



17.076972

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 200 PE wegoersteek Florislaan Importantiefactor S : 0,95			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 80 SDR 17,6		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 8	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 6,40	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 825	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 300	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	= 200,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	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 14:19:55

3.0.10.0/12-2012/10-10243283

© Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

Grondmechanische gegevens

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	

Verkeersbelasting

Grafiek I:		Fatigue Load Model 3	
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:		Tweelagen structuur	
Dikte deklaag	H_1	= 300	mm
Elast. mod. deklaag	E_1	= 5000	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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 177,20	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 188,60	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 200,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 100,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 88,60	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 94,30	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 30.142.111,24	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 301.421,11	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.				
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,30} \cdot 8 \cdot 0,18^2)^3}{(1,6 \cdot 0,18 + 0,8)^2} = 0,0010$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0010} = 0,22 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,22 = 0,22 \text{ m}$				
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk				
$D_g/d_n = 188,60/11,40 = 16,54 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 88,60^2}{100,00^2 - 88,60^2} \cdot 0,03 = 0,25 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,25 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,95 = 6,08 \text{ N/mm}^2$				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 94,3^3 \cdot 0,102}{825 \cdot 123,46}) = 0,95$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 17 \cdot 0,8 = 14,96 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 14,96 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 2,99 \text{ N/mm}^1$				
				29-03-2017 14:19:55

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$q_p = 14,96 \cdot \left(1 + 0,2 \cdot \frac{0,8}{0,2} \right) = 26,93 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 26,93 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 5,39 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,2}{1^{1,5} \cdot \sqrt{0,8/0,2}} = 0,025 \text{ m}$$

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

$$q_k = 14,96 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,2}{0,025} \cdot (26,93 - 14,96)}{1 + \frac{26,93 - 14,96}{0,025 \cdot 0,0070 \cdot 10^6}} = 23,92 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 23,92 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 4,78 \text{ N/mm}^1$$

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

Ontlastende invloed t.g.v. wegdek: Tweelagen structuur

$$H_{1eq} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 300 \cdot \sqrt[3]{\frac{5000}{100}} = 994,69 \text{ mm}$$

Fictieve dekkingshoogte: $H_{eq} = H_{1eq} + H - H_1$

$$H_{eq} = 994,69 + 800,0 - 300 = 1.494,69 \text{ mm} = 1,49 \text{ m}$$

Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 33,59 \text{ kN/m}^2$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 33,59 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 6,72 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,011}{4 \cdot 825 \cdot 30.142.111,24}} = 0,0022 \text{ mm}^{-1}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©														
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1 ^e en 2 ^e jaar)																
Zettingslengte L = 40.000 mm $\lambda \cdot L = 0,0022 \cdot 40.000 = 86,74$ $i = 0,977$ (= 97,7 % inklemming) $B_z = 0,00000155$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000155 \cdot 20 \cdot 200 \cdot 0,011 = 0,000068 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,000068 \cdot 0,0022 \cdot 40.000 \cdot (0,977 + \frac{0,977 \cdot 0,0022 \cdot 40.000}{6}) = 0,09 \text{ N/mm}^1$																
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000155 \cdot (20 + 1,5 \cdot 15) \cdot 200 \cdot 0,011 = 0,00015 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,00015 \cdot 0,0022 \cdot 40.000 \cdot (0,977 + \frac{0,977 \cdot 0,0022 \cdot 40.000}{6}) = 0,19 \text{ N/mm}^1$																
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																
Berekening evenwichtsdraagvermogen $B = D_o = 0,20 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,20 / 2 = 0,90 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,90/0,20) = 0,54$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 50 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,54)$ $P_{we} = 341,07 \text{ kN/m}^2 = 0,34 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,34 \cdot 200,00 = 68,21 \text{ N/mm}^1$ Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																
<table><tr><td>Situatie 1^e en 2^e jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_k = 4,78 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 6,72 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 11,59 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>		Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 4,78 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 6,72 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 11,59 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_n = 2,99 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 6,72 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,19 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 9,90 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 2,99 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 6,72 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,19 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 9,90 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:															
$Q_k = 4,78 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig															
$Q_v = 6,72 \text{ N/mm}^1$																
$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$																
$\Sigma = 11,59 \text{ N/mm}^1$																
Situatie na 2 jaar	Conclusie:															
$Q_n = 2,99 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig															
$Q_v = 6,72 \text{ N/mm}^1$																
$Q_d = 0,19 \text{ N/mm}^1 +$																
$\Sigma = 9,90 \text{ N/mm}^1$																
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 $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (4,78 + 6,72) \cdot 94,30$ $M_q = 193,06 \text{ Nmm/mm}^1$ Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{\pi} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,95 \cdot (193,06 + 1,03) / 21,66 = 8,53 \text{ N/mm}^2$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,09 \cdot 94,30$ $M_{qd} = 1,03 \text{ Nmm/mm}^1$														
		29-03-2017 14:19:56														

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (2,99 + 6,72) \cdot 94,30$$

$$M_q = 162,98 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,19 \cdot 94,30$$

$$M_{qd} = 2,18 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,95 \cdot (162,98 + 2,18) / 21,66 = 7,26 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,00152 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{825 \cdot 0,011}{11,4}} = 0,03 \text{ N/mm}^2$$

17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,00152 \cdot (20 + 1,5 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{825 \cdot 0,011}{11,4}} = 0,06 \text{ N/mm}^2$$

18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10,0 \cdot 0,00016 \cdot 825 = 1,32 \text{ N/mm}^2$$

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

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 825 \cdot \frac{123,46}{188,6^3} = 0,02 \text{ N/mm}^2 = 15,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Minimaal vereiste ringstijfheid} = 2 \text{ kN/m}^2$$

21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdrukVeiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 825,00 \cdot 123,46}{188,60^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 300,00 \cdot 123,46}{188,60^3} = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **5,26 m** grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,99 + 6,72) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (2,99 + 6,72) + 0,048 \cdot 0,19) \cdot 94,30^3}{300 \cdot 123,46} = 7,01 \text{ mm } (= 3,72\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,95 \cdot 188,60 = 14,33 \text{ mm}$$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,53 = 5,55 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,03 + 1,32 = 1,34 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \sigma_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,95 = 6,08 \text{ N/mm}^2$$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 7,26 = 4,72 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 0,06 + 1,32 = 1,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \sigma_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,95 = 6,08 \text{ N/mm}^2$$