

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: M17700 30201227 NKL KL-007 EG MAASST-RIJKSWN BELFELD		
Projectonderdeel	: Te leggen aansluitleiding gas Ø25 PE80 SDR17,6		
Importatiefactor S	: 0,75		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 80 SDR 17,6		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 8	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 6,40	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 825	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 300	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 25,00	mm
Wanddikte	d _n	= 2,3	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,01	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ_{omg}	= 0,833	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Expansie constante	κ	= 1,33	
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 0,6	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 4,9	m
		14-01-2025 12:31:08	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.0 ©	
Grondmechanische gegevens			
Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,94	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 35	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,04	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,045	N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 75	MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Vochtgehalte	w	= 5	%
Beschrijving van de sondering		CPT000000152625	
Verkeersbelasting			
Grafiek ½ x II:		½ · Fatigue Load Model 2, Lorry 4	
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek			
		14-01-2025 12:31:08	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2025 1.0 ©	
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 20,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 22,70	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 25,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 12,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 10,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 11,35	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 10.673,36	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 853,87	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 1,01	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 0,88	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10 \cdot 8 \cdot 0,022})^3}{(1,6 \cdot 0,02 + 0,6)^2} = 0,00000000066$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$p_d = 0,01 \text{ N/mm}^2 = 10.000 \text{ Pa}$			
$p_{omg} = 0,1 \text{ N/mm}^2 = 100.000 \text{ Pa}$			
$p_0 = p_d + p_{omg} = 10.000 + 100.000 = 110.000 \text{ Pa}$ (absolute druk)			
$p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = 110.000 \cdot \left(\frac{2}{1,33 + 1} \right)^{\frac{1,33}{1,33 - 1}} = 59.440 \text{ Pa}$			
$p^* \leq p_{omg} \rightarrow u^* = 0 \text{ m/s}$			
$l = 0 \text{ N}$			
$G_B = 0 \text{ m}$			
$D_k = 0 \text{ m}$			
Opmerking: De formule voor de kritische uitstroomsnelheid u^* is geldig zolang de absolute druk in de leiding groter is dan 1,85x de omgevingsdruk, dus bij een ontwerpdruk groter dan 0,85 bar. Als de ontwerpdruk kleiner is dan, of gelijk aan 0,85 bar, wordt u^* verwaarloosbaar klein.			
Veiligheidszone = $4 \cdot H_{werk} + G_B = 4 \cdot 4,90 + 0,00 = 19,60 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 22,70/2,30 = 9,87 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding			
$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{12,50^2 + 10,20^2}{12,50^2 - 10,20^2} \cdot 0,01 = 0,05 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,05 \text{ N/mm}^2$			
$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ N/mm}^2$			
Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,75 = 4,80 \text{ N/mm}^2$			

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.0 ©
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}	
$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_v}{E \cdot I_w} \right)$ $f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 11,35^3 \cdot 0,102}{825 \cdot 1,01} \right) = 1,00$	
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18,94 \cdot 0,6 = 12,50 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 12,50 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 0,31 \text{ N/mm}^1$	
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p	
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 12,50 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{0,6}{0,025} \right) = 102,50 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 102,50 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 2,56 \text{ N/mm}^1$	
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(35) = 0,426$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,426}{1 + 0,426} = 0,30$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 75 \cdot (12,50/100)^{0,5} = 26,52 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 26,52 / \frac{1 - 0,30 - 2 \cdot 0,30^2}{1 - 0,30} = 35,59 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,2 \cdot \frac{0,025}{35,59^{0,5} \cdot \sqrt{0,6/0,025}} = 0,00017 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 12,50 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,025}{0,00017} \cdot (102,50 - 12,50)}{1 + \frac{102,50 - 12,50}{0,00017 \cdot 0,0400 \cdot 10^6}} = 31,09 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 31,09 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 0,78 \text{ N/mm}^1$	
	14-01-2025 12:31:08

