



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651					Sigma 2010 1.0 ©		
Algemene gegevens							
Naam van het project		: Sigma 2010					
Projectonderdeel		: Voorbeeld ivm Website					
Leiding- en materiaalgegevens							
Materiaal soort:	PE			Afmetingen van de leiding			
Kwaliteit:	PE 80 SDR 11			Uitwendige middellijn $D_e = 200,00$ mm			
Lange-duur treksterkte	MRS = 8	N/mm ²		Wanddikte $d_n = 18,2$ mm			
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$	-					
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 6,4$	N/mm ²					
Elasticiteitsmodulus korte duur	$E = 1.000$	N/mm ²					
Elasticiteitsmodulus lange duur	$E' = 200$	N/mm ²					
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 13,0 \cdot 10^{-5}$	mm/(mm·K)					
Alfa Tangentiëel	$\alpha_T = 0,65$	-					
Alfa Axiaal	$\alpha_A = 0,65$	-					
Constante van Poisson	$\nu = 0,4$	-					
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$	kN/m ³					
Procesgegevens							
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos) = Vloeistof				Temperatuurverschil $\Delta_t = 10$ °			
Volumieke massa vloeistof $\rho = 1000$ kg/m ³				Ontwerpdruk $p_d = 0,3$ N/mm ²			
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100 %		Totale lengte L		= 270,00 m	
Soortelijk gewicht boorvloeistof $\rho_m = 11,5$ kN/m ³				Lengte 1e rechte deel $L_1 = 35,00$ m			
Zwichtspanning boorvloeistof $\tau_y = 15$ Pa				Lengte neergaande bocht $L_2 = 50,00$ m			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan				Lengte 2e rechte deel $L_3 = 100,00$ m			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang				Lengte opgaande bocht $L_4 = 50,00$ m			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk $D_g = 300$ mm				Lengte 3e rechte deel $L_5 = 35,00$ m			
Diameter boorstang $D_b = 150$ mm							
Rekenfactor $f = 1,1$				Straal maaiveld/rollenbaan $R_r = 100,00$ m			
Onz. factor bij normale boring $f_{onz} = 1,4$				Straal neergaande bocht $R_1 = 100,00$ m			
Onz. factor bij boring met bundels $f_{onz} = 1,8$				Straal opgaande bocht $R_2 = 100,00$ m			
Onz. factor bij moeilijke omstandigheden $f_{onz} = 2$				Intrede-hoek (bij boorstelling) = 20 °			
Wrijvingscoëff. met rollenbaan $f_1 = 0,1$				Uittrede-hoek (bij rollenbaan) = 20 °			
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan $f_1 = 0,3$				Belastinghoek $\alpha = 180$ °			
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof $f_2 = 0,00005$ N/mm ²				Ondersteuningshoek $\beta = 120$ °			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand $f_3 = 0,2$				Horizontale steundrukhoek $\gamma = 120$ °			
Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting							
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [kN/m ²]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1e rechte deel	35	12,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Neergaande bocht	85	18,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	135	18,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	185	18,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	235	12,00	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Locatie	Gem. vert. beddingsconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting			
1e rechte deel	-	10,00	2,00	Grafiek ½ x II			
Neergaande bocht	0,0060	10,00	2,00	Grafiek II			
2e rechte deel	-	10,00	2,00	Grafiek I			
Opgaande bocht	0,0060	10,00	2,00	Grafiek II			
3e rechte deel	-	10,00	2,00	Grafiek ½ x II			
					02-11-2010 15:10:24		



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
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 10.394,78	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0993	N/mm ¹

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

	Leiding op rollenbaan/maaiveld		Leiding in boorgat	
Gewicht mediumleiding g	= 0,0993	N/mm ¹	= 0,0993	N/mm ¹
Gewicht vulling g _{vul}	= N.v.t.	+	= N.v.t.	+
Totaal gewicht g _{rol}	= 0,0993	N/mm ¹	= 0,0993	N/mm ¹

