

Algemene gegevens

Naam van het project : GB240207-02

Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200

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 Tangentieel / Alfa Axiaal α_σ = 0,65 -

Soortelijk gewicht buis ρ_L = 9,55 kN/m³

Toelaatbare deflectie δ = 8,00 %

Leidinggegevens

Uitwendige middellijn D_e = 125,00 mm

Wanddikte d_n = 11,4 mm

Procesgegevens

Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos) = Drukloos

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte L = 94,47 m

Totale horizontale lengte L_{hor} = 92,88 m

Straal maaiveld/rollenbaan R_r = 100,00 m

Intredehoek (bij boorstelling) α_1 = 17,00 / 30,57 ° / %

Uittredehoek (bij rollenbaan) α_2 = 20,28 / 36,95 ° / %

Belastinghoek α = 30 °

Ondersteuningshoek β = 30 °

Horizontale steundrukhoek γ = 120 °

MV intrede t.o.v. NAP MV_{in} = 7,14 m

MV uittrede t.o.v. NAP MV_{uit} = 7,37 m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
A	11,13	10,64	11,13	10,64	-
B	18,06	17,80	29,19	28,44	60,00
C	37,90	37,90	67,09	66,34	-
D	20,98	20,54	88,07	86,88	60,00
E	6,40	6,00	94,47	92,88	-

Uitvoeringsaspecten

Diameter boorstang	D_b	= 72	mm
<i>Tijdens pilot</i>			
Diameter boorkop/boorgat	D_p	= 125	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_p	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 100	l/min
<i>Tijdens ruimgang</i>			
Boorstangen koppelen tijden ruimen			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,r}$	= 580	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_r	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,r}$	= 2000	l/min
<i>Tijdens intrekken</i>			
Equivalente diameter bundel	D_{eq}	= 342,82	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_i	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 1400	l/min
Aantal buizen in de bundel	n	= 6	
De bundelbuizen worden niet gekoppeld			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			

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. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
Partiële factor grondbelasting	γ	= 1,1	

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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	10,63	2,68	-	Zand	18,51	-	32,50
2	28,47	5,02	5,00	Zand	17,00	17,00	17,50
3	45,75	5,03	5,00	Zand	18,47	21,00	35,00
4	66,37	5,15	5,00	Zand	18,42	21,00	35,00
5	87,28	1,88	-	Zand	18,98	-	30,00

--	--	--	--	--	--	--	--

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
2	✓	5,00	2,00	Grafiek I
3	✓	0,00	75,00	Grafiek I
4	✓	0,00	75,00	Grafiek I
5	✓	0,00	15,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Homogeen (zand)	2
2	Homogeen (zand)	
3	Homogeen (zand)	2
4	Homogeen (zand)	2
5	Homogeen (zand)	2



* Niet op schaal

1.2.2.0/03-2024/24-4261615-5

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.2 ©	
2. Eigenschappen van de leiding					
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 102,20		mm	
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 113,60		mm	
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 125,00		mm	
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 62,50		mm	
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 51,10		mm	
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 56,80		mm	
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 6.629.052,19		mm ⁴	
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 106.064,84		mm ³	
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 123,46		mm ⁴ /mm ¹	
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 21,66		mm ³ /mm ¹	
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 4.068,49		mm ²	
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0389		N/mm ¹	
3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding					
	Leiding op rollenbaan/maaiveld			Leiding in boorgat	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,0389	N/mm ¹	g	= 0,0389 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t.	+	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,0389	N/mm ¹	g_{gat}	= 0,0389 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] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)		
Starten met trekken	94,47	1.982	1.101		
Na intrekken van E	88,07	1.848	1.027		
Na intrekken van D	67,09	1.408	782		
Na intrekken van C	29,19	612	340		
Na intrekken van B	11,13	233	130		
$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0,0389 \cdot 0,3$					
4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld					
Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N] (f = 1,8)	σ_t [N/mm ²]			
Starten met trekken	1.982	0,49			
Na intrekken van E	1.848	0,45			
Na intrekken van D	1.408	0,35			
Na intrekken van C	612	0,15			
Na intrekken van B	233	0,06			
$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{4.068,49}$					
				29-08-2024 07:51:19	

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052}{100.000} = 71.096,58 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{71.096,58}{106.065} = \mathbf{0,67 \text{ N/mm}^2}$$

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	0,49	0,92
Na intrekken van E	0,45	0,89
Na intrekken van D	0,35	0,78
Na intrekken van C	0,15	0,59
Na intrekken van B	0,06	0,49

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,67 + \sigma_t$$

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 0,92 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

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**

Aantal buizen in de bundel $n = 6$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,584$

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

58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 229,41 \text{ mm}^1$

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

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

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

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] ($f = 1,8$)	T_{3a} [N] ($f = 1,8$)	T_2 [N] ($f = 1$)	T_{3a} [N] ($f = 1$)
Na intrekken van E	94,47	368	-	204	-
Na intrekken van D	88,07	-	1.573	-	874
Na intrekken van C	67,09	3.751	-	2.084	-
Na intrekken van B	29,19	-	4.789	-	2.661
Na intrekken van A	11,13	5.429	-	3.016	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (229,41 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (229,41 \cdot 0,00005 + 0,102 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding l en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm ²]	q_n [kN/m ²]	$E_{100,norm}$ [N/mm ²]	ν [-]	l [mm]	m [-]	λ [mm ⁻¹]	k_v [N/mm ³]
D (5)	15,00	39,25	9,40	0,3333	560,9	0,61	0,00560	0,20362
B (2)	2,00	93,67	1,94	0,4115	935,4	0,52	0,00336	0,02632

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)

$$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$l = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = l \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 30^\circ \cdot 62,5 = 32,72 \text{ mm}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot l_b}}$$

$$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (\text{m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c})$$

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm ²]	Q_r [N/mm ¹]	T_{3b} [N] ($f = 1,8$)	T_{3b} [N] ($f = 1$)
D (5)	60,00	0,0097	1,21	489	272
B (2)	60,00	0,0035	0,44	293	163

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot l_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}{125 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 125$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot 125 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b,max}$ [N] ($f = 1$)	ΣT_{3b} [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
D	782	874	272	272	1.928
B	130	2.661	163	434	3.225

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] ($f = 1,8$)	T_{3c} [N] ($f = 1$)
D	10,02	1.928	241	134
B	8,62	3.225	348	193

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van $f=1,8$ wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	1.848	368	-	-	-	2.215	0,22
Na intrekken van D	1.408	-	1.573	489	241	3.711	0,37
Na intrekken van C	612	3.751	-	489	241	5.094	0,51
Na intrekken van B	233	-	4.789	782	590	6.394	0,64
Na intrekken van A	0	5.429	-	782	590	6.800	0,68

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	1.027	204	-	-	-	1.231	0,12
Na intrekken van D	782	-	874	272	134	2.062	0,21
Na intrekken van C	340	2.084	-	272	134	2.830	0,28
Na intrekken van B	130	-	2.661	434	328	3.552	0,36
Na intrekken van A	0	3.016	-	434	328	3.778	0,38

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **3.778 N (» 0,38 ton)**.

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van E	2.215	0,54
Na intrekken van D	3.711	0,91
Na intrekken van C	5.094	1,25
Na intrekken van B	6.394	1,57
Na intrekken van A	6.800	1,67

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

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

Trekkkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm ²]
D	60,00	167.567,71	1,58
B	60,00	167.567,71	1,58

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{6.629.052,19}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{106.064,84}$$

5.10 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 E	2.215	0,54	-	0,54
Na intrekken van D	3.711	0,91	1,58	1,94
Na intrekken van C	5.094	1,25	-	1,25
Na intrekken van B	6.394	1,57	1,58	2,60
Na intrekken van A	6.800	1,67	-	1,67

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

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

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 2,60 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

1.2.2.0/03-2024/24-4261615-5

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020						Sigma 2024 1.2 ©	
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: $f_{rr} = 1,00$							
6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n							
Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	2,68	-	Zand	-	-	54,57	6,82
2	5,02	5,00	Zand	93,50	0,17	93,67	11,71
3	5,03	5,00	Zand	101,59	0,39	101,98	12,75
4	5,15	5,00	Zand	101,31	1,97	103,28	12,91
5	1,88	-	Zand	-	-	39,25	4,91
$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 125$							
6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting $Q_{n,r}$							
Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]				
1	2,68	-	20,36				
2	5,02	5,00	18,66				
3	5,03	5,00	20,27				
4	5,15	5,00	20,05				
5	1,88	-	20,88				
$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$							
Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]		
1	Homogeen (zand)	0,29	2,32	18,72 ⁽¹⁾	2,34		
2	Homogeen (zand)	0,29	2,32	1,83 ⁽¹⁾	0,23		
3	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,58 ⁽¹⁾	2,45		
4	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,38 ⁽¹⁾	2,42		
5	Homogeen (zand)	0,29	2,32	17,75 ⁽¹⁾	2,22		
$R = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$ $B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$ $K = 1 - \sin(\varphi)$							
						29-08-2024 07:51:19	

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 125$$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	54,57	6,82	18,72	2,34
2	93,67	11,71	1,83	0,23
3	101,98	12,75	19,58	2,45
4	103,28	12,91	19,38	2,42
5	39,25	4,91	17,75	2,22

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	2,68	Grafiek 1/2 x II	4,39	0,55
2	5,02	Grafiek I	10,15	1,27
3	5,03	Grafiek I	10,13	1,27
4	5,15	Grafiek I	9,88	1,23
5	1,88	Grafiek 1/2 x II	7,18	0,90

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	6,82	2,34	0,55	2,89	36,06 ⁽²⁾	1,66
2	✓	11,71	0,23	1,27	1,50	16,19 ⁽²⁾	0,75
3	✓	12,75	2,45	1,27	3,71	47,13 ⁽²⁾	2,18
4	✓	12,91	2,42	1,23	3,66	46,41 ⁽²⁾	2,14
5	✓	4,91	2,22	0,90	3,12	38,17 ⁽²⁾	1,76

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (1)$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 56,80 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 56,80$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 56,80 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 56,80$$

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

1.2.2.0/03-2024/24-4261615-5

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020			Sigma 2024 1.2 ©	
6.6 Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten				
Locatie	R [m]	q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	
2	60,00	0,0035	0,22	
5	60,00	0,0097	0,63	
$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot q_r \cdot 125 \cdot \frac{62,50}{21,66}$				
6.7 Berekening van de spanning s_{ax} t.g.v. temperatuurverschil				
Leiding is drukloos				
$\sigma_{ax} = 0$ N/mm ²				
7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N				
$S_N = E \cdot \frac{I_w}{D_g^3}$				
$S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,0821$ N/mm ² = 82,11 kN/m ²				
Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m ²				
8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk				
Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$				
Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$				
$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$				
$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56$ N/mm ²				
$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 0,28$ N/mm ²				
Conclusie: Kans op implosie bij 28,07 m grondwater boven de leiding				
9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen				
9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding				
Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
1	1,66	-	0,65	1,08
2	0,75	0,22	0,65	0,63
3	2,18	-	0,65	1,41
4	2,14	-	0,65	1,39
5	1,76	0,63	0,65	1,55
Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$				
Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$				
Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm ²				
$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,55 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet				
				29-08-2024 07:51:19

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
2	0,00	0,00	1,58	0,65	1,03
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	1,58	0,65	1,03

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm² $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,03 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ¹]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	6,82	2,34	0,55	-	0,67⁽²⁾	0,44
2	11,71	0,23	1,27	0,44	0,14⁽²⁾	0,073
3	12,75	2,45	1,27	-	0,83⁽²⁾	0,56
4	12,91	2,42	1,23	-	0,82⁽²⁾	0,55
5	4,91	2,22	0,90	1,21	0,65⁽²⁾	0,41

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi)/(1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 113,60 = 9,09$ mm $\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 0,63 \leq 9,09 \rightarrow$ Voldoet

11. 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]	$E_{100,\text{norm}}$ [MN/m ²]
1	2,68	45,10	20,87	32,98	50,70	33,24
2	5,02	77,38	54,11	65,75	90,29	1,94
3	5,03	84,23	35,92	60,07	94,53	75,74
4	5,15	85,09	36,28	60,69	95,50	76,22
5	1,88	32,44	16,22	24,33	36,49	9,40

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

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

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

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

$$E_{100,\text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	12,63	0,0014	0,0000	0,3163	0,50	4,53
2	0,69	0,036	0,0002	0,4115	0,21	1,92
3	29,15	0,0012	0,0003	0,2989	1,10	9,93
4	29,34	0,0012	0,0015	0,2989	1,11	10,03
5	3,52	0,0035	0,0000	0,3333	0,24	2,17

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1	0,53	3,11	0,22	2,18	0,04	0,39
2	0,10	5,87	0,12	1,16	0,08	0,75
3	0,57	5,80	0,46	4,61	0,08	0,79
4	0,57	5,71	0,47	4,66	0,08	0,83
5	0,34	2,26	0,11	1,09	0,05	0,49

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 0,203 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + p_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,203}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽¹⁾	0,29
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽¹⁾	0,69
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽¹⁾	0,71
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽¹⁾	0,72
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,40

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,128 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 4,065 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,128}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 4,065}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽²⁾	0,28
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽²⁾	0,68
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽²⁾	0,68
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽²⁾	0,68
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,36

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 342,82 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 343^2)} = 0,136 \text{ m/s}$$

