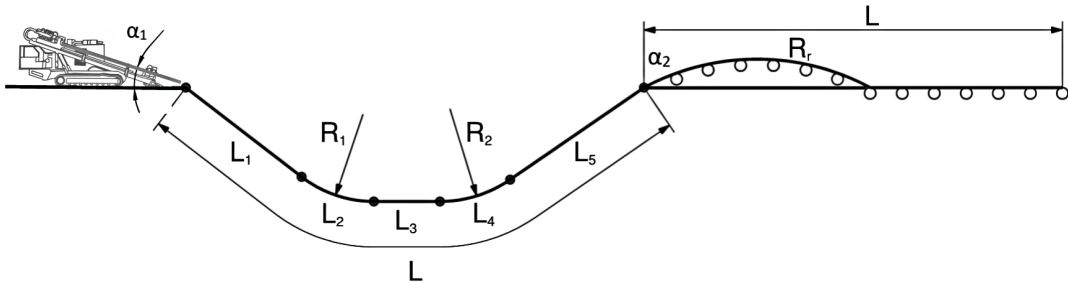


Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : B2021-018 Nieuwerbrug aan den Rijn, Weijpoort 1			
Projectonderdeel : B2021-018 Sterkte en spoeldrukberekening 1x Ø 110mm SDR11 KIWA			
Materiaalgegevens			
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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,3	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Diameter boorkop	D _p	= 120	mm
Diameter ruimer	D _g	= 355	mm
Totale lengte	L	= 77,00	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 14,60	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 18,80	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 10,90	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 5,30	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 27,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 60,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 38,40	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 38,40	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		03-05-2021 16:54:40	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	

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 [°]
A 1e rechte deel	14,6	3,80	0,70	Zand	19,61	17,47	35,00
B Kant Water	22	5,50	0,50	Zand	19,54	18,71	35,00
C Waterbodern	28	4,10	-1,70	Zand	0,00	20,20	27,00
D Neergaande bocht	33,5	4,30	-1,70	Zand	0,00	20,20	35,00
E Kant water - 2e ..	40	6,80	0,80	Zand	19,42	19,07	35,00
F Opgaande bocht	44,4	6,80	0,70	Zand	19,35	19,09	35,00
G Einde RC	49,6	6,60	0,80	Zand	19,42	19,03	27,00
H 3e rechte deel	63,2	4,00	0,90	Zand	19,26	17,47	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A 1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
B Kant Water	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C Waterbodern	Geen	0,1000	0,00	35,00	Geen
D Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Geen
E Kant water - 2e ..	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F Opgaande bocht	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G Einde RC	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
H 3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II

03-05-2021 16:54:40

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

2. 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	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

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]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	77,00	416
Na intrekken van L_5	49,60	268
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44,30	239
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33,40	180
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,60	79

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	416	0,13
Na intrekken van L_5	268	0,09
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	0,08
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{60.000} = 70.896,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{70.896,91}{72.114} = \mathbf{0,98 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,13	0,77
Na intrekken van L ₅	0,09	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,08	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,06	0,70
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,03	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,98 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat
4.1 Berekening van de vereiste 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	27,40	1.634	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	32,70	-	1.950
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	43,60	2.601	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	62,40	-	3.722
Geheel ingetrokken	77,00	4.593	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.3 Berekening van de vereiste trekkracht 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]
B Kant Water	0,0052	38,4	0,0087	421
C Waterbodembodem	0,0052	38,4	0,0087	421
F Opgaande bocht	0,0052	38,4	0,0087	421

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht 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	239	1.950	421	-	2.610
Opgaande bocht	79	3.722	421	421	4.642

 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	9,00	2.610	294
Opgaande bocht	9,00	4.642	523

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

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

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

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

4.5 Totalisatie van de trekkrachten 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]
Na intrekken van L_5	268	1.634	-	-	-	-	1.902
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	1.950	421	294	-	-	2.905
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	2.601	421	294	-	-	3.496
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	3.722	421	294	421	523	5.459
Geheel ingetrokken	0	4.593	421	294	421	523	6.251

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74
Geheel ingetrokken	6.251	1,99

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

03-05-2021 16:54:41

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

4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61	-	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92	2,17	2,34
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11	-	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74	2,17	3,15
Geheel ingetrokken	6.251	1,99	-	1,99

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59} = \sigma_t$$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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

$$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,3 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,52 = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 50^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,88$$