3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T ₁ tijdens verschillende stadia [N]	Rollenbaan: f ₁ = 0,1			Maaiveld: f ₁ = 0,3		
	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:
	f _{onz} = 1,4	f _{onz} = 1,8	f _{onz} = 2	f _{onz} = 1,4	f _{onz} = 1,8	f _{onz} = 2
Starten met trekken	4.128	5.307	5.897	12.383	15.921	17.690
Na 1 ^e deel intrekken	3.593	4.619	5.132	10.778	13.857	15.397
Na 2 ^e deel intrekken	2.828	3.636	4.040	8.485	10.909	12.121
Na 3 ^e deel intrekken	1.299	1.671	1.856	3.898	5.012	5.569
Na 4 ^e deel intrekken	535	688	764	1.605	2.064	2.293

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_{onz} \cdot f_1 = 1,1 \cdot L \cdot 0,0993 \cdot f_{onz} \cdot f_1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	Rollenbaan: f ₁ = 0,1			Maaiveld: f ₁ = 0,3		
	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:
	f _{onz} = 1,4	f _{onz} = 1,8	f _{onz} = 2	f _{onz} = 1,4	f _{onz} = 1,8	f _{onz} = 2
Starten met trekken	0,40	0,51	0,57	1,19	1,53	1,70
Na 1 ^e deel intrekken	0,35	0,44	0,49	1,04	1,33	1,48
Na 2 ^e deel intrekken	0,27	0,35	0,39	0,82	1,05	1,17
Na 3 ^e deel intrekken	0,13	0,16	0,18	0,38	0,48	0,54
Na 4 ^e deel intrekken	0,05	0,07	0,07	0,15	0,20	0,22

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{10.394,78}$$



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

$$M_b = f \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.000 \cdot \frac{43.375.426}{100.000} = 477.129,68 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{477.129,68}{433.754} = 1,10 \text{ N/mm}^2$$

3.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	Rollenbaan: $f_1 = 0,1$			Maaiveld: $f_1 = 0,3$		
	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:
	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$
Starten met trekken	1,11	1,23	1,28	1,91	2,25	2,42
Na 1 ^e deel intrekken	1,06	1,16	1,21	1,75	2,05	2,20
Na 2 ^e deel intrekken	0,99	1,06	1,10	1,53	1,76	1,88
Na 3 ^e deel intrekken	0,84	0,88	0,89	1,09	1,20	1,25
Na 4 ^e deel intrekken	0,77	0,78	0,79	0,87	0,91	0,94

$$\sigma_a = \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

3.5 Toelaatbare spanning tijdens trekoperatie

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 8,00 \text{ N/mm}^2$



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

4.1 Berekening van de vereiste trekkraft T_{2a} in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof

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: $D_{e,omtrek} = 628,32 \text{ mm}^1$

Trekkraft T_{2a} tijdens verschillende stadia [N]	Normaal: $f_{onz} = 1,4$	Bundel: $f_{onz} = 1,8$	Moeilijke situatie/grind: $f_{onz} = 2$
1 ^e deel intrekken	1.693	2.177	2.419
2 ^e deel intrekken	4.112	5.287	5.875
3 ^e deel intrekken	8.950	11.508	12.786
4 ^e deel intrekken	11.369	14.618	16.242
Geheel ingetrokken	13.063	16.795	18.661

$$T_{2a} = f \cdot L \cdot D_{e,omtr} \cdot f_{onz} \cdot f_2 = 1,1 \cdot L \cdot 628,32 \cdot f_{onz} \cdot 0,00005$$

4.2 Berekening van de vereiste trekkraft T_{2b} in verband met wrijving tussen leiding en boorgangwand

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0993 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_o^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 200,00^2 \cdot \pi/4 = 0,361 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,262 \text{ N/mm}^1$

Trekkraft T_{2b} tijdens verschillende stadia [N]	Normaal: $f_{onz} = 1,4$	Bundel: $f_{onz} = 1,8$	Moeilijke situatie/grind: $f_{onz} = 2$
1 ^e deel intrekken	2.825	3.632	4.035
2 ^e deel intrekken	6.860	8.819	9.799
3 ^e deel intrekken	14.930	19.195	21.328
4 ^e deel intrekken	18.965	24.383	27.092
Geheel ingetrokken	21.789	28.014	31.127

$$T_{2b} = f \cdot L \cdot g_{eff} \cdot f_{onz} \cdot f_3 = 1,1 \cdot L \cdot 0,262 \cdot f_{onz} \cdot 0,2$$

