

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : VS220222 REC HDB WPVC Noordzeedijk Projectonderdeel : Ø110mm PE100 SDR17 t.b.v. lagedruk gas Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 17		
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 Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 6,6	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			
Aangepaste zettingslengte	L	= 12.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1,0	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0,7	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 0,30	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 15	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld	H _{werk}	= 0,25	m
			13-05-2022 13:32:46

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18,2		kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 13,7		kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	φ	= 15		°
Effectieve cohesie	c'	= 2,5		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 20		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,007		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,011		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 0,5		MN/m ²
Niet rekenen met horizontale steundruk				
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1		
Vochtgehalte	w	= 5		%
Verkeersbelasting				
Grafiek II:		Fatigue Load Model 2, Lorry 4		
Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek				
			13-05-2022 13:32:46	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2022 1.1 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 96,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 103,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 48,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 51,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 2.876.943,04	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 52.308,06	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 23,96	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 7,26	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
Voor gasleidingen geldt: Φ moet kleiner dan 600 zijn.			
$\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{0,10} \cdot 8 \cdot 0,10^2)^3}{(1,6 \cdot 0,10 + 1,0)^2} = 0,0000023$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$\rho_0 = \rho_{omg} \cdot \frac{p_0}{10.000} = 0,833 \cdot \frac{1000,00}{10.000} = 0,08 \text{ kg/m}^3$ $u^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{\kappa+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,33}{1,33+1} \cdot \frac{1000,00}{0,083}} = 117,07 \text{ m/s}$ $p^* = p_0 \cdot \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 0,10 \cdot \left(\frac{2}{1,33+1}\right)^{\frac{1,33}{1,33-1}} = 540,36 \text{ kg/m}^2 = 0,054 \text{ bar}$ $\rho^* = \rho_0 \cdot \left(\frac{p^*}{p_0}\right)^{\frac{1}{\kappa}} = 0,083 \cdot \left(\frac{540,36}{1000,00+1}\right)^{\frac{1}{1,33}} = 0,052 \text{ kg/m}^3$ $Q^* = \rho^* \cdot u^* \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 0,052 \cdot 117,07 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,097^2 = 0,045 \text{ kg/s}$ $I = Q^* \cdot u^* + (p^* - p_{omg}) \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 = 0,045 \cdot 117,07 + 0 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 0,097^2 = 5,29 \text{ N}$ $w = 5,00 \% \rightarrow R(w) = 0,025$ $D_k = 40 \cdot R(w) \cdot D_0 + H = 40 \cdot 0,025 \cdot 0,11 + 1,00 = 1,11 \text{ m}$ $G_B = R(w) \cdot \left\{ \frac{g}{D_k^2} \cdot \left(\frac{I}{\rho_{omg} \cdot g}\right)^3 \cdot t^2 \right\}^{0,125} = 0,025 \cdot \left\{ \frac{9,81}{1,11^2} \cdot \left(\frac{5,29}{0,83 \cdot 9,81}\right)^3 \cdot 7.200^2 \right\}^{0,125} = 0,25 \text{ m}$ Bij hogedrukleidingen (druk groter of gelijk aan 1 MPa (10 bar)) zijn deze berekeningen indicatief. $\text{Veiligheidszone} = 4 \cdot H_{werk} + G_B = 4 \cdot 0,25 + 0,25 = 1,25 \text{ m}$			
			13-05-2022 13:32:46

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk	
$D_g/d_n = 103,40/6,60 = 15,67 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding $\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{55,00^2 + 48,40^2}{55,00^2 - 48,40^2} \cdot 0,01 = 0,08 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 0,08 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 0,08 = 0,03 \text{ N/mm}^2$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}	
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 51,7^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 23,96}) = 0,99$	
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n	
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 18,2 \cdot 0,7 + 1,1 \cdot 13,7 \cdot 0,3 - 10 \cdot 0,3 = 15,54 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 15,54 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 1,71 \text{ N/mm}^1$	
	13-05-2022 13:32:46