5.3 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]
A 1e rechte deel	3,80	0,70	Zand	15,10	59,57	74,67	4,80
B Kant Water	5,50	0,50	Zand	10,75	102,91	113,65	7,00
C Waterbodern	4,10	-1,70	Zand	0,00	91,10	91,10	5,51
D Neergaande b..	4,30	-1,70	Zand	0,00	95,55	95,55	5,78
E Kant water -..	6,80	0,80	Zand	17,09	125,86	142,95	9,12
F Opgaande bocht	6,80	0,70	Zand	14,90	128,09	142,99	9,02
G Einde RC	6,60	0,80	Zand	17,09	121,41	138,50	8,86
H 3e rechte deel	4,00	0,90	Zand	19,07	59,57	78,64	5,24

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

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]
A 1e rechte deel	3,80	Grafiek 1/2 x II	2,82	0,31
B Kant Water	5,50	Grafiek 1/2 x II	1,79	0,20
C Waterbodern	4,10	Geen	0,00	0,00
D Neergaande b..	4,30	Geen	0,00	0,00
E Kant water -..	6,80	Grafiek 1/2 x II	1,38	0,15
F Opgaande bocht	6,80	Grafiek 1/2 x II	1,38	0,15
G Einde RC	6,60	Grafiek 1/2 x II	1,43	0,16
H 3e rechte deel	4,00	Grafiek II	5,29	0,58

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

03-05-2021 16:54:42

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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]	σ_q [N/mm ²]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	5,11	65,72	3,48
B Kant Water	7,00	0,20	7,20	92,50	4,90
C Waterbodern	5,51	0,00	5,51	70,82	3,75
D Neergaande b..	5,78	0,00	5,78	74,27	3,94
E Kant water -..	9,12	0,15	9,28	119,20	6,32
F Opgaande bocht	9,02	0,15	9,17	117,85	6,25
G Einde RC	8,86	0,16	9,01	115,81	6,14
H 3e rechte deel	5,24	0,58	5,82	74,82	3,97

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,88 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
B Kant Water	38,4	0,0087	0,57
C Waterbodern	38,4	0,0087	0,57
F Opgaande bocht	38,4	0,0087	0,57

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

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

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

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

03-05-2021 16:54:43

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
8.1 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]
A 1e rechte deel	3,48	-	0,65	2,26
B Kant Water	4,90	0,57	0,65	3,56
C Waterbodembodem	3,75	0,57	0,65	2,81
D Neergaande b..	3,94	-	0,65	2,56
E Kant water -..	6,32	-	0,65	4,11
F Opgaande bocht	6,25	0,57	0,65	4,43
G Einde RC	6,14	-	0,65	3,99
H 3e rechte deel	3,97	-	0,65	2,58

 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/mm²
8.2 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]
A 1e rechte deel	0,61	1,56	-	-	2,17
B Kant Water	0,61	1,56	2,17	0,65	3,58
C Waterbodembodem	0,61	1,56	2,17	0,65	3,58
D Neergaande b..	0,61	1,56	-	-	2,17
E Kant water -..	0,61	1,56	-	-	2,17
F Opgaande bocht	0,61	1,56	2,17	0,65	3,58
G Einde RC	0,61	1,56	-	-	2,17
H 3e rechte deel	0,61	1,56	-	-	2,17

 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/mm²
9. 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 [%]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	-	1,03	1,03
B Kant Water	7,00	0,20	0,0087	1,48	1,48
C Waterbodembodem	5,51	0,00	0,0087	0,88	0,88
D Neergaande b..	5,78	0,00	-	1,20	1,20
E Kant water -..	9,12	0,15	-	1,91	1,91
F Opgaande bocht	9,02	0,15	0,0087	1,89	1,89
G Einde RC	8,86	0,16	-	1,42	1,42
H 3e rechte deel	5,24	0,58	-	1,15	1,15

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q_0) - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r}{E' \cdot I_w} \cdot r_g^3$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm

10. Berekening van de boorspoeldrukken

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p'_f [kN/m ²]	E_{100} [MN/m ²]
A 1e rechte deel	3,80	30,71	13,10	21,90	34,47	49,56
B Kant Water	5,50	43,93	18,73	31,33	49,30	59,84
C Waterbodern	4,10	34,29	18,72	26,51	38,54	24,77
D Neergaande b..	4,30	35,96	15,34	25,65	40,36	54,37
E Kant water -..	6,80	58,14	24,79	41,47	65,25	68,31
F Opgaande bocht	6,80	57,18	24,38	40,78	64,17	67,91
G Einde RC	6,60	56,46	30,83	43,65	63,46	31,40
H 3e rechte deel	4,00	33,99	14,49	24,24	38,15	51,77

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

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

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

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

$$E_{100, \text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	p_{st} [N/mm ²]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
A 1e rechte deel	25,61	0,00049	0,0310	0,03497	0,59	5,27
B Kant Water	30,91	0,00058	0,0500	0,05641	0,80	7,16
C Waterbodern	14,90	0,00081	0,0580	0,06543	0,41	3,73
D Neergaande b..	28,09	0,00052	0,0600	0,06769	0,69	6,24
E Kant water -..	35,29	0,00067	0,0600	0,06769	0,99	8,95
F Opgaande bocht	35,09	0,00067	0,0610	0,06882	0,98	8,85
G Einde RC	18,89	0,0010	0,0580	0,06543	0,60	5,39
H 3e rechte deel	26,75	0,00052	0,0310	0,03497	0,63	5,68

