

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2016 1.3 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Eindhoveneweg Venrayseweg Venlo Projectonderdeel : Vervangen HD-gasleiding i.v.m. storing DN300 Staal bekleed Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Staal		
Kwaliteit:	Din St-37.4		
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	= 323,90	mm
Wanddikte	d_n	= 5,6	mm
Geen bocht aanwezig			
Minimale wanddikte	d	= 5,6	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,1	N/mm ²
Temperatuurverschil	Δt	= 7	°
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 37.181	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,9	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f_v	= 5	mm
Zettingsverschil	f_z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f_m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 1,0	m
			09-08-2016 12:09:46

[illegible]

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2016 1.3 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 312,70	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 318,30	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 323,90	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 161,95	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 156,35	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 159,15	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 70.940.171,65	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 438.037,49	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 14,63	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 5,23	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.				
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{1,00} \cdot 12 \cdot 0,31^2)^3}{(1,6 \cdot 0,31 + 0,9)^2} = 0,82$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,82} = 0,68 \text{ m}$ $G_L = G_B / 4 = 0,68 / 4 = 0,17 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 1,00 + 0,17 = 4,17 \text{ m}$				
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk				
$D_g/d = 318,30/5,60 = 56,84 \rightarrow D_g/d > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d}$ $\sigma_p = \frac{0,1 \cdot 318,3}{2 \cdot 5,6} = 2,84 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 2,84 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = v \cdot \sigma_p = 0,3 \cdot 2,84 = 0,85 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning: $0,72 \cdot R_e \cdot S = 0,72 \cdot 0,75 \cdot 235,00 = \mathbf{126,90 \text{ N/mm}^2}$				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 159,15^3 \cdot 0,102}{205800 \cdot 14,63}) = 0,97$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 0,9 = 18,81 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 18,81 \cdot 10^{-3} \cdot 323,9 = 6,09 \text{ N/mm}^1$				
				09-08-2016 12:09:46

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.3 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 18,81 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,9}{0,3239}\right) = 34,49 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 34,49 \cdot 10^{-3} \cdot 323,9 = 11,17 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,3239}{20^{0,5} \cdot \sqrt{0,9/0,3239}} = 0,0087 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 18,81 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,3239}{0,0087} \cdot (34,49 - 18,81)}{1 + \frac{34,49 - 18,81}{0,0087 \cdot 0,0160 \cdot 10^6}} = 29,31 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 29,31 \cdot 10^{-3} \cdot 323,9 = 9,49 \text{ N/mm}^1$	
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: $H_{eq} = H_{1eq} + H - H_1$ $H_{eq} = 307,80 + 900,0 - 200 = 1.007,80 \text{ mm} = 1,01 \text{ m}$ Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 37,53 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 37,53 \cdot 10^{-3} \cdot 323,9 = 12,16 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{323,9 \cdot 0,018}{4 \cdot 205800 \cdot 70.940.171,65}} = 0,00056 \text{ mm}^{-1}$	

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

Zettingslengte $L = 37.181 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,00056 \cdot 37.181 = 20,90$$

 $i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming)

 $B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 323,9 \cdot 0,018 = 0,010 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,010 \cdot 0,00056 \cdot 37.181 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,00056 \cdot 37.181}{6} \right) = 0,88 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 323,9 \cdot 0,018 = 0,010 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,010 \cdot 0,00056 \cdot 37.181 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,00056 \cdot 37.181}{6} \right) = 0,88 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

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

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

$$B = D_o = 0,32 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,90 + 0,32 / 2 = 1,06 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,32$$

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

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

$$P_{we} = 938,04 \text{ kN/m}^2 = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,94 \cdot 323,90 = 303,83 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 9,49 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 6,09 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 12,16 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 12,16 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,88 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,88 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 22,53 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 19,13 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.3 ©
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> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (9,49 + 12,16) \cdot 159,15$ $M_q = 613,34 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,88 \cdot 159,15$ $M_{qd} = 17,16 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,97 \cdot (613,34 + 17,16) / 5,23 = \mathbf{117,43 \text{ N/mm}^2}$		
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> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (6,09 + 12,16) \cdot 159,15$ $M_q = 516,95 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,88 \cdot 159,15$ $M_{qd} = 17,16 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,97 \cdot (516,95 + 17,16) / 5,23 = \mathbf{99,47 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{205800 \cdot 0,018}{5,6}} = \mathbf{2,47 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{205800 \cdot 0,018}{5,6}} = \mathbf{2,47 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 7 \cdot 0,0000116 \cdot 205800 = \mathbf{16,71 \text{ N/mm}^2}$		
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht		
Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
		09-08-2016 12:09:46

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2016 1.3 ©
20. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{24 \cdot 205.800,00 \cdot 14,63}{318,30^3} = 1,64 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,3^2)} \cdot \frac{24 \cdot 205.800,00 \cdot 14,63}{318,30^3} = 0,82 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 82,10 m grondwater boven de leiding	
21. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (6,09 + 12,16) - 0,083 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (6,09 + 12,16) + 0,048 \cdot 0,88) \cdot 159,15^3}{205800 \cdot 14,63} = \mathbf{1,37 \text{ mm}} (= 0,43\%)$ Toelaatbare deflectie = 15% · importantiefactor S · $D_g = 0,15 \cdot 0,75 \cdot 318,30 = \mathbf{35,81 \text{ mm}}$	
22. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 1 \cdot 117,43 = \mathbf{117,43 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1 \cdot 2,47 + 16,71 = \mathbf{19,18 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = 0,8 · Re · S = 0,8 · 235 · 0,75 = 141,00 N/mm²	
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 1 \cdot 99,47 = \mathbf{99,47 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1 \cdot 2,47 + 16,71 = \mathbf{19,18 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = 0,8 · Re · S = 0,8 · 235 · 0,75 = 141,00 N/mm²	
	09-08-2016 12:09:46