

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : DS Molenpad Ouderkerk PE100 Projectonderdeel : DS Molenpad Ouderkerk Importantiefactor S : 0,9			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 17,6		
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	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 6,3	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Ontwerpdruk	p _d	= 0,01	N/mm ²
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,80	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0,60	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 0,20	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 10	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25,0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		23-05-2018 11:18:28	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2012 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Klei		
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	kN/m ³	
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 17	kN/m ³	
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³	
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 17,5	°	
Effectieve cohesie	c'	= 5	kN/m ²	
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 50	kN/m ²	
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 1	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 ½ x II:		½ · 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 2012 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 97,40	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 103,70	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 48,70	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 51,85	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 2.769.087,37	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 50.347,04	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 20,84	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 6,62	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.				
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,10^2)^3}{(1,6 \cdot 0,10 + 0,80)^2} = 0,0000034$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0000034} = 0,09 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,09 = 0,09 \text{ m}$				
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk				
$D_g/d_n = 103,70/6,30 = 16,46 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 48,70^2}{55,00^2 - 48,70^2} \cdot 0,01 = 0,08 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,08 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\sigma_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,90 = 7,20 \text{ N/mm}^2$				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 51,85^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 20,84} \right) = 0,99$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,60 + 1,1 \cdot 17 \cdot 0,20 - 10 \cdot 0,20 = 12,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 12,96 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 1,43 \text{ N/mm}^1$				
				23-05-2018 11:18:28

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 12,96 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,80}{0,11}\right) = 41,24 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 41,24 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 4,54 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{1^{1,5} \cdot \sqrt{0,80/0,11}} = 0,010 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 12,96 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,11}{0,010} \cdot (41,24 - 12,96)}{1 + \frac{41,24 - 12,96}{0,010 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 30,97 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 30,97 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,41 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek ½ x II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,41 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,41 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 3,01 \text{ N/mm}^1$		
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{110 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 2.769.087,37}} = 0,0028 \text{ mm}^{-1}$		
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)		
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0028 \cdot 40.000 = 111,84$ $i = 0,982$ (= 98,2 % inklemming) $B_z = 0,000000572$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,000000572 \cdot 10 \cdot 110 \cdot 0,006 = 0,0000038 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0000038 \cdot 0,0028 \cdot 40.000 \cdot \left(0,982 + \frac{0,982 \cdot 0,0028 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,01 \text{ N/mm}^1$		
		23-05-2018 11:18:28

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©														
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000000572 \cdot (10 + 1,5 \cdot 25,0) \cdot 110 \cdot 0,006 = 0,000018 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,000018 \cdot 0,0028 \cdot 40.000 \cdot (0,982 + \frac{0,982 \cdot 0,0028 \cdot 40.000}{6}) = 0,04 \text{ N/mm}^1$																
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																
Berekening evenwichtsdraagvermogen																
$B = D_o = 0,11 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,11 / 2 = 0,86 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,86/0,11) = 0,58$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,58)$ $P_{we} = 349,00 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$ $P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 110,00 = 38,39 \text{ N/mm}^1$																
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																
<table><tr><td>Situatie 1^e en 2^e jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_k = 3,41 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 3,01 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 6,43 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>		Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 3,41 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 3,01 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 6,43 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_n = 1,43 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 3,01 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,04 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 4,48 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 1,43 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 3,01 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,04 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 4,48 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:															
$Q_k = 3,41 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig															
$Q_v = 3,01 \text{ N/mm}^1$																
$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$																
$\Sigma = 6,43 \text{ N/mm}^1$																
Situatie na 2 jaar	Conclusie:															
$Q_n = 1,43 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig															
$Q_v = 3,01 \text{ N/mm}^1$																
$Q_d = 0,04 \text{ N/mm}^1 +$																
$\Sigma = 4,48 \text{ N/mm}^1$																
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1 ^e en 2 ^e jaar)																
Moment t.g.v. Q_k en Q_v		Moment t.g.v. Q_d														
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (3,41 + 3,01) \cdot 51,85$ $M_q = 59,27 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,01 \cdot 51,85$ $M_{qd} = 0,05 \text{ Nmm/mm}^1$														
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}																
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (59,27 + 0,05) / 6,62 = 8,84 \text{ N/mm}^2$																
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)																
Moment t.g.v. Q_n en Q_v		Moment t.g.v. Q_d														
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (1,43 + 3,01) \cdot 51,85$ $M_q = 40,98 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,04 \cdot 51,85$ $M_{qd} = 0,24 \text{ Nmm/mm}^1$														
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}																
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (40,98 + 0,24) / 6,62 = 6,15 \text{ N/mm}^2$																
		23-05-2018 11:18:29														

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000935 \cdot 10 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{6,3}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000935 \cdot (10 + 1,5 \cdot 25,0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{6,3}} = \mathbf{0,04 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{20,84}{103,7^3} = 0,02 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{18,22 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 20,84}{103,70^3} = 0,35 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 20,84}{103,70^3} = 0,06 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 6,23 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,43 + 3,01) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (1,43 + 3,01) + 0,048 \cdot 0,04) \cdot 51,85^3}{350 \cdot 20,84} = \mathbf{2,66 \text{ mm} (= 2,57\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,9 \cdot 103,70 = \mathbf{7,47 \text{ mm}}$		
		23-05-2018 11:18:29

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,84 = \mathbf{5,75 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{1,57 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,90 = \mathbf{7,20 \text{ N/mm}^2}$	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,15 = \mathbf{4,00 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,04 + 1,56 = \mathbf{1,59 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,90 = \mathbf{7,20 \text{ N/mm}^2}$	
	23-05-2018 11:18:29