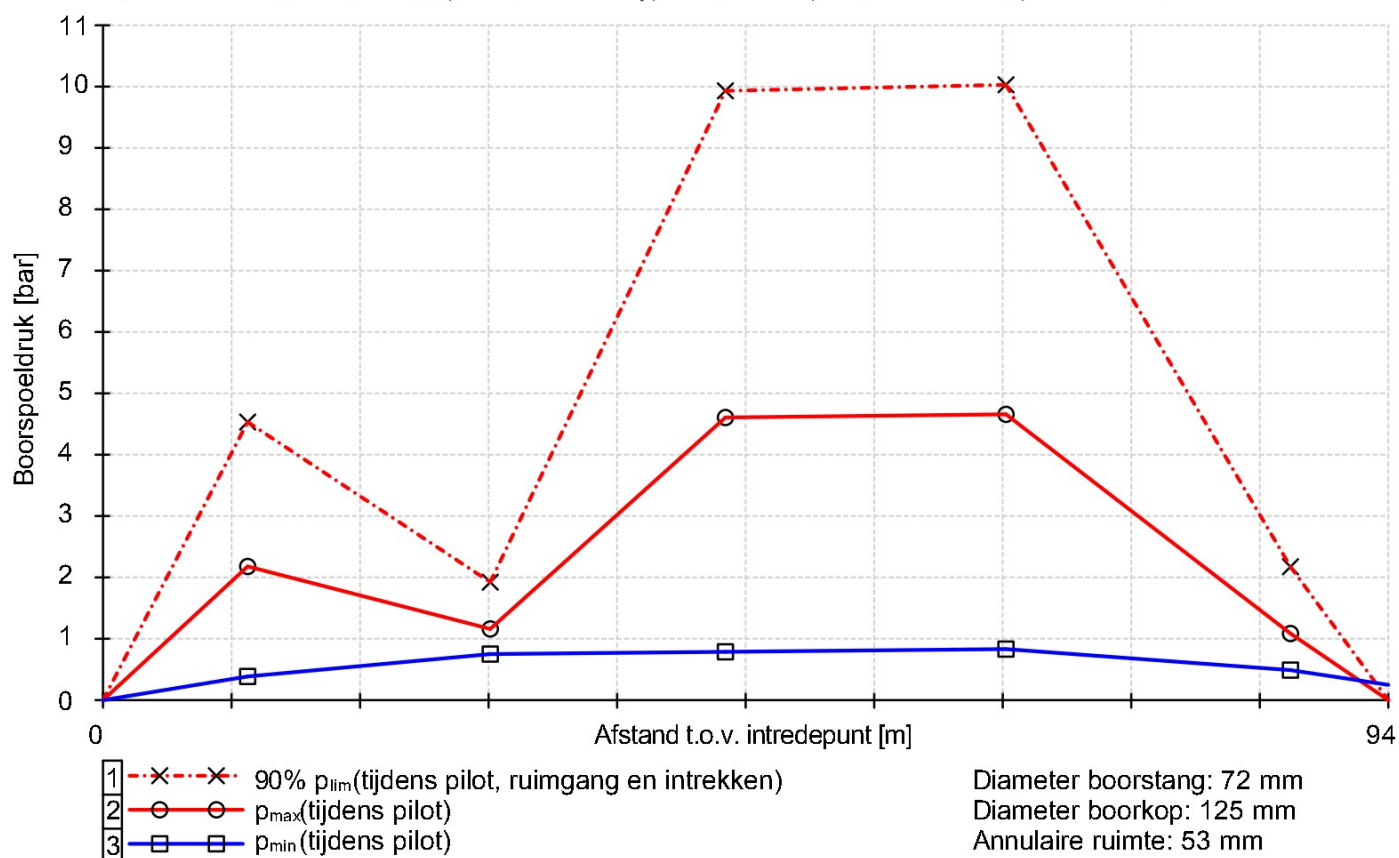
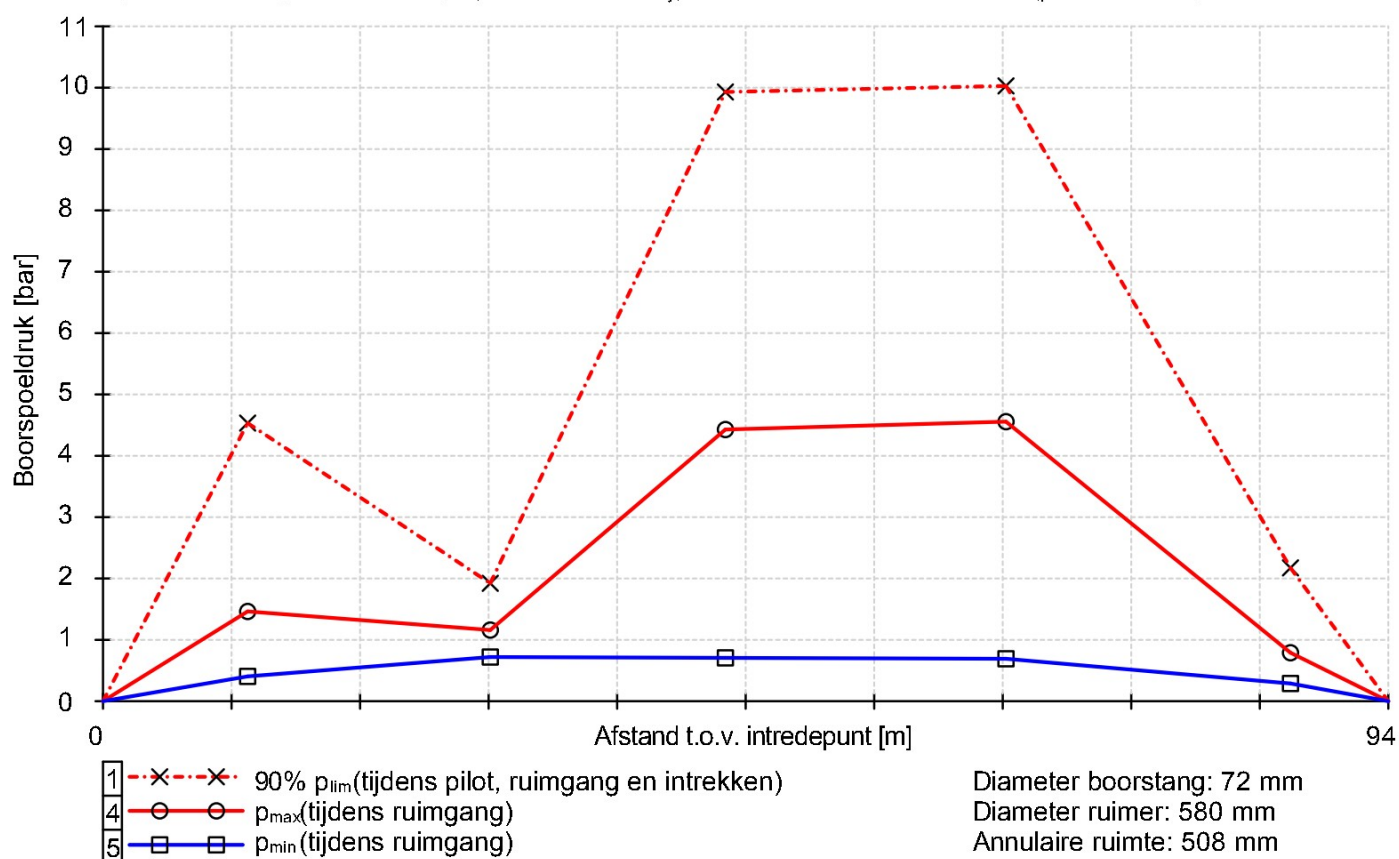
$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,090 \text{ m/s}$$

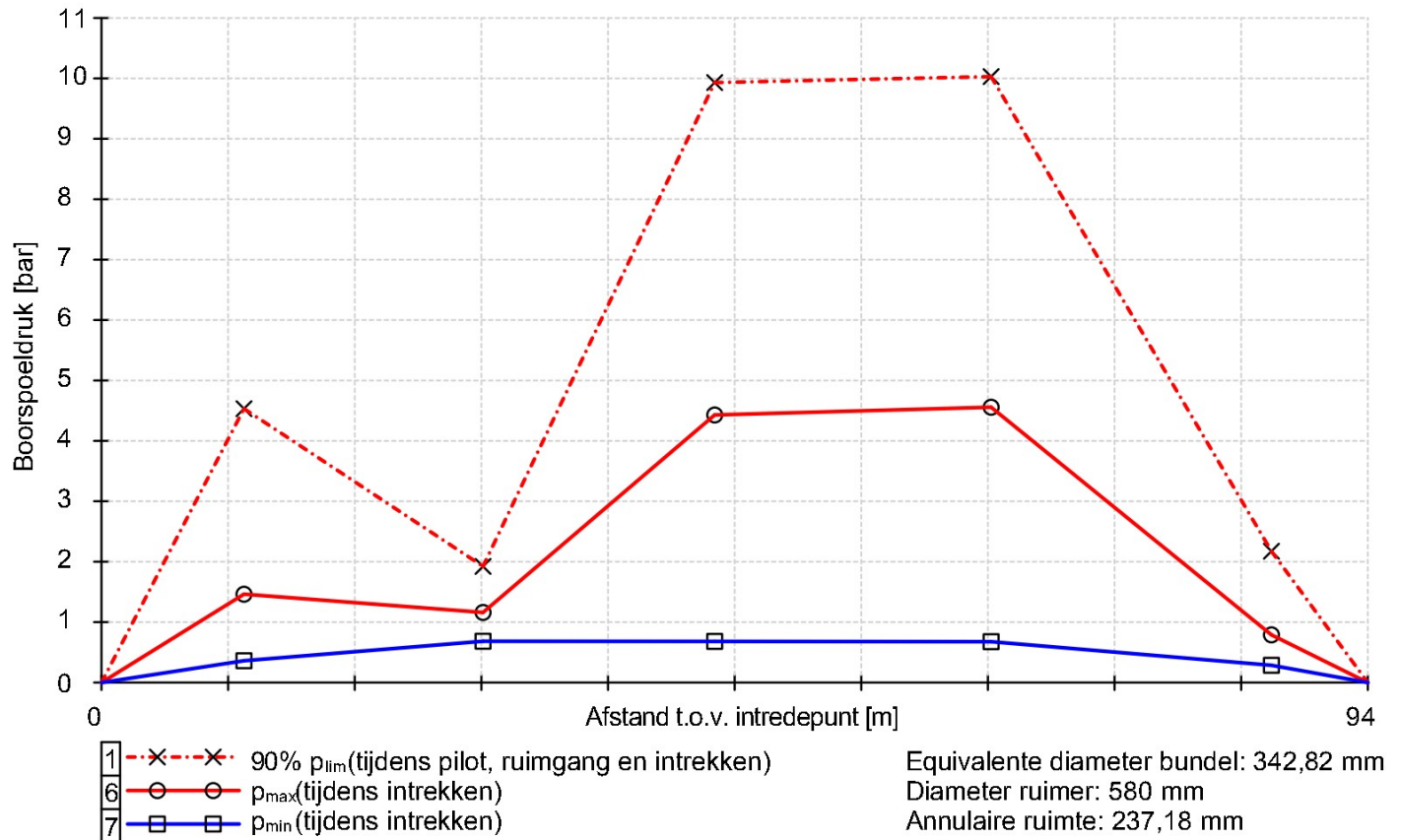
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_{eq})} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,136}{(580 - 343)^2} + \frac{13,4}{(580 - 343)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

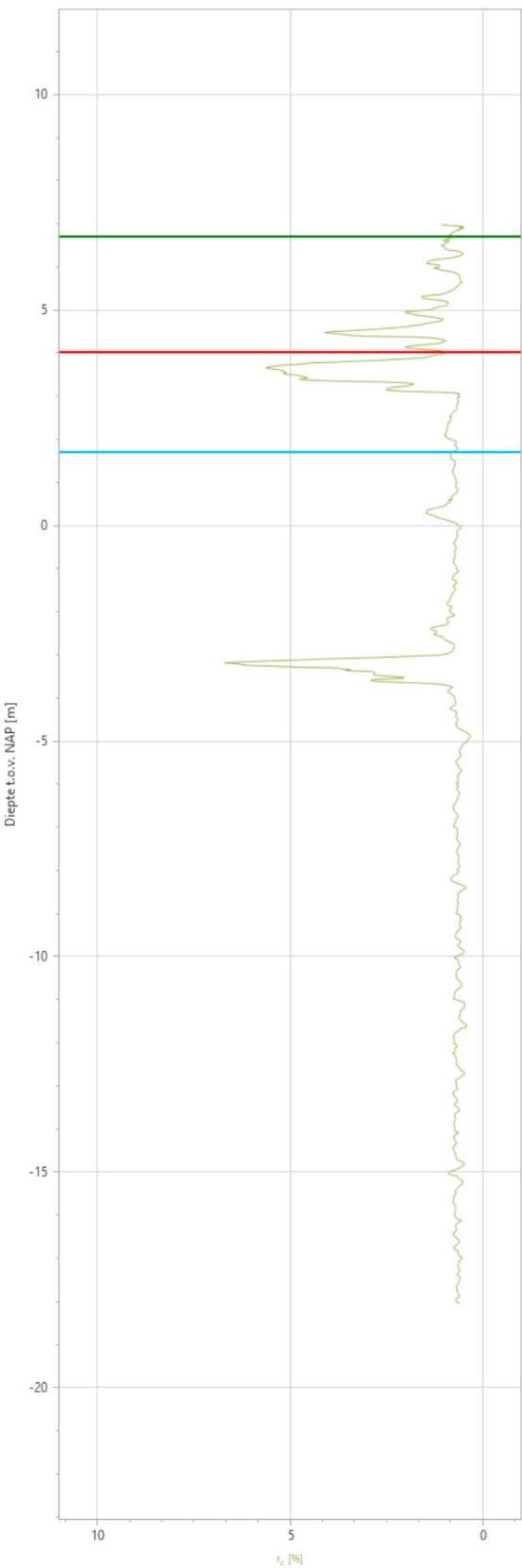
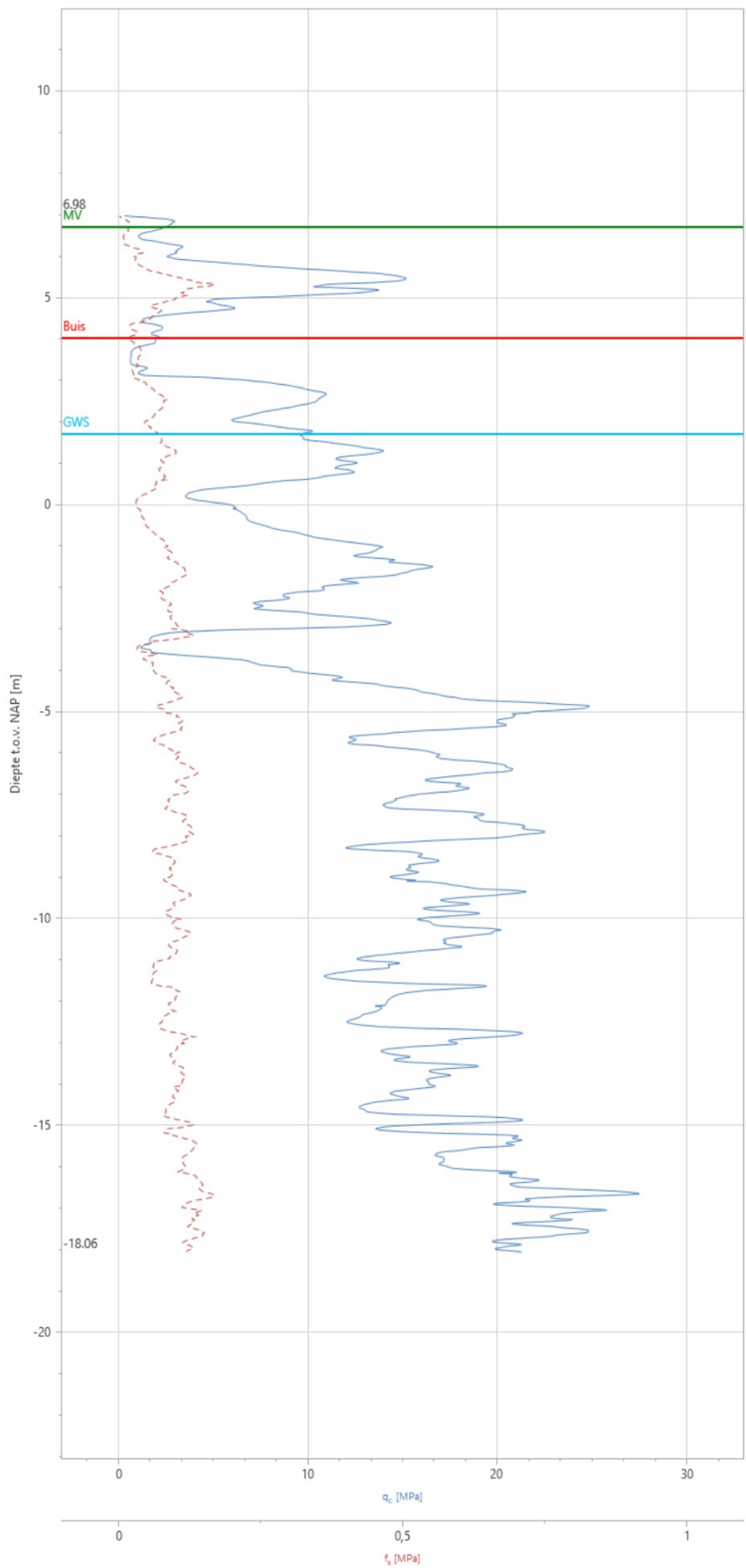
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,090}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 100 \text{ l/min}$)11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ($\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 2000 \text{ l/min}$)

11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,i} = 1400 \text{ l/min}$)

Naam van het project : GB240207-02
Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200



Algemene gegevens

Naam van het project : GB240207-02

Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200

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 Tangentieel / Alfa Axiaal α_σ = 0,65 -

Soortelijk gewicht buis ρ_L = 9,55 kN/m³

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

Totale lengte L = 94,47 m

Totale horizontale lengte L_{hor} = 92,88 m

Straal maaiveld/rollenbaan R_r = 100,00 m

Intredehoek (bij boorstelling) α_1 = 17,00 / 30,57 ° / %

Uittredehoek (bij rollenbaan) α_2 = 20,28 / 36,95 ° / %

Belastinghoek α = 30 °

Ondersteuningshoek β = 30 °

Horizontale steundrukhoek γ = 120 °

MV intrede t.o.v. NAP MV_{in} = 7,14 m

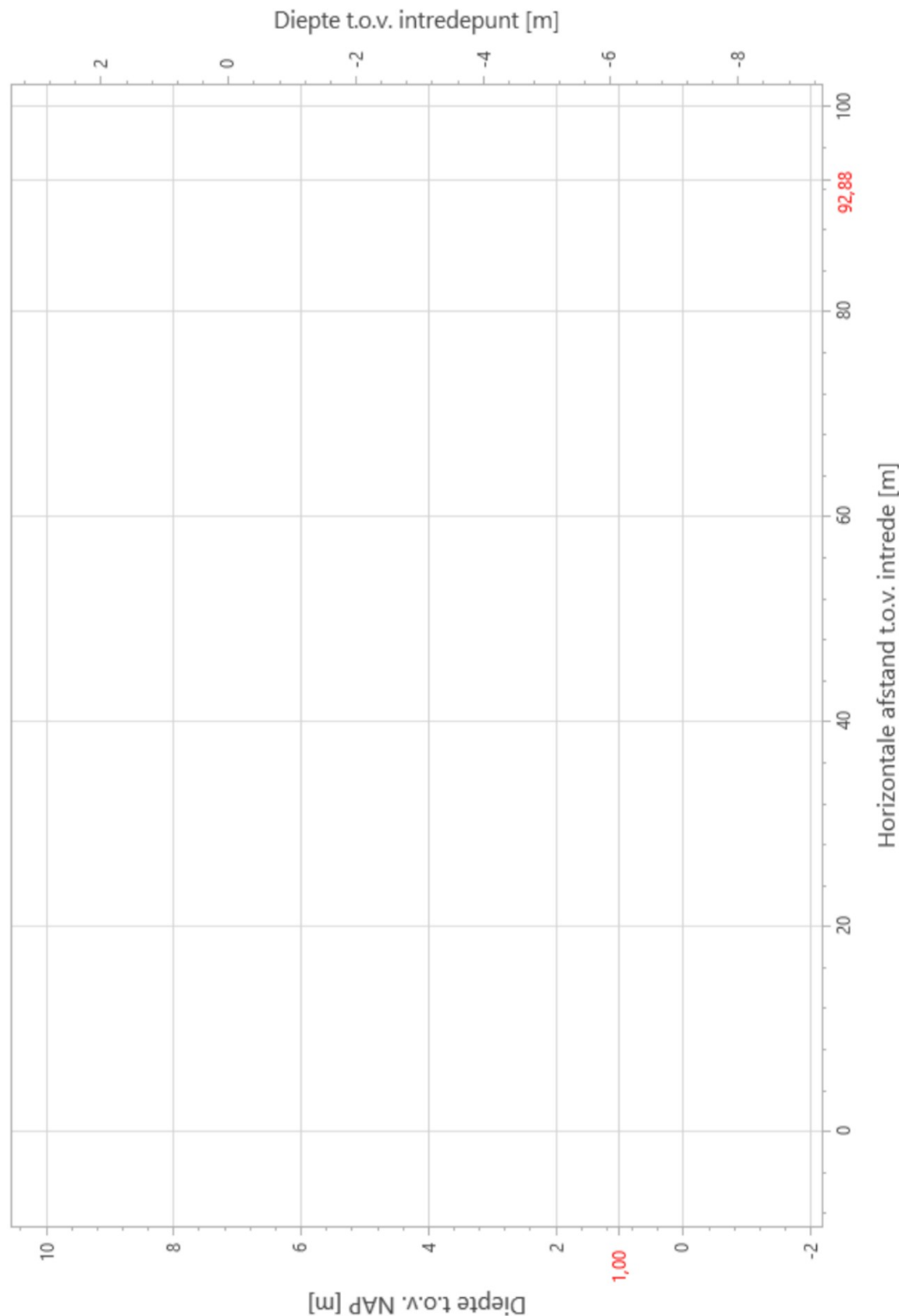
MV uittrede t.o.v. NAP MV_{uit} = 7,37 m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
A	11,13	10,64	11,13	10,64	-
B	18,06	17,80	29,19	28,44	60,00
C	37,90	37,90	67,09	66,34	-
D	20,98	20,54	88,07	86,88	60,00
E	6,40	6,00	94,47	92,88	-

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.2 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		D_b	= 72			mm	
Tijdens pilot							
Diameter boorkop/boorgat		D_p	= 125			mm	
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5			kN/m ³	
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4			Pa	
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_p	= 0,009			Pa·s	
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100			l/min	
Tijdens ruimgang							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 580			mm	
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5			kN/m ³	
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4			Pa	
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_r	= 0,009			Pa·s	
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 2000			l/min	
Tijdens intrekken							
Equivalente diameter bundel		D_{eq}	= 342,82			mm	
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5			kN/m ³	
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4			Pa	
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_i	= 0,009			Pa·s	
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 1400			l/min	
Aantal buizen in de bundel		n	= 6				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang							
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. zonder rollenbaan		f_1	= 0,3				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		f_2	= 0,00005			N/mm ²	
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		f_3	= 0,2				
Partiële factor grondbelasting		γ	= 1,1				
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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	10,63	2,68	-	Zand	18,51	-	32,50
2	28,47	5,02	5,00	Zand	17,00	17,00	17,50
3	45,75	5,03	5,00	Zand	18,47	21,00	35,00
4	66,37	5,15	5,00	Zand	18,42	21,00	35,00
5	87,28	1,88	-	Zand	18,98	-	30,00

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
2	✓	5,00	2,00	Grafiek I
3	✓	0,00	75,00	Grafiek I
4	✓	0,00	75,00	Grafiek I
5	✓	0,00	15,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Homogeen (zand)	2
2	Homogeen (zand)	
3	Homogeen (zand)	2
4	Homogeen (zand)	2
5	Homogeen (zand)	2



* Niet op schaal

2. 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	

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	= 0,0300 N/mm ¹	g	= 0,0300 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t. +	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,0300 N/mm ¹	g_{gat}	= 0,0300 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] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)	
Starten met trekken	94,47	1.530	850	
Na intrekken van E	88,07	1.427	793	
Na intrekken van D	67,09	1.087	604	
Na intrekken van C	29,19	473	263	
Na intrekken van B	11,13	180	100	
$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$				

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] (f = 1,8)	σ_t [N/mm ²]		
Starten met trekken	1.530	0,49		
Na intrekken van E	1.427	0,45		
Na intrekken van D	1.087	0,35		
Na intrekken van C	473	0,15		
Na intrekken van B	180	0,06		

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{100.000} = 42.538,15 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{42.538,15}{72.114} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

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	0,49	0,87
Na intrekken van E	0,45	0,84
Na intrekken van D	0,35	0,73
Na intrekken van C	0,15	0,53
Na intrekken van B	0,06	0,44

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,59 + \sigma_t$$

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 0,87 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

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**

Aantal buizen in de bundel $n = 6$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0.3} = 0,584$

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

58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 201,88 \text{ mm}^1$

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

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

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_2 / L_b [m]	T_2 [N] ($f = 1,8$)	T_{3a} [N] ($f = 1,8$)	T_2 [N] ($f = 1$)	T_{3a} [N] ($f = 1$)
Na intrekken van E	94,47	299	-	166	-
Na intrekken van D	88,07	-	1.279	-	711
Na intrekken van C	67,09	3.049	-	1.694	-
Na intrekken van B	29,19	-	3.893	-	2.163
Na intrekken van A	11,13	4.413	-	2.452	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (201,88 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (201,88 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm ²]	q_n [kN/m ²]	$E_{100,norm}$ [N/mm ²]	ν [-]	I [mm]	m [-]	λ [mm ⁻¹]	k_v [N/mm ³]
D (5)	15,00	39,25	9,40	0,3333	493,2	0,61	0,00637	0,23142
B (2)	2,00	93,67	1,94	0,4115	822,7	0,52	0,00382	0,02991

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0.5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0.8}$ (Veen/Klei)

$$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$I = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = I \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 30^\circ \cdot 55 = 28,80 \text{ mm}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (\text{m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c})$$

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm ²]	Q_r [N/mm ¹]	T_{3b} [N] ($f = 1,8$)	T_{3b} [N] ($f = 1$)
D (5)	60,00	0,0085	0,94	333	185
B (2)	60,00	0,0031	0,34	199	111

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}{110 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 110$$

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

5.4 Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b,max}$ [N] ($f = 1$)	ΣT_{3b} [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
D	604	711	185	185	1.499
B	100	2.163	111	296	2.559

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] ($f = 1,8$)	T_{3c} [N] ($f = 1$)
D	10,02	1.499	188	104
B	8,62	2.559	276	153

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van $f=1,8$ wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	1.427	299	-	-	-	1.726	0,17
Na intrekken van D	1.087	-	1.279	333	188	2.886	0,29
Na intrekken van C	473	3.049	-	333	188	4.043	0,40
Na intrekken van B	180	-	3.893	532	464	5.069	0,51
Na intrekken van A	0	4.413	-	532	464	5.409	0,54

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	793	166	-	-	-	959	0,10
Na intrekken van D	604	-	711	185	104	1.603	0,16
Na intrekken van C	263	1.694	-	185	104	2.246	0,22
Na intrekken van B	100	-	2.163	296	258	2.816	0,28
Na intrekken van A	0	2.452	-	296	258	3.005	0,30

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **3.005 N** (» **0,30 ton**).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van E	1.726	0,55
Na intrekken van D	2.886	0,92
Na intrekken van C	4.043	1,29
Na intrekken van B	5.069	1,61
Na intrekken van A	5.409	1,72

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm ²]
D	60,00	100.258,26	1,39
B	60,00	100.258,26	1,39

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{72.113,83}$$

5.10 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 E	1.726	0,55	-	0,55
Na intrekken van D	2.886	0,92	1,39	1,82
Na intrekken van C	4.043	1,29	-	1,29
Na intrekken van B	5.069	1,61	1,39	2,52
Na intrekken van A	5.409	1,72	-	1,72

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

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

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 2,52 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

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:
 $f_{rr} = 1,00$

6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	2,68	-	Zand	-	-	54,57	6,00
2	5,02	5,00	Zand	93,50	0,17	93,67	10,30
3	5,03	5,00	Zand	101,59	0,39	101,98	11,22
4	5,15	5,00	Zand	101,31	1,97	103,28	11,36
5	1,88	-	Zand	-	-	39,25	4,32

$$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$$

$$q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

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

$$Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 110$$

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]
1	2,68	-	20,36
2	5,02	5,00	18,66
3	5,03	5,00	20,27
4	5,15	5,00	20,05
5	1,88	-	20,88

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	Homogeen (zand)	0,29	2,32	18,72 ⁽¹⁾	2,06
2	Homogeen (zand)	0,29	2,32	1,83 ⁽¹⁾	0,20
3	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,58 ⁽¹⁾	2,15
4	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,38 ⁽¹⁾	2,13
5	Homogeen (zand)	0,29	2,32	17,75 ⁽¹⁾	1,95

$$R = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$B_1 = \frac{1}{2} D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 110$$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	54,57	6,00	18,72	2,06
2	93,67	10,30	1,83	0,20
3	101,98	11,22	19,58	2,15
4	103,28	11,36	19,38	2,13
5	39,25	4,32	17,75	1,95

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	2,68	Grafiek ½ x II	4,40	0,48
2	5,02	Grafiek I	10,15	1,12
3	5,03	Grafiek I	10,13	1,11
4	5,15	Grafiek I	9,88	1,09
5	1,88	Grafiek ½ x II	7,18	0,79

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	6,00	2,06	0,48	2,54	27,93 ⁽²⁾	1,68
2	✓	10,30	0,20	1,12	1,32	12,54 ⁽²⁾	0,75
3	✓	11,22	2,15	1,11	3,27	36,51 ⁽²⁾	2,19
4	✓	11,36	2,13	1,09	3,22	35,95 ⁽²⁾	2,16
5	✓	4,32	1,95	0,79	2,74	29,57 ⁽²⁾	1,77

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (1)$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00$$

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

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

Locatie	R [m]	q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
2	60,00	0,0031	0,20
5	60,00	0,0085	0,55

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

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

Leiding is drukloos
 $\sigma_{ax} = 0$ N/mm²

7. 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**

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$
Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

$$p_o = \frac{1}{\gamma \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{24 \cdot E \cdot I_w}{D_g^3}$$
$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$
$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

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

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	1,68	-	0,65	1,09
2	0,75	0,20	0,65	0,62
3	2,19	-	0,65	1,42
4	2,16	-	0,65	1,40
5	1,77	0,55	0,65	1,51

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$
Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$
Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$
 $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,51 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

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
2	0,00	0,00	1,39	0,65	0,90
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	1,39	0,65	0,90

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm² $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 0,90 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ¹]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	6,00	2,06	0,48	-	0,60⁽²⁾	0,44
2	10,30	0,20	1,12	0,34	0,12⁽²⁾	0,074
3	11,22	2,15	1,11	-	0,73⁽²⁾	0,56
4	11,36	2,13	1,09	-	0,73⁽²⁾	0,56
5	4,32	1,95	0,79	0,94	0,58⁽²⁾	0,42

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

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

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = 8,00$ mm $\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 0,56 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

11. 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]	$E_{100,\text{norm}}$ [MN/m ²]
1	2,68	45,10	20,87	32,98	50,70	33,24
2	5,02	77,38	54,11	65,75	90,29	1,94
3	5,03	84,23	35,92	60,07	94,53	75,74
4	5,15	85,09	36,28	60,69	95,50	76,22
5	1,88	32,44	16,22	24,33	36,49	9,40

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

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

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

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

$$E_{100,\text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	12,63	0,0014	0,0000	0,3163	0,50	4,53
2	0,69	0,036	0,0002	0,4115	0,21	1,92
3	29,15	0,0012	0,0003	0,2989	1,10	9,93
4	29,34	0,0012	0,0015	0,2989	1,11	10,03
5	3,52	0,0035	0,0000	0,3333	0,24	2,17

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1	0,53	3,11	0,22	2,18	0,04	0,39
2	0,10	5,87	0,12	1,16	0,08	0,75
3	0,57	5,80	0,46	4,61	0,08	0,79
4	0,57	5,71	0,47	4,66	0,08	0,83
5	0,34	2,26	0,11	1,09	0,05	0,49

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 0,203 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + p_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,203}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽¹⁾	0,29
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽¹⁾	0,69
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽¹⁾	0,71
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽¹⁾	0,72
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,40

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,128 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 4,065 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,128}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 4,065}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽²⁾	0,28
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽²⁾	0,68
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽²⁾	0,68
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽²⁾	0,68
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,36

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 342,82 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 343^2)} = 0,136 \text{ m/s}$$

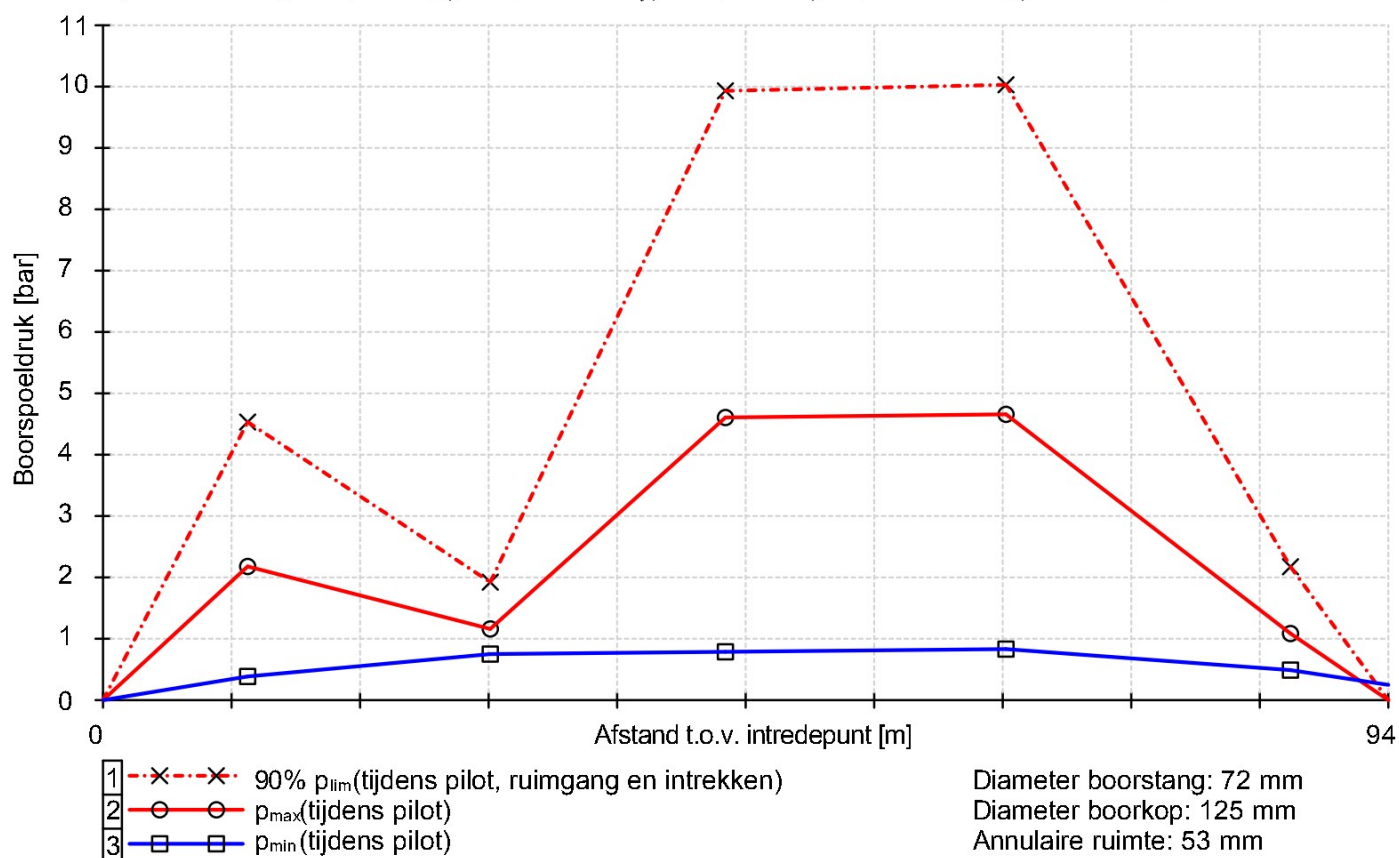
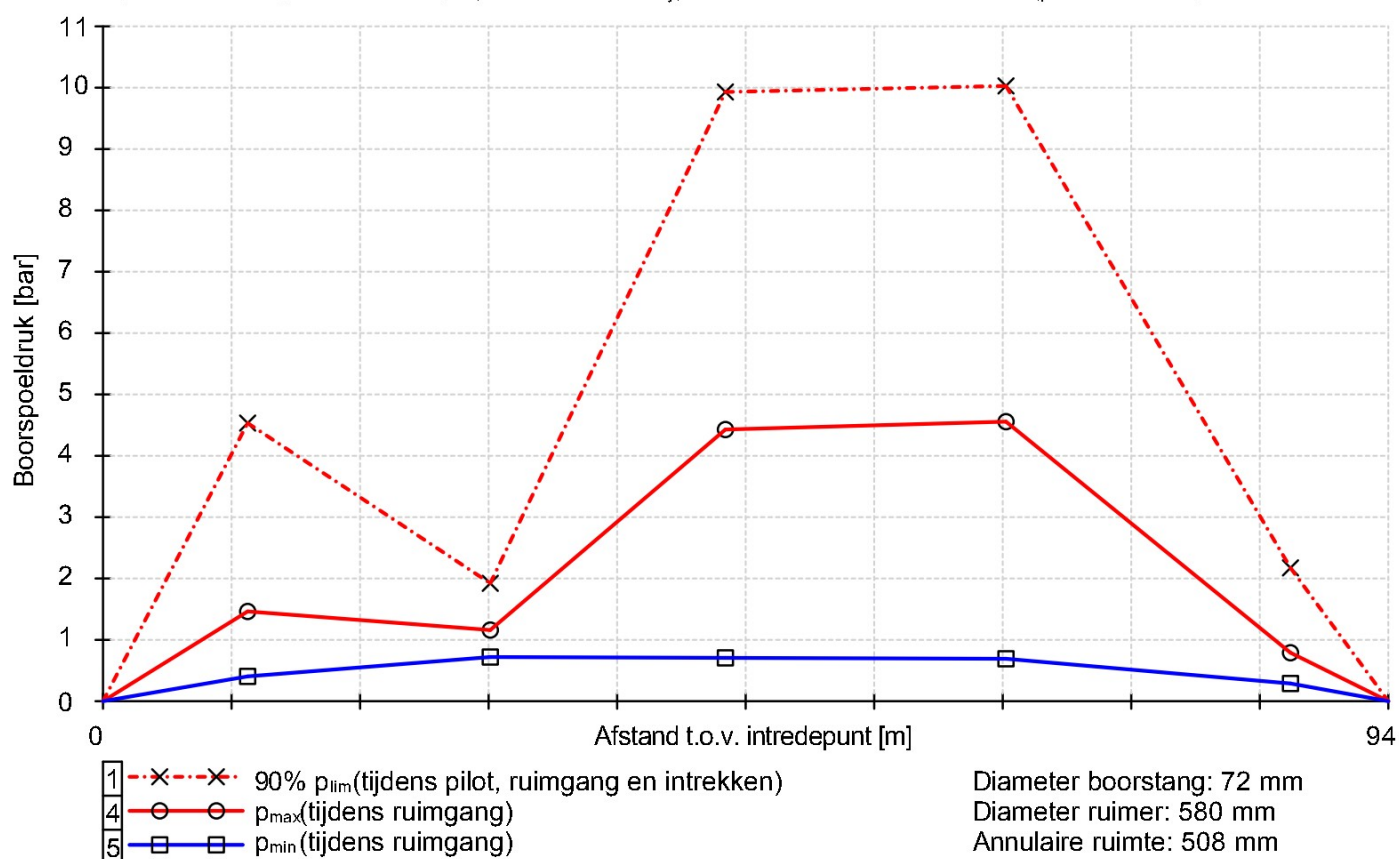
$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,090 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_{eq})} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

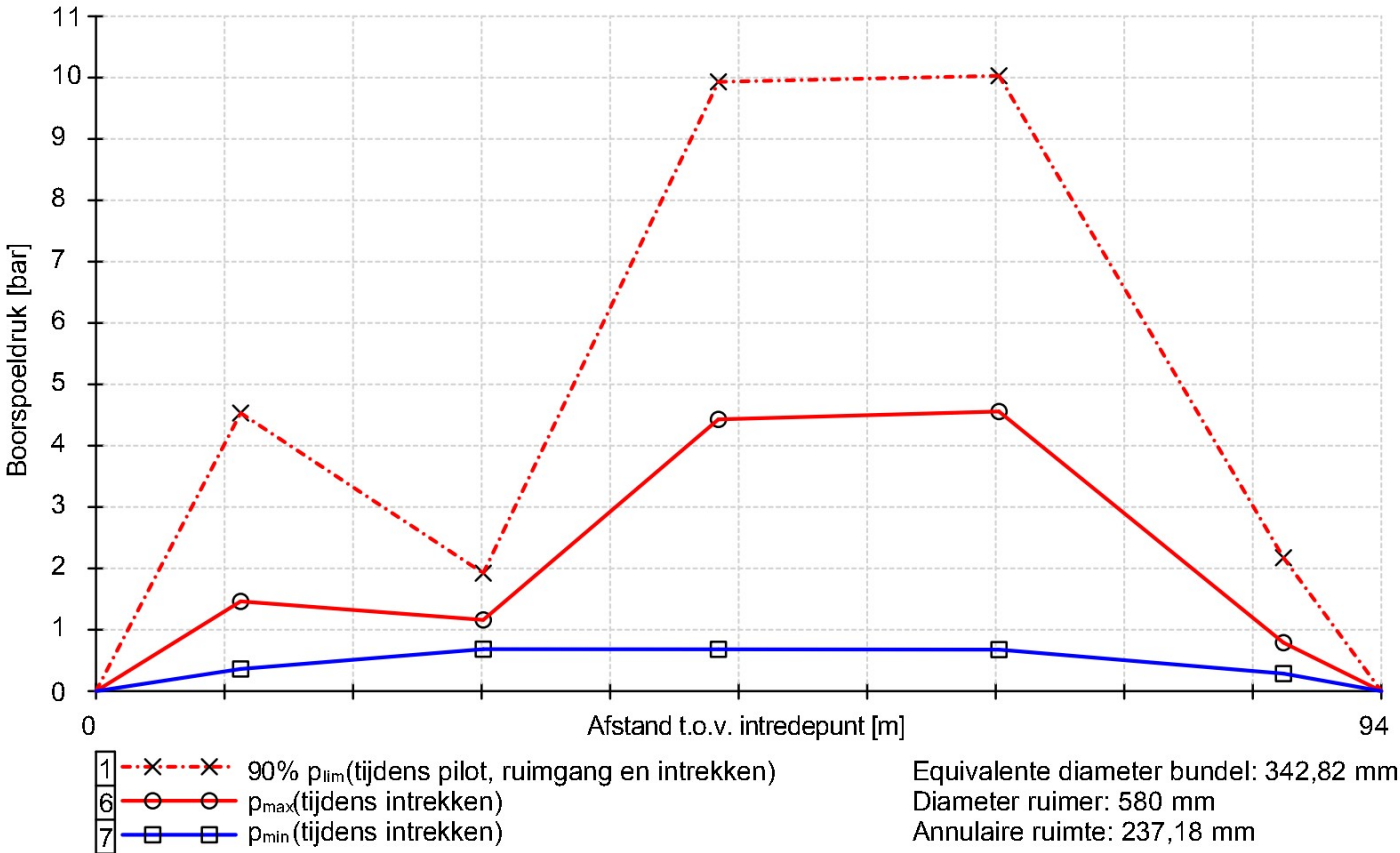
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,136}{(580 - 343)^2} + \frac{13,4}{(580 - 343)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

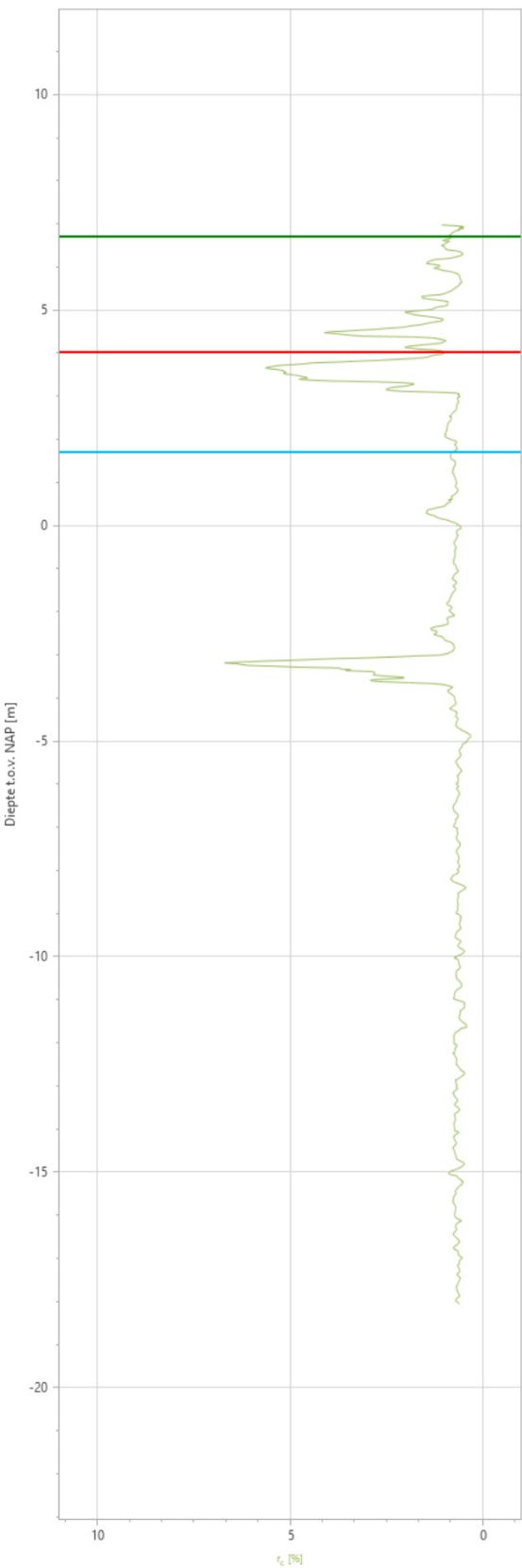
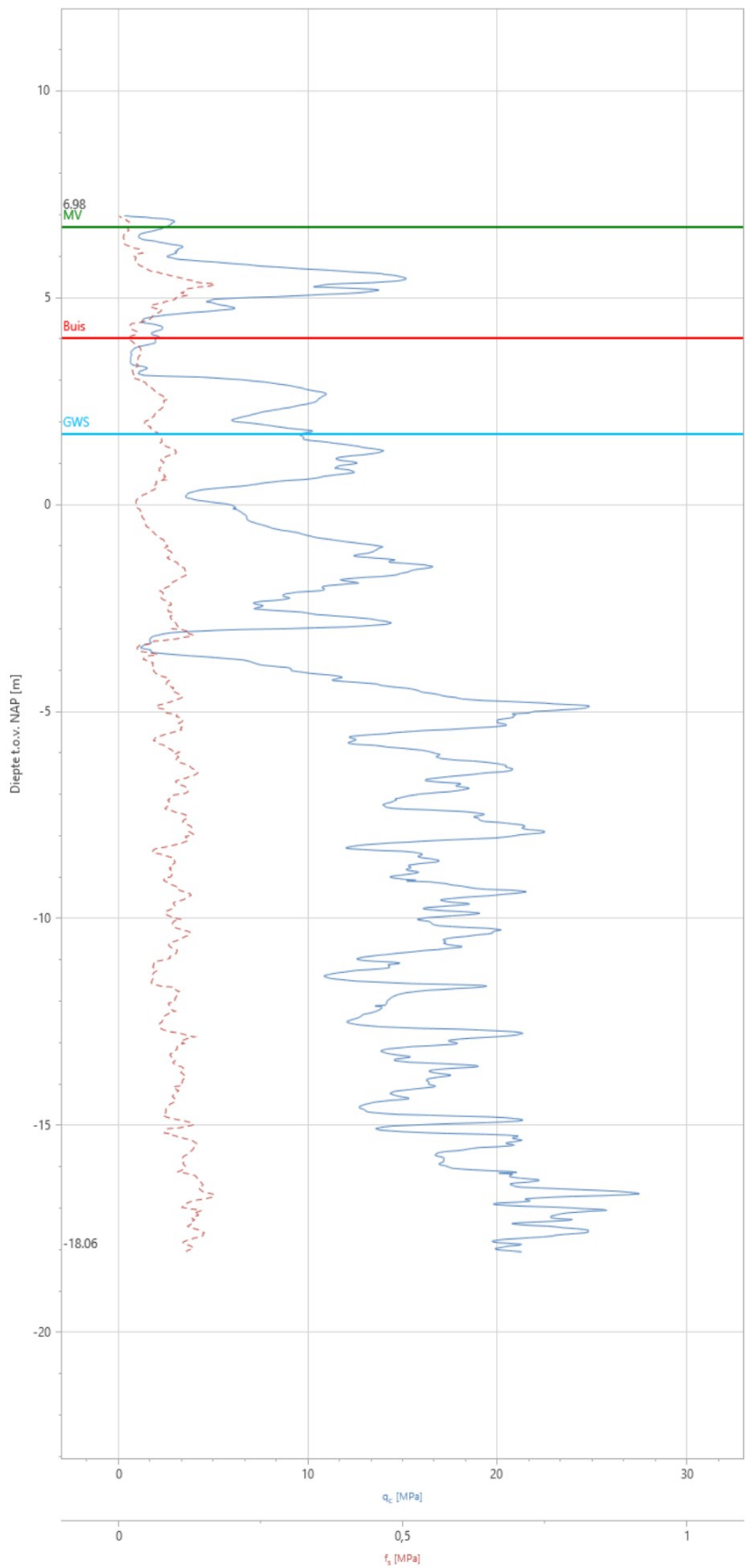
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,090}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 100 \text{ l/min}$)11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ($\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 2000 \text{ l/min}$)

11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,i} = 1400 \text{ l/min}$)



Naam van het project : GB240207-02
Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200



Algemene gegevens

Naam van het project : GB240207-02

Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200

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 Tangentieel / Alfa Axiaal α_σ = 0,65 -

Soortelijk gewicht buis ρ_L = 9,55 kN/m³

Toelaatbare deflectie δ = 8,00 %

Leidinggegevens

Uitwendige middellijn D_e = 200,00 mm

Wanddikte d_n = 18,2 mm

Procesgegevens

Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos) = Drukloos

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte L = 94,47 m

Totale horizontale lengte L_{hor} = 92,88 m

Straal maaiveld/rollenbaan R_r = 100,00 m

Intredehoek (bij boorstelling) α_1 = 17,00 / 30,57 ° / %

Uittredehoek (bij rollenbaan) α_2 = 20,28 / 36,95 ° / %

Belastinghoek α = 30 °

Ondersteuningshoek β = 30 °

Horizontale steundrukhoek γ = 120 °

MV intrede t.o.v. NAP MV_{in} = 7,14 m

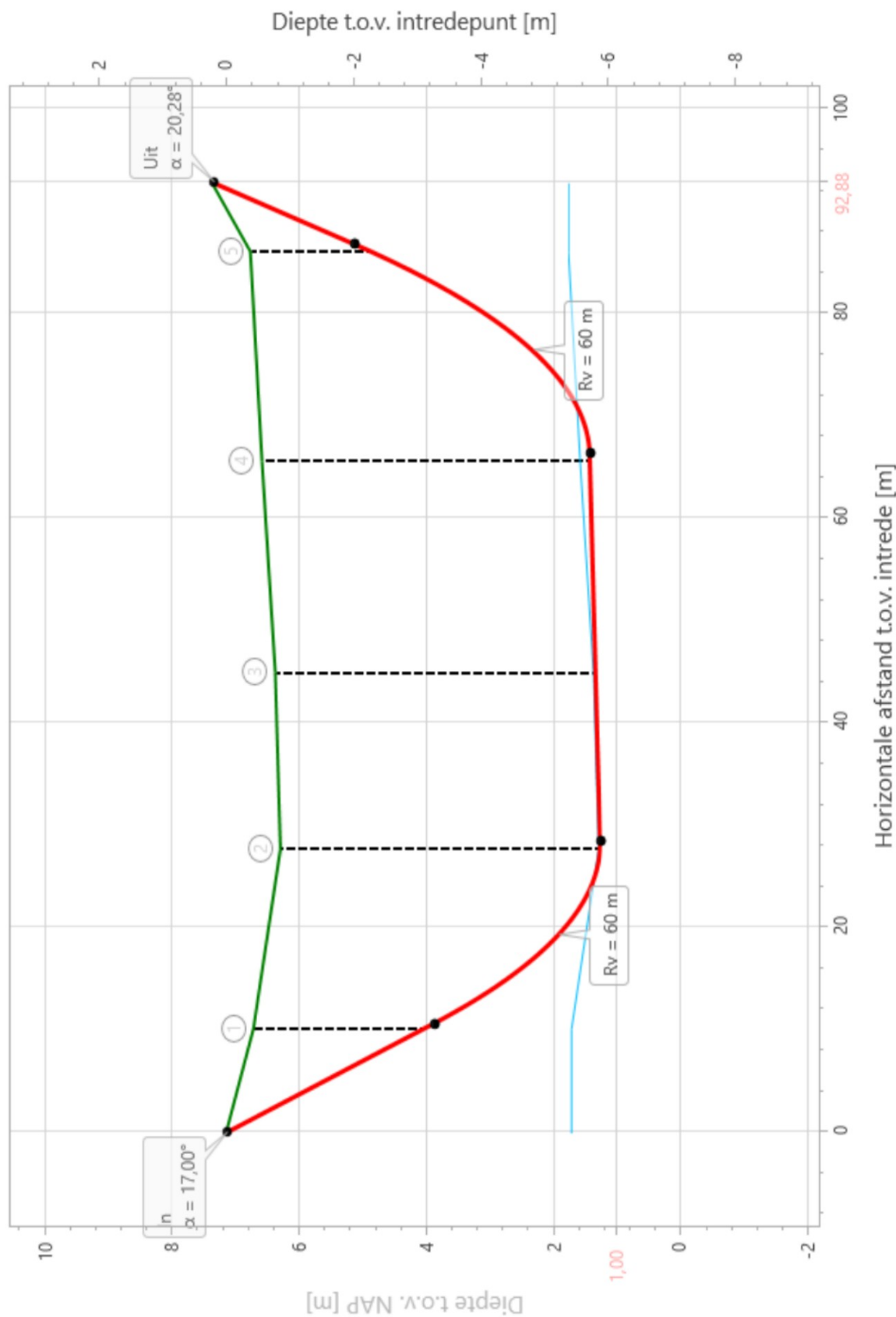
MV uittrede t.o.v. NAP MV_{uit} = 7,37 m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
A	11,13	10,64	11,13	10,64	-
B	18,06	17,80	29,19	28,44	60,00
C	37,90	37,90	67,09	66,34	-
D	20,98	20,54	88,07	86,88	60,00
E	6,40	6,00	94,47	92,88	-

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.2 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		D_b	= 72	mm			
Tijdens pilot							
Diameter boorkop/boorgat		D_p	= 125	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_p	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100	l/min			
Tijdens ruimgang							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 580	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_r	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 2000	l/min			
Tijdens intrekken							
Equivalente diameter bundel		D_{eq}	= 342,82	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_i	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 1400	l/min			
Aantal buizen in de bundel		n	= 6				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang							
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. zonder rollenbaan		f_1	= 0,3				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		f_2	= 0,00005	N/mm ²			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		f_3	= 0,2				
Partiële factor grondbelasting		γ	= 1,1				
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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	10,63	2,68	-	Zand	18,51	-	32,50
2	28,47	5,02	5,00	Zand	17,00	17,00	17,50
3	45,75	5,03	5,00	Zand	18,47	21,00	35,00
4	66,37	5,15	5,00	Zand	18,42	21,00	35,00
5	87,28	1,88	-	Zand	18,98	-	30,00

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
2	✓	5,00	2,00	Grafiek I
3	✓	0,00	75,00	Grafiek I
4	✓	0,00	75,00	Grafiek I
5	✓	0,00	15,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Homogeen (zand)	2
2	Homogeen (zand)	
3	Homogeen (zand)	2
4	Homogeen (zand)	2
5	Homogeen (zand)	2



* Niet op schaal

2. Eigenschappen van de leiding

Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 163,60	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 181,80	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 200,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 100,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 81,80	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 90,90	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 43.375.425,69	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 433.754,26	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 502,38	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 55,21	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 10.394,78	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0993	N/mm ¹

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

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

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] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	94,47	5.064	2.813
Na intrekken van E	88,07	4.721	2.623
Na intrekken van D	67,09	3.596	1.998
Na intrekken van C	29,19	1.565	869
Na intrekken van B	11,13	596	331

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0,0993 \cdot 0,3$$

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] (f = 1,8)	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	5.064	0,49
Na intrekken van E	4.721	0,45
Na intrekken van D	3.596	0,35
Na intrekken van C	1.565	0,15
Na intrekken van B	596	0,06

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{43.375.426}{100.000} = 465.201,44 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{465.201,44}{433.754} = 1,07 \text{ N/mm}^2$$

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	0,49	1,18
Na intrekken van E	0,45	1,15
Na intrekken van D	0,35	1,04
Na intrekken van C	0,15	0,85
Na intrekken van B	0,06	0,75

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,07 + \sigma_t$$

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 1,18 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2024 1.2 ©			
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								
Aantal buizen in de bundel $n = 6$								
De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,584$								
Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.								
58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.								
Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 367,06 \text{ mm}^1$								
Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0993 \text{ N/mm}^1$								
Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 200,00^2 \cdot \pi/4 = 0,361 \text{ N/mm}^1$								
Gelet hierop is $g_{eff} = g_{gat} - g_{opw} = 0,262 \text{ N/mm}^1$								
Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] ($f = 1,8$)	T_{3a} [N] ($f = 1,8$)	T_2 [N] ($f = 1$)	T_{3a} [N] ($f = 1$)			
Na intrekken van E	94,47	815	-	453	-			
Na intrekken van D	88,07	-	3.487	-	1.937			
Na intrekken van C	67,09	8.314	-	4.619	-			
Na intrekken van B	29,19	-	10.614	-	5.897			
Na intrekken van A	11,13	12.031	-	6.684	-			
Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (367,06 \cdot 0,00005 + 0,262 \cdot 0,2)$								
Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (367,06 \cdot 0,00005 + 0,262 \cdot 0,2)$								
5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding l en beddingsconstanten in de bochten k_v								
Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm ²]	q_n [kN/m ²]	$E_{100,norm}$ [N/mm ²]	ν [-]	l [mm]	m [-]	λ [mm ⁻¹]	k_v [N/mm ³]
D (5)	15,00	39,25	9,40	0,3333	897,0	0,61	0,00350	0,12728
B (2)	2,00	93,67	1,94	0,4115	1.496,0	0,52	0,00210	0,01645
$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)								
$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$								
$l = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = l \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 30^\circ \cdot 100 = 52,36 \text{ mm}$								
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot l_b}}$								
$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}}$ (m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c)								
							29-08-2024 07:49:59	

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm ²]	Q_r [N/mm ¹]	T_{3b} [N] ($f = 1,8$)	T_{3b} [N] ($f = 1$)
D (5)	60,00	0,015	3,10	2.000	1.111
B (2)	60,00	0,0056	1,11	1.199	666

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot l_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 43.375.425,69}{200 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 200$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = f \cdot 4 \cdot \frac{q_r}{2} \cdot 200 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

5.4 Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b,max}$ [N] ($f = 1$)	ΣT_{3b} [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
D	1.998	1.937	1.111	1.111	5.046
B	331	5.897	666	1.778	8.006

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] ($f = 1,8$)	T_{3c} [N] ($f = 1$)
D	10,02	5.046	632	351
B	8,62	8.006	864	480

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van $f=1,8$ wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	4.721	815	-	-	-	5.536	0,55
Na intrekken van D	3.596	-	3.487	2.000	632	9.716	0,97
Na intrekken van C	1.565	8.314	-	2.000	632	12.511	1,25
Na intrekken van B	596	-	10.614	3.200	1.496	15.907	1,59
Na intrekken van A	0	12.031	-	3.200	1.496	16.727	1,67

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	2.623	453	-	-	-	3.075	0,31
Na intrekken van D	1.998	-	1.937	1.111	351	5.398	0,54
Na intrekken van C	869	4.619	-	1.111	351	6.951	0,70
Na intrekken van B	331	-	5.897	1.778	831	8.837	0,88
Na intrekken van A	0	6.684	-	1.778	831	9.293	0,93

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **9.293 N (» 0,93 ton)**.

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van E	5.536	0,53
Na intrekken van D	9.716	0,93
Na intrekken van C	12.511	1,20
Na intrekken van B	15.907	1,53
Na intrekken van A	16.727	1,61

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

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

Trekkkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm ²]
D	60,00	1.096.434,37	2,53
B	60,00	1.096.434,37	2,53

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{43.375.425,69}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{433.754,26}$$

5.10 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 E	5.536	0,53	-	0,53
Na intrekken van D	9.716	0,93	2,53	2,58
Na intrekken van C	12.511	1,20	-	1,20
Na intrekken van B	15.907	1,53	2,53	3,17
Na intrekken van A	16.727	1,61	-	1,61

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{10.394,78} = \sigma_t$$

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

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 3,17 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

1.2.2.0/03-2024/24-4261615-5

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020						Sigma 2024 1.2 ©	
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: $f_{rr} = 1,00$							
6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n							
Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	2,68	-	Zand	-	-	54,57	10,91
2	5,02	5,00	Zand	93,50	0,17	93,67	18,73
3	5,03	5,00	Zand	101,59	0,39	101,98	20,40
4	5,15	5,00	Zand	101,31	1,97	103,28	20,66
5	1,88	-	Zand	-	-	39,25	7,85
$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 200$							
6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting $Q_{n,r}$							
Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]				
1	2,68	-	20,36				
2	5,02	5,00	18,66				
3	5,03	5,00	20,27				
4	5,15	5,00	20,05				
5	1,88	-	20,88				
$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$							
Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]		
1	Homogeen (zand)	0,29	2,32	18,72 ⁽¹⁾	3,74		
2	Homogeen (zand)	0,29	2,32	1,83 ⁽¹⁾	0,37		
3	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,58 ⁽¹⁾	3,92		
4	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,38 ⁽¹⁾	3,88		
5	Homogeen (zand)	0,29	2,32	17,75 ⁽¹⁾	3,55		
$R = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$ $B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$ $K = 1 - \sin(\varphi)$							
						29-08-2024 07:49:59	

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 200$$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	54,57	10,91	18,72	3,74
2	93,67	18,73	1,83	0,37
3	101,98	20,40	19,58	3,92
4	103,28	20,66	19,38	3,88
5	39,25	7,85	17,75	3,55

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	2,68	Grafiek ½ x II	4,39	0,88
2	5,02	Grafiek I	10,15	2,03
3	5,03	Grafiek I	10,13	2,03
4	5,15	Grafiek I	9,88	1,98
5	1,88	Grafiek ½ x II	7,17	1,43

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 200$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	10,91	3,74	0,88	4,62	92,31 ⁽²⁾	1,67
2	✓	18,73	0,37	2,03	2,40	41,46 ⁽²⁾	0,75
3	✓	20,40	3,92	2,03	5,94	120,68 ⁽²⁾	2,19
4	✓	20,66	3,88	1,98	5,85	118,84 ⁽²⁾	2,15
5	✓	7,85	3,55	1,43	4,98	97,71 ⁽²⁾	1,77

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 90,90 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 90,90$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 90,90 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 90,90$$

$$\sigma_q = f_{tr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{55,21}$$

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

Locatie	R [m]	q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
2	60,00	0,0056	0,36
5	60,00	0,015	1,00

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot q_r \cdot 200 \cdot \frac{100,00}{55,21}$$

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

Leiding is drukloos

$\sigma_{ax} = 0$ N/mm²

7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{502,38}{181,8^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 502,38}{181,80^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,87** 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	1,67	-	0,65	1,09
2	0,75	0,36	0,65	0,72
3	2,19	-	0,65	1,42
4	2,15	-	0,65	1,40
5	1,77	1,00	0,65	1,80

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

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

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

$\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,80 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

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
2	0,00	0,00	2,53	0,65	1,64
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	2,53	0,65	1,64

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm² $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,64 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ¹]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	10,91	3,74	0,88	-	1,08⁽²⁾	0,44
2	18,73	0,37	2,03	1,11	0,22⁽²⁾	0,074
3	20,40	3,92	2,03	-	1,33⁽²⁾	0,56
4	20,66	3,88	1,98	-	1,31⁽²⁾	0,55
5	7,85	3,55	1,43	3,10	1,05⁽²⁾	0,42

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \varphi)/(1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 90,90^3}{350 \cdot 502,38}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 181,80 = 14,54$ mm $\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 1,02 \leq 14,54 \rightarrow$ Voldoet

11. 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]	$E_{100, norm}$ [MN/m ²]
1	2,68	45,10	20,87	32,98	50,70	33,24
2	5,02	77,38	54,11	65,75	90,29	1,94
3	5,03	84,23	35,92	60,07	94,53	75,74
4	5,15	85,09	36,28	60,69	95,50	76,22
5	1,88	32,44	16,22	24,33	36,49	9,40

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

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

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

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

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	12,63	0,0014	0,0000	0,3163	0,50	4,53
2	0,69	0,036	0,0002	0,4115	0,21	1,92
3	29,15	0,0012	0,0003	0,2989	1,10	9,93
4	29,34	0,0012	0,0015	0,2989	1,11	10,03
5	3,52	0,0035	0,0000	0,3333	0,24	2,17

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1	0,53	3,11	0,22	2,18	0,04	0,39
2	0,10	5,87	0,12	1,16	0,08	0,75
3	0,57	5,80	0,46	4,61	0,08	0,79
4	0,57	5,71	0,47	4,66	0,08	0,83
5	0,34	2,26	0,11	1,09	0,05	0,49

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 0,203 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,203}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽¹⁾	0,29
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽¹⁾	0,69
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽¹⁾	0,71
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽¹⁾	0,72
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,40

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,128 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 4,065 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,128}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 4,065}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽²⁾	0,28
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽²⁾	0,68
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽²⁾	0,68
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽²⁾	0,68
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,36

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 342,82 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 343^2)} = 0,136 \text{ m/s}$$

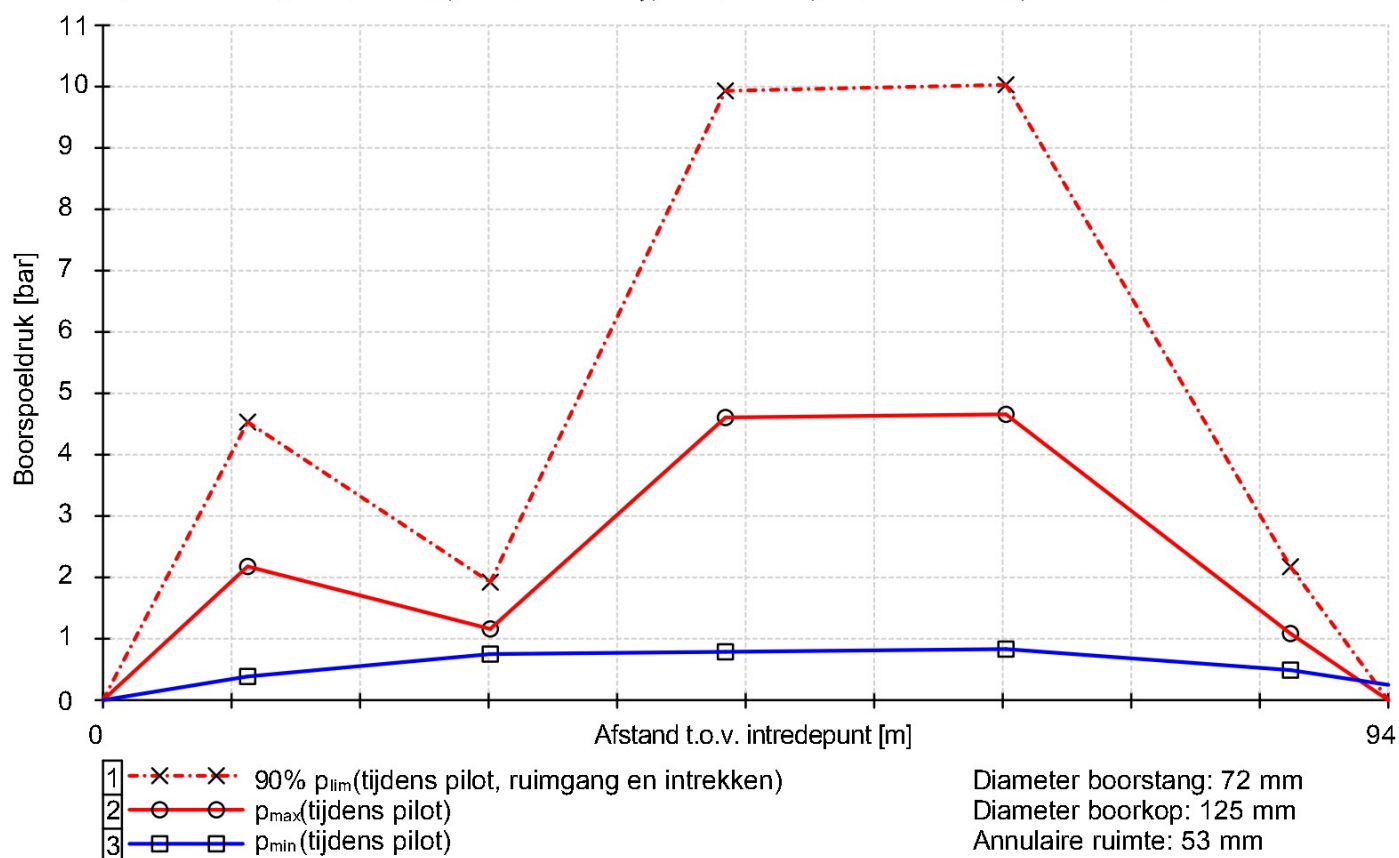
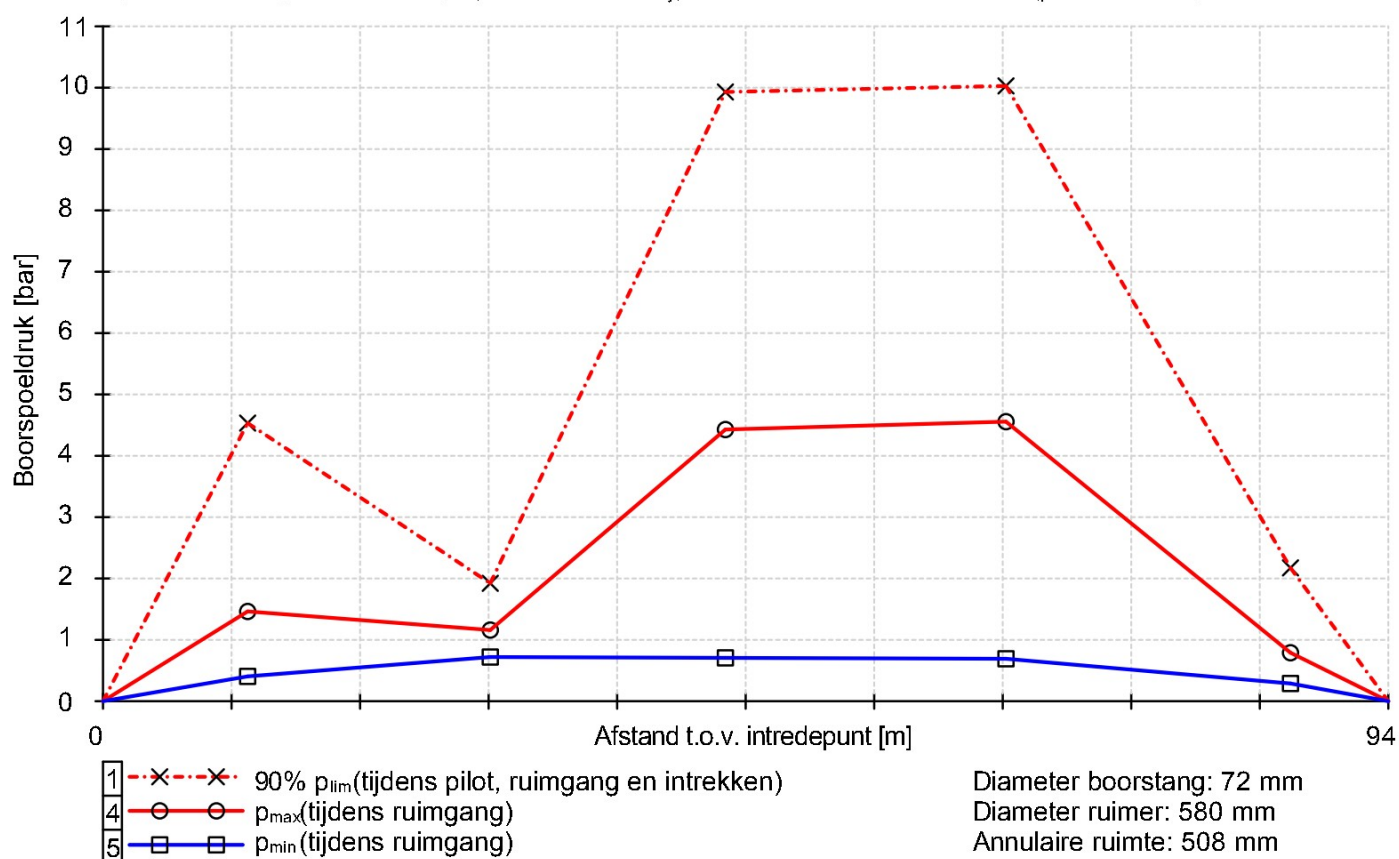
$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,090 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_{eq})} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

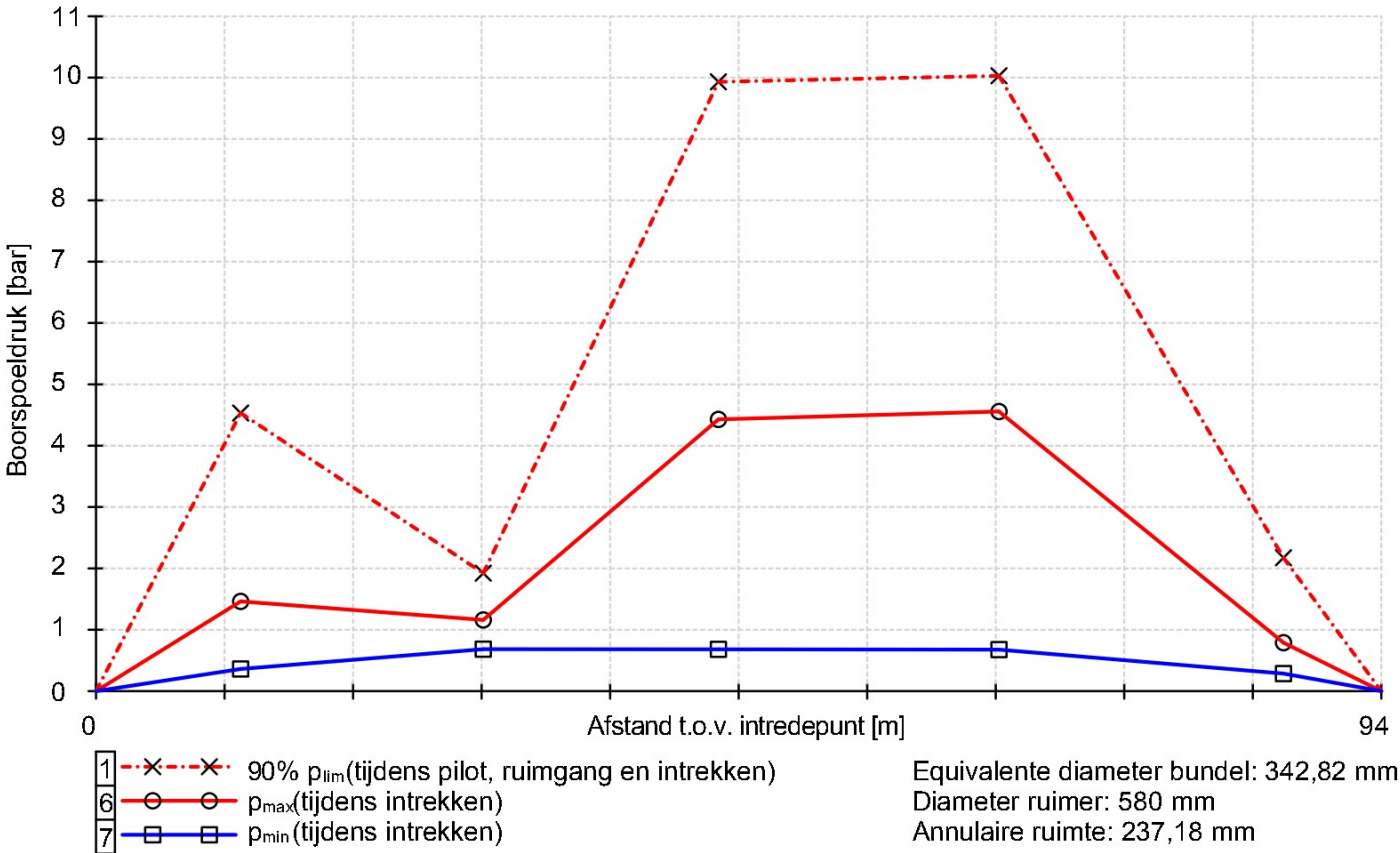
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,136}{(580 - 343)^2} + \frac{13,4}{(580 - 343)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

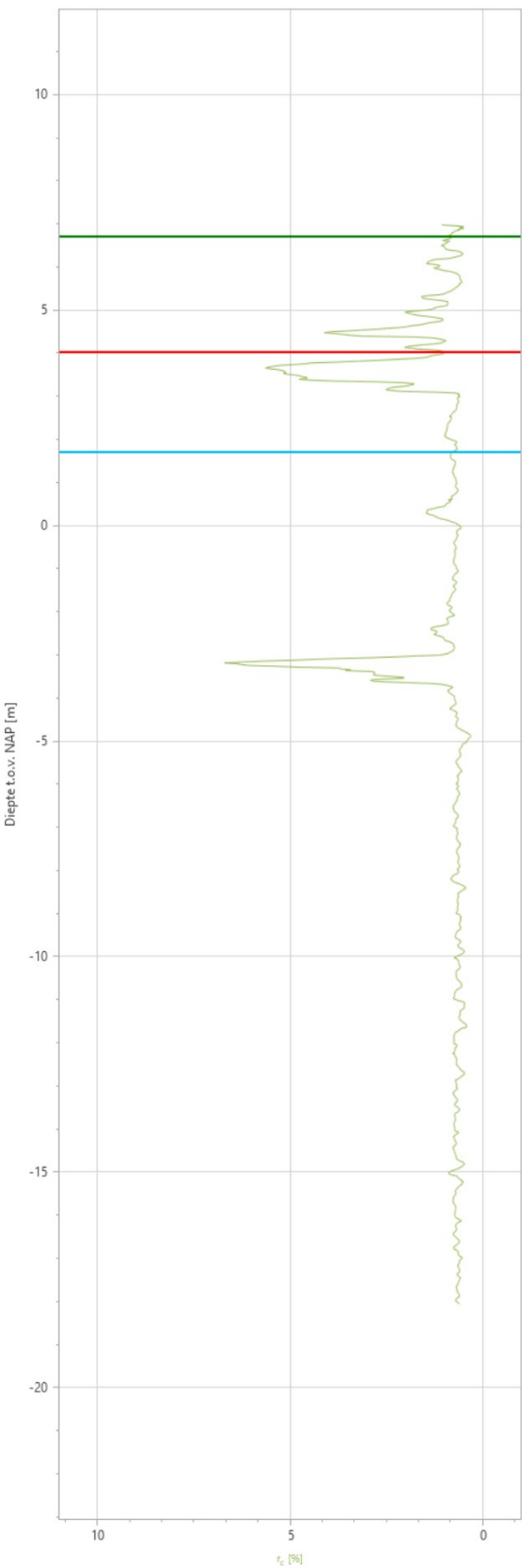
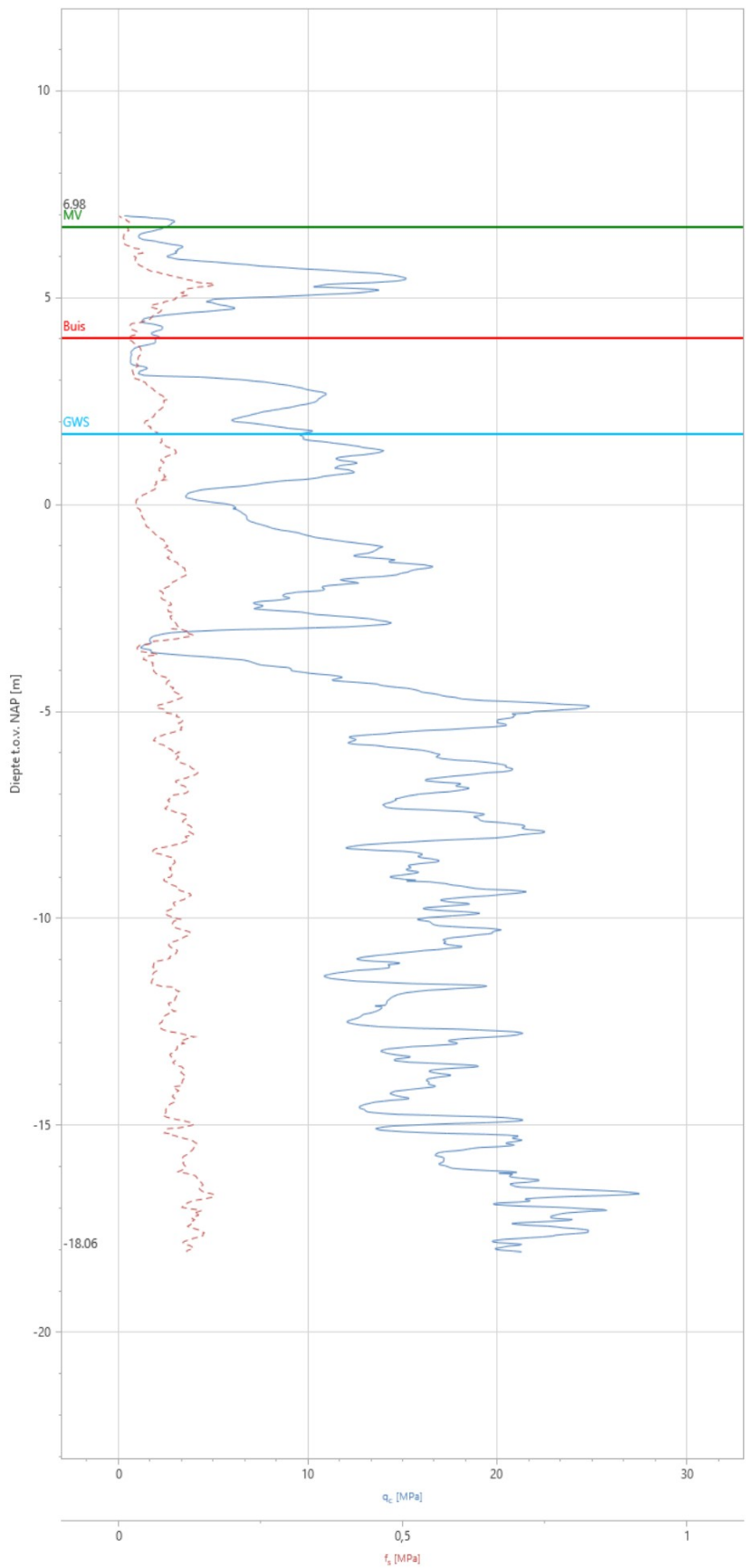
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,090}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 100 \text{ l/min}$)11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ($\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 2000 \text{ l/min}$)

11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,i} = 1400 \text{ l/min}$)



Naam van het project : GB240207-02
Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200



Algemene gegevens

Naam van het project : GB240207-02

Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200

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 Tangentieel / Alfa Axiaal α_σ = 0,65 -

Soortelijk gewicht buis ρ_L = 9,55 kN/m³

Toelaatbare deflectie δ = 8,00 %

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

Totale lengte L = 94,47 m

Totale horizontale lengte L_{hor} = 92,88 m

Straal maaiveld/rollenbaan R_r = 100,00 m

Intredehoek (bij boorstelling) α_1 = 17,00 / 30,57 ° / %

Uittredehoek (bij rollenbaan) α_2 = 20,28 / 36,95 ° / %

Belastinghoek α = 30 °

Ondersteuningshoek β = 30 °

Horizontale steundrukhoek γ = 120 °

MV intrede t.o.v. NAP MV_{in} = 7,14 m

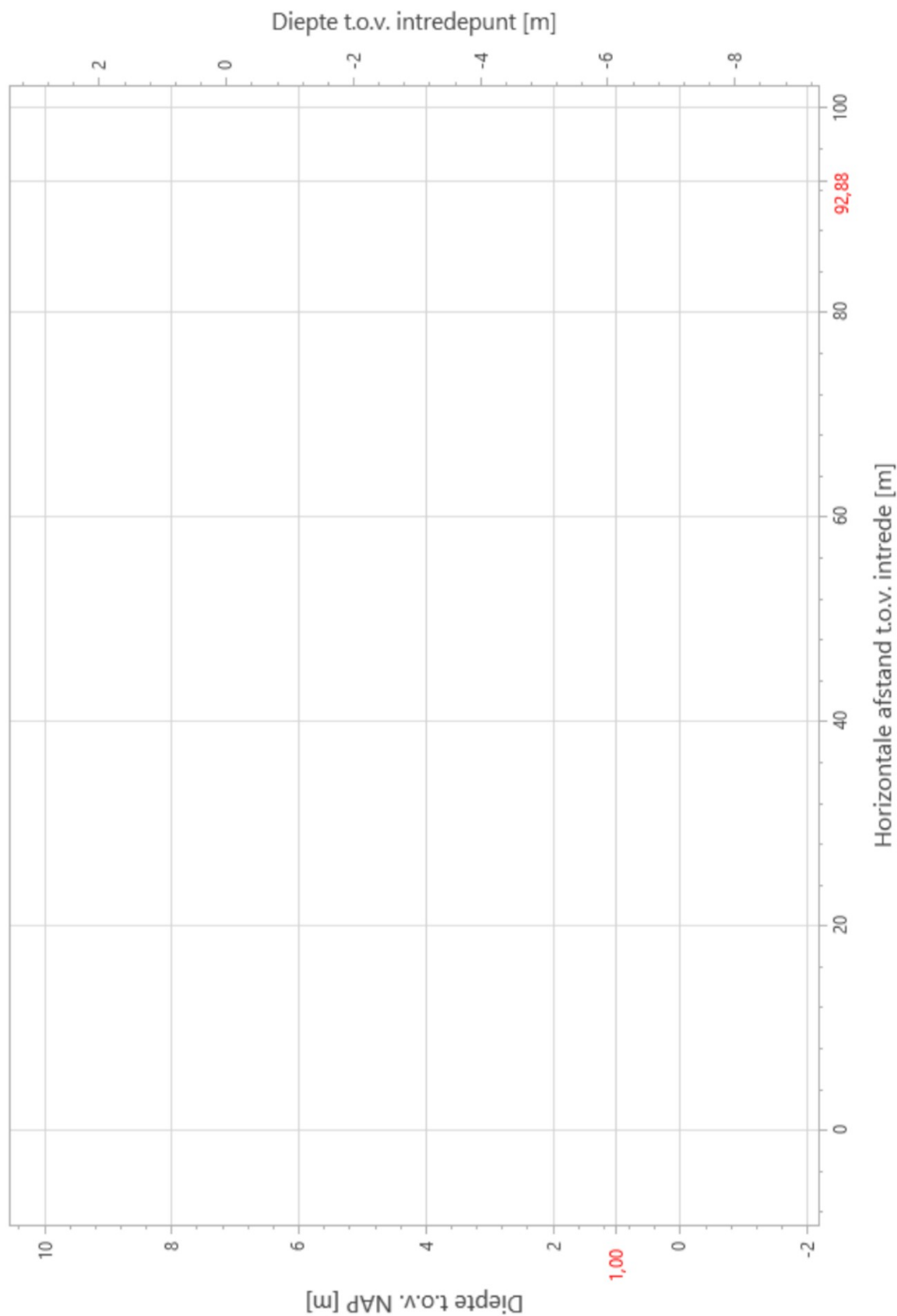
MV uittrede t.o.v. NAP MV_{uit} = 7,37 m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
A	11,13	10,64	11,13	10,64	-
B	18,06	17,80	29,19	28,44	60,00
C	37,90	37,90	67,09	66,34	-
D	20,98	20,54	88,07	86,88	60,00
E	6,40	6,00	94,47	92,88	-

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.2 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		D_b	= 72	mm			
Tijdens pilot							
Diameter boorkop/boorgat		D_p	= 125	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_p	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100	l/min			
Tijdens ruimgang							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 580	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_r	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 2000	l/min			
Tijdens intrekken							
Equivalente diameter bundel		D_{eq}	= 342,82	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_i	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 1400	l/min			
Aantal buizen in de bundel		n	= 6				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang							
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. zonder rollenbaan		f_1	= 0,3				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		f_2	= 0,00005	N/mm ²			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		f_3	= 0,2				
Partiële factor grondbelasting		γ	= 1,1				
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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	10,63	2,68	-	Zand	18,51	-	32,50
2	28,47	5,02	5,00	Zand	17,00	17,00	17,50
3	45,75	5,03	5,00	Zand	18,47	21,00	35,00
4	66,37	5,15	5,00	Zand	18,42	21,00	35,00
5	87,28	1,88	-	Zand	18,98	-	30,00

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	0,00	45,00	Grafiek ½ x II
2	✓	5,00	2,00	Grafiek I
3	✓	0,00	75,00	Grafiek I
4	✓	0,00	75,00	Grafiek I
5	✓	0,00	15,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Homogeen (zand)	2
2	Homogeen (zand)	
3	Homogeen (zand)	2
4	Homogeen (zand)	2
5	Homogeen (zand)	2



* Niet op schaal

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] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	94,47	3.249	1.805
Na intrekken van E	88,07	3.029	1.683
Na intrekken van D	67,09	2.307	1.282
Na intrekken van C	29,19	1.004	558
Na intrekken van B	11,13	383	213

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

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] (f = 1,8)	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	3.249	0,49
Na intrekken van E	3.029	0,45
Na intrekken van D	2.307	0,35
Na intrekken van C	1.004	0,15
Na intrekken van B	383	0,06

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758}{100.000} = 190.923,86 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{190.923,86}{222.522} = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

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	0,49	1,04
Na intrekken van E	0,45	1,01
Na intrekken van D	0,35	0,90
Na intrekken van C	0,15	0,71
Na intrekken van B	0,06	0,62

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,86 + \sigma_t$$

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 1,04 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2024 1.2 ©			
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								
Aantal buizen in de bundel $n = 6$								
De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,584$								
Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.								
58,4% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.								
Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 293,65 \text{ mm}^1$								
Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$								
Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_{m,i} \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 160,00^2 \cdot \pi/4 = 0,231 \text{ N/mm}^1$								
Gelet hierop is $g_{eff} = g_{gat} - g_{opw} = 0,168 \text{ N/mm}^1$								
Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] ($f = 1,8$)	T_{3a} [N] ($f = 1,8$)	T_2 [N] ($f = 1$)	T_{3a} [N] ($f = 1$)			
Na intrekken van E	94,47	555	-	308	-			
Na intrekken van D	88,07	-	2.375	-	1.319			
Na intrekken van C	67,09	5.662	-	3.146	-			
Na intrekken van B	29,19	-	7.229	-	4.016			
Na intrekken van A	11,13	8.194	-	4.552	-			
Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (293,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$								
Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (293,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$								
5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding l en beddingsconstanten in de bochten k_v								
Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm ²]	q_n [kN/m ²]	$E_{100,norm}$ [N/mm ²]	ν [-]	l [mm]	m [-]	λ [mm ⁻¹]	k_v [N/mm ³]
D (5)	15,00	39,25	9,40	0,3333	718,0	0,61	0,00438	0,15908
B (2)	2,00	93,67	1,94	0,4115	1.197,4	0,52	0,00262	0,02056
$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)								
$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$								
$l = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = l \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 30^\circ \cdot 80 = 41,89 \text{ mm}$								
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot l_b}}$								
$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}}$ (m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c)								
							29-08-2024 07:50:56	

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm ²]	Q_r [N/mm ¹]	T_{3b} [N] ($f = 1,8$)	T_{3b} [N] ($f = 1$)
D (5)	60,00	0,012	1,98	1.026	570
B (2)	60,00	0,0045	0,71	615	342

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot l_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}{160 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 160$$

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

5.4 Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b,max}$ [N] ($f = 1$)	ΣT_{3b} [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
D	1.282	1.319	570	570	3.171
B	213	4.016	342	911	5.140

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] ($f = 1,8$)	T_{3c} [N] ($f = 1$)
D	10,02	3.171	397	221
B	8,62	5.140	555	308

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van $f=1,8$ wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	3.029	555	-	-	-	3.584	0,36
Na intrekken van D	2.307	-	2.375	1.026	397	6.105	0,61
Na intrekken van C	1.004	5.662	-	1.026	397	8.089	0,81
Na intrekken van B	383	-	7.229	1.641	952	10.204	1,02
Na intrekken van A	0	8.194	-	1.641	952	10.787	1,08

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	1.683	308	-	-	-	1.991	0,20
Na intrekken van D	1.282	-	1.319	570	221	3.392	0,34
Na intrekken van C	558	3.146	-	570	221	4.494	0,45
Na intrekken van B	213	-	4.016	911	529	5.669	0,57
Na intrekken van A	0	4.552	-	911	529	5.993	0,60

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **5.993 N (» 0,60 ton)**.

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van E	3.584	0,54
Na intrekken van D	6.105	0,92
Na intrekken van C	8.089	1,21
Na intrekken van B	10.204	1,53
Na intrekken van A	10.787	1,62

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

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

Trekkkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm ²]
D	60,00	449.988,88	2,02
B	60,00	449.988,88	2,02

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{222.521,98}$$

5.10 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 E	3.584	0,54	-	0,54
Na intrekken van D	6.105	0,92	2,02	2,23
Na intrekken van C	8.089	1,21	-	1,21
Na intrekken van B	10.204	1,53	2,02	2,84
Na intrekken van A	10.787	1,62	-	1,62

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

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

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 2,84 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

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:
 $f_{rr} = 1,00$

6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	2,68	-	Zand	-	-	54,57	8,73
2	5,02	5,00	Zand	93,50	0,17	93,67	14,99
3	5,03	5,00	Zand	101,59	0,39	101,98	16,32
4	5,15	5,00	Zand	101,31	1,97	103,28	16,52
5	1,88	-	Zand	-	-	39,25	6,28

$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$
 $q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$
 $q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$
 $Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 160$

6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}

Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]
1	2,68	-	20,36
2	5,02	5,00	18,66
3	5,03	5,00	20,27
4	5,15	5,00	20,05
5	1,88	-	20,88

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

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	Homogeen (zand)	0,29	2,32	18,72 ⁽¹⁾	2,99
2	Homogeen (zand)	0,29	2,32	1,83 ⁽¹⁾	0,29
3	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,58 ⁽¹⁾	3,13
4	Homogeen (zand)	0,29	2,32	19,38 ⁽¹⁾	3,10
5	Homogeen (zand)	0,29	2,32	17,75 ⁽¹⁾	2,84

$R = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$
 $B_1 = \frac{1}{2} D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$
 $K = 1 - \sin(\varphi)$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 160$$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	54,57	8,73	18,72	2,99
2	93,67	14,99	1,83	0,29
3	101,98	16,32	19,58	3,13
4	103,28	16,52	19,38	3,10
5	39,25	6,28	17,75	2,84

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	2,68	Grafiek 1/2 x II	4,39	0,70
2	5,02	Grafiek I	10,15	1,62
3	5,03	Grafiek I	10,13	1,62
4	5,15	Grafiek I	9,88	1,58
5	1,88	Grafiek 1/2 x II	7,17	1,15

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	8,73	2,99	0,70	3,70	59,07 ⁽²⁾	1,66
2	✓	14,99	0,29	1,62	1,92	26,53 ⁽²⁾	0,75
3	✓	16,32	3,13	1,62	4,75	77,22 ⁽²⁾	2,17
4	✓	16,52	3,10	1,58	4,68	76,04 ⁽²⁾	2,14
5	✓	6,28	2,84	1,15	3,99	62,53 ⁽²⁾	1,76

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70$$

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

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

Locatie	R [m]	q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
2	60,00	0,0045	0,29
5	60,00	0,012	0,80

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot q_r \cdot 160 \cdot \frac{80,00}{35,53}$$

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

Leiding is drukloos
 $\sigma_{ax} = 0$ N/mm²

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 = **2** kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$
 Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

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

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

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	1,66	-	0,65	1,08
2	0,75	0,29	0,65	0,67
3	2,17	-	0,65	1,41
4	2,14	-	0,65	1,39
5	1,76	0,80	0,65	1,66

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$
 Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$
 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$
 $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,66 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

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
2	0,00	0,00	2,02	0,65	1,31
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	2,02	0,65	1,31

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm² $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,31 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ¹]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	8,73	2,99	0,70	-	0,86⁽²⁾	0,44
2	14,99	0,29	1,62	0,71	0,18⁽²⁾	0,073
3	16,32	3,13	1,62	-	1,06⁽²⁾	0,56
4	16,52	3,10	1,58	-	1,04⁽²⁾	0,55
5	6,28	2,84	1,15	1,98	0,83⁽²⁾	0,41

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \phi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 145,40 = 11,63$ mm $\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 0,81 \leq 11,63 \rightarrow$ Voldoet

11. 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]	$E_{100, norm}$ [MN/m ²]
1	2,68	45,10	20,87	32,98	50,70	33,24
2	5,02	77,38	54,11	65,75	90,29	1,94
3	5,03	84,23	35,92	60,07	94,53	75,74
4	5,15	85,09	36,28	60,69	95,50	76,22
5	1,88	32,44	16,22	24,33	36,49	9,40

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

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

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

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

$$E_{100, norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	12,63	0,0014	0,0000	0,3163	0,50	4,53
2	0,69	0,036	0,0002	0,4115	0,21	1,92
3	29,15	0,0012	0,0003	0,2989	1,10	9,93
4	29,34	0,0012	0,0015	0,2989	1,11	10,03
5	3,52	0,0035	0,0000	0,3333	0,24	2,17

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1	0,53	3,11	0,22	2,18	0,04	0,39
2	0,10	5,87	0,12	1,16	0,08	0,75
3	0,57	5,80	0,46	4,61	0,08	0,79
4	0,57	5,71	0,47	4,66	0,08	0,83
5	0,34	2,26	0,11	1,09	0,05	0,49

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 0,203 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,203}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽¹⁾	0,29
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽¹⁾	0,69
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽¹⁾	0,71
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽¹⁾	0,72
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,40

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,128 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{2000}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 4,065 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,128}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 4,065}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
5	0,94	2,49	0,08	0,79	0,03 ⁽²⁾	0,28
4	2,58	5,94	0,46	4,56	0,07 ⁽²⁾	0,68
3	2,52	6,03	0,44	4,43	0,07 ⁽²⁾	0,68
2	0,48	6,10	0,12	1,16	0,07 ⁽²⁾	0,68
1	1,34	3,34	0,15	1,46	0,04 ⁽²⁾	0,36

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 342,82 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{580}{2} = 290 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 343^2)} = 0,136 \text{ m/s}$$

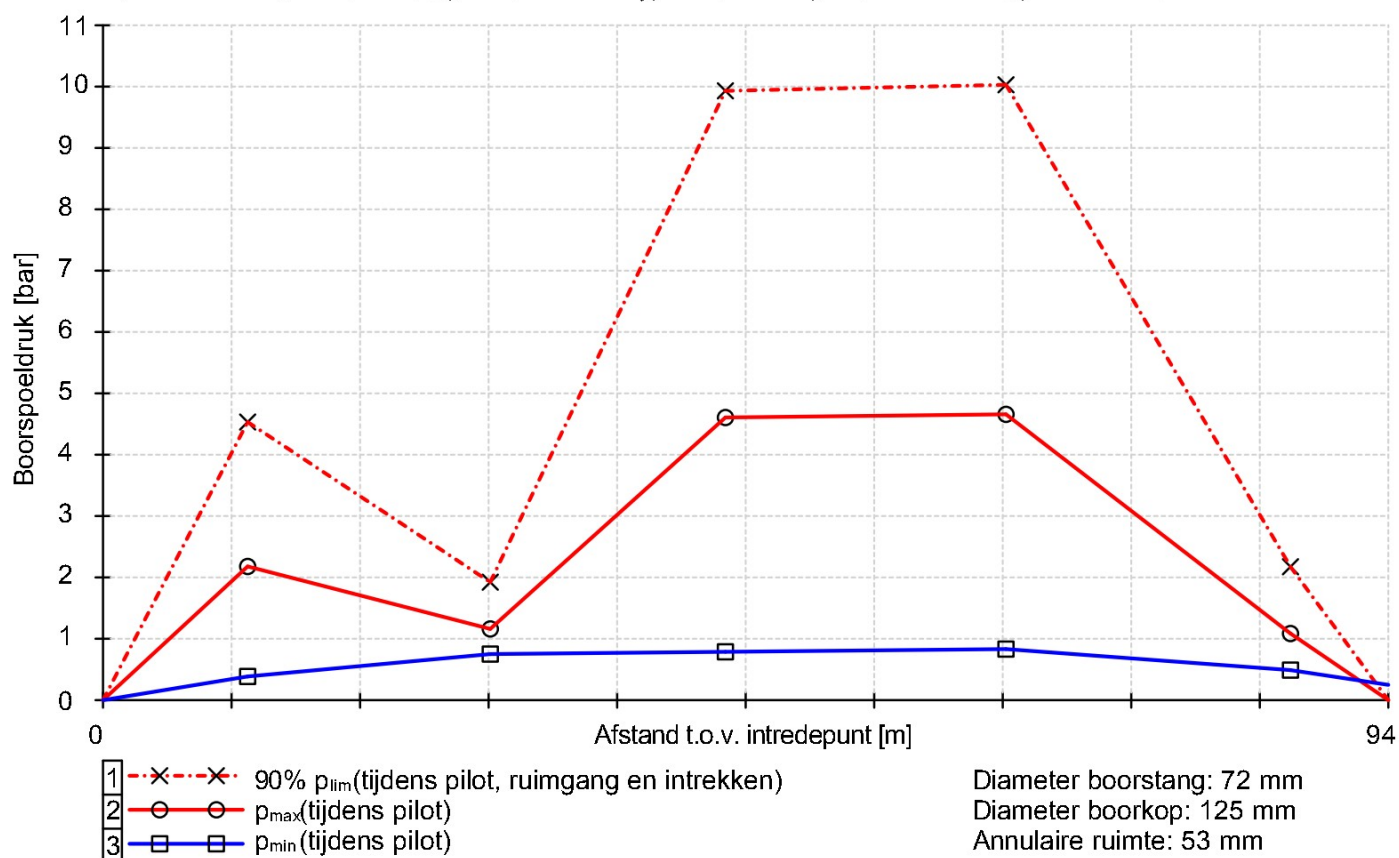