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{18,2}{1,1} \cdot 0,7 + \frac{13,7}{1,1} \cdot 0,3 - 10 \cdot 0,3 = 12,32 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_{\text{hor}} = 12,32 \cdot (1 - \sin(15)) = 9,13 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$\sigma_o' = \frac{12,32 + 9,13}{2} = 10,72 \text{ kN/m}^2$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$p_f' = 10,72 \cdot (1 + \sin(15)) + 2,5 \cdot \cos(15) = 15,91 \text{ kN/m}^2$$

$$\kappa = 1 - \sin(\varphi)$$

$$\kappa = 1 - \sin(15) = 0,741$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$$

$$\nu = \frac{0,741}{1 + 0,741} = 0,43$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$G = \frac{0,5}{2 \cdot (1 + 0,43)} = 0,11$$

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$Q = \frac{10,72 \cdot \sin(15) + 2,5 \cdot \cos(15)}{0,11 \cdot 10^3} = 0,048$$

$$p_{\text{max}}' = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_0^2}{0,5 \cdot D_0 + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p_{\text{max}}' = (15,91 + 2,5 \cdot \cot(15)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,11^2}{0,5 \cdot 0,11 + 1,0} + 0,05 \right)^{\frac{-\sin 15}{1 + \sin 15}} - 2,5 \cdot \cot(15)$$

$$p_{\text{max}}' = \mathbf{37,19 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p_{\text{max}}' \cdot D_o$$

$$Q_p = 37,19 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 4,09 \text{ N/mm}^1$$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k	
$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8} = 0,5 \cdot (15,54/100)^{0,8} = 0,11 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 0,11 / \frac{1 - 0,43 - 2 \cdot 0,43^2}{1 - 0,43} = 0,31 \text{ MN/m}^2$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\text{max}} = 0,25 \cdot \frac{0,11}{0,31^{1,5} \cdot \sqrt{1,0/0,11}} = 0,054 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\text{max}}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\text{max}} \cdot k_{v, \text{min}}}}$ $q_k = 15,54 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,11}{0,054} \cdot (37,19 - 15,54)}{1 + \frac{37,19 - 15,54}{0,054 \cdot 0,0070 \cdot 10^6}} = 19,71 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 19,71 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 2,17 \text{ N/mm}^1$	
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17	
Niet rekenen met ontlastende invloed $q_v = 38,65 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 38,65 \cdot 10^{-3} \cdot 110,0 = 4,25 \text{ N/mm}^1$	
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ	
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v, \text{gem}}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,0 \cdot 0,011}{4 \cdot 975 \cdot 2.876.943,04}} = 0,0032 \text{ mm}^{-1}$	
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)	
Aangepaste zettingslengte $L = 12.000 \text{ mm}$ $\lambda \cdot L = 0,0032 \cdot 12.000 = 38,67$ $i = 0,947$ (= 94,7 % inklemming) $B_z = 0,0000354$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) $Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$ $Q_z = 0,0000354 \cdot 15 \cdot 110,0 \cdot 0,011 = 0,00064 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$ $Q_d = 0,00064 \cdot 0,0032 \cdot 12.000 \cdot \left(0,947 + \frac{0,947 \cdot 0,0032 \cdot 12.000}{6}\right) = 0,18 \text{ N/mm}^1$	
	13-05-2022 13:32:46