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.0 ©
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek 1/2 x II NEN 3650-1:C.17	
<p>Niet rekenen met ontlastende invloed</p> $q_v = 41,90 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 41,90 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 1,05 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{25 \cdot 0,045}{4 \cdot 825 \cdot 10.673,36}} = 0,013 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
<p>Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$</p> $\lambda \cdot L = 0,013 \cdot 40.000 = 534,74$ <p>$i = 0,996$ (= 99,6 % inklemming)</p> <p>$B_z = 0,00000000116$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)</p> $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000000116 \cdot 5 \cdot 25 \cdot 0,045 = 0,0000000065 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0000000065 \cdot 0,013 \cdot 40.000 \cdot \left(0,996 + \frac{0,996 \cdot 0,013 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,00000000116 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 25 \cdot 0,045 = 0,0000000065 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,0000000065 \cdot 0,013 \cdot 40.000 \cdot \left(0,996 + \frac{0,996 \cdot 0,013 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
	14-01-2025 12:31:08

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.0 ©
--	------------------

13. Berekening evenwichtsdragvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdragvermogen

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 33,30$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 33,92$$

$$B = D_o = 0,03 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 0,60 + 0,03 / 2 = 0,61 \text{ m}$$

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

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

$$\gamma'_{gem} = (q_n + \gamma \cdot \gamma_d \cdot D_o / 2) / Z = 20,83 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 589,03 \text{ kN/m}^2 = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,59 \cdot 25,00 = 14,73 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdragvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 0,78 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 0,31 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 1,05 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 1,05 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 1,83 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 1,36 \text{ N/mm}^1$	

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

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

$$M_q = 0,177 \cdot (0,78 + 1,05) \cdot 11,35$$

$$M_q = 3,67 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 11,35$$

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

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (3,67 + 0,00) / 0,88 = 4,14 \text{ N/mm}^2$$

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

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,177 \cdot (0,31 + 1,05) \cdot 11,35$$

$$M_q = 2,73 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 11,35$$

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

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (2,73 + 0,00) / 0,88 = 3,09 \text{ N/mm}^2$$

