

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Grubbenvorst Dorpstraat		
Projectonderdeel	: Lagedruk gasleiding 63 PE100 RC SDR11		
Importatiefactor S	: 0,75		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm ²
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
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	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e = 63,00		mm
Wanddikte	d _n = 5,8		mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d = 0,01		N/mm ²
Temperatuurverschil	$\Delta t = 7$		°
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L = 3,261		mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H = 3,2		m
Belastinghoek	$\alpha = 180$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 70$		°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v = 5		mm
Zettingsverschil	f _z = 0		mm
Klinkpercentage	$\mu = 0,02$		%
Marstonfactor	f _m = 0,3		-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 2,33	m
		18-05-2018 13:06:26	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 20	MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
		18-05-2018 13:06:26	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 51,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 57,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 63,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 31,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 25,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 28,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 430.644,04	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.671,24	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 16,26	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 5,61	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{\rho_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,05^2)^3}{(1,6 \cdot 0,05 + 3,2)^2} = 0,0000000063$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0000000063} = 0,03 \text{ m}$ $G_L = G_B / 4 = 0,03 / 4 = 0,01 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 2,33 + 0,01 = 9,33 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 57,20/5,80 = 9,86 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{31,50^2 + 25,70^2}{31,50^2 - 25,70^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = 6,00 \text{ N/mm}^2$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 28,6^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 16,26} \right) = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 3,2 = 66,88 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 66,88 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 4,21 \text{ N/mm}^1$			
		18-05-2018 13:06:26	

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{19}{1,1} \cdot 3,2 = 55,27 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_{\text{hor}} = 55,27 \cdot (1 - \sin(35)) = 23,57 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$\sigma_o' = \frac{55,27 + 23,57}{2} = 39,42 \text{ kN/m}^2$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$p_f' = 39,42 \cdot (1 + \sin(35)) + 0 \cdot \cos(35) = 62,03 \text{ kN/m}^2$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$G = \frac{75}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 28,85 \text{ MN/m}^2$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$Q = \frac{39,42 \cdot \sin(35) + 0 \cdot \cos(35)}{28,85 \cdot 10^3} = 0,001$$

$$p'_{\text{max}} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_o^2}{0,5 \cdot D_o + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p'_{\text{max}} = (62,03 + 35 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,063^2}{0,5 \cdot 0,063 + 3,2} + 0,001 \right)^{\frac{-\sin 35}{1 + \sin 35}} - 0 \cdot \cot(35)$$

$$p'_{\text{max}} = \mathbf{806,44 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p'_{\text{max}} \cdot D_o$$

$$Q_p = 806,44 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 50,81 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,063}{20^{0,5} \cdot \sqrt{3,2/0,063}} = 0,00040 \text{ m}$$

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

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

$$q_k = 66,88 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,063}{0,00040} \cdot (806,44 - 66,88)}{1 + \frac{806,44 - 66,88}{0,00040 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 116,22 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 116,22 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 7,32 \text{ N/mm}^1$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.0 ©
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17	
<p>Niet rekenen met ontlastende invloed</p> $q_v = 6,99 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 6,99 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 0,44 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{63 \cdot 0,045}{4 \cdot 975 \cdot 430.644,04}} = 0,0064 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
<p>Zettingslengte $L = 3.261 \text{ mm}$</p> $\lambda \cdot L = 0,0064 \cdot 3.261 = 20,90$ <p>$i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming)</p> <p>$B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)</p> $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 63 \cdot 0,045 = 0,0051 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0051 \cdot 0,0064 \cdot 3.261 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0064 \cdot 3.261}{6}\right) = 0,43 \text{ N/mm}^1$	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 63 \cdot 0,045 = 0,0051 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0051 \cdot 0,0064 \cdot 3.261 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0064 \cdot 3.261}{6}\right) = 0,43 \text{ N/mm}^1$	
1.0.0.0/01-2018/10-10383707	18-05-2018 13:06:26

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 3,20 + 0,06 / 2 = 3,23 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,40$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 20,90 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 3.140,84 \text{ kN/m}^2 = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 3,14 \cdot 63,00 = 197,87 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 7,32 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 4,21 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 0,44 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 0,44 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 0,43 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,43 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 8,19 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 5,08 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (7,32 + 0,44) \cdot 28,60$$

$$M_q = 39,52 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (39,52 + 1,50) / 5,61 = 7,29 \text{ N/mm}^2$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,43 \cdot 28,60$$

$$M_{qd} = 1,50 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (4,21 + 0,44) \cdot 28,60$$

$$M_q = 23,69 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (23,69 + 1,50) / 5,61 = 4,48 \text{ N/mm}^2$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,43 \cdot 28,60$$

$$M_{qd} = 1,50 \text{ Nmm/mm}^1$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.0 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{5,8}} = \mathbf{0,26 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,045}{5,8}} = \mathbf{0,26 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 7 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,09 \text{ N/mm}^2}$	
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	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{16,26}{57,2^3} = 0,0847 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{84,71 \text{ kN/m}^2}$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 1,61 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 28,96 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (4,21 + 0,44) - 0,083 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (4,21 + 0,44) + 0,048 \cdot 0,43) \cdot 28,60^3}{350 \cdot 16,26} = \mathbf{1,11 \text{ mm} (= 1,94\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 57,20 = \mathbf{3,43 \text{ mm}}$	
	18-05-2018 13:06:26

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.0 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 7,29 = \mathbf{4,74 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,26 + 1,09 = \mathbf{1,28 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,48 = \mathbf{2,91 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,26 + 1,09 = \mathbf{1,28 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	18-05-2018 13:06:27