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

10.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δp [N/mm ²]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
A 1e rechte deel	0,86	0,01	0,26	2,62	0,05	0,48
B Kant Water	0,79	0,02	0,36	3,61	0,08	0,76
C Waterbodem	0,67	0,03	0,23	2,26	0,09	0,91
D Neergaande b..	0,83	0,03	0,32	3,24	0,10	0,98
E Kant water -..	0,73	0,04	0,45	4,50	0,10	1,04
F Opgaande bocht	0,73	0,04	0,45	4,46	0,11	1,09
G Einde RC	0,59	0,04	0,31	3,14	0,11	1,10
H 3e rechte deel	0,83	0,06	0,28	2,82	0,09	0,92

10.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δp [N/mm ²]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
A 1e rechte deel	1,90	0,01	0,22	2,21	0,05	0,47
B Kant Water	2,33	0,01	0,36	3,61	0,07	0,67
C Waterbodem	1,98	0,01	0,23	2,26	0,08	0,75
D Neergaande b..	2,15	0,01	0,30	3,02	0,08	0,76
E Kant water -..	2,16	0,01	0,45	4,50	0,08	0,75
F Opgaande bocht	2,17	0,01	0,45	4,46	0,08	0,75
G Einde RC	1,73	0,01	0,31	3,14	0,07	0,71
H 3e rechte deel	2,00	0,00	0,25	2,49	0,04	0,38

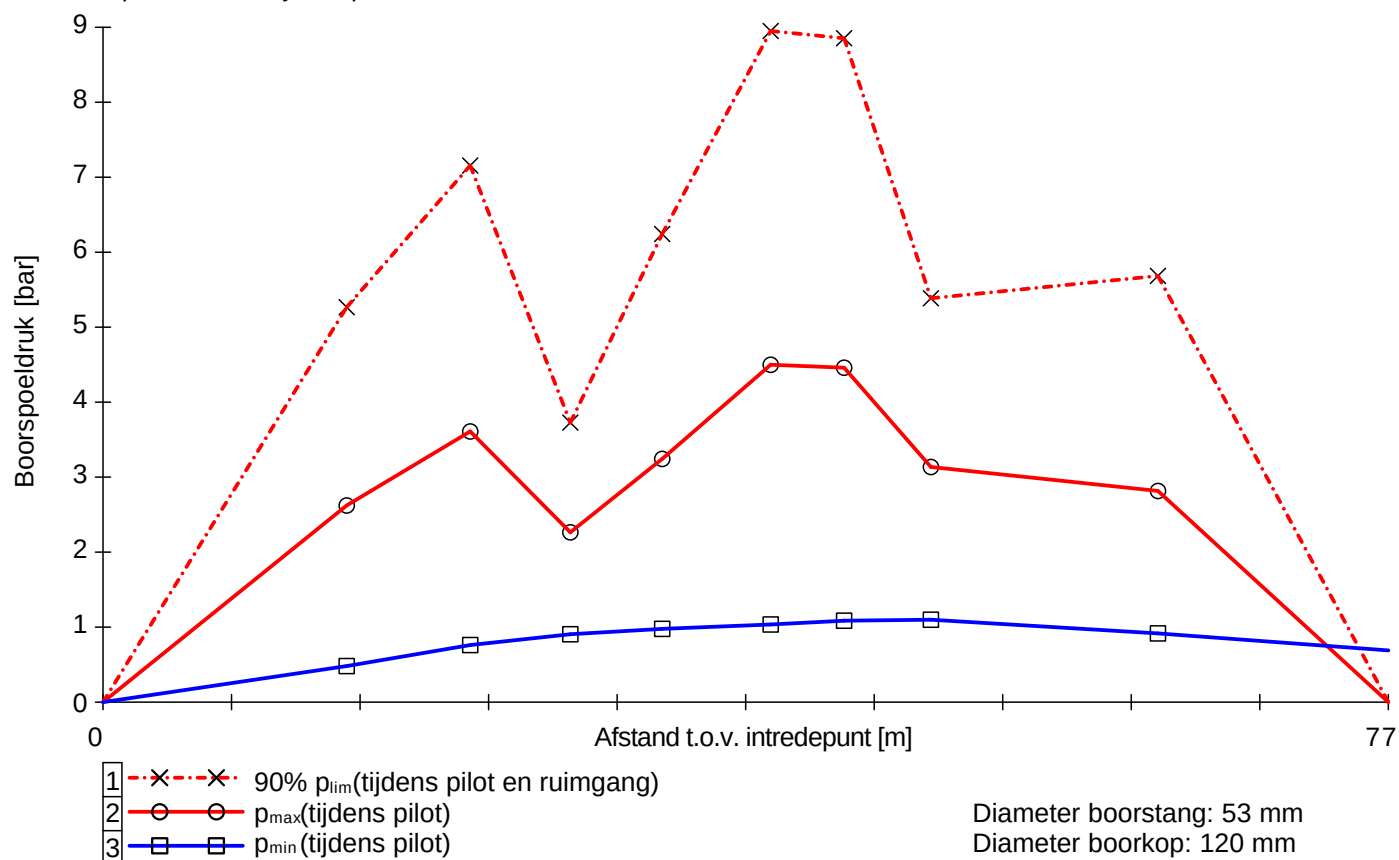
$$R_{p,max} = \frac{H}{2}; R_{p,max,zand} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \varepsilon_{g,max}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_{g/p} - D_b} \cdot L$$

