 2 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$$

$$R_B = 2 \cdot \sqrt[3]{30,58^3 \cdot 0,10^5} = 1,73 \text{ m}$$

Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 0,87 \text{ m}$

Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 1,73 \text{ m}$

Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 3,47 \text{ m}$

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 0,00 + 0,87 = 0,87 \text{ m}$

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 0,00 + 1,73 = 1,73 \text{ m}$

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 0,00 + 3,47 = 3,47 \text{ m}$

4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

$D_g/d_n = 113,60/11,40 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{62,50^2 + 51,10^2}{62,50^2 - 51,10^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 56,8^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 123,46} \right) = 0,91$$

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 = 14,96 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 14,96 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 1,87 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$q_p = 14,96 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,125} \right) = 43,68 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 43,68 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 5,46 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,125}{5^{0,5} \cdot \sqrt{0,8/0,125}} = 0,0044 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\mu \cdot D_o \cdot (q_p - q_n)}{z_{\max}}$$

$$1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}$$

$$q_k = 14,96 + \frac{0,02 \cdot 0,125}{0,0044} \cdot (43,68 - 14,96)$$

$$q_k = 14,96 + \frac{0,0044}{1 + \frac{43,68 - 14,96}{0,0044 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 21,15 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 21,15 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 2,64 \text{ N/mm}^1$$

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

Ontlastende invloed t.g.v. wegdek: Tweelagen structuur

$$H_{1eq} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 200 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{100}} = 307,80 \text{ mm}$$

Fictieve dekkingshoogte: $H_{eq} = H_{1eq} + H - H_1$

$$H_{eq} = 307,80 + 800,0 - 200 = 907,80 \text{ mm} = 0,91 \text{ m}$$

Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 61,50 \text{ kN/m}^2$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 61,50 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 7,69 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{125 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 9.006$ mm

$$\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 9.006 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming) $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 0 \cdot 125 \cdot 0,006 = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00 \cdot 0,0023 \cdot 9.006 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 9.006}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 125 \cdot 0,006 = 0 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0 \cdot 0,0023 \cdot 9.006 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 9.006}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$$

$$B = D_o = 0,13 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,13 / 2 = 0,86 \text{ m}$$

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

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

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 18,70 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 403,76 \text{ kN/m}^2 = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,40 \cdot 125,00 = 50,47 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>		<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>		<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 2,64$	N/mm^1	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 1,87$	N/mm^1	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 7,69$	N/mm^1		$Q_v = 7,69$	N/mm^1	
$Q_d = 0,00$	$\text{N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,00$	$\text{N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 10,33$	N/mm^1		$\Sigma = 9,56$	N/mm^1	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.1 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i>		<i>Moment t.g.v. Q_d</i>
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (2,64 + 7,69) \cdot 56,80$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 56,80$
$M_q = 104,45 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,91 \cdot (104,45 + 0,00) / 21,66 = \mathbf{4,41 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i>		<i>Moment t.g.v. Q_d</i>
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (1,87 + 7,69) \cdot 56,80$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 56,80$
$M_q = 96,63 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i>		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 0,91 \cdot (96,63 + 0,00) / 21,66 = \mathbf{4,08 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$		
$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		07-03-2016 09:11:20

21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

Veiligheidsfactor γ 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 **28,07** m grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

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

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,87 + 7,69) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (1,87 + 7,69) + 0,048 \cdot 0,00) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46} = 1,93 \text{ mm} (= 1,69\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 113,60 = 7,72$ mm

23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,41 = 2,87 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,00 + 1,56 = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,08 = 2,65 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,00 + 1,56 = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$