

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis DR74 te Neer			
Projectonderdeel : Sterkteberekening LD gasleiding HDPE ø63 sdr11			
Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
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	= 63,00	mm
Wanddikte	d _n	= 5,8	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,01	N/mm²
Temperatuurverschil	Δt	= 0	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 0,0	mm
Zettingsverschil	f _z	= 10	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 1	m
Enexis		15-05-2020 15:17:54	

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	= 20	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 40	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 20	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
Rekenen met horizontale steundruk			
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Verkeersbelasting			
Grafiek I:		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	= 200	MPa
Enexis		15-05-2020 15:17:55	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 51,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 57,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 63,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 31,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 25,70	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 28,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 430.644,04	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 13.671,24	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 16,26	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 5,61	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,05^2)^3}{(1,6 \cdot 0,05 + 1,0)^2} = 0,000000058$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,000000058} = 0,04 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 1,00 + 0,04 = 4,04 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 57,20/5,80 = 9,86 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{31,50^2 + 25,70^2}{31,50^2 - 25,70^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 28,6^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 16,26}) = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 20 \cdot 1,0 = 22,00 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 22,00 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 1,39 \text{ N/mm}^1$			
Enexis			15-05-2020 15:17:55

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

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

$$q_p = 22,00 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,0}{0,063} \right) = 126,76 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 126,76 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 7,99 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

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

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,063}{20^{0,5} \cdot \sqrt{1,0/0,063}} = 0,00071 \text{ m}$$

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

$$q_k = 22,00 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,063}{0,00071} \cdot (126,76 - 22,00)}{1 + \frac{126,76 - 22,00}{0,00071 \cdot 0,0220 \cdot 10^6}} = 46,14 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 46,14 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 2,91 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$H_{1eq} = 0,9 \cdot H_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} = 0,9 \cdot 200 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{200}} = 244,30 \text{ mm}$$

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

$$H_{eq} = 244,30 + 1000,0 - 200 = 1.044,30 \text{ mm} = 1,04 \text{ m}$$

Gelet op de fictieve dekkingshoogte volgt: $q_v = 51,32 \text{ kN/m}^2$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 51,32 \cdot 10^{-3} \cdot 63 = 3,23 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{63 \cdot 0,025}{4 \cdot 975 \cdot 430.644,04}} = 0,0055 \text{ mm}^{-1}$$

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

Sigma 2018 1.5 ©

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

Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0055 \cdot 40.000 = 221,35$$

 $i = 0,991$ (= 99,1 % inklemming)

 $B_z = 0,0000000386$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,0000000386 \cdot 0,0 \cdot 63 \cdot 0,025 = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00 \cdot 0,0055 \cdot 40.000 \cdot \left(0,991 + \frac{0,991 \cdot 0,0055 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

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

$$Q_z = 0,0000000386 \cdot (0,0 + 1,5 \cdot 10) \cdot 63 \cdot 0,025 = 0,000000091 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,000000091 \cdot 0,0055 \cdot 40.000 \cdot \left(0,991 + \frac{0,991 \cdot 0,0055 \cdot 40.000}{6} \right) = 0,01 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 64,20$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 79,54$$

$$B = D_o = 0,06 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,06 / 2 = 1,03 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,32$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 22,00 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 1.939,85 \text{ kN/m}^2 = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 1,94 \cdot 63,00 = 122,21 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 2,91 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 1,39 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 3,23 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 3,23 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,01 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 6,14 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 4,63 \text{ N/mm}^1$	

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

Sigma 2018 1.5 ©

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

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (2,91 + 3,23) \cdot 28,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin(40^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (2,91 + 3,23) \cdot 28,60$$

$$M_q = 23,49 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 28,60$$

$$M_{qd} = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (23,49 + 0,00) / 5,61 = \mathbf{4,18 \text{ N/mm}^2}$$

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

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,178 \cdot (1,39 + 3,23) \cdot 28,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin(40^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (1,39 + 3,23) \cdot 28,60$$

$$M_q = 17,67 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,01 \cdot 28,60$$

$$M_{qd} = 0,03 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (17,67 + 0,03) / 5,61 = \mathbf{3,15 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,000249 \cdot 0,0 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{5,8}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,000249 \cdot (0,0 + 1,5 \cdot 10) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{5,8}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 0 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{16,26}{57,2^3} = 0,0847 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{84,71 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 1,61 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 28,96 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,39 + 3,23) - 0,083 \cdot (1 - \sin(40^\circ)) \cdot (1,39 + 3,23) + 0,048 \cdot 0,01) \cdot 28,60^3}{350 \cdot 16,26} = \mathbf{1,13 \text{ mm}} (= 1,97\%)$ Toelaatbare deflectie = $8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 57,20 = \mathbf{3,43 \text{ mm}}$		
Enexis	15-05-2020 15:17:55	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,18 = \mathbf{2,71 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,00 + 0,00 = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$		
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,15 = \mathbf{2,05 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,01 + 0,00 = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$		
Enexis		15-05-2020 15:17:55