



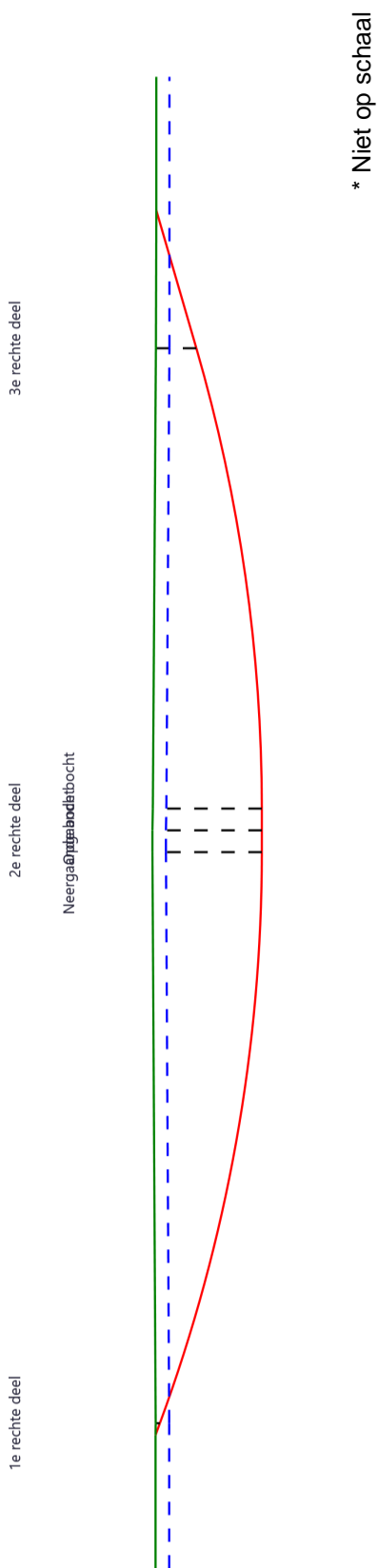
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.0 ©	
<b>Algemene gegevens</b>			
Naam van het project	: Weigelia		
Projectonderdeel	: Van Velzen Leidschendam Boring 2 Rev 03		
<b>Materiaalgegevens</b>			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS = 10		N/mm <sup>2</sup>
Materiaalfactor	$\gamma_M = 1,25$		-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t = 8,00$		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus korte duur	E = 975		N/mm <sup>2</sup>
Elasticiteitsmodulus lange duur	E' = 350		N/mm <sup>2</sup>
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	$\alpha_g = 16,0 \cdot 10^{-5}$		mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	$\alpha_\sigma = 0,65$		-
Soortelijk gewicht buis	$\rho_L = 9,55$		kN/m <sup>3</sup>
Toelaatbare deflectie	$\delta = 8$		%
<b>Leidinggegevens</b>			
Uitwendige middellijn	D <sub>e</sub> = 250,00		mm
Wanddikte	d <sub>n</sub> = 22,8		mm
<b>Procesgegevens</b>			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p <sub>d</sub> = 0,4		N/mm <sup>2</sup>
Volumieke massa vloeistof	$\rho = 1000$		kg/m <sup>3</sup>
Temperatuurverschil	$\Delta t = 10$		°
<b>Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren</b>			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 95	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_m = 11,5$		kN/m <sup>3</sup>
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_y = 15$		Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D <sub>g</sub> = 600		mm
Diameter boorstang	D <sub>b</sub> = 63		mm
Totale lengte	L = 93,62		m
Lengte 1e rechte deel	L <sub>1</sub> = 0,93		m
Lengte neergaande bocht	L <sub>2</sub> = 42,99		m
Lengte 2e rechte deel	L <sub>3</sub> = 3,26		m
Lengte opgaande bocht	L <sub>4</sub> = 35,71		m
Lengte 3e rechte deel	L <sub>5</sub> = 10,73		m
Straal maaiveld/rollenbaan	R <sub>r</sub> = 80,00		m
Straal neergaande bocht	R <sub>1</sub> = 125,00		m
Straal opgaande bocht	R <sub>2</sub> = 125,00		m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	$\alpha_1 = 20,00 / 36,4$		° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	$\alpha_2 = 16,00 / 28,67$		° / %
Belastinghoek	$\alpha = 30$		°
Ondersteuningshoek	$\beta = 30$		°
Horizontale steundrukhoek	$\gamma = 120$		°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	$\gamma = 1,1$		
Totaalfactor bij boring met bundels	f = 1,8		
Belastingfactor	f <sub>k,b</sub> = 1,1		
Belastingfactor	f <sub>k,o</sub> = 1,4		
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f <sub>1</sub> = 0,1		
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f <sub>2</sub> = 0,00005		N/mm <sup>2</sup>
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f <sub>3</sub> = 0,2		
<b>Behoort bij besluit van B &amp; W van Leidschendam-Voorburg</b>			
			04-04-2018 20:24:01

