

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : Amsterdamseweg Amstelveen Projectonderdeel : Hoofdnet gas Importantiefactor S : 0,85			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 17,6		
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	= 11,4	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Ontwerpdruk	p _d	= 0,003	N/mm ²
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	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	= 15	mm
Zettingsverschil	f _z	= 15	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,05	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen		31-07-2019 19:28:01	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2012 3.0 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 19		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5		°
Effectieve cohesie	c'	= 13		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 100		kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 2		MN/m ²
Minimale verticale beddingsconstante	$k_{v,min}$	= 0,004		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingsconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006		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				
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen			31-07-2019 19:28:01	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012				Sigma 2012 3.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding				
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 177,20	mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 188,60	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	$r_i = D_i / 2$	= 88,60	mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 94,30	mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 30.142.111,24	mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 301.421,11	mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46	mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66	mm ³ /mm ¹	
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan				
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.				
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,03} \cdot 8 \cdot 0,18^2)^3}{(1,6 \cdot 0,18 + 0,8)^2} = 0,0000074$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{0,0000074} = 0,10 \text{ m}$ Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 0,00 + 0,10 = 0,10 \text{ m}$				
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk				
$D_g/d_n = 188,60/11,40 = 16,54 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 88,60^2}{100,00^2 - 88,60^2} \cdot 0,003 = 0,02 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,02 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,003 \cdot 94,3^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 123,46}) = 1,00$				
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n				
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 19 \cdot 0,8 = 16,72 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 16,72 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 3,34 \text{ N/mm}^1$				
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen				31-07-2019 19:28:01

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o}\right)$ $q_p = 16,72 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,8}{0,2}\right) = 36,78 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 36,78 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 7,36 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,2}{2^{1,5} \cdot \sqrt{0,8/0,2}} = 0,0088 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 16,72 + \frac{\frac{0,05 \cdot 0,2}{0,0088} \cdot (36,78 - 16,72)}{1 + \frac{36,78 - 16,72}{0,0088 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 31,20 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 31,20 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 6,24 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek ½ x II NEN 3650-1:C.17		
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 27,19 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 27,19 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 5,44 \text{ N/mm}^1$		
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ		
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,\text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 30.142.111,24}} = 0,0018 \text{ mm}^{-1}$		
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)		
Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0018 \cdot 40.000 = 71,50$ $i = 0,972$ (= 97,2 % inklemming) $B_z = 0,00000330$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 4) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$ $Q_z = 0,00000330 \cdot 15 \cdot 200 \cdot 0,006 = 0,000059 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,000059 \cdot 0,0018 \cdot 40.000 \cdot \left(0,972 + \frac{0,972 \cdot 0,0018 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,05 \text{ N/mm}^1$		
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen		31-07-2019 19:28:01

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©													
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)															
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000330 \cdot (15 + 1,5 \cdot 15) \cdot 200 \cdot 0,006 = 0,00015 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,00015 \cdot 0,0018 \cdot 40.000 \cdot (0,972 + \frac{0,972 \cdot 0,0018 \cdot 40.000}{6}) = 0,13 \text{ N/mm}^1$															
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen															
Berekening evenwichtsdraagvermogen															
$B = D_o = 0,20 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 0,80 + 0,20 / 2 = 0,90 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(0,90/0,20) = 0,54$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 100 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,54)$ $P_{we} = 682,15 \text{ kN/m}^2 = 0,68 \text{ N/mm}^2$ $P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,68 \cdot 200,00 = 136,43 \text{ N/mm}^1$															
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen															
<table><tr><td>Situatie 1^e en 2^e jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_k = 6,24 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 5,44 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 11,73 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>	Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 6,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 5,44 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 11,73 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_n = 3,34 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 5,44 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,13 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 8,91 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>	Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 3,34 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 5,44 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,13 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 8,91 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:														
$Q_k = 6,24 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig														
$Q_v = 5,44 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 0,05 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 11,73 \text{ N/mm}^1$															
Situatie na 2 jaar	Conclusie:														
$Q_n = 3,34 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig														
$Q_v = 5,44 \text{ N/mm}^1$															
$Q_d = 0,13 \text{ N/mm}^1 +$															
$\Sigma = 8,91 \text{ N/mm}^1$															
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													
$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (6,24 + 5,44) \cdot 94,30$ $M_q = 196,01 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,05 \cdot 94,30$ $M_{qd} = 0,61 \text{ Nmm/mm}^1$													
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}															
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (196,01 + 0,61) / 21,66 = 9,04 \text{ N/mm}^2$															
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													
$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (3,34 + 5,44) \cdot 94,30$ $M_q = 147,40 \text{ Nmm/mm}^1$		$M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,13 \cdot 94,30$ $M_{qd} = 1,53 \text{ Nmm/mm}^1$													
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}															
$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 1,00 \cdot (147,40 + 1,53) / 21,66 = 6,85 \text{ N/mm}^2$															
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen		31-07-2019 19:28:01													

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00218 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,02 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00218 \cdot (15 + 1,5 \cdot 15) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{188,6^3} = 0,02 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{17,94 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 0,5 kN/m²		
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{188,60^3} = 0,34 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{188,60^3} = 0,06 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 6,13 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (3,34 + 5,44) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (3,34 + 5,44) + 0,048 \cdot 0,13) \cdot 94,30^3}{350 \cdot 123,46} = \mathbf{5,40 \text{ mm} (= 2,86\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 188,60 = \mathbf{12,82 \text{ mm}}$		
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen		31-07-2019 19:28:02

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2012 3.0 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 9,04 = \mathbf{5,88 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,02 + 1,56 = \mathbf{1,58 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 6,85 = \mathbf{4,45 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,65 \cdot 0,06 + 1,56 = \mathbf{1,60 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$		
Vervangen gasnet Amsterdamseweg 258-380 te Amstelveen		31-07-2019 19:28:02