

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Breukelen, Zandpad 106 Projectonderdeel : HD gasleiding 168 mm staal Importantiefactor S : 0,85			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	Din St-35.8		
Rekgrens van het materiaal bij 20°C	Re	= 235	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	= 205800	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= $1,2 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 1	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 15	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 168,30	mm
Wanddikte	d_n	= 4,5	mm
Dikte bekleding	e	= 2	mm
Geen bocht aanwezig			
Minimale wanddikte	d	= 4,5	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Ontwerpdruk	p_d	= 0,8	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	= 15	mm
Zettingsverschil	f_z	= 25	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f_m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 14	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 25	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 0,5	MN/m ²
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,005	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,008	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

Grafiek II:	Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
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

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2012 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 159,30	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 163,80	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 172,30	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 84,15	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 79,65	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 81,90	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 7.772.160,27	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 92.360,79	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 7,59	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 3,38	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{8,00} \cdot 20 \cdot 0,16^2)^3}{(1,6 \cdot 0,16 + 0,8)^2} = 10,12$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{10,12} = 1,03 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 1,03 = 1,03 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d = 163,80/4,50 = 36,40 \rightarrow D_g/d > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d}$ $\sigma_p = \frac{0,8 \cdot 163,8}{2 \cdot 4,5} = 14,56 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 14,56 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning: $0,72 \cdot R_e \cdot S = 0,72 \cdot 0,85 \cdot 235,00 = \mathbf{143,82 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 81,90^3 \cdot 0,102}{205800 \cdot 7,59}) = 0,95$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 14 \cdot 0,8 = 12,32 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 12,32 \cdot 10^{-3} \cdot 172,3 = 2,12 \text{ N/mm}^1$			
			28-02-2018 14:32:27

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{14}{1,1} \cdot 0,8 = 10,18 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 10,18 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 7,12 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{10,18 + 7,12}{2} = 8,65 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p_f' = 8,65 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 0 \cdot \cos(17,5) = 11,25 \text{ kN/m}^2$$

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

$$G = \frac{1}{2 \cdot (1 + 0,4)} = 0,36 \text{ MN/m}^2$$

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

$$Q = \frac{8,65 \cdot \sin(17,5) + 0 \cdot \cos(17,5)}{0,36 \cdot 10^3} = 0,007$$

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

$$p_{\text{max}}' = (11,25 + 17,5 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,1723^2}{0,5 \cdot 0,1723 + 0,8} + 0,01 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 0 \cdot \cot(17,5)$$

$$p_{\text{max}}' = \mathbf{28,97 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_o$$

$$Q_p = 28,97 \cdot 10^{-3} \cdot 172,3 = 4,99 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,1723}{0,5^{1,5} \cdot \sqrt{0,8/0,1723}} = 0,057 \text{ m}$$

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

$$q_k = 12,32 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,1723}{0,057} \cdot (28,97 - 12,32)}{1 + \frac{28,97 - 12,32}{0,057 \cdot 0,0050 \cdot 10^6}} = 17,11 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 17,11 \cdot 10^{-3} \cdot 172,3 = 2,95 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II 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: $q_v = 44,88 \text{ kN/m}^2$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 44,88 \cdot 10^{-3} \cdot 172,3 = 7,73 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{172,3 \cdot 0,008}{4 \cdot 205800 \cdot 7.772.160,27}} = 0,00068 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,00068 \cdot 40.000 = 27,25$$

 $i = 0,924$ (= 92,4 % inklemming) $B_z = 0,000134$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)

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

$$Q_z = 0,000134 \cdot 15 \cdot 172,3 \cdot 0,008 = 0,0028 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0028 \cdot 0,00068 \cdot 40.000 \cdot \left(0,924 + \frac{0,924 \cdot 0,00068 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,39 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000134 \cdot (15 + 1,5 \cdot 25) \cdot 172,3 \cdot 0,008 = 0,0097 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,0097 \cdot 0,00068 \cdot 40.000 \cdot \left(0,924 + \frac{0,924 \cdot 0,00068 \cdot 40.000}{6}\right) = 1,35 \text{ N/mm}^1$$

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

$$B = D_o = 0,17 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,17 / 2 = 0,88 \text{ m}$$

$$S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$$

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,89/0,17) = 0,55$$

$$P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$$

$$P_{we} = 0,85 \cdot 25 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,55)$$

$$P_{we} = 171,70 \text{ kN/m}^2 = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,17 \cdot 172,30 = 29,58 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 2,95 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,12 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 7,73 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 7,73 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,39 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 1,35 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 11,07 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 11,20 \text{ N/mm}^1$	

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*

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

$$M_q = 0,178 \cdot (2,95 + 7,73) \cdot 81,90$$

$$M_q = 155,71 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,39 \cdot 81,90$$

$$M_{qd} = 3,85 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,95 \cdot (155,71 + 3,85) / 3,38 = \mathbf{44,71 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (2,12 + 7,73) \cdot 81,90$$

$$M_q = 143,68 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,35 \cdot 81,90$$

$$M_{qd} = 13,47 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,95 \cdot (143,68 + 13,47) / 3,38 = \mathbf{44,04 \text{ N/mm}^2}$$

16. Berekening van de spanning s_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v

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

$$\sigma_{bx} = 0,0123 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{205800 \cdot 0,008}{4,5}} = \mathbf{3,54 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1.5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0123 \cdot (15 + 1.5 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{205800 \cdot 0,008}{4,5}} = \mathbf{12,39 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,0000116 \cdot 205800 = \mathbf{23,87 \text{ N/mm}^2}$		
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. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,12 + 7,73) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (2,12 + 7,73) + 0,048 \cdot 1,35) \cdot 81,90^3}{205800 \cdot 7,59} = \mathbf{0,13 \text{ mm} (= 0,079\%)}$ Toelaatbare deflectie = 15% · importantiefactor S · D _g = 0,15 · 0,85 · 163,80 = 20,88 mm		
21. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 1 \cdot 44,71 = \mathbf{44,71 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1 \cdot 3,54 + 23,87 = \mathbf{27,41 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = 0,8 · Re · S = 0,8 · 235 · 0,85 = 159,80 N/mm²		
22. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 1 \cdot 44,04 = \mathbf{44,04 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1 \cdot 12,39 + 23,87 = \mathbf{36,26 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = 0,8 · Re · S = 0,8 · 235 · 0,85 = 159,80 N/mm²		
		28-02-2018 14:32:28