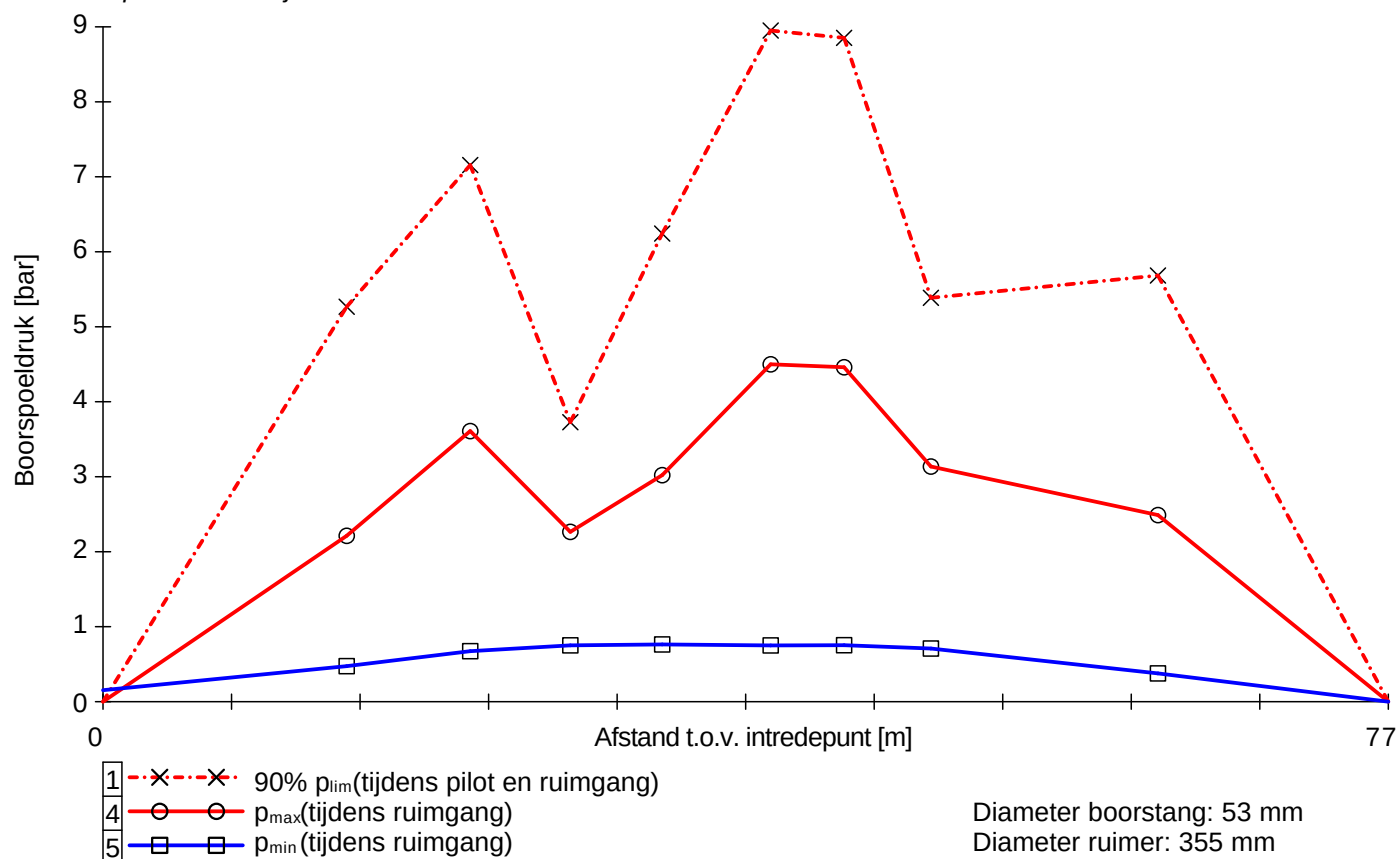
$$p_{max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_o^2}{R_{p,max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

