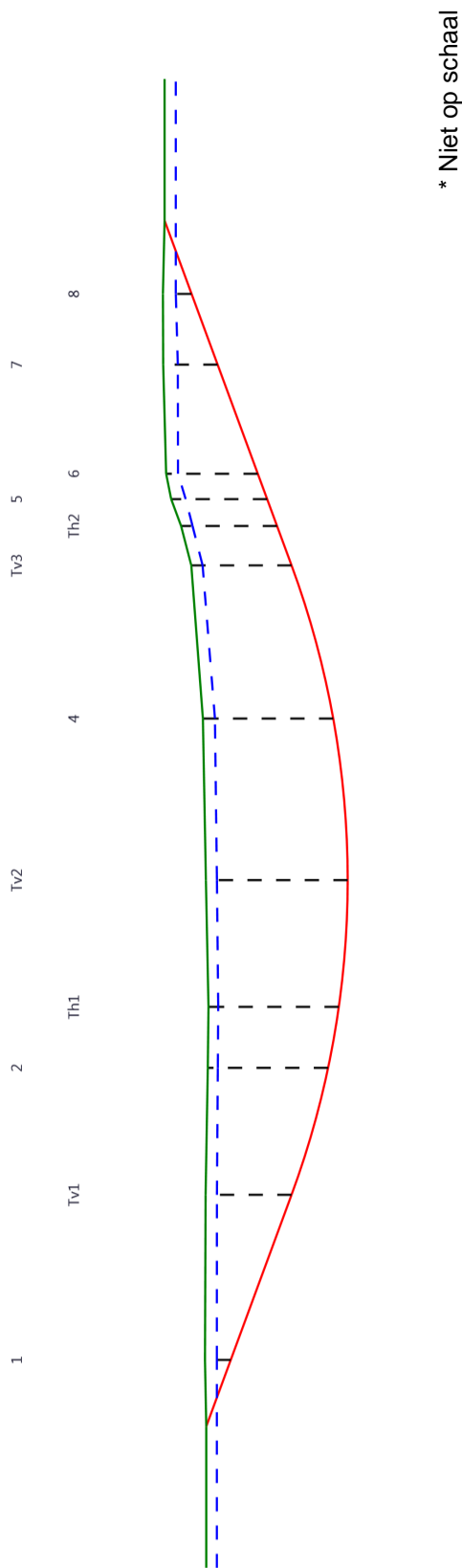


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2016 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : 1700266A00 - Liander - locatie Noorden, Noordse Dorpsweg - Gerbarastraat			
Projectonderdeel : Horizontaal gestuurde boring 1x Ø160 PE100 SDR11			
Materiaalgegevens			
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	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 14,6	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 verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D _g	= 210	mm
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Totale lengte	L	= 88,71	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 17,41	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 22,69	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 0,00	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 22,69	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 25,92	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 65,00	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 65,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 20,00 / 36,4	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 20,00 / 36,4	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor	f _{k,b}	= 1,1	
Belastingfactor	f _{k,o}	= 1,4	
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	
		06-02-2017 08:48:00	

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 ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
1	5,00	1,80	0,83	Klei	14,00	14,00	17,50
Tv1	17,41	6,00	0,79	Klei	14,00	14,68	22,50
2	26,41	8,40	0,70	Zand	14,00	17,65	35,00
Th1	30,78	9,10	0,68	Zand	14,00	17,92	35,00
Tv2	40,10	9,90	0,77	Zand	14,00	18,15	35,00
4	51,57	9,10	0,84	Zand	14,00	17,66	35,00
Tv3	62,79	7,00	0,79	Zand	12,77	17,03	35,00
Th2	65,75	6,70	0,80	Klei	13,80	16,61	27,50
5	67,77	6,70	1,01	Zand	17,48	15,74	27,00
6	69,68	6,40	0,83	Klei	17,56	15,48	22,50
7	77,88	3,80	1,02	Klei	16,86	13,95	17,50
8	83,20	2,00	0,90	Klei	16,95	15,19	15,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	Geen	-	0,00	1,00	Grafiek ½ x II
Tv1	Geen	-	0,00	1,50	Grafiek ½ x II
2	Geen	0,0687	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
Th1	Geen	0,0687	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
Tv2	Geen	0,0687	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	0,0687	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
Tv3	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
Th2	Geen	-	1,00	5,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
6	Geen	-	5,00	3,00	Grafiek II
7	Geen	-	0,00	1,00	Grafiek II
8	Geen	-	1,00	0,50	Grafiek ½ x II



2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 130,80	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 145,40	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 160,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 65,40	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 72,70	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 17.801.758,07	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 222.521,98	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 259,34	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 35,53	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 6.669,10	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0637	N/mm ¹

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	$g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$

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	88,71	2.373
Na 1 ^e deel intrekken	62,79	1.680
Na 2 ^e deel intrekken	40,10	1.073
Na 3 ^e deel intrekken	40,10	1.073
Na 4 ^e deel intrekken	17,41	466

