

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©
Algemene gegevens		
Naam van het project : Middengebied Don Bosco – 100GN Projectonderdeel : 17-16 Importantiefactor S : 0,85		
Materiaalgegevens		
Materiaal soort:	Nodulair gietijzer	
Kwaliteit:	NEN-EN 545	
Minimum waarde treksterkte	R_m	= 270 N/mm ²
Materiaalfactor	γ_m	= 2,5 -
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 108,00 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	= 170000 N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= $1,2 \cdot 10^{-5}$ mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel	$\alpha_{\sigma,lan}$	= 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	= 0,3 N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000 kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10 °
Aanleggegevens		
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk		
Zettingsslengte	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	= 5,0 mm
Zettingsverschil	f_z	= 0 mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02 %
Marstonfactor	f_m	= 0,3 -
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone		
Waterstaatswerk: Verheeld		
		09-02-2017 15:06:08

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.4 ©
Grondmechanische gegevens		
Grondsoort	= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	$\gamma_d = 18$	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	$\phi = 32,5$	°
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	$k_{v,min} = 0,004$	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem} = 0,045$	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk		
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$	
Verkeersbelasting		
Grafiek 1:	Fatigue Load Model 3	
Rekenen met ontlastende invloed wegdek:	Tweelagen structuur	
Dikte deklaag	$H_1 = 200$	mm
Elast. mod. deklaag	$E_1 = 500$	MPa
Elast. mod. ondergrond	$E_3 = 100$	MPa

09-02-2017 15:06:08

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2016 1.4 ©
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			
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: $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,11^5 = 0,43 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,11^5} = 7,19 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 7,19 = 7,19 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 113,20/4,80 = 23,58 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$ $\sigma_p = \frac{0,3 \cdot 113,2}{2 \cdot 4,8} = 3,54 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 3,54 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,28 \cdot 3,54 = 0,99 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 108,00 \cdot 0,85 = 91,80 \text{ N/mm}^2$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 56,6^3 \cdot 0,102}{170000 \cdot 9,22}) = 0,99$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,8 = 15,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 15,84 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 1,87 \text{ N/mm}^1$			
			09-02-2017 15:06:08

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

Sigma 2016 1.4 ©

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$q_p = 15,84 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,118}\right) = 48,06 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 48,06 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 5,67 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$Z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$Z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,118}{10^{0,5} \cdot \sqrt{0,8/0,118}} = 0,0029 \text{ m}$$

$$\frac{\mu \cdot D_o}{Z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)$$

$$q_k = q_n + \frac{1 + \frac{q_p - q_n}{Z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}{1 + \frac{0,02 \cdot 0,118}{0,0029} \cdot (48,06 - 15,84)}$$

$$q_k = 15,84 + \frac{1 + \frac{48,06 - 15,84}{0,0029 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}}{1 + \frac{0,02 \cdot 0,118}{0,0029} \cdot (48,06 - 15,84)} = 22,80 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 22,80 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 2,69 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$H_{\text{req}} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 200 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{100}} = 307,80 \text{ mm}$$

Fictieve dekkingshoogte: $H_{\text{eq}} = H_{\text{req}} + H - H_1$

$$H_{\text{eq}} = 307,80 + 800,0 - 200 = 907,80 \text{ mm} = 0,91 \text{ m}$$

Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 61,52 \text{ kN/m}^2$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 61,52 \cdot 10^{-3} \cdot 118 = 7,26 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{118 \cdot 0,045}{4 \cdot 170000 \cdot 2.739.179,95}} = 0,0013 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0013 \cdot 40.000 = 51,98$$

 $i = 0,961$ (= 96,1 % inklemming) $B_z = 0,0000114$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,0000114 \cdot 5,0 \cdot 118 \cdot 0,045 = 0,00030 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00030 \cdot 0,0013 \cdot 40.000 \cdot \left(0,961 + \frac{0,961 \cdot 0,0013 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,15 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,0000114 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot 118 \cdot 0,045 = 0,00030 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00030 \cdot 0,0013 \cdot 40.000 \cdot \left(0,961 + \frac{0,961 \cdot 0,0013 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,15 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

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

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

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

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,12 / 2 = 0,86 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,39$$

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

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

$$P_{we} = 566,36 \text{ kN/m}^2 = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,57 \cdot 118,00 = 66,83 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:
$Q_k = 2,69 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 7,26 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 0,15 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 10,10 \text{ N/mm}^1$	

Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_n = 1,87 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 7,26 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 0,15 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 9,27 \text{ N/mm}^1$	

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

Moment t.g.v. Q_d

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (2,69 + 7,26) \cdot 56,60$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,15 \cdot 56,60$$

$$M_g = 100,24 \text{ Nm/mm/mm}^1$$

$$M_{\text{od}} = 1,01 \text{ Nm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,99 \cdot (100,24 + 1,01) / 3,84 = 26,18 \text{ N/mm}^2$$

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

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{\text{gd}} = K_{\text{bind}} \cdot Q_{\text{d}} \cdot r_{\text{g}}$$

$$M_q = 0,178 \cdot (1,87 + 7,26) \cdot 56,60$$

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,15 \cdot 56,60$$

$$M_g = 91,97 \text{ Nmm/mm}^1$$

$$M_{\text{gd}} = 1,01 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,99 \cdot (91,97 + 1,01) / 3,84 = \mathbf{24,04 \text{ N/mm}^2}$$

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

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot K_{vgem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{Dx} = 0,00394 \cdot 5,0 \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,045}{4,8}} = \mathbf{0,79 \text{ N/mm}^2}$$

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

$$\sigma_{\text{bx}} = C_z \cdot (f_v + 1.5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{\text{vgem}}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,00394 \cdot (5,0 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{170000 \cdot 0,045}{48}} = \mathbf{0,79 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,0000115 \cdot 170000 = \mathbf{19,55 \text{ N/mm}^2}$$

19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht

Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:

$$i_x = 1, i_y = 0, i_p = 1, i_{\bar{p}} = 0$$

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©

Sigma 2016 1.4 ©