

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : WML Hertenerweg Herten Projectonderdeel : Waterleiding PVC ø50 Importantiefactor S : 0,75			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PVC		
Kwaliteit:	PVC-HI		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 18	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 2	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 9,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 2.150	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 1.250	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 6,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,75	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 50,00	mm
Wanddikte	d _n	= 2	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,5	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δ_t	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Evenwijdig aan een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 40.000	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 0,8	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 0,20	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
		08-06-2020 11:11:47	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 1.0 ©
Grondmechanische gegevens		
Grondsoort	= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18 kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20 kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10 kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 27 °
Effectieve cohesie	c'	= 0 kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0 kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,004 N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006 N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk		
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1
Verkeersbelasting		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Geen verkeersbelasting ingevoerd Geen ontlastende invloed </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> Rekenen met ontlastende invloed wegdek: </div>		
		08-06-2020 11:11:47

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 1.0 ©
1. Eigenschappen van de leiding			
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 46,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 48,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 50,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 25,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 23,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 24,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 87.009,55	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 3.480,38	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 0,67	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 0,67	mm ³ /mm ¹
2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan			
<p>Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.</p> <p>H is de druk in meters vloeistofkolom.</p> <p>Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:</p> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{500.000}{1.000 \cdot 9,81} = 50,97 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 50,97^3 \cdot 0,05^5 = 0,027 \text{ m}^8$			
3. Berekening van de veiligheidszone			
$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{50,97^3 \cdot 0,05^5} = 5,10 \text{ m}$ <p>Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 5,10 = 5,10 \text{ m}$</p> $D_K = 1,2 \cdot (D_o + H) = 1,2 \cdot (0,05 + 1) = 1,26 \text{ m}$			
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk			
$D_g/d_n = 48,00/2,00 = 24,00 \rightarrow D_g/d_n > 20 \rightarrow \text{Dunwandige leiding}$ $\sigma_p = \frac{p_d \cdot D_g}{2 \cdot d_n}$ $\sigma_p = \frac{0,5 \cdot 48}{2 \cdot 2} = 6,00 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 6,00 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,37 \cdot 6,00 = 2,22 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 9,00 \cdot 0,75 = 6,75 \text{ N/mm}^2$</p>			
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}			
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 24^3 \cdot 0,102}{2150 \cdot 0,67}) = 0,50$			
			08-06-2020 11:11:48

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 1.0 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 0,8 + 1,1 \cdot 20 \cdot 0,2 - 10 \cdot 0,2 = 18,24 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 18,24 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 0,91 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 18,24 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1}{0,05} \right) = 127,68 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 127,68 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 6,38 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi)$ $\kappa = 1 - \sin(27) = 0,546$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$ $\nu = \frac{0,546}{1 + 0,546} = 0,35$ $E_1 = E_{100} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 35 / \frac{1 - 0,35 - 2 \cdot 0,35^2}{1 - 0,35} = 56,97 \text{ MN/m}^2$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,05}{56,97^{0,5} \cdot \sqrt{1/0,05}} = 0,00030 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$ $q_k = 18,24 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,05}{0,00030} \cdot (127,68 - 18,24)}{1 + \frac{127,68 - 18,24}{0,00030 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 38,03 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 38,03 \cdot 10^{-3} \cdot 50 = 1,90 \text{ N/mm}^1$		
9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Geen NEN 3650-1:C.17		
Geen verkeersbelasting ingevoerd $Q_v = 0 \text{ N/mm}^1$		

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{50 \cdot 0,006}{4 \cdot 2150 \cdot 87.009,55}} = 0,0045 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 40.000 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0045 \cdot 40.000 = 178,99$$

 $i = 0,989$ (= 98,9 % inklemming)

 $B_z = 0,0000000895$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,0000000895 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 0,006 = 0,00000013 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00000013 \cdot 0,0045 \cdot 40.000 \cdot \left(0,989 + \frac{0,989 \cdot 0,0045 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,gem}$$

$$Q_z = 0,0000000895 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot 50 \cdot 0,006 = 0,00000013 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,00000013 \cdot 0,0045 \cdot 40.000 \cdot \left(0,989 + \frac{0,989 \cdot 0,0045 \cdot 40.000}{6}\right) = 0,00 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen
Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 13,20$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 9,32$$

$$B = D_o = 0,05 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,05 / 2 = 1,03 \text{ m}$$

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

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,46$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + (\gamma \cdot \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 18,09 \text{ kN/m}^3$$

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

$$P_{we} = 353,50 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 0,35 \cdot 50,00 = 17,68 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

Situatie 1 ^e en 2 ^e jaar	Conclusie:	Situatie na 2 jaar	Conclusie:
$Q_k = 1,90 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 0,91 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 0,00 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 0,00 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 1,90 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 0,91 \text{ N/mm}^1$	

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 1.0 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (1,90 + 0,00) \cdot 24,00$ $M_q = 8,12 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 24,00$ $M_{qd} = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,50 \cdot (8,12 + 0,00) / 0,67 = \mathbf{6,14 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,178 \cdot (0,91 + 0,00) \cdot 24,00$ $M_q = 3,90 \text{ Nmm/mm}^1$		<i>Moment t.g.v. Q_d</i> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,00 \cdot 24,00$ $M_{qd} = 0,00 \text{ Nmm/mm}^1$
<i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,50 \cdot (3,90 + 0,00) / 0,67 = \mathbf{2,95 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000377 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{2150 \cdot 0,006}{2}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,000377 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{2150 \cdot 0,006}{2}} = \mathbf{0,00 \text{ N/mm}^2}$		
18. Berekening van de spanning σ_{ax} t.g.v. temperatuurverschil		
$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$ $\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00006 \cdot 2150 = \mathbf{1,29 \text{ N/mm}^2}$		
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		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 2150 \cdot \frac{0,67}{48^3} = 0,0130 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{12,96 \text{ kN/m}^2}$ Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²		
		08-06-2020 11:11:48

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 1.0 ©
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$ $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,37^2)} \cdot \frac{24 \cdot 2.150,00 \cdot 0,67}{48,00^3} = 0,24 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,37^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.250,00 \cdot 0,67}{48,00^3} = 0,07 \text{ N/mm}^2$ Conclusie: Kans op implosie bij 6,98 m grondwater boven de leiding		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (0,91 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) - 0,083 \cdot (1 - \sin(27^\circ)) \cdot (0,91 + \frac{1}{2} \cdot 0,00) + 0,048 \cdot 0,00) \cdot 24,00^3}{1250 \cdot 0,67} = \mathbf{0,66 \text{ mm}} (= 1,38\%)$ Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 48,00 = \mathbf{2,88 \text{ mm}}$		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,75 \cdot 6,14 = \mathbf{4,61 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,22 + 0,75 \cdot 0,00 + 1,29 = \mathbf{3,51 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 9,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,75 \text{ N/mm}^2}$		
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,75 \cdot 2,95 = \mathbf{2,21 \text{ N/mm}^2}$ Optredende spanningen in langsrichting van de leiding $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 2,22 + 0,75 \cdot 0,00 + 1,29 = \mathbf{3,51 \text{ N/mm}^2}$ Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 9,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,75 \text{ N/mm}^2}$		
		08-06-2020 11:11:48