

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : Boring B1 T-spiltsing Waage Naak / Verbindingsweg te Wessem Projectonderdeel : 1 x Ø125mm SDR 11 (stuurplaat 110mm)			
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 110	mm
Diameter boorstang	D _b	= 48	mm
Totale lengte	L	= 50,39	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 16,22	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 10,35	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 2,05	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 16,83	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 4,94	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 50,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 50,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 11,86 / 21	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 19,29 / 35	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij moeilijke omstandigheden	f	= 2	
Belastingfactor, bovengronds	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	f _{k,o}	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	f _{r,o}	= 0,9	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f ₁	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂	= 0,00005	N/mm²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃	= 0,2	
18/20790			
			19-02-2020 11:45:19

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	16,22	3,38	3,10	Zand	17,90	19,92	30,00
Neergaande bocht	26,57	4,44	3,10	Zand	17,90	20,17	30,00
2e rechte deel	27,595	4,44	3,10	Zand	17,90	20,17	30,00
Opgaande bocht	28,62	4,44	3,10	Zand	17,90	20,17	30,00
3e rechte deel	45,45	1,64	-	Zand	17,98	-	30,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm³]	Effectieve cohesie [kN/m²]	E-modulus ondergrond [MN/m²]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Neergaande bocht	Geen	0,0060	0,00	15,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0060	0,00	15,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II

18/20790

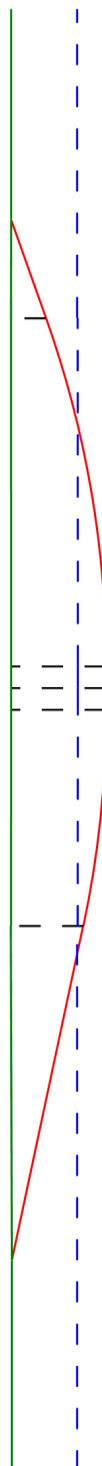
19-02-2020 11:45:19

3e rechte deel

2e rechte deel

1e rechte deel

Neergaande bocht



* Niet op schaal

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 102,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 125,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 51,10	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 6.629.052,19	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84	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
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 4.068,49	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0389	N/mm ¹

3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding

	Leiding op rollenbaan/maaiveld	Leiding in boorgat
Gewicht mediumleiding	$g = 0,0389 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0389 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	50,39	1.175
Na 1 ^e deel intrekken	45,45	1.060
Na 2 ^e deel intrekken	28,62	667
Na 3 ^e deel intrekken	26,57	619
Na 4 ^e deel intrekken	16,22	378

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 2 \cdot L \cdot 0,0389 \cdot 0,3$$

4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	1.175	0,29
Na 1 ^e deel intrekken	1.060	0,26
Na 2 ^e deel intrekken	667	0,16
Na 3 ^e deel intrekken	619	0,15
Na 4 ^e deel intrekken	378	0,09

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{4.068,49}$$

18/20790

19-02-2020 11:45:19

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052}{50.000} = 142.193,17 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{142.193,17}{106.065} = 1,34 \text{ N/mm}^2$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,29	1,16
Na 1 ^e deel intrekken	0,26	1,13
Na 2 ^e deel intrekken	0,16	1,04
Na 3 ^e deel intrekken	0,15	1,02
Na 4 ^e deel intrekken	0,09	0,96

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,34 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = MRS = 10,00 \text{ N/mm}^2$

5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat

5.1 Berekening van de vereiste trekkracht T_2 en T_{3a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 392,70 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0389 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 125,00^2 \cdot \pi/4 = 0,141 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,102 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	4,94	396	-
2 ^e deel intrekken	21,77	-	1.745
3 ^e deel intrekken	23,82	1.910	-
4 ^e deel intrekken	34,17	-	2.740
Geheel ingetrokken	50,39	4.040	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 2 \cdot L \cdot (392,70 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 2 \cdot L \cdot (392,70 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

5.3.1 Neergaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{125,00 \cdot 0,0060}{4 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}{125,00 \cdot 0,9 \cdot 50.000} = 0,0020 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 125,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{269,76 \text{ N}}$$

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

5.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{125,00 \cdot 0,0060}{4 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}{125,00 \cdot 0,9 \cdot 50.000} = 0,0020 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 125,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{269,76 \text{ N}}$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, neer}$ [N]	$T_{3b, op}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	667	1.745	270	-	2.682
Opgaande bocht	378	2.740	270	270	3.657

Neergaande bocht: $T_{bocht} = T_1 + T_{3a, neer} + T_{3b, neer, max}$

Opgaande bocht: $T_{bocht} = T_1 + T_{3a, neer} + T_{3b, neer, max} + T_{3a, op} + T_{3b, op, max}$

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	5,93	2.682	222
Opgaande bocht	9,65	3.657	302

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 2 \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkkrachten in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, neer}$ [N]	$T_{3c, neer}$ [N]	$T_{3b, op}$ [N]	$T_{3c, op}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	1.060	396	-	-	-	-	1.456
2 ^e deel intrekken	667	1.745	270	222	-	-	2.904
3 ^e deel intrekken	619	1.910	270	222	-	-	3.021
4 ^e deel intrekken	378	2.740	270	222	270	302	4.369
Geheel intrekken	0	4.040	270	222	270	302	5.292