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,0637 \cdot 0,3$$

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	2.373	0,36
Na 1 ^e deel intrekken	1.680	0,25
Na 2 ^e deel intrekken	1.073	0,16
Na 3 ^e deel intrekken	1.073	0,16
Na 4 ^e deel intrekken	466	0,07

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{6.669,10}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758}{50.000} = 381.847,71 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{381.847,71}{222.522} = 1,72 \text{ N/mm}^2$$

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	0,36	1,47
Na 1 ^e deel intrekken	0,25	1,37
Na 2 ^e deel intrekken	0,16	1,28
Na 3 ^e deel intrekken	0,16	1,28
Na 4 ^e deel intrekken	0,07	1,19

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,72 + \sigma_t$$

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 trekkkracht 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: $D_{e,omtrek} = 502,65 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 160,00^2 \cdot \pi/4 = 0,231 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,168 \text{ N/mm}^1$

Trekkkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	25,92	2.128	-
2 ^e deel intrekken	48,61	-	3.991
3 ^e deel intrekken	48,61	3.991	-
4 ^e deel intrekken	71,30	-	5.853
Geheel ingetrokken	88,71	7.283	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (502,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (502,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

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

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
2	0,0035	65,0	0,0075	596
Th1	0,0035	65,0	0,0075	596
Tv2	0,0035	65,0	0,0075	596
4	0,0035	65	0,0075	596

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 160 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

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

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	1.073	3.991	596	-	5.659
Opgaande bocht	466	5.853	596	596	7.511

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	10,00	5.659	550
Opgaande bocht	10,00	7.511	730

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

Trekkraft T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 / T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3c, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	$T_{3c, \text{op}}$ [N]	T_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	1.680	2.128	-	-	-	-	3.808
2 ^e deel intrekken	1.073	3.991	596	550	-	-	6.210
3 ^e deel intrekken	1.073	3.991	596	550	-	-	6.210
4 ^e deel intrekken	466	5.853	596	550	596	730	8.792
Geheel intrekken	0	7.283	596	550	596	730	9.756

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
1 ^e deel intrekken	3.808	0,57
2 ^e deel intrekken	6.210	0,93
3 ^e deel intrekken	6.210	0,93
4 ^e deel intrekken	8.792	1,32
Geheel intrekken	9.756	1,46

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.669,10}$$

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

5.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 65.000} = 415.374,35 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{415.374,35}{222.521,98} = \mathbf{1,87 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 65.000} = 415.374,35 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{415.374,35}{222.521,98} = \mathbf{1,87 \text{ N/mm}^2}$$

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	3.808	0,57	-	0,57
Na 1 ^e deel intrekken	6.210	0,93	1,87	2,14
Na 2 ^e deel intrekken	6.210	0,93	-	0,93
Na 3 ^e deel intrekken	8.792	1,32	1,87	2,53
Na 4 ^e deel intrekken	9.756	1,46	-	1,46

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.669,10} = \sigma_t$$

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

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

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*

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]
1	1,80	0,83	Klei	12,78	14,94	27,72	2,88
Tv1	6,00	0,79	Klei	12,17	84,13	96,30	7,07
2	8,40	0,70	Zand	10,78	149,50	160,28	13,32
Th1	9,10	0,68	Zand	10,47	165,98	176,45	14,76
Tv2	9,90	0,77	Zand	11,86	182,28	194,14	16,45
4	9,10	0,84	Zand	12,94	160,46	173,39	14,53
Tv3	7,00	0,79	Zand	11,10	116,33	127,43	10,45
Th2	6,70	0,80	Klei	12,14	107,80	119,94	9,75
5	6,70	1,01	Zand	19,42	98,52	117,94	9,77
6	6,40	0,83	Klei	16,03	94,85	110,88	8,83
7	3,80	1,02	Klei	18,92	42,66	61,58	5,40
8	2,00	0,90	Klei	16,78	18,38	35,16	3,87

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

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]
1	1,80	Grafiek ½ x II	7,65	1,22
Tv1	6,00	Grafiek ½ x II	1,61	0,26
2	8,40	Grafiek ½ x II	1,06	0,17
Th1	9,10	Grafiek ½ x II	0,95	0,15
Tv2	9,90	Grafiek ½ x II	0,85	0,14
4	9,10	Grafiek ½ x II	0,95	0,15
Tv3	7,00	Grafiek ½ x II	1,33	0,21
Th2	6,70	Grafiek ½ x II	1,40	0,22
5	6,70	Grafiek ½ x II	1,40	0,22
6	6,40	Grafiek II	2,97	0,48
7	3,80	Grafiek II	5,64	0,90
8	2,00	Grafiek ½ x II	6,56	1,05

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 160$$

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 ¹]
1	2,88	1,22	4,11	41,21	1,16
Tv1	7,07	0,26	7,33	73,53	2,07
2	13,32	0,17	13,49	135,37	3,81
Th1	14,76	0,15	14,91	149,60	4,21
Tv2	16,45	0,14	16,59	166,44	4,68
4	14,53	0,15	14,68	147,27	4,15
Tv3	10,45	0,21	10,67	107,00	3,01
Th2	9,75	0,22	9,98	100,08	2,82
5	9,77	0,22	9,99	100,23	2,82
6	8,83	0,48	9,30	93,34	2,63
7	5,40	0,90	6,31	63,27	1,78
8	3,87	1,05	4,92	49,31	1,39