**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/m <sup>3</sup> ]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ]	Wrijvings- hoek grond [°]
1e rechte deel	0,93	0,31	-	Klei	17,00	-	17,50
Neergaande bocht	43,92	8,09	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
2e rechte deel	45,55	8,09	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
Opgaande bocht	47,18	8,06	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50
3e rechte deel	82,89	2,99	1,00	Klei	17,00	17,00	17,50

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ]	Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ]	E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ]	Verkeersbelasting
1e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen
Neergaande bocht	Geen	0,0450	10,00	2,00	Grafiek I
2e rechte deel	Geen	-	10,00	2,00	Grafiek I
Opgaande bocht	Geen	0,0450	10,00	2,00	Grafiek I
3e rechte deel	Geen	-	2,00	2,00	Geen







Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012	Sigma 2018 1.0 ©
---	------------------

**2. Eigenschappen van de leiding**

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 204,40	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 227,20	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 250,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 125,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 102,20	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 113,60	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 106.064.835,12	mm <sup>4</sup>
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 848.518,68	mm <sup>3</sup>
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 987,70	mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup>
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 86,64	mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup>
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 16.273,95	mm <sup>2</sup>
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,1554	N/mm <sup>1</sup>

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

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds***4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld*

Trekkraft $T_1$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_1$ [N]
Starten met trekken	93,62	<b>2.619</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	82,89	<b>2.319</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	47,18	<b>1.320</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	43,92	<b>1.229</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,93	<b>26</b>

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,1$$

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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_1$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	2.619	<b>0,16</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	2.319	<b>0,14</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	1.320	<b>0,08</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	1.229	<b>0,08</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	26	<b>0,00</b>

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$



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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{80.000} = 1.421.931,70 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.421.931,70}{848.519} = \mathbf{1,68 \text{ N/mm}^2}$$

*4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld*

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	0,16	<b>1,25</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	0,14	<b>1,23</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	0,08	<b>1,17</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	0,08	<b>1,16</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	0,00	<b>1,09</b>

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,68 + \sigma_t$$

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



**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.

95% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 746,13 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	$T_2$ [N]	$T_{3a}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	10,73	<b>2.301</b>	-
2 <sup>e</sup> deel intrekken	46,44	-	<b>9.958</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	49,70	<b>10.657</b>	-
4 <sup>e</sup> deel intrekken	92,69	-	<b>19.875</b>
Geheel ingetrokken	93,62	<b>20.074</b>	-

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (746,13 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (746,13 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$

*5.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten*5.3.1 Neergaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0450}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 125.000} = 0,0062 \text{ N/mm}^2$$

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

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0062}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{1.528,94 \text{ N}}$$





## 5.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{250,00 \cdot 0,0450}{4 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

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

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0023^2 \cdot 975 \cdot 106.064.835,12}{250,00 \cdot 0,9 \cdot 125.000} = 0,0062 \text{ N/mm}^2$$

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

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0062}{2} \cdot 250,00 \cdot \frac{\pi}{0,0023} \cdot 0,2 = \mathbf{1.528,94 \text{ N}}$$

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht  $T_{3c}$ 

Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N]	$T_1$ [N]	$T_{3a}$ [N]	$T_{3b,neer}$ [N]	$T_{3b,op}$ [N]	$T_{\text{bocht}}$ [N]
Neergaande bocht	1.320	9.958	1.529	-	<b>12.807</b>
Opgaande bocht	26	19.875	1.529	1.529	<b>22.959</b>

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

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

Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N]	$\alpha$ [°]	$T_{\text{bocht}}$ [N]	$T_{3c}$ [N]
Neergaande bocht	10,00	12.807	<b>1.601</b>
Opgaande bocht	8,00	22.959	<b>2.870</b>

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

## 5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft $T_{\text{tot}}$ 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]	$T_{\text{tot}}$ [N]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	2.319	2.301	-	-	-	-	<b>4.620</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	1.320	9.958	1.529	1.601	-	-	<b>14.408</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	1.229	10.657	1.529	1.601	-	-	<b>15.016</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	26	19.875	1.529	1.601	1.529	2.870	<b>26.861</b>
Geheel intrekken	0	20.074	1.529	1.601	1.529	2.870	<b>27.034</b>

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



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

Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1 <sup>e</sup> deel intrekken	4.620	<b>0,28</b>
2 <sup>e</sup> deel intrekken	14.408	<b>0,89</b>
3 <sup>e</sup> deel intrekken	15.016	<b>0,92</b>
4 <sup>e</sup> deel intrekken	26.861	<b>1,65</b>
Geheel intrekken	27.034	<b>1,66</b>

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95}$$

**5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat****5.7.1 Neergaande bocht**

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 125.000} = 1.286.920,00 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.286.920,00}{848.518,68} = \mathbf{1,52 \text{ N/mm}^2}$$

**5.7.2 Opgaande bocht**

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{l_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 125.000} = 1.286.920,00 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.286.920,00}{848.518,68} = \mathbf{1,52 \text{ N/mm}^2}$$

**5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie**

Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ]	$T_{tot}$ [N]	$\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]
Starten met trekken	4.620	0,28	-	<b>0,28</b>
Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken	14.408	0,89	1,52	<b>1,87</b>
Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken	15.016	0,92	-	<b>0,92</b>
Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken	26.861	1,65	1,52	<b>2,64</b>
Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken	27.034	1,66	-	<b>1,66</b>

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$$

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

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







**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*

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0,4 = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 2,01 = 0,81 \text{ N/mm}^2$$

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

*6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$*

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

$$f_{rr} = 1 / ( 1 + \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 987,70} ) = 0,85$$

*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 <sup>2</sup> ]	$q_{nat}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_{totaal}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	0,31	-	Klei	-	-	5,80	1,45
Neergaande bocht	8,09	1,00	Klei	18,70	132,58	151,28	20,10
2e rechte deel	8,09	1,00	Klei	18,70	132,58	151,28	20,10
Opgaande bocht	8,06	1,00	Klei	18,70	132,02	150,72	20,03
3e rechte deel	2,99	1,00	Klei	18,70	37,21	55,91	9,00

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

*6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$*

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	0,31	Geen	0,00	0,00
Neergaande bocht	8,09	Grafiek I	5,73	1,43
2e rechte deel	8,09	Grafiek I	5,73	1,43
Opgaande bocht	8,06	Grafiek I	5,76	1,44
3e rechte deel	2,99	Geen	0,00	0,00

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 250$$



**6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen**

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$M_q$ [Nmm]	$\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ]
1e rechte deel	1,45	0,00	1,45	42,31	<b>0,42</b>
Neergaande bocht	20,10	1,43	21,53	628,51	<b>6,18</b>
2e rechte deel	20,10	1,43	21,53	628,51	<b>6,18</b>
Opgaande bocht	20,03	1,44	21,47	626,81	<b>6,16</b>
3e rechte deel	9,00	0,00	9,00	262,85	<b>2,58</b>

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,85 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

**6.6 Optredende spanning  $s_{qr}$  tgv. grondreactie in de bochten****6.6.1 Neergaande bocht**

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

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0062 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$$

**6.6.2 Opgaande bocht**

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

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0062 \cdot 250,00 \cdot \frac{125,00}{86,64} = \mathbf{0,40 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

$$\sigma_{ax} = 10 \cdot 0,00016 \cdot 975 = \mathbf{1,56 \text{ N/mm}^2}$$

**7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$** 

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m<sup>2</sup>**

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

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	$\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,42	-	0,65	<b>0,27</b>
Neergaande bocht	6,18	0,40	0,65	<b>4,27</b>
2e rechte deel	6,18	-	0,65	<b>4,02</b>
Opgaande bocht	6,16	0,40	0,65	<b>4,26</b>
3e rechte deel	2,58	-	0,65	<b>1,68</b>

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>*9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding*

Locatie	$\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_\sigma$ [-]	$\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,81	1,56	-	-	<b>2,37</b>
Neergaande bocht	0,81	1,56	1,52	0,65	<b>3,35</b>
2e rechte deel	0,81	1,56	-	-	<b>2,37</b>
Opgaande bocht	0,81	1,56	1,52	0,65	<b>3,35</b>
3e rechte deel	0,81	1,56	-	-	<b>2,37</b>

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$ Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$ Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

Locatie	$Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ]	$Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\delta_Y$ [mm]	$\delta_Y/D_g$ [%]
1e rechte deel	1,45	0,00	-	<b>0,19</b>	0,084
Neergaande bocht	20,10	1,43	0,0062	<b>2,83</b>	1,24
2e rechte deel	20,10	1,43	-	<b>2,83</b>	1,24
Opgaande bocht	20,03	1,44	0,0062	<b>2,82</b>	1,24
3e rechte deel	9,00	0,00	-	<b>1,18</b>	0,52

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = **18,18** mm



**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

Locatie	H [m]	$\sigma_{vert}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{hor}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p'_f$ [kN/m <sup>2</sup> ]	G [MN/m <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,31	4,79	3,35	4,07	7,20	0,71
Neergaande bocht	8,09	54,13	37,85	45,99	69,36	0,71
2e rechte deel	8,09	54,13	37,85	45,99	69,36	0,71
Opgaande bocht	8,06	53,96	37,74	45,85	69,17	0,71
3e rechte deel	2,99	26,31	18,40	22,35	30,98	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 [-]	$R_{p,max}$ [m]	u [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{st}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\Delta_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$p_{lim}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1e rechte deel	0,0044	0,16	0,0000	0,0000	0,00	0,04
Neergaande bocht	0,033	4,05	0,0709	0,07999	0,00	0,26
2e rechte deel	0,033	4,05	0,0709	0,07999	0,01	0,26
Opgaande bocht	0,033	4,03	0,0706	0,07965	0,01	0,26
3e rechte deel	0,012	1,50	0,0199	0,02245	0,01	0,12