4.3 Berekening van de vereiste trekkraft T_{3a} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

4.3.1 Neergaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{200,00 \cdot 0,0060}{4 \cdot 1.000 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0016 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0016^2 \cdot 1.000 \cdot 43.375.425,69}{200,00 \cdot 0,9 \cdot 100.000} = 0,0020 \text{ N/mm}^2$$

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

Normaal: $T_{3a} = 1,1 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 200,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 1,4 = 487,03 \text{ N}$

Bundel: $T_{3a} = 1,1 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 200,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 1,8 = 626,18 \text{ N}$

Moeilijke situatie/grind: $T_{3a} = 1,1 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 200,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 2 = 695,76 \text{ N}$



4.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{200,00 \cdot 0,0060}{4 \cdot 1.000 \cdot 43.375.425,69}} = 0,0016 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0016^2 \cdot 1.000 \cdot 43.375.425,69}{200,00 \cdot 0,9 \cdot 100.000} = 0,0020 \text{ N/mm}^2$$

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

Normaal: $T_{3a} = 1,1 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 200,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 1,4 = 487,03 \text{ N}$

Bundel: $T_{3a} = 1,1 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 200,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 1,8 = 626,18 \text{ N}$

Moeilijke situatie/grind: $T_{3a} = 1,1 \cdot 4 \cdot \frac{0,0020}{2} \cdot 200,00 \cdot \frac{\pi}{0,0016} \cdot 2 = 695,76 \text{ N}$

4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht T_{3b}

Trekkracht T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	Rollenbaan: $f_1 = 0,1$			Maaiveld: $f_1 = 0,3$		
	Normaal: $f_{onz} = 1,4$	Bundel: $f_{onz} = 1,8$	Moeilijke situatie/grind: $f_{onz} = 2$	Normaal: $f_{onz} = 1,4$	Bundel: $f_{onz} = 1,8$	Moeilijke situatie/grind: $f_{onz} = 2$
Neergaande bocht	14.287	18.369	20.410	19.943	25.642	28.491
Opgaande bocht	31.843	40.941	45.490	32.913	42.317	47.019

Neergaande bocht: $T_{bocht} = T_1 + T_{2a} + T_{2b} + T_{3a,neer,max}$

Opgaande bocht: $T_{bocht} = T_1 + T_{2a} + T_{2b} + T_{3a,neer,max} + T_{3a,op,max}$

Trekkracht T_{3b} tijdens verschillende stadia [N]	Rollenbaan: $f_1 = 0,1$			Maaiveld: $f_1 = 0,3$		
	Normaal: $f_{onz} = 1,4$	Bundel: $f_{onz} = 1,8$	Moeilijke situatie/grind: $f_{onz} = 2$	Normaal: $f_{onz} = 1,4$	Bundel: $f_{onz} = 1,8$	Moeilijke situatie/grind: $f_{onz} = 2$
Neergaande bocht	1.092	1.403	1.559	1.524	1.959	2.177
Opgaande bocht	2.433	3.128	3.476	2.515	3.233	3.592

Neergaande bocht: $\alpha = \text{halve intredehoek } \alpha_1 = \frac{20^\circ}{2} = 10,00^\circ \rightarrow \sin(10,00^\circ) = 0,174$

Opgaande bocht: $\alpha = \text{halve uitredehoek } \alpha_2 = \frac{20^\circ}{2} = 10,00^\circ \rightarrow \sin(10,00^\circ) = 0,174$

$T_{3b} = f \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,1 \cdot 2 \cdot T_{bocht} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$



4.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	Rollenbaan: $f_1 = 0,1$			Maaiveld: $f_1 = 0,3$		
	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:
	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$
1 ^e deel intrekken	8.110	10.428	11.586	15.296	19.666	21.851
2 ^e deel intrekken	15.379	19.773	21.970	21.467	27.601	30.668
3 ^e deel intrekken	26.758	34.403	38.226	29.789	38.300	42.556
4 ^e deel intrekken	35.368	45.473	50.525	36.952	47.509	52.788
Geheel intrekken	39.350	50.593	56.215	39.864	51.254	56.949