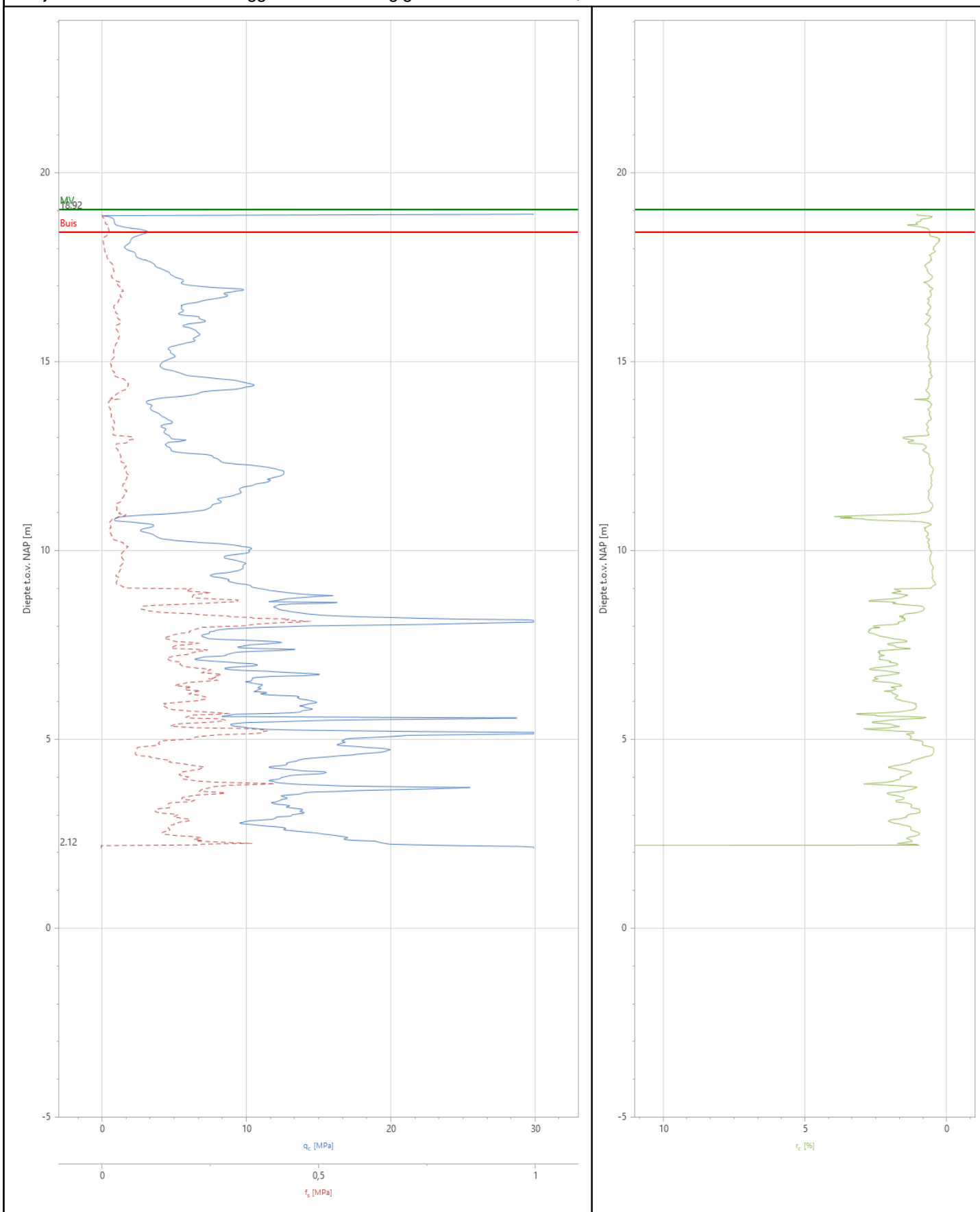
Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.0 ©
16. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0000438 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{825 \cdot 0,045}{2,3}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$	
17. Berekening van de spanning S_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z	
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,0000438 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{825 \cdot 0,045}{2,3}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$	
18. Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil	
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 825 = \mathbf{1,32 \text{ N/mm}^2}$	
19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht of T-stuk	
Aangezien er geen bocht of T-stuk wordt toegepast volgt: $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$	
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N	
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 825 \cdot \frac{1,01}{22,7^3} = 0,0715 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{71,51 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²	
21. Toetsing op implosie (bedrijfsfase): berekening van de alzijdige overdruk	
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 825,00 \cdot 1,01}{22,70^3} = 1,36 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 300,00 \cdot 1,01}{22,70^3} = 0,25 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 24,77 m grondwater boven de leiding	
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie	
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (0,31 + \frac{1}{2} \cdot 1,05) - 0,095 \cdot (1 - \sin(35^\circ)) \cdot (0,31 + \frac{1}{2} \cdot 1,05) + 0,048 \cdot 0,00) \cdot 11,35^3}{300 \cdot 1,01} = \mathbf{0,20 \text{ mm} (= 0,86\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8,00% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 22,70 = \mathbf{1,36 \text{ mm}}$	
	14-01-2025 12:31:08

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2025 1.0 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 4,14 = \mathbf{2,69 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,00 + 1,32 = \mathbf{1,34 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,75 = \mathbf{4,80 \text{ N/mm}^2}$</p>	
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)	
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,09 = \mathbf{2,01 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,02 + 0,65 \cdot 0,00 + 1,32 = \mathbf{1,34 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 6,40 \cdot 0,75 = \mathbf{4,80 \text{ N/mm}^2}$</p>	
	14-01-2025 12:31:08

CPT000000152625

Naam van het project : M17700 30201227 NKL KL-007 EG MAASST-RIJKSWN BELFELD

Projectonderdeel : Te leggen aansluitleiding gas Ø25 PE80 SDR17,6



1.0.2.0/01-2025/10-363282-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl