



Adviesbureau Schrijvers b.v.

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.1 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: Waterleidingen Hoofdstraat Waalwijk		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening Ø 200 mm PE SDR 11 op basis van NEN 3650:2020		
Importatiefactor 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 Tangentieel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 200,00	mm
Wanddikte	d _n	= 18,2	mm
Geen bocht aanwezig			
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Vloeistof		
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	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	= 1,2	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: Verheeld			
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.		01-07-2021 14:59:54	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2020 2.1 ©	
Grondmechanische gegevens				
Grondsoort			= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18		kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5		°
Effectieve cohesie	c'	= 0		kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0		kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,022		N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,025		N/mm ³
E-modulus ondergrond	E_{100}	= 45		MN/m ²
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				
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.			01-07-2021 14:59:54	



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2020 2.1 ©
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				
<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> $H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$ $H = \frac{300.000}{1.000 \cdot 9,81} = 30,58 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 30,58^3 \cdot 0,16^5 = 3,35 \text{ m}^8$				
3. Berekening van de veiligheidszone				
$R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{H^3 \cdot D_i^5}$ $R_B = 8 \cdot \sqrt[8]{30,58^3 \cdot 0,16^5} = 9,31 \text{ m}$ <p>Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_B = 4 \cdot 0,00 + 9,31 = 9,31 \text{ m}$</p> $D_K = 1,2 \cdot (D_0 + H) = 1,2 \cdot (0,2 + 1,2) = 1,68 \text{ m}$				
4. Berekening van de spanningen s_p en s_{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				
$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$ $\sigma_p = \frac{100,00^2 + 81,80^2}{100,00^2 - 81,80^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,51 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,61 \text{ N/mm}^2$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$</p>				
5. Berekening reroundingfactor f_{rr}				
$f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w})$ $f_{rr} = 1 / (1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 90,9^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 502,38}) = 0,91$				
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.				01-07-2021 14:59:54



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.1 ©
6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n		
$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 1,2 = 23,76 \text{ kN/m}^2$ $Q_n = q_n \cdot D_o$ $Q_n = 23,76 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 4,75 \text{ N/mm}^1$		
7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p		
$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$ $q_p = 23,76 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{1,2}{0,2} \right) = 66,53 \text{ kN/m}^2$ $Q_p = q_p \cdot D_o$ $Q_p = 66,53 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 13,31 \text{ N/mm}^1$		
8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k		
$\kappa = 1 - \sin(\varphi) = 1 - \sin(32,5) = 0,463$ $\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa} = \frac{0,463}{1 + 0,463} = 0,32$ $E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5} = 45 \cdot (23,76/100)^{0,5} = 21,93 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = E_{100, \text{norm}} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$ $E_1 = 21,93 / \frac{1 - 0,32 - 2 \cdot 0,32^2}{1 - 0,32} = 31,01 \text{ MN/m}^2$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$ $z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,2}{31,01^{0,5} \cdot \sqrt{1,2/0,2}} = 0,0029 \text{ m}$ $q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v, \min}}}$ $q_k = 23,76 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,2}{0,0029} \cdot (66,53 - 23,76)}{1 + \frac{66,53 - 23,76}{0,0029 \cdot 0,0220 \cdot 10^6}} = 58,84 \text{ kN/m}^2$ $Q_k = q_k \cdot D_o$ $Q_k = 58,84 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 11,77 \text{ N/mm}^1$		
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> $q_v = 14,37 \text{ kN/m}^2$ $Q_v = q_v \cdot D_o$ $Q_v = 14,37 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 2,87 \text{ N/mm}^1$		
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.		01-07-2021 14:59:54