$$T_{tot} = T_1 + T_{2a} + T_{2b}$$

$$T_{tot} = T_1 + T_{2a} + T_{2b} + T_{3a,neer,max} + T_{3b,neer}$$

$$T_{tot} = T_1 + T_{2a} + T_{2b} + T_{3a,neer,max} + T_{3b,neer} + T_{3a,op,max} + T_{3b,op}$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	Rollenbaan: $f_1 = 0,1$			Maaiveld: $f_1 = 0,3$		
	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:
	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$
1 ^e deel intrekken	0,78	1,00	1,11	1,47	1,89	2,10
2 ^e deel intrekken	1,48	1,90	2,11	2,07	2,66	2,95
3 ^e deel intrekken	2,57	3,31	3,68	2,87	3,68	4,09
4 ^e deel intrekken	3,40	4,37	4,86	3,55	4,57	5,08
Geheel intrekken	3,79	4,87	5,41	3,84	4,93	5,48

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{10.394,78}$$

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

4.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.000 \cdot \frac{43.375.425,69}{0,9 \cdot 100.000} = 530.144,09 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{530.144,09}{433.754,26} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$

4.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 1.000 \cdot \frac{43.375.425,69}{0,9 \cdot 100.000} = 530.144,09 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{530.144,09}{433.754,26} = 1,22 \text{ N/mm}^2$$



4.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	Rollenbaan: $f_1 = 0,1$			Maaiveld: $f_1 = 0,3$		
	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:	Normaal:	Bundel:	Moeilijke situatie/grind:
	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$	$f_{onz} = 1,4$	$f_{onz} = 1,8$	$f_{onz} = 2$
Starten met trekken	0,78	1,00	1,11	1,47	1,89	2,10
Na 1 ^e deel intrekken	2,27	2,70	2,91	2,86	3,45	3,74
Na 2 ^e deel intrekken	2,57	3,31	3,68	2,87	3,68	4,09
Na 3 ^e deel intrekken	4,20	5,17	5,66	4,35	5,36	5,87
Na 4 ^e deel intrekken	3,79	4,87	5,41	3,84	4,93	5,48

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \sigma_t$

Gebogen delen: $\sigma_a = \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

4.9 Toelaatbare spanning tijdens trekoperatie

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = 8,00$ N/mm²



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

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

$$D_g/d_n = 181,80/18,20 = 9,99 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

$$\sigma_p = \frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} \cdot p_d$$

$$\sigma_p = \frac{100,00^2 + 81,80^2}{100,00^2 - 81,80^2} \cdot 0,3 = 1,51 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,51 = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot p_d \cdot r_g^3 \cdot k_y}{E \cdot I_w} \right)$$

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 90,9^3 \cdot 0,089}{1000 \cdot 502,38} \right) = 0,93$$

5.3 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [kN/m ²]	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	12,00	1,00	Klei	18,70	205,70	224,40	22,88
Neergaande bocht	18,00	1,00	Klei	18,70	317,90	336,60	33,32
2e rechte deel	18,00	1,00	Klei	18,70	317,90	336,60	33,32
Opgaande bocht	18,00	1,00	Klei	18,70	317,90	336,60	33,32
3e rechte deel	12,00	1,00	Klei	18,70	205,70	224,40	22,88

$$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

5.4 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	12,00	Grafiek ½ x II	0,65	0,13
Neergaande bocht	18,00	Grafiek II	0,68	0,14
2e rechte deel	18,00	Grafiek I	1,59	0,32
Opgaande bocht	18,00	Grafiek II	0,68	0,14
3e rechte deel	12,00	Grafiek ½ x II	0,65	0,13

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$



5.5 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]	f_{rr} [-]	σ_q [N/mm ¹]
1e rechte deel	22,88	0,13	23,01	288,63	0,93	4,84
Neergaande bocht	33,32	0,14	33,46	419,69	0,93	7,04
2e rechte deel	33,32	0,32	33,64	421,96	0,93	7,08
Opgaande bocht	33,32	0,14	33,46	419,69	0,93	7,04
3e rechte deel	22,88	0,13	23,01	288,63	0,93	4,84

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

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w}$$

5.6 Optredende spanning S_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

5.6.1 Neergaande bocht

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

$$\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0020 \cdot 200,00 \cdot \frac{100,00}{55,21} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

5.6.2 Opgaande bocht

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

$$\sigma_{qr} = 0,083 \cdot 0,0020 \cdot 200,00 \cdot \frac{100,00}{55,21} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