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, neer, max} + T_{3c, neer} + T_{3b, op, max} + T_{3c, op}$$

18/20790

19-02-2020 11:45:19

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
1 ^e deel intrekken	1.456	0,36
2 ^e deel intrekken	2.904	0,71
3 ^e deel intrekken	3.021	0,74
4 ^e deel intrekken	4.369	1,07
Geheel intrekken	5.292	1,30

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{4.068,49}$$

5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot 50.000} = 201.081,25 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{201.081,25}{106.064,84} = \mathbf{1,90 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot 50.000} = 201.081,25 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{201.081,25}{106.064,84} = \mathbf{1,90 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	1.456	0,36	-	0,36
Na 1 ^e deel intrekken	2.904	0,71	1,90	1,95
Na 2 ^e deel intrekken	3.021	0,74	-	0,74
Na 3 ^e deel intrekken	4.369	1,07	1,90	2,31
Na 4 ^e deel intrekken	5.292	1,30	-	1,30

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{4.068,49} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$$

18/20790

19-02-2020 11:45:19

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase

6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

6.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,38	3,10	Zand	61,04	6,14	67,17	8,05
Neergaande bocht	4,44	3,10	Zand	61,04	29,73	90,77	9,67
2e rechte deel	4,44	3,10	Zand	61,04	29,73	90,77	9,67
Opgaande bocht	4,44	3,10	Zand	61,04	29,73	90,77	9,67
3e rechte deel	1,64	-	Zand	-	-	32,44	4,05

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_o$$

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1e rechte deel	3,38	Grafiek I	15,14	1,89
Neergaande bocht	4,44	Grafiek I	11,54	1,44
2e rechte deel	4,44	Grafiek I	11,54	1,44
Opgaande bocht	4,44	Grafiek I	11,54	1,44
3e rechte deel	1,64	Grafiek ½ x II	8,81	1,10

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 125$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1e rechte deel	8,05	1,89	9,94	77,91	3,60
Neergaande bocht	9,67	1,44	11,11	87,12	4,02
2e rechte deel	9,67	1,44	11,11	87,12	4,02
Opgaande bocht	9,67	1,44	11,11	87,12	4,02
3e rechte deel	4,05	1,10	5,16	40,41	1,87

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 56,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{21,66}$$

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

6.6 Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

6.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0020 \cdot 125,00 \cdot \frac{62,50}{21,66} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

6.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0020 \cdot 125,00 \cdot \frac{62,50}{21,66} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

6.7 Berekening van de spanning s_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

$$\sigma_{ax} = \mathbf{0 \text{ N/mm}^2}$$

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

$$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$$

$$S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07 m** grondwater boven de leiding

9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1e rechte deel	3,60	-	0,65	2,34
Neergaande bocht	4,02	0,060	0,65	2,65
2e rechte deel	4,02	-	0,65	2,61
Opgaande bocht	4,02	0,060	0,65	2,65
3e rechte deel	1,87	-	0,65	1,21

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

Spitters B.V.

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_{σ} [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,00	0,00	-	-	0,00
Neergaande bocht	0,00	0,00	1,90	0,65	1,23
2e rechte deel	0,00	0,00	-	-	0,00
Opgaande bocht	0,00	0,00	1,90	0,65	1,23
3e rechte deel	0,00	0,00	-	-	0,00

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1e rechte deel	8,05	1,89	-	2,00	1,76
Neergaande bocht	9,67	1,44	0,0020	2,24	1,97
2e rechte deel	9,67	1,44	-	2,24	1,97
Opgaande bocht	9,67	1,44	0,0020	2,24	1,97
3e rechte deel	4,05	1,10	-	1,04	0,91

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 113,60 = **9,09** mm

11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
1e rechte deel	3,38	52,72	26,36	39,54	59,31	5,77
Neergaande bocht	4,44	61,62	30,81	46,21	69,32	5,77
2e rechte deel	4,44	61,62	30,81	46,21	69,32	5,77
Opgaande bocht	4,44	61,62	30,81	46,21	69,32	5,77
3e rechte deel	1,64	26,81	13,40	20,10	30,16	5,77

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,0034	0,30	0,0028	0,003159	0,02	0,40
Neergaande bocht	0,0040	0,27	0,0134	0,01512	0,03	0,45
2e rechte deel	0,0040	0,27	0,0134	0,01512	0,03	0,45
Opgaande bocht	0,0040	0,27	0,0134	0,01512	0,03	0,45
3e rechte deel	0,0017	0,42	0,0000	0,0000	0,04	0,25

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}, R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{st} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

$$\Delta_p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{lim} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	p_{max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	179,68	356,56	18,86	1,80	3,57	0,19
Neergaande bocht	209,67	404,90	40,83	2,10	4,05	0,41
2e rechte deel	209,67	404,90	41,82	2,10	4,05	0,42
Opgaande bocht	209,67	404,90	42,81	2,10	4,05	0,43
3e rechte deel	112,69	225,55	43,98	1,13	2,26	0,44

$$p_{max} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{min} = p_{st} + \Delta_p$$