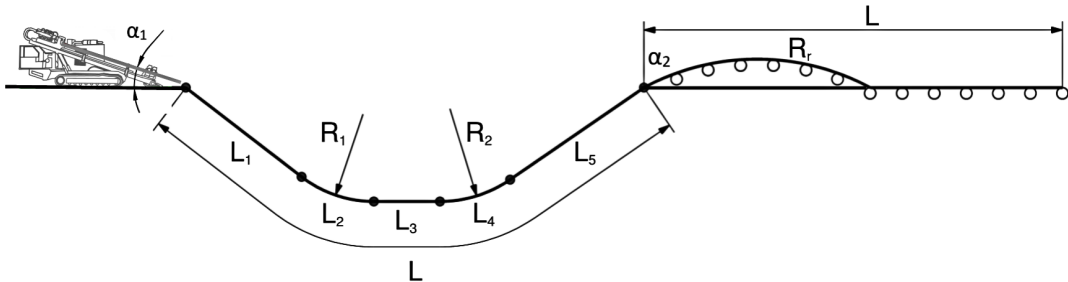
$$p_{min} = p_{st} + \Delta p$$

10.3 Boorspoeldrukken tijdens pilot



10.4 Boorspoeldrukken tijdens ruimen



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project : B2021-018 Nieuwerbrug aan den Rijn, Weijpoort 1			
Projectonderdeel : B2021-018 Sterkteberekening 1x Ø 110mm SDR11 Gas			
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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Gas	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,2	N/mm ²
Volumieke massa medium	ρ_{omg}	= 0,833	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Diameter boorkop	D _p	= 120	mm
Diameter ruimer	D _g	= 355	mm
Totale lengte	L	= 77,00	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 14,60	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 18,80	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 10,90	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 5,30	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 27,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 60,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 38,40	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 38,40	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		03-05-2021 16:41:22	

2.0.7.0/03-2021/10-43456433-1

© Adviesbureau Schrijvers b.v. | info@schrijvers.nl | schrijvers.nl

03-05-2021 16:41:22

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2020 2.0 ©		
Onzekerheids- en wrijvingsfactoren							
Totaalfactor bij boring met bundels	f		= 1,8				
Belastingfactor, bovengronds	f _{k,b}		= 1,1				
Belastingfactor, ondergronds	f _{k,o}		= 1,4				
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	f _{r,o}		= 0,9				
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f ₁		= 0,1				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f ₂		= 0,00005 N/mm ²				
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f ₃		= 0,2				
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 [°]
A 1e rechte deel	14,6	3,80	0,70	Zand	19,61	17,47	35,00
B Kant Water	22	5,50	0,50	Zand	19,54	18,71	35,00
C Waterbodern	28	4,10	-1,70	Zand	0,00	20,20	27,00
D Neergaande bocht	33,5	4,30	-1,70	Zand	0,00	20,20	35,00
E Kant water - 2e ..	40	6,80	0,80	Zand	19,42	19,07	35,00
F Opgaande bocht	44,4	6,80	0,70	Zand	19,35	19,09	35,00
G Einde RC	49,6	6,60	0,80	Zand	19,42	19,03	27,00
H 3e rechte deel	63,2	4,00	0,90	Zand	19,26	17,47	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A 1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
B Kant Water	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C Waterbodern	Geen	0,1000	0,00	35,00	Geen
D Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Geen
E Kant water - 2e ..	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F Opgaande bocht	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G Einde RC	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
H 3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II

03-05-2021 16:41:22

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

2. 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	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

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]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	77,00	416
Na intrekken van L_5	49,60	268
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44,30	239
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33,40	180
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,60	79

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	416	0,13
Na intrekken van L_5	268	0,09
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	0,08
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{60.000} = 70.896,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{70.896,91}{72.114} = \mathbf{0,98 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,13	0,77
Na intrekken van L ₅	0,09	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,08	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,06	0,70
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,03	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,98 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat
4.1 Berekening van de vereiste 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	27,40	1.634	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	32,70	-	1.950
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	43,60	2.601	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	62,40	-	3.722
Geheel ingetrokken	77,00	4.593	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.3 Berekening van de vereiste trekkracht 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]
B Kant Water	0,0052	38,4	0,0087	421
C Waterbodem	0,0052	38,4	0,0087	421
F Opgaande bocht	0,0052	38,4	0,0087	421

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht 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	239	1.950	421	-	2.610
Opgaande bocht	79	3.722	421	421	4.642