5.7 Berekening van de spanning S_{ax} t.g.v. temperatuurverschil

$$\sigma_{ax} = \Delta t \cdot \alpha_g \cdot E$$

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00013 \cdot 1000 = \mathbf{1,30 \text{ N/mm}^2}$$



6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 1000 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,08 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{83,61 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **0,5 kN/m²**

7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 1.000,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,59 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 200,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **15,93 m** grondwater boven de leiding

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

8.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_p [N/mm ²]	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_T [-]	σ_y [N/mm ²]
1e rechte deel	1,51	4,84	-	0,65	4,66
Neergaande bocht	1,51	7,04	0,061	0,65	6,13
2e rechte deel	1,51	7,08	-	0,65	6,11
Opgaande bocht	1,51	7,04	0,061	0,65	6,13
3e rechte deel	1,51	4,84	-	0,65	4,66

Rechte delen: $\sigma_y = \sigma_p + \alpha_T \cdot \sigma_q$

Bochten: $\sigma_y = \sigma_p + \alpha_T \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{id} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{6,40 \text{ N/mm}^2}$

8.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_A [-]	σ_x [N/mm ²]
1e rechte deel	0,61	1,30	-	-	1,30
Neergaande bocht	0,61	1,30	1,22	0,65	2,70
2e rechte deel	0,61	1,30	-	-	1,30
Opgaande bocht	0,61	1,30	1,22	0,65	2,70
3e rechte deel	0,61	1,30	-	-	1,30

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_t$

Bochten: $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_t + \alpha_A \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning: $\sigma_{id} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{6,40 \text{ N/mm}^2}$



9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie (vervorming)

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	$Q_{n,h}$ [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]
1e rechte deel	22,88	0,13	16,09	-	5,32
Neergaande bocht	33,32	0,14	23,40	0,0020	7,74
2e rechte deel	33,32	0,32	23,52	-	7,78
Opgaande bocht	33,32	0,14	23,40	0,0020	7,74
3e rechte deel	22,88	0,13	16,09	-	5,32

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D_o = 0,08 · 200 = **16,00** mm



10. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld H [m]	Verticale terrein- spanning σ_{vert} [kN/m ²]	Horizontale terrein- spanning σ_{hor} [kN/m ²]	Gemiddelde terrein- spanning σ_o' [kN/m ²]	Eff. boor- vloeistof- druk p_f' [kN/m ²]	Glijding- modulus G [MN/m ²]
1e rechte deel	12,00	75,45	52,76	64,11	92,93	0,71
Neergaande bocht	18,00	108,18	75,65	91,92	129,09	0,71
2e rechte deel	18,00	108,18	75,65	91,92	129,09	0,71
Opgaande bocht	18,00	108,18	75,65	91,92	129,09	0,71
3e rechte deel	12,00	75,45	52,76	64,11	92,93	0,71

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	Max. straal plast. zone $R_{p,max}$ [m]	Water- spanning u [N/mm ²]	Statische druk p_{st} [N/mm ²]	Druk- verschil Δ_p [N/mm ²]	Limiet druk p_{lim} [N/mm ²]
1e rechte deel	0,040	6,00	0,1100	0,1241	0,01	0,34
Neergaande bocht	0,052	9,00	0,1700	0,1918	0,03	0,46
2e rechte deel	0,052	9,00	0,1700	0,1918	0,05	0,46
Opgaande bocht	0,052	9,00	0,1700	0,1918	0,07	0,46
3e rechte deel	0,040	6,00	0,1100	0,1241	0,09	0,34

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

$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{2}{3} \cdot H$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

