



17.137879

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Spaarndammerdijk te Amsterdam			
Projectonderdeel : 315 PE100 sdr 11 100 mbar lage druk gasleiding.			
Importantiefactor 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	= 315,00	mm
Wanddikte	d _n	= 28,7	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Temperatuurverschil	Δt	= 10,0	°
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	= 0,8	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
			28-11-2017 15:43:06

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2012 3.0 ©
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	$k_{v,min}$	= 0,016	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,018	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 257,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 286,30	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 315,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 157,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 128,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 143,15	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 267.145.739,35	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 1.696.163,42	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 1.969,99	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 137,28	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,26^2)^3}{(1,6 \cdot 0,26 + 0,8)^2} = 0,00073$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,00073} = 0,21 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,21 = 0,21 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 286,30/28,70 = 9,98 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{157,50^2 + 128,80^2}{157,50^2 - 128,80^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 143,15^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 1.969,99}) = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 = 14,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 14,96 \cdot 10^{-3} \cdot 315,0 = 4,71 \text{ N/mm}^1$			
			28-11-2017 15:43:06

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 14,96 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,315} \right) = 26,36 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 26,36 \cdot 10^{-3} \cdot 315,0 = 8,30 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,315}{5^{0,5} \cdot \sqrt{0,8/0,315}} = 0,018 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 14,96 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,315}{0,018} \cdot (26,36 - 14,96)}{1 + \frac{26,36 - 14,96}{0,018 \cdot 0,0160 \cdot 10^6}} = 18,86 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 18,86 \cdot 10^{-3} \cdot 315,0 = 5,94 \text{ N/mm}^1$	
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek I NEN 3650-1:C.17	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 71,24 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 71,24 \cdot 10^{-3} \cdot 315,0 = 22,44 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{315,0 \cdot 0,018}{4 \cdot 975 \cdot 267.145.739,35}} = 0,0015 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0015 \cdot 40.000 = 61,09$ $i = 0,967$ (= 96,7 % inklemming) $B_z = 0,00000608$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,00000608 \cdot 5,0 \cdot 315,0 \cdot 0,018 = 0,00017 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$ $Q_d = 0,00017 \cdot 0,0015 \cdot 40.000 \cdot \left(0,967 + \frac{0,967 \cdot 0,0015 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,11 \text{ N/mm}^1$	
	28-11-2017 15:43:06

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)																	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000608 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 315,0 \cdot 0,018 = 0,00017 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,00017 \cdot 0,0015 \cdot 40.000 \cdot (0,967 + \frac{0,967 \cdot 0,0015 \cdot 40.000}{6}) = 0,11 \text{ N/mm}^1$																	
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																	
Berekening evenwichtsdraagvermogen $N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 18,40$ $N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 15,07$ $B = D_o = 0,32 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,32 / 2 = 0,96 \text{ m}$ $S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$ $d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,36$ $\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o/2) / Z = 18,70 \text{ kN/m}^3$ $P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$ $P_{we} = 414,39 \text{ kN/m}^2 = 0,41 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,41 \cdot 315,00 = 130,53 \text{ N/mm}^1$																	
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																	
<table><tr><td>Situatie 1^e en 2^e jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_k = 5,94 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 22,44 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 28,50 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>		Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 5,94 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 22,44 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 28,50 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_n = 4,71 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 22,44 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 27,27 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>		Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 4,71 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 22,44 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 27,27 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:																
$Q_k = 5,94 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig																
$Q_v = 22,44 \text{ N/mm}^1$																	
$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$																	
$\Sigma = 28,50 \text{ N/mm}^1$																	
Situatie na 2 jaar	Conclusie:																
$Q_n = 4,71 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig																
$Q_v = 22,44 \text{ N/mm}^1$																	
$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$																	
$\Sigma = 27,27 \text{ N/mm}^1$																	
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 $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (5,94 + 22,44) \cdot 143,15$ $M_q = 723,18 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,11 \cdot 143,15$ $M_{qd} = 1,99 \text{ Nmm/mm}^1$															
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (723,18 + 1,99) / 137,28 = 5,27 \text{ N/mm}^2$																	
		28-11-2017 15:43:06															

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
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
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$
$M_q = 0,178 \cdot (4,71 + 22,44) \cdot 143,15$		$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,11 \cdot 143,15$
$M_q = 691,84 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = 1,99 \text{ Nmm/mm}^1$
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}		
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$		
$\sigma_q = 1,00 \cdot (691,84 + 1,99) / 137,28 = 5,04 \text{ N/mm}^2$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,00293 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,018}{28,7}} = 0,01 \text{ N/mm}^2$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$		
$\sigma_{bx} = 0,00293 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,018}{28,7}} = 0,01 \text{ N/mm}^2$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$		
$\sigma_{ax} = 10,0 \cdot 0,00016 \cdot 975 = 1,56 \text{ N/mm}^2$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$		
$S_N = 975 \cdot \frac{1.969,99}{286,3^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = 81,85 \text{ kN/m}^2$		
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m ²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$		
Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$		
$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$		
$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$		
$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 1.969,99}{286,30^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$		
Conclusie: Kans op implosie bij 27,98 m grondwater boven de leiding		
		28-11-2017 15:43:06

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2012 3.0 ©
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (4,71 + 22,44) - 0,083 \cdot (1 - \sin(30^\circ)) \cdot (4,71 + 22,44) + 0,048 \cdot 0,11) \cdot 143,15^3}{350 \cdot 1.969,99} = 5,51 \text{ mm } (= 1,92\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D_g = 0,08 · 0,85 · 286,30 = 19,47 mm	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,27 = 3,42 \text{ N/mm}^2$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = 1,57 \text{ N/mm}^2$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,04 = 3,27 \text{ N/mm}^2$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = 1,57 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = 6,80 \text{ N/mm}^2$	
	28-11-2017 15:43:06