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.1 ©														
10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I																
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_{v,gem}}{4 \cdot E \cdot I_b}}$ $\lambda = \sqrt[4]{\frac{200 \cdot 0,025}{4 \cdot 975 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$																
11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1 ^e en 2 ^e jaar)																
Zettingslengte L = 40.000 mm $\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 40.000 = 93,27$ i = 0,978 (= 97,8 % inklemming) B _z = 0,00000117 (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5) Q _z = B _z · f _v · D _o · k _{v,gem} Q _z = 0,00000117 · 5 · 200 · 0,025 = 0,000029 N/mm ¹ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,000029 \cdot 0,0023 \cdot 40.000 \cdot (0,978 + \frac{0,978 \cdot 0,0023 \cdot 40.000}{6}) = 0,04 \text{ N/mm}^1$																
12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)																
Q _z = B _z · (f _v + 2,0 · f _z) · D _o · k _{v,gem} Q _z = 0,00000117 · (5 + 2,0 · 0) · 200 · 0,025 = 0,000029 N/mm ¹ $Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot (i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6})$ $Q_d = 0,000029 \cdot 0,0023 \cdot 40.000 \cdot (0,978 + \frac{0,978 \cdot 0,0023 \cdot 40.000}{6}) = 0,04 \text{ N/mm}^1$																
13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen																
<i>Berekening evenwichtsdraagvermogen</i> N _q = e ^{π·tan(φ)} · tan ² (45°+φ/2) = 24,58 N _y = 1,5 · (N _q - 1) · tan(φ) = 22,54 B = D _o = 0,20 m B/L = 0,1 Z = h + D _o / 2 = 1,20 + 0,20 / 2 = 1,30 m S _y = 1 - 0,4 · B/L = 0,96 d _q = 1 + 2 · tan(φ) · (1-sin(φ)) ² · tan ⁻¹ (Z/B) = 1,39 γ' _{gem} = (q _n + γ · γ _d · D _o / 2) / Z = 19,80 kN/m ³ P _{we} = 0,95 · (0,5 · γ' _{gem} · D _o · N _y · S _y · d _y + S _q · N _q · d _q · (q _n + c' · cot(φ)) - c' · cot(φ)) P _{we} = 851,64 kN/m ² = 0,85 N/mm ² P _{weDo} = P _{we} · D _o = 0,85 · 200,00 = 170,33 N/mm ¹																
<i>Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen</i>																
<table><tr><td><i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td><td><i>Situatie na 2 jaar</i></td><td><i>Conclusie:</i></td></tr><tr><td>Q_k = 11,77 N/mm¹</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td><td>Q_n = 4,75 N/mm¹</td><td rowspan="4">Geen aanpassing van Q_d nodig</td></tr><tr><td>Q_v = 2,87 N/mm¹</td><td>Q_v = 2,87 N/mm¹</td></tr><tr><td>Q_d = 0,04 N/mm¹ +</td><td>Q_d = 0,04 N/mm¹ +</td></tr><tr><td>Σ = 14,69 N/mm¹</td><td>Σ = 7,67 N/mm¹</td></tr></table>			<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	Q _k = 11,77 N/mm ¹	Geen aanpassing van Q _d nodig	Q _n = 4,75 N/mm ¹	Geen aanpassing van Q _d nodig	Q _v = 2,87 N/mm ¹	Q _v = 2,87 N/mm ¹	Q _d = 0,04 N/mm ¹ +	Q _d = 0,04 N/mm ¹ +	Σ = 14,69 N/mm ¹	Σ = 7,67 N/mm ¹
<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>													
Q _k = 11,77 N/mm ¹	Geen aanpassing van Q _d nodig	Q _n = 4,75 N/mm ¹	Geen aanpassing van Q _d nodig													
Q _v = 2,87 N/mm ¹		Q _v = 2,87 N/mm ¹														
Q _d = 0,04 N/mm ¹ +		Q _d = 0,04 N/mm ¹ +														
Σ = 14,69 N/mm ¹		Σ = 7,67 N/mm ¹														
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.		01-07-2021 14:59:54														



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.1 ©
14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)		
<p><i>Moment t.g.v. Q_k en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (11,77 + 2,87) \cdot 90,90$ $M_q = 235,58 \text{ Nmm/mm}^1$		<p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,04 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 0,49 \text{ Nmm/mm}^1$
<p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,91 \cdot (235,58 + 0,49) / 55,21 = \mathbf{3,91 \text{ N/mm}^2}$		
15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)		
<p><i>Moment t.g.v. Q_n en Q_v</i></p> $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ $M_q = 0,177 \cdot (4,75 + 2,87) \cdot 90,90$ $M_q = 122,69 \text{ Nmm/mm}^1$		<p><i>Moment t.g.v. Q_d</i></p> $M_{qd} = K_{b,ind} \cdot Q_d \cdot r_g$ $M_{qd} = 0,122 \cdot 0,04 \cdot 90,90$ $M_{qd} = 0,49 \text{ Nmm/mm}^1$
<p><i>Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}</i></p> $\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$ $\sigma_q = 0,91 \cdot (122,69 + 0,49) / 55,21 = \mathbf{2,04 \text{ N/mm}^2}$		
16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00132 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{18,2}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z		
$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$ $\sigma_{bx} = 0,00132 \cdot (5 + 2,0 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,025}{18,2}} = \mathbf{0,01 \text{ N/mm}^2}$		
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		
<p>Aangezien er geen bocht wordt toegepast volgt:</p> $i_x = 1, i_y = 0, i_{xp} = 1, i_{yp} = 0$		
20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N		
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$ $S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$ <p>Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²</p>		
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.		01-07-2021 14:59:54



Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.1 ©
21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk		
<p>Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$</p> <p>Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$</p> $p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$ $p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$ $p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$ <p>Conclusie: Kans op implosie bij 27,87 m grondwater boven de leiding</p>		
22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie		
$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$ $\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (4,75 + \frac{1}{2} \cdot 2,87) - 0,095 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (4,75 + \frac{1}{2} \cdot 2,87) + 0,048 \cdot 0,04) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38} = \mathbf{1,20 \text{ mm}} (= 0,66\%)$ <p>Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,85 \cdot 181,80 = \mathbf{12,36 \text{ mm}}$</p>		
23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)		
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 3,91 = \mathbf{2,54 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,61 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$</p>		
24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)		
<p>Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding</p> $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ $\sigma_{y2} = 0,65 \cdot 2,04 = \mathbf{1,33 \text{ N/mm}^2}$ <p>Optredende spanningen in langsrichting van de leiding</p> $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$ $\sigma_x = 0,61 + 0,65 \cdot 0,01 + 1,56 = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$ <p>Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,85 = \mathbf{6,80 \text{ N/mm}^2}$</p>		
Adviesbureau Schrijvers: betrokken en deskundig.		01-07-2021 14:59:54