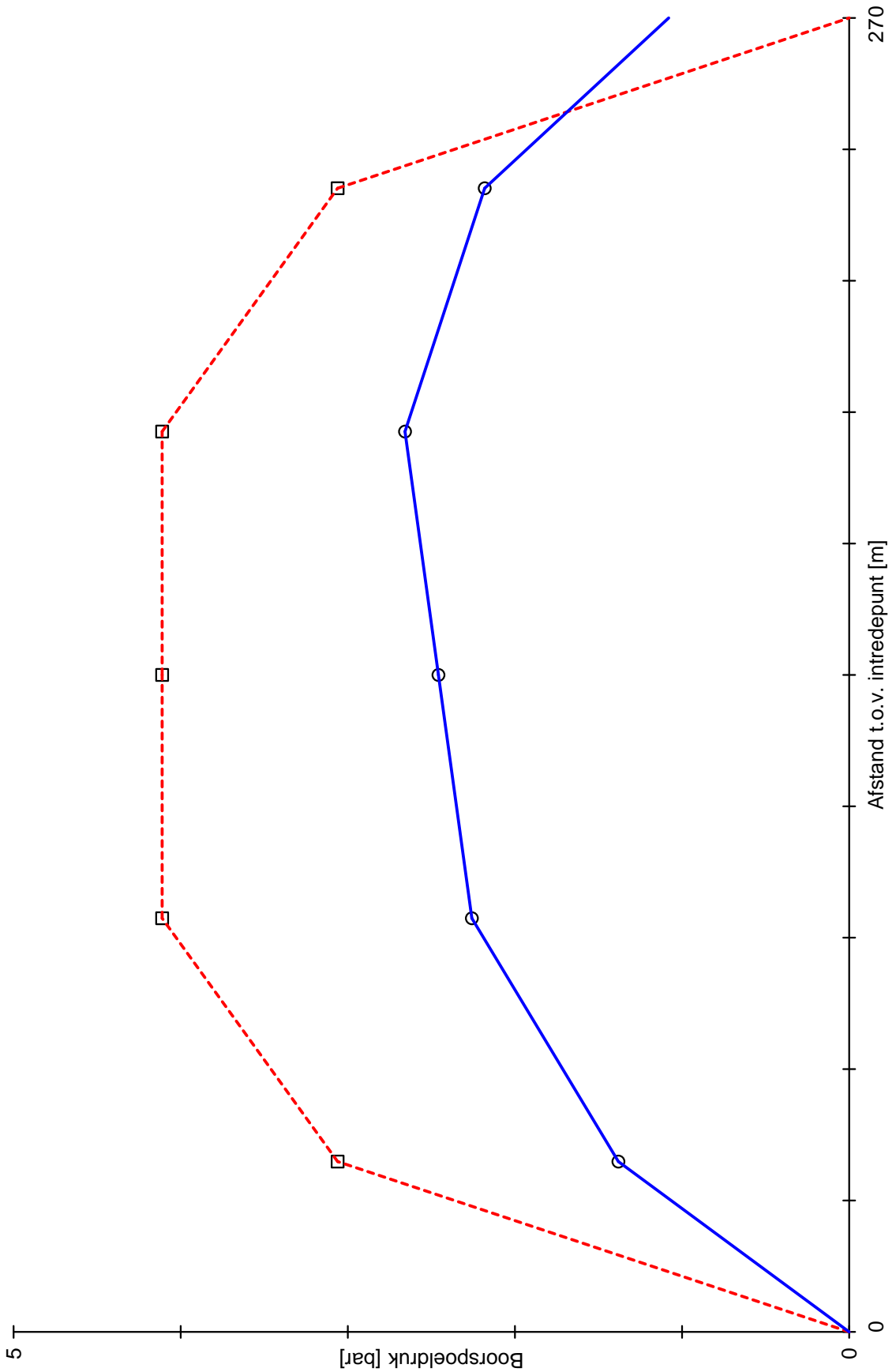
Locatie	p_{max} [N/mm ²]	90% p_{lim} [N/mm ²]	p_{min} [N/mm ²]	p_{max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1e rechte deel	0,34	0,31	0,14	3,39	3,06	1,38
Neergaande bocht	0,46	0,41	0,23	4,56	4,11	2,26
2e rechte deel	0,46	0,41	0,25	4,56	4,11	2,46
Opgaande bocht	0,46	0,41	0,27	4,56	4,11	2,66
3e rechte deel	0,34	0,31	0,22	3,39	3,06	2,18

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

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



1.0.4.3 09-2010



- - - □ Maximaal toelaatbare boorspoeldruk (conform NEN 3650-serie)
 — ○ Minimaal benodigde boorspoeldruk (conform Richtlijn Boortechniek RWS)
 * RWS eist een marge van minimaal 50 kPa (0,5 bar), behalve nabij het in- en het uitredepunt.