 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	9,00	2.610	294
Opgaande bocht	9,00	4.642	523

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

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

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

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

4.5 Totalisatie van de trekkrachten 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]
Na intrekken van L_5	268	1.634	-	-	-	-	1.902
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	1.950	421	294	-	-	2.905
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	2.601	421	294	-	-	3.496
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	3.722	421	294	421	523	5.459
Geheel ingetrokken	0	4.593	421	294	421	523	6.251

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74
Geheel ingetrokken	6.251	1,99

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

03-05-2021 16:41:23

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

4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61	-	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92	2,17	2,34
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11	-	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74	2,17	3,15
Geheel ingetrokken	6.251	1,99	-	1,99

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59} = \sigma_t$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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

$$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,2 = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,01 = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 50^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,92$$

5.3 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]
A 1e rechte deel	3,80	0,70	Zand	15,10	59,57	74,67	4,80
B Kant Water	5,50	0,50	Zand	10,75	102,91	113,65	7,00
C Waterbodern	4,10	-1,70	Zand	0,00	91,10	91,10	5,51
D Neergaande b..	4,30	-1,70	Zand	0,00	95,55	95,55	5,78
E Kant water -..	6,80	0,80	Zand	17,09	125,86	142,95	9,12
F Opgaande bocht	6,80	0,70	Zand	14,90	128,09	142,99	9,02
G Einde RC	6,60	0,80	Zand	17,09	121,41	138,50	8,86
H 3e rechte deel	4,00	0,90	Zand	19,07	59,57	78,64	5,24

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

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]
A 1e rechte deel	3,80	Grafiek ½ x II	2,82	0,31
B Kant Water	5,50	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
C Waterbodern	4,10	Geen	0,00	0,00
D Neergaande b..	4,30	Geen	0,00	0,00
E Kant water -..	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
F Opgaande bocht	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
G Einde RC	6,60	Grafiek ½ x II	1,43	0,16
H 3e rechte deel	4,00	Grafiek II	5,29	0,58

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

03-05-2021 16:41:24

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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]	σ_q [N/mm ²]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	5,11	65,72	3,62
B Kant Water	7,00	0,20	7,20	92,50	5,10
C Waterbodern	5,51	0,00	5,51	70,82	3,91
D Neergaande b..	5,78	0,00	5,78	74,27	4,10
E Kant water -..	9,12	0,15	9,28	119,20	6,57
F Opgaande bocht	9,02	0,15	9,17	117,85	6,50
G Einde RC	8,86	0,16	9,01	115,81	6,39
H 3e rechte deel	5,24	0,58	5,82	74,82	4,13

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
B Kant Water	38,4	0,0087	0,57
C Waterbodern	38,4	0,0087	0,57
F Opgaande bocht	38,4	0,0087	0,57

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

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

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

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

03-05-2021 16:41:24

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
8.1 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]
A 1e rechte deel	3,62	-	0,65	2,36
B Kant Water	5,10	0,57	0,65	3,68
C Waterbodem	3,91	0,57	0,65	2,91
D Neergaande b..	4,10	-	0,65	2,66
E Kant water -..	6,57	-	0,65	4,27
F Opgaande bocht	6,50	0,57	0,65	4,59
G Einde RC	6,39	-	0,65	4,15
H 3e rechte deel	4,13	-	0,65	2,68

 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/mm²
8.2 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]
A 1e rechte deel	0,40	1,56	-	-	1,96
B Kant Water	0,40	1,56	2,17	0,65	3,38
C Waterbodem	0,40	1,56	2,17	0,65	3,38
D Neergaande b..	0,40	1,56	-	-	1,96
E Kant water -..	0,40	1,56	-	-	1,96
F Opgaande bocht	0,40	1,56	2,17	0,65	3,38
G Einde RC	0,40	1,56	-	-	1,96
H 3e rechte deel	0,40	1,56	-	-	1,96

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

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

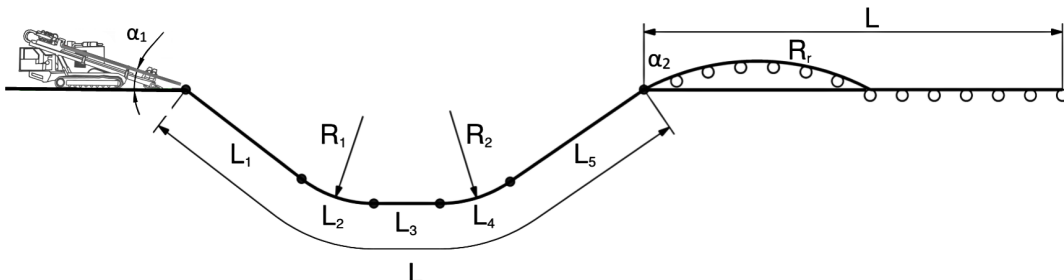
 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²
9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	-	1,03	1,03
B Kant Water	7,00	0,20	0,0087	1,48	1,48
C Waterbodem	5,51	0,00	0,0087	0,88	0,88
D Neergaande b..	5,78	0,00	-	1,20	1,20
E Kant water -..	9,12	0,15	-	1,91	1,91
F Opgaande bocht	9,02	0,15	0,0087	1,89	1,89
G Einde RC	8,86	0,16	-	1,42	1,42
H 3e rechte deel	5,24	0,58	-	1,15	1,15

