

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : AL2980 - Aanleg waterleiding Brugstraat Wanssum Projectonderdeel : NGIJ DN200 Natural C40 - Zinker Groote Molenbeek Importantiefactor S : 0,85			
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	= $1,2 \cdot 10^{-5}$	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	= 222,00	mm
Wanddikte	d_n	= 5,4	mm
Wanddikte bocht	t	= 5,4	mm
Bochtstraal	R	= 222,00	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p_d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Zinkerconstructie			
Lengte gebaggerde zinkersleuf	L	= 15	m
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f_v	= 45,0	mm
Zettingsverschil	f_z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f_m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		21-09-2018 10:53:56	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 10		MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,022		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,025		N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek ½ x II:		½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			21-09-2018 10:53:56	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 211,20	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 216,60	mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 222,00	mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 111,00	mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 105,60	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 108,30	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 21.562.487,02	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 194.256,64	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 13,12	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 4,86	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn. H is de druk in meters vloeistofkolom. Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,21^5 = 12,02 \text{ m}^8$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,21^5} = 10,92 \text{ m}$ Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 5,46 \text{ m}$ Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 10,92 \text{ m}$ Indien er sprake is van niet-trekvaste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 21,83 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 0,00 + 5,46 = 5,46 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 0,00 + 10,92 = 10,92 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 0,00 + 21,83 = 21,83 \text{ m}$				
				21-09-2018 10:53:56

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk		
$D_g/d_n = 216,60/5,40 = 40,11 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow$ Dunwandige leiding $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$ $\sigma_p = \frac{0,3 \cdot 216,6}{2 \cdot 5,4} = 6,02 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bi)} = \frac{2 \cdot 222 - 0,5 \cdot 222}{2 \cdot 222 - 222} \cdot 6,02 = 9,03 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$ $\sigma_{p(bu)} = \frac{2 \cdot 222 + 0,5 \cdot 222}{2 \cdot 222 + 222} \cdot 6,02 = 5,01 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_{p(bi)} = 9,03 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,28 \cdot 9,03 = 2,53 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = \mathbf{142,80 \text{ N/mm}^2}$		
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}		
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 108,3^3 \cdot 0,102}{170000 \cdot 13,12}) = 0,97$		
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1 = 19,80 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 19,80 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 4,40 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot (1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o})$ $q_p = 19,80 \cdot (1 + 0,3 \cdot \frac{1}{0,222}) = 46,56 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 46,56 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 10,34 \text{ N/mm}^1$		
		21-09-2018 10:53:56

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,222}{10^{0,5} \cdot \sqrt{1/0,222}} = 0,0066 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 19,80 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,222}{0,0066} \cdot (46,56 - 19,80)}{1 + \frac{46,56 - 19,80}{0,0066 \cdot 0,0220 \cdot 10^6}} = 34,97 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 34,97 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 7,76 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek ½ x II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 19,19 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 19,19 \cdot 10^{-3} \cdot 222 = 4,26 \text{ N/mm}^1$		
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{222 \cdot 0,025}{4 \cdot 170000 \cdot 21.562.487,02}} = 0,00078 \text{ mm}^{-1}$		
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)		
$\lambda \cdot L = 0,00078 \cdot 15.000 = 11,77$ $i = 0,818 \text{ (= 81,8 \% inklemming)}$ $A_z = 0,0889 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$ $Q_d = A_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_d = 0,0889 \cdot 45,0 \cdot 222 \cdot 0,025 = 22,19 \text{ N/mm}^1$		
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)		
$Q_d = A_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_d = 0,0889 \cdot (45,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 222 \cdot 0,025 = 22,19 \text{ N/mm}^1$		
		21-09-2018 10:53:56

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

Sigma 2018 1.5 ©

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

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

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

$$B = D_o = 0,22 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,22 / 2 = 1,11 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,37$$

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

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

$$P_{we} = 715,03 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,72 \cdot 222,00 = 158,74 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 7,76 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 4,40 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 4,26 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,26 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 22,19 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 22,19 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 34,22 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 30,85 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (7,76 + 4,26) \cdot 108,30$$

$$M_q = 231,79 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 22,19 \cdot 108,30$$

$$M_{qd} = 293,22 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,97 \cdot (231,79 + 293,22) / 4,86 = 104,39 \text{ N/mm}^2$$

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

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,178 \cdot (4,40 + 4,26) \cdot 108,30$$

$$M_q = 166,87 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 22,19 \cdot 108,30$$

$$M_{qd} = 293,22 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,97 \cdot (166,87 + 293,22) / 4,86 = 91,48 \text{ N/mm}^2$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
16. Berekening van de spanning s_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0466 \cdot 45,0 \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,025}{5,4}} = 58,78 \text{ N/mm}^2$		
17. Berekening van de spanning s_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0466 \cdot (45,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,025}{5,4}} = 58,78 \text{ N/mm}^2$		
18. Berekening van de spanning s_{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		
Berekening van de factoren i_x, i_{xp}, i_y en i_{yp} van de bocht: $r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 108,30 \text{ mm}$ $h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{5,4 \cdot 222}{108,3^2} = 0,10$ $k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{0,10} = 16,14$ $i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{0,10^{(2/3)}} = 4,12$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$ $c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,3/170000) \cdot (108,30/5,4)^{(5/2)} \cdot (222,00/108,3)^{(2/3)} = 1,02$ $i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{4,12}{1,02} = 4,05$ $i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 4,12 = 8,23$ $i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 4,05 = 8,10$		
20. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot l_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 13,12}{216,60^3} = 3,81 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,28^2)} \cdot \frac{24 \cdot 170.000,00 \cdot 13,12}{216,60^3} = 1,91 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 190,56 m grondwater boven de leiding		
		21-09-2018 10:53:56

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
21. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (4,40 + 4,26) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (4,40 + 4,26) + 0,048 \cdot 22,19) \cdot 108,30^3}{170000 \cdot 13,12} = \mathbf{0,86 \text{ mm}} (= 0,40\%)$ Toelaatbare deflectie = 3% · importantiefactor S · D_g = 0,03 · 0,85 · 216,60 = 5,52 mm		
22. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma,\tan} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot (104,39 + 8,10 \cdot 58,78) = \mathbf{322,71 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma,ax} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,53 + 0,77 \cdot 4,05 \cdot 58,78 + 19,55 = \mathbf{205,35 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = \mathbf{142,80 \text{ N/mm}^2}$		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma,\tan} \cdot (\sigma_q + i_{yp} \cdot \sigma_{bx})$ $\sigma_{y2} = 0,556 \cdot (91,48 + 8,10 \cdot 58,78) = \mathbf{315,53 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma,ax} \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,53 + 0,77 \cdot 4,05 \cdot 58,78 + 19,55 = \mathbf{205,35 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 168,00 \cdot 0,85 = \mathbf{142,80 \text{ N/mm}^2}$		
		21-09-2018 10:53:56