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

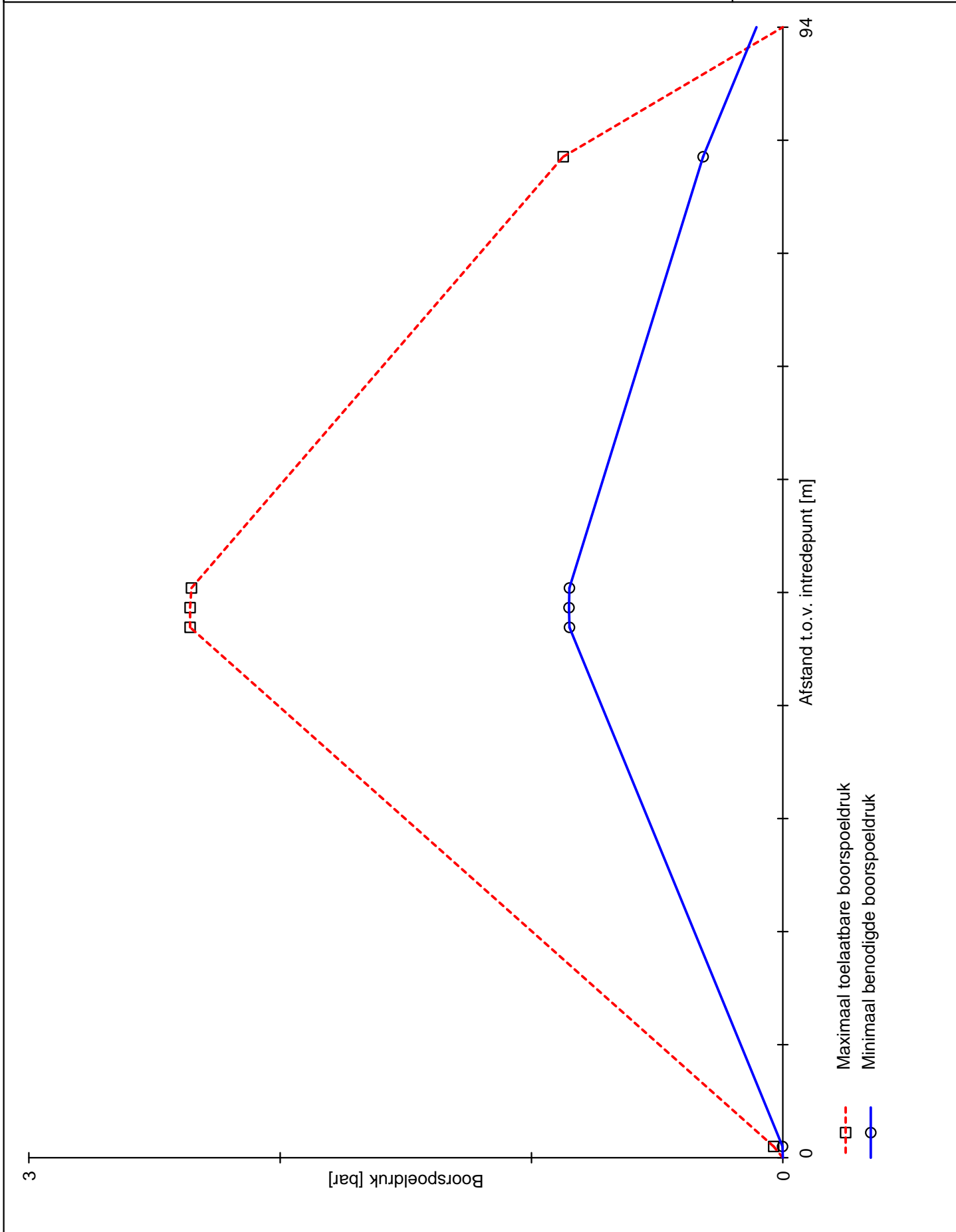
$$p_{lim} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

Locatie	$p_{max}$ [kPa]	90% $p_{lim}$ [kPa]	$p_{min}$ [kPa]	$p_{max}$ [bar]	90% $p_{lim}$ [bar]	$p_{min}$ [bar]
1e rechte deel	<b>3,64</b>	37,07	<b>0,10</b>	<b>0,04</b>	0,37	<b>0,00</b>
Neergaande bocht	254,17	<b>235,83</b>	<b>84,89</b>	2,54	<b>2,36</b>	<b>0,85</b>
2e rechte deel	254,17	<b>235,83</b>	<b>85,08</b>	2,54	<b>2,36</b>	<b>0,85</b>
Opgaande bocht	253,50	<b>235,28</b>	<b>84,92</b>	2,54	<b>2,35</b>	<b>0,85</b>
3e rechte deel	<b>87,38</b>	105,45	<b>31,71</b>	<b>0,87</b>	1,05	<b>0,32</b>

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

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





1.0.0.0/01-2018/10-10363211

Adviesbureau Schrijvers BV Hellevoetsluis

04-04-2018 20.24.02

