



17.076973

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Amsterdamseweg Projectonderdeel : Amsterdamseweg Aven 250 CPE Importantiefactor S : 0,95			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PVC		
Kwaliteit:	PVC-U		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 25	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 2	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 12,50	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 3.000	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 1.500	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= $8,0 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_{σ}	= 0,75	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 250,00	mm
Wanddikte	d_n	= 6,2	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Temperatuurverschil	Δt	= 10,0	°
Ontwerpdruk	p_d	= 0,03	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	= 20	mm
Zettingsverschil	f_z	= 15	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f_m	= 0,2	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		29-03-2017 14:13:38	

3.0.10.0/12-2012/10-10243283

© Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 17	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	$k_{v,min}$	= 0,007	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,011	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

Geen verkeersbelasting ingevoerd
Rekenen met ontlastende invloed wegdek: Geen ontlastende invloed

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2012 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 237,60	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 243,80	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 118,80	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 121,90	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 35.304.775,56	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 282.438,20	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 19,86	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 6,41	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.				
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,30} \cdot 8 \cdot 0,24^2)^3}{(1,6 \cdot 0,24 + 0,8)^2} = 0,0050$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0050} = 0,29 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,29 = 0,29 \text{ m}$				
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk				
$D_g/d_n = 243,80/6,20 = 39,32 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$ $\sigma_p = \frac{0,03 \cdot 243,8}{2 \cdot 6,2} = 0,59 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,59 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 12,50 \cdot 0,95 = 11,88 \text{ N/mm}^2$				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 121,9^3 \cdot 0,102}{3000 \cdot 19,86}) = 0,84$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 = 14,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 14,96 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 3,74 \text{ N/mm}^1$				
				29-03-2017 14:13:38

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$$

$$q_p = 14,96 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot \frac{0,8}{0,25} \right) = 24,53 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 24,53 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 6,13 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,25}{1^{1,5} \cdot \sqrt{0,8/0,25}} = 0,035 \text{ m}$$

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

$$q_k = 14,96 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,25}{0,035} \cdot (24,53 - 14,96)}{1 + \frac{24,53 - 14,96}{0,035 \cdot 0,0070 \cdot 10^6}} = 21,55 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 21,55 \cdot 10^{-3} \cdot 250 = 5,39 \text{ N/mm}^1$$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17

Geen verkeersbelasting ingevoerd

$$Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250 \cdot 0,011}{4 \cdot 3000 \cdot 35.304.775,56}} = 0,0016 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$\text{Zettingslengte } L = 40.000 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0016 \cdot 40.000 = 63,85$$

$$i = 0,968 \text{ (= 96,8 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,00000513 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4)}$$

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

$$Q_z = 0,00000513 \cdot 20 \cdot 250 \cdot 0,011 = 0,00028 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00028 \cdot 0,0016 \cdot 40.000 \cdot \left(0,968 + \frac{0,968 \cdot 0,0016 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,20 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,00000513 \cdot (20 + 1,5 \cdot 15) \cdot 250 \cdot 0,011 = 0,00060 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00060 \cdot 0,0016 \cdot 40.000 \cdot \left(0,968 + \frac{0,968 \cdot 0,0016 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,43 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$B = D_o = 0,25 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,25 / 2 = 0,93 \text{ m}$$

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

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,93/0,25) = 0,52$$

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

$$P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,52)$$

$$P_{we} = 337,11 \text{ kN/m}^2 = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,34 \cdot 250,00 = 84,28 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 5,39 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 3,74 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,20 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,43 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 5,59 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 4,17 \text{ N/mm}^1$	

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> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (5,39 + 0,00) \cdot 121,90$ $M_q = 116,91 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{\pi} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,84 \cdot (116,91 + 3,02) / 6,41 = 15,78 \text{ N/mm}^2$	<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b, \text{ind}} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,20 \cdot 121,90$ $M_{qd} = 3,02 \text{ Nmm/mm}^1$
---	---

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> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (3,74 + 0,00) \cdot 121,90$ $M_q = 81,15 \text{ Nmm/mm}^1$ <i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{\pi} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,84 \cdot (81,15 + 6,41) / 6,41 = 11,52 \text{ N/mm}^2$	<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b, \text{ind}} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,43 \cdot 121,90$ $M_{qd} = 6,41 \text{ Nmm/mm}^1$
---	---

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	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00270 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{3000 \cdot 0,011}{6,2}} = 0,12 \text{ N/mm}^2$	
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00270 \cdot (20 + 1,5 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{3000 \cdot 0,011}{6,2}} = 0,26 \text{ N/mm}^2$	
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10,0 \cdot 0,00008 \cdot 3000 = 2,40 \text{ N/mm}^2$	
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	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 3000 \cdot \frac{19,86}{243,8^3} = 0,00 \text{ N/mm}^2 = 4,11 \text{ kN/m}^2$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,37^2)} \cdot \frac{24 \cdot 3.000,00 \cdot 19,86}{243,80^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,37^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.500,00 \cdot 19,86}{243,80^3} = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 1,91 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (3,74 + 0,00) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (3,74 + 0,00) + 0,048 \cdot 0,43) \cdot 121,90^3}{1500 \cdot 19,86} = 8,30 \text{ mm} (= 3,40\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,95 \cdot 243,80 = 18,53 \text{ mm}$	
29-03-2017 14:13:39	

23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,75 \cdot 15,78 = \mathbf{11,84 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,75 \cdot 0,12 + 2,40 = \mathbf{2,49 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 12,50 \cdot 0,95 = \mathbf{11,88 \text{ N/mm}^2}$$

24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$$

$$\sigma_{y2} = 0,75 \cdot 11,52 = \mathbf{8,64 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 0,75 \cdot 0,26 + 2,40 = \mathbf{2,60 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 12,50 \cdot 0,95 = \mathbf{11,88 \text{ N/mm}^2}$$