

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Sterkteberekening Insteekhaven Wanssum			
Projectonderdeel : Waterleiding GY100			
Importantiefactor S : 0,8			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	Nodulair gietijzer		
Kwaliteit:	NEN-EN 545		
Minimum waarde treksterkte	R_m	= 420	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 2,5	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 168,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	= 170000	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 1,2·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel	$\alpha_{\sigma, \tan}$	= 0,556	-
Alfa Axiaal	$\alpha_{\sigma, ax}$	= 0,77	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 3	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D_e	= 118,00	mm
Wanddikte	d_n	= 4,8	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,4	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,25	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f_v	= 5	mm
Zettingsverschil	f_z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f_m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 1,4	m
2018-002		08-05-2019 12:39:53	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 108,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 118,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 59,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 54,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 2.739.179,95	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 46.426,78	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 9,22	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 3,84	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{400.000}{1.000 \cdot 9,81} = 40,77 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 40,77^3 \cdot 0,11^5 = 1,01 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{40,77^3 \cdot 0,11^5} = 8,01 \text{ m}$ <p>Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 1,40 + 8,01 = 13,61 \text{ m}$</p>			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 113,20/4,80 = 23,58 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$ $\sigma_p = \frac{0,4 \cdot 113,2}{2 \cdot 4,8} = 4,72 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,72 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,28 \cdot 4,72 = 1,32 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,80 = 134,40 \text{ N/mm}^2$</p>			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 56,6^3 \cdot 0,102}{170000 \cdot 9,22}) = 0,99$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,25 = 24,75 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 24,75 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 2,92 \text{ N/mm}^1$			
2018-002			08-05-2019 12:39:53

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 24,75 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,25}{0,118} \right) = 103,40 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 103,40 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 12,20 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,118}{10^{0,5} \cdot \sqrt{1,25/0,118}} = 0,0023 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 24,75 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,118}{0,0023} \cdot (103,40 - 24,75)}{1 + \frac{103,40 - 24,75}{0,0023 \cdot 0,0220 \cdot 10^6}} = 182,91 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 182,91 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 21,58 \text{ N/mm}^1$ <p>Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 12,20 \text{ N/mm}^1$</p>		
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		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{118 \cdot 0,025}{4 \cdot 170000 \cdot 2.739.179,95}} = 0,0011 \text{ mm}^{-1}$		
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)		
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0011 \cdot 40.000 = 44,87$ $i = 0,954$ (= 95,4 % inklemming) $B_z = 0,0000200$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,0000200 \cdot 5 \cdot 118 \cdot 0,025 = 0,00030 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$ $Q_d = 0,00030 \cdot 0,0011 \cdot 40.000 \cdot \left(0,954 + \frac{0,954 \cdot 0,0011 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,11 \text{ N/mm}^1$		
2018-002		08-05-2019 12:39:53

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

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

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

$$Q_z = 0,0000200 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 118 \cdot 0,025 = 0,00030 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00030 \cdot 0,0011 \cdot 40.000 \cdot \left(0,954 + \frac{0,954 \cdot 0,0011 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,11 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\phi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \phi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi) = 22,54$$

$$B = D_o = 0,12 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,25 + 0,12 / 2 = 1,31 \text{ m}$$

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

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

$$\gamma'_{\text{gem}} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 19,80 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 879,17 \text{ kN/m}^2 = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,88 \cdot 118,00 = 103,74 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 12,20 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 2,92 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,11 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 12,31 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 3,03 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (12,20 + 0,00) \cdot 56,60$$

$$M_q = 122,93 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,11 \cdot 56,60$$

$$M_{qd} = 0,74 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,99 \cdot (122,93 + 0,74) / 3,84 = \mathbf{31,90 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
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> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (2,92 + 0,00) \cdot 56,60$ $M_q = 29,42 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,11 \cdot 56,60$ $M_{qd} = 0,74 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (29,42 + 0,74) / 3,84 = 7,78 \text{ N/mm}^2$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00514 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,025}{4,8}} = 0,77 \text{ N/mm}^2$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00514 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,025}{4,8}} = 0,77 \text{ N/mm}^2$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,0000115 \cdot 170000 = 19,55 \text{ N/mm}^2$		
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 implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 9,22}{113,20^3} = 18,75 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 9,22}{113,20^3} = 9,38 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 937,56 m grondwater boven de leiding		
2018-002	08-05-2019 12:39:54	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
21. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (2,92 + 0,00) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (2,92 + 0,00) + 0,048 \cdot 0,11) \cdot 56,60^3}{170000 \cdot 9,22} = \mathbf{0,02 \text{ mm}} (= 0,016\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 3% · importantiefactor S · D_g = 0,03 · 0,8 · 113,20 = 2,72 mm</p>		
22. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma, \tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 31,90 = \mathbf{17,74 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma, ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,32 + 0,77 \cdot 0,77 + 19,55 = \mathbf{21,46 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,80 = \mathbf{134,40 \text{ N/mm}^2}$</p>		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma, \tan} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot 7,78 = \mathbf{4,33 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma, ax} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 1,32 + 0,77 \cdot 0,77 + 19,55 = \mathbf{21,46 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,80 = \mathbf{134,40 \text{ N/mm}^2}$</p>		
2018-002	08-05-2019 12:39:54	