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q_0) - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r}{E' \cdot I_w} \cdot r_g^3$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 2.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project		: B2021-018 Nieuwerbrug aan den Rijn, Weijpoort 1	
Projectonderdeel		: B2021-018 Sterkteberekening 1x Ø 110mm SDR11 mantelbuis	
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	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8,00	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 10	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter boorstang	D _b	= 53	mm
Diameter boorkop	D _p	= 120	mm
Diameter ruimer	D _g	= 355	mm
Totale lengte	L	= 77,00	m
Lengte 1e rechte deel	L ₁	= 14,60	m
Lengte neergaande bocht	L ₂	= 18,80	m
Lengte 2e rechte deel	L ₃	= 10,90	m
Lengte opgaande bocht	L ₄	= 5,30	m
Lengte 3e rechte deel	L ₅	= 27,40	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 60,00	m
Straal neergaande bocht	R ₁	= 38,40	m
Straal opgaande bocht	R ₂	= 38,40	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 18,00 / 32,49	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
			
		03-05-2021 16:51:36	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	

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 [°]
A 1e rechte deel	14,6	3,80	0,70	Zand	19,61	17,47	35,00
B Kant Water	22	5,50	0,50	Zand	19,54	18,71	35,00
C Waterbodem	28	4,10	-1,70	Zand	0,00	20,20	27,00
D Neergaande bocht	33,5	4,30	-1,70	Zand	0,00	20,20	35,00
E Kant water - 2e ..	40	6,80	0,80	Zand	19,42	19,07	35,00
F Opgaande bocht	44,4	6,80	0,70	Zand	19,35	19,09	35,00
G Einde RC	49,6	6,60	0,80	Zand	19,42	19,03	27,00
H 3e rechte deel	63,2	4,00	0,90	Zand	19,26	17,47	35,00

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A 1e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
B Kant Water	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
C Waterbodem	Geen	0,1000	0,00	35,00	Geen
D Neergaande bocht	Geen	-	0,00	75,00	Geen
E Kant water - 2e ..	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
F Opgaande bocht	Geen	0,1000	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
G Einde RC	Geen	-	0,00	35,00	Grafiek ½ x II
H 3e rechte deel	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek II

03-05-2021 16:51:36

1. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 90,00	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 100,00	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 45,00	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,00	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.966.260,73	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 72.113,83	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 83,33	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 16,67	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 3.141,59	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0300	N/mm ¹

2. 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	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

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]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	77,00	416
Na intrekken van L_5	49,60	268
Na intrekken van $L_5 + L_4$	44,30	239
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	33,40	180
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	14,60	79

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	416	0,13
Na intrekken van L_5	268	0,09
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	0,08
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	0,06
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{60.000} = 70.896,91 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{70.896,91}{72.114} = \mathbf{0,98 \text{ N/mm}^2}$$

3.4 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	0,13	0,77
Na intrekken van L ₅	0,09	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄	0,08	0,72
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃	0,06	0,70
Na intrekken van L ₅ + L ₄ + L ₃ + L ₂	0,03	0,66

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,98 + \sigma_t$$

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

4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat
4.1 Berekening van de vereiste 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: $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
Na intrekken van L_5	27,40	1.634	-
Na intrekken van $L_5 + L_4$	32,70	-	1.950
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	43,60	2.601	-
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	62,40	-	3.722
Geheel ingetrokken	77,00	4.593	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

4.3 Berekening van de vereiste trekkracht 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]
B Kant Water	0,0052	38,4	0,0087	421
C Waterbodem	0,0052	38,4	0,0087	421
F Opgaande bocht	0,0052	38,4	0,0087	421

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

4.4 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	239	1.950	421	-	2.610
Opgaande bocht	79	3.722	421	421	4.642

 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	9,00	2.610	294
Opgaande bocht	9,00	4.642	523

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

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

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

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

4.5 Totalisatie van de trekkrachten 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]
Na intrekken van L_5	268	1.634	-	-	-	-	1.902
Na intrekken van $L_5 + L_4$	239	1.950	421	294	-	-	2.905
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	180	2.601	421	294	-	-	3.496
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	79	3.722	421	294	421	523	5.459
Geheel ingetrokken	0	4.593	421	294	421	523	6.251