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©															
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																	
$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$ $Q_z = 0,0000354 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot 110,0 \cdot 0,011 = 0,0028 \text{ N/mm}^1$ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,0028 \cdot 0,0032 \cdot 12.000 \cdot (0,947 + \frac{0,947 \cdot 0,0032 \cdot 12.000}{6}) = 0,76 \text{ N/mm}^1$																	
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																	
Berekening evenwichtsdraagvermogen $B = D_o = 0,11 \text{ m}$ $B/L = 0,1$ $Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,11 / 2 = 1,06 \text{ m}$ $S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$ $d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,06/0,11) = 0,59$ $P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$ $P_{we} = 0,85 \cdot 20 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,59)$ $P_{we} = 140,44 \text{ kN/m}^2 = 0,14 \text{ N/mm}^2$ $P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,14 \cdot 110,00 = 15,45 \text{ N/mm}^1$																	
Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen																	
<table><tr><td>Situatie 1^e en 2^e jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_k = 2,17 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,18 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 6,59 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>		Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	$Q_k = 2,17 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,18 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 6,59 \text{ N/mm}^1$	<table><tr><td>Situatie na 2 jaar</td><td>Conclusie:</td></tr><tr><td>$Q_n = 1,71 \text{ N/mm}^1$</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$</td></tr><tr><td>$Q_d = 0,76 \text{ N/mm}^1 +$</td></tr><tr><td>$\Sigma = 6,72 \text{ N/mm}^1$</td></tr></table>		Situatie na 2 jaar	Conclusie:	$Q_n = 1,71 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$	$Q_d = 0,76 \text{ N/mm}^1 +$	$\Sigma = 6,72 \text{ N/mm}^1$
Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:																
$Q_k = 2,17 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig																
$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$																	
$Q_d = 0,18 \text{ N/mm}^1 +$																	
$\Sigma = 6,59 \text{ N/mm}^1$																	
Situatie na 2 jaar	Conclusie:																
$Q_n = 1,71 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig																
$Q_v = 4,25 \text{ N/mm}^1$																	
$Q_d = 0,76 \text{ N/mm}^1 +$																	
$\Sigma = 6,72 \text{ N/mm}^1$																	
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 $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (2,17 + 4,25) \cdot 51,70$ $M_q = 58,75 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,18 \cdot 51,70$ $M_{qd} = 1,11 \text{ Nmm/mm}^1$															
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (58,75 + 1,11) / 7,26 = 8,15 \text{ N/mm}^2$																	
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)																	
Moment t.g.v. Q_n en Q_v $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (1,71 + 4,25) \cdot 51,70$ $M_q = 54,55 \text{ Nmm/mm}^1$		Moment t.g.v. Q_d $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,76 \cdot 51,70$ $M_{qd} = 4,79 \text{ Nmm/mm}^1$															
Spanning t.g.v. M_q en M_{qd} $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,99 \cdot (54,55 + 4,79) / 7,26 = 8,08 \text{ N/mm}^2$																	
		13-05-2022 13:32:46															

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2022 1.1 ©
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00671 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,011}{6,6}} = \mathbf{0,13 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00671 \cdot (15 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,011}{6,6}} = \mathbf{0,56 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{23,96}{103,4^3} = 0,0211 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{21,13 \text{ kN/m}^2}$ 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: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 23,96}{103,40^3} = 0,40 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 23,96}{103,40^3} = 0,07 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 7,22 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,71 + \frac{1}{2} \cdot 4,25) - 0,095 \cdot (1 - \sin(15^\circ)) \cdot (1,71 + \frac{1}{2} \cdot 4,25) + 0,048 \cdot 0,76) \cdot 51,70^3}{350 \cdot 23,96} = \mathbf{1,78 \text{ mm} (= 1,72\%)}$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · D _g = 0,08 · 0,75 · 103,40 = 6,20 mm		
		13-05-2022 13:32:46

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020	Sigma 2022 1.1 ©
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)	
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,15 = \mathbf{5,29 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,03 + 0,65 \cdot 0,13 + 1,56 = \mathbf{1,67 \text{ N/mm}^2}$ 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 $\sigma_{y2} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 8,08 = \mathbf{5,25 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,03 + 0,65 \cdot 0,56 + 1,56 = \mathbf{1,95 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$	
	13-05-2022 13:32:47