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{35,53}$$

6.6 Optredende spanning s_{qr} t.g.v. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
2	65,0	0,0075	0,22
Th1	65,0	0,0075	0,22
Tv2	65,0	0,0075	0,22
4	65	0,0075	0,22

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 160 \cdot \frac{80,00}{35,53}$$

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

Leiding is drukloos

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

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$$

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

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,12** 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]
1	1,16	-	0,65	0,75
Tv1	2,07	-	0,65	1,35
2	3,81	0,22	0,65	2,62
Th1	4,21	0,22	0,65	2,88
Tv2	4,68	0,22	0,65	3,19
4	4,15	0,22	0,65	2,84
Tv3	3,01	-	0,65	1,96
Th2	2,82	-	0,65	1,83
5	2,82	-	0,65	1,83
6	2,63	-	0,65	1,71
7	1,78	-	0,65	1,16
8	1,39	-	0,65	0,90

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

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

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

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]
1	0,00	0,00	-	-	0,00
Tv1	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	1,87	0,65	1,21
Th1	0,00	0,00	1,87	0,65	1,21
Tv2	0,00	0,00	1,87	0,65	1,21
4	0,00	0,00	1,87	0,65	1,21
Tv3	0,00	0,00	-	-	0,00
Th2	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	-	-	0,00
6	0,00	0,00	-	-	0,00
7	0,00	0,00	-	-	0,00
8	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 [%]
1	2,88	1,22	-	0,54	0,37
Tv1	7,07	0,26	-	1,17	0,81
2	13,32	0,17	0,0075	3,06	2,11
Th1	14,76	0,15	0,0075	3,39	2,33
Tv2	16,45	0,14	0,0075	3,77	2,59
4	14,53	0,15	0,0075	3,33	2,29
Tv3	10,45	0,21	-	2,42	1,66
Th2	9,75	0,22	-	1,87	1,29
5	9,77	0,22	-	1,85	1,27
6	8,83	0,48	-	1,49	1,02
7	5,40	0,90	-	0,83	0,57
8	3,87	1,05	-	0,57	0,39

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 145,40 = \mathbf{11,63} \text{ mm}$$

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]
1	1,80	13,21	9,24	11,22	14,60	0,36
Tv1	6,00	27,48	16,97	22,23	30,73	0,54
2	8,40	55,46	23,65	39,55	62,24	28,85
Th1	9,10	61,62	26,28	43,95	69,16	28,85
Tv2	9,90	69,15	29,49	49,32	77,60	28,85
4	9,10	60,70	25,88	43,29	68,12	28,85
Tv3	7,00	43,21	18,43	30,82	48,50	28,85
Th2	6,70	40,13	21,60	30,86	46,00	1,79
5	6,70	40,57	22,15	31,36	45,60	13,46
6	6,40	35,93	22,18	29,06	44,80	1,07
7	3,80	23,09	16,15	19,62	25,52	0,36
8	2,00	18,06	13,38	15,72	20,76	0,18

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

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

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

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

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

Locatie	Q [-]	$R_{p,\text{max}}$ [m]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	Δ_p [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]
1	0,0094	0,90	0,0097	0,01094	0,00	0,05
Tv1	0,016	3,00	0,0521	0,05878	0,01	0,15
2	0,00079	1,18	0,0770	0,08687	0,01	0,92
Th1	0,00087	1,12	0,0842	0,09499	0,01	0,99
Tv2	0,00098	1,06	0,0913	0,1030	0,02	1,06
4	0,00086	1,13	0,0826	0,09319	0,02	0,97
Tv3	0,00061	1,34	0,0621	0,07006	0,02	0,78
Th2	0,0085	3,35	0,0590	0,06656	0,03	0,27
5	0,0011	1,02	0,0569	0,06419	0,03	0,44
6	0,015	3,20	0,0557	0,06284	0,03	0,23
7	0,017	1,90	0,0278	0,03136	0,03	0,09
8	0,028	1,00	0,0110	0,01241	0,03	0,06

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

Locatie	p_{\max} [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	p_{\max} [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
1	44,60	47,33	12,85	0,45	0,47	0,13
Tv1	146,86	133,94	65,43	1,47	1,34	0,65
2	428,58	827,63	96,96	4,29	8,28	0,97
Th1	460,13	886,64	106,75	4,60	8,87	1,07
Tv2	495,78	954,60	118,32	4,96	9,55	1,18
4	454,95	877,47	112,89	4,55	8,77	1,13
Tv3	362,13	703,03	94,05	3,62	7,03	0,94
Th2	265,97	246,00	91,69	2,66	2,46	0,92
5	240,08	399,78	90,09	2,40	4,00	0,90
6	222,97	203,87	89,47	2,23	2,04	0,89
7	91,15	84,32	61,13	0,91	0,84	0,61
8	54,93	52,45	44,21	0,55	0,52	0,44

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

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$