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74
Geheel ingetrokken	6.251	1,99

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

03-05-2021 16:51:37

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

4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 38.400} = 156.653,53 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{156.653,53}{72.113,83} = \mathbf{2,17 \text{ N/mm}^2}$$

4.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Na intrekken van L_5	1.902	0,61	-	0,61
Na intrekken van $L_5 + L_4$	2.905	0,92	2,17	2,34
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3$	3.496	1,11	-	1,11
Na intrekken van $L_5 + L_4 + L_3 + L_2$	5.459	1,74	2,17	3,15
Geheel ingetrokken	6.251	1,99	-	1,99

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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

Leiding is drukloos:

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

5.2 Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

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

5.3 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]
A 1e rechte deel	3,80	0,70	Zand	15,10	59,57	74,67	4,80
B Kant Water	5,50	0,50	Zand	10,75	102,91	113,65	7,00
C Waterbodern	4,10	-1,70	Zand	0,00	91,10	91,10	5,51
D Neergaande b..	4,30	-1,70	Zand	0,00	95,55	95,55	5,78
E Kant water -..	6,80	0,80	Zand	17,09	125,86	142,95	9,12
F Opgaande bocht	6,80	0,70	Zand	14,90	128,09	142,99	9,02
G Einde RC	6,60	0,80	Zand	17,09	121,41	138,50	8,86
H 3e rechte deel	4,00	0,90	Zand	19,07	59,57	78,64	5,24

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

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]
A 1e rechte deel	3,80	Grafiek ½ x II	2,82	0,31
B Kant Water	5,50	Grafiek ½ x II	1,79	0,20
C Waterbodern	4,10	Geen	0,00	0,00
D Neergaande b..	4,30	Geen	0,00	0,00
E Kant water -..	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
F Opgaande bocht	6,80	Grafiek ½ x II	1,38	0,15
G Einde RC	6,60	Grafiek ½ x II	1,43	0,16
H 3e rechte deel	4,00	Grafiek II	5,29	0,58

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

03-05-2021 16:51:38

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 2.0 ©

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]	σ_q [N/mm ²]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	5,11	65,72	3,94
B Kant Water	7,00	0,20	7,20	92,50	5,55
C Waterbodern	5,51	0,00	5,51	70,82	4,25
D Neergaande b..	5,78	0,00	5,78	74,27	4,46
E Kant water -..	9,12	0,15	9,28	119,20	7,15
F Opgaande bocht	9,02	0,15	9,17	117,85	7,07
G Einde RC	8,86	0,16	9,01	115,81	6,95
H 3e rechte deel	5,24	0,58	5,82	74,82	4,49

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

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

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
B Kant Water	38,4	0,0087	0,57
C Waterbodern	38,4	0,0087	0,57
F Opgaande bocht	38,4	0,0087	0,57

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

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

Leiding is drukloos

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

6. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²**
7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

03-05-2021 16:51:38

8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen
8.1 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]
A 1e rechte deel	3,94	-	0,65	2,56
B Kant Water	5,55	0,57	0,65	3,98
C Waterbodem	4,25	0,57	0,65	3,13
D Neergaande b..	4,46	-	0,65	2,90
E Kant water -..	7,15	-	0,65	4,65
F Opgaande bocht	7,07	0,57	0,65	4,96
G Einde RC	6,95	-	0,65	4,52
H 3e rechte deel	4,49	-	0,65	2,92

 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/mm²
8.2 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]
A 1e rechte deel	0,00	0,00	-	-	0,00
B Kant Water	0,00	0,00	2,17	0,65	1,41
C Waterbodem	0,00	0,00	2,17	0,65	1,41
D Neergaande b..	0,00	0,00	-	-	0,00
E Kant water -..	0,00	0,00	-	-	0,00
F Opgaande bocht	0,00	0,00	2,17	0,65	1,41
G Einde RC	0,00	0,00	-	-	0,00
H 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
9. 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 [%]
A 1e rechte deel	4,80	0,31	-	1,03	1,03
B Kant Water	7,00	0,20	0,0087	1,48	1,48
C Waterbodem	5,51	0,00	0,0087	0,88	0,88
D Neergaande b..	5,78	0,00	-	1,20	1,20
E Kant water -..	9,12	0,15	-	1,91	1,91
F Opgaande bocht	9,02	0,15	0,0087	1,89	1,89
G Einde RC	8,86	0,16	-	1,42	1,42
H 3e rechte deel	5,24	0,58	-	1,15	1,15

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q_0) - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r}{E' \cdot I_w} \cdot r_g^3$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

 Toelaatbare deflectie = 8% · D_g = 0,08 · 100,00 = **8,00** mm