

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Enexis Veerweg Broekhuizen Projectonderdeel : Gasleiding LD 100mbar Importantiefactor S : 0,85			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	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	= 18,2	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,01	N/mm ²
Temperatuurverschil	Δt	= 5	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,9	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15	mm
Zettingsverschil	f _z	= 15	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,075	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
2018-001			11-03-2019 10:30:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort		= Klei		
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³	
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5	°	
Effectieve cohesie	c'	= 9	kN/m ²	
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 75	kN/m ²	
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 1,5	MN/m ²	
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,0085	N/mm ³	
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,013	N/mm ³	
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
2018-001			11-03-2019 10:30:38	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 163,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 181,80	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	$r_i = D_i / 2$	= 81,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 90,90	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 43.375.425,69	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 433.754,26	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 502,38	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 55,21	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,16^2)^3}{(1,6 \cdot 0,16 + 0,9)^2} = 0,000052$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,000052} = 0,14 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,14 = 0,14 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 181,80/18,20 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 81,80^2}{100,00^2 - 81,80^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 90,9^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 502,38}) = 1,00$			
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n			
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,9 = 17,82 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 17,82 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 3,56 \text{ N/mm}^1$			
2018-001			11-03-2019 10:30:38

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 17,82 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,9}{0,2}\right) = 41,88 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 41,88 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 8,38 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,2}{1,5^{1,5} \cdot \sqrt{0,9/0,2}} = 0,013 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 17,82 + \frac{\frac{0,075 \cdot 0,2}{0,013} \cdot (41,88 - 17,82)}{1 + \frac{41,88 - 17,82}{0,013 \cdot 0,0085 \cdot 10^6}} = 40,86 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 40,86 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 8,17 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 45,38 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 45,38 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 9,08 \text{ N/mm}^1$		
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,013}{4 \cdot 975 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0020 \text{ mm}^{-1}$		
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)		
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0020 \cdot 40.000 = 79,20$ $i = 0,974$ (= 97,4 % inklemming) $B_z = 0,00000221$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,00000221 \cdot 15 \cdot 200 \cdot 0,013 = 0,000086 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,000086 \cdot 0,0020 \cdot 40.000 \cdot \left(0,974 + \frac{0,974 \cdot 0,0020 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,09 \text{ N/mm}^1$		
2018-001	11-03-2019 10:30:38	

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)															
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000221 \cdot (15 + 1,5 \cdot 15) \cdot 200 \cdot 0,013 = 0,00022 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,00022 \cdot 0,0020 \cdot 40.000 \cdot (0,974 + \frac{0,974 \cdot 0,0020 \cdot 40.000}{6}) = 0,24 \text{ N/mm}^1$															
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen															
Berekening evenwichtsdraagvermogen															
$B = D_o = 0,20 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,90 + 0,20 / 2 = 1,00 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,00/0,20) = 0,55$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 75 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,55)$ $P_{we} = 514,40 \text{ kN/m}^2 = 0,51 \text{ N/mm}^2$ $P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,51 \cdot 200,00 = 102,88 \text{ N/mm}^1$															
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen															
<table><tr><td>Situatie 1^e en 2^e jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_k = 8,17 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 9,08 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 17,34 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>	Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 8,17 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 9,08 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 17,34 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_n = 3,56 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 9,08 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,24 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 12,88 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 3,56 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 9,08 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,24 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 12,88 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:														
$Q_k = 8,17 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig														
$Q_v = 9,08 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 0,09 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 17,34 \text{ N/mm}^1$															
Situatie na 2 jaar	Conclusie:														
$Q_n = 3,56 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig														
$Q_v = 9,08 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 0,24 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 12,88 \text{ N/mm}^1$															
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													
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (8,17 + 9,08) \cdot 90,90$ $M_q = 279,09 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,09 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 1,05 \text{ Nmm/mm}^1$													
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}															
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (279,09 + 1,05) / 55,21 = 5,06 \text{ N/mm}^2$															
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													
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (3,56 + 9,08) \cdot 90,90$ $M_q = 204,52 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,24 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 2,62 \text{ Nmm/mm}^1$													
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}															
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (204,52 + 2,62) / 55,21 = 3,74 \text{ N/mm}^2$															
2018-001		11-03-2019 10:30:38													

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00180 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,013}{18,2}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00180 \cdot (15 + 1,5 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,013}{18,2}} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 5 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{0,78 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 27,87 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (3,56 + 9,08) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (3,56 + 9,08) + 0,048 \cdot 0,24) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38} = \mathbf{1,72 \text{ mm} (= 0,95\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 181,80 = \mathbf{12,36 \text{ mm}}$		
2018-001		11-03-2019 10:30:38

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 $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 5,06 = \mathbf{3,29 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,02 + 0,78 = \mathbf{0,81 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$		
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,74 = \mathbf{2,43 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,06 + 0,78 = \mathbf{0,84 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$		
2018-001	11-03-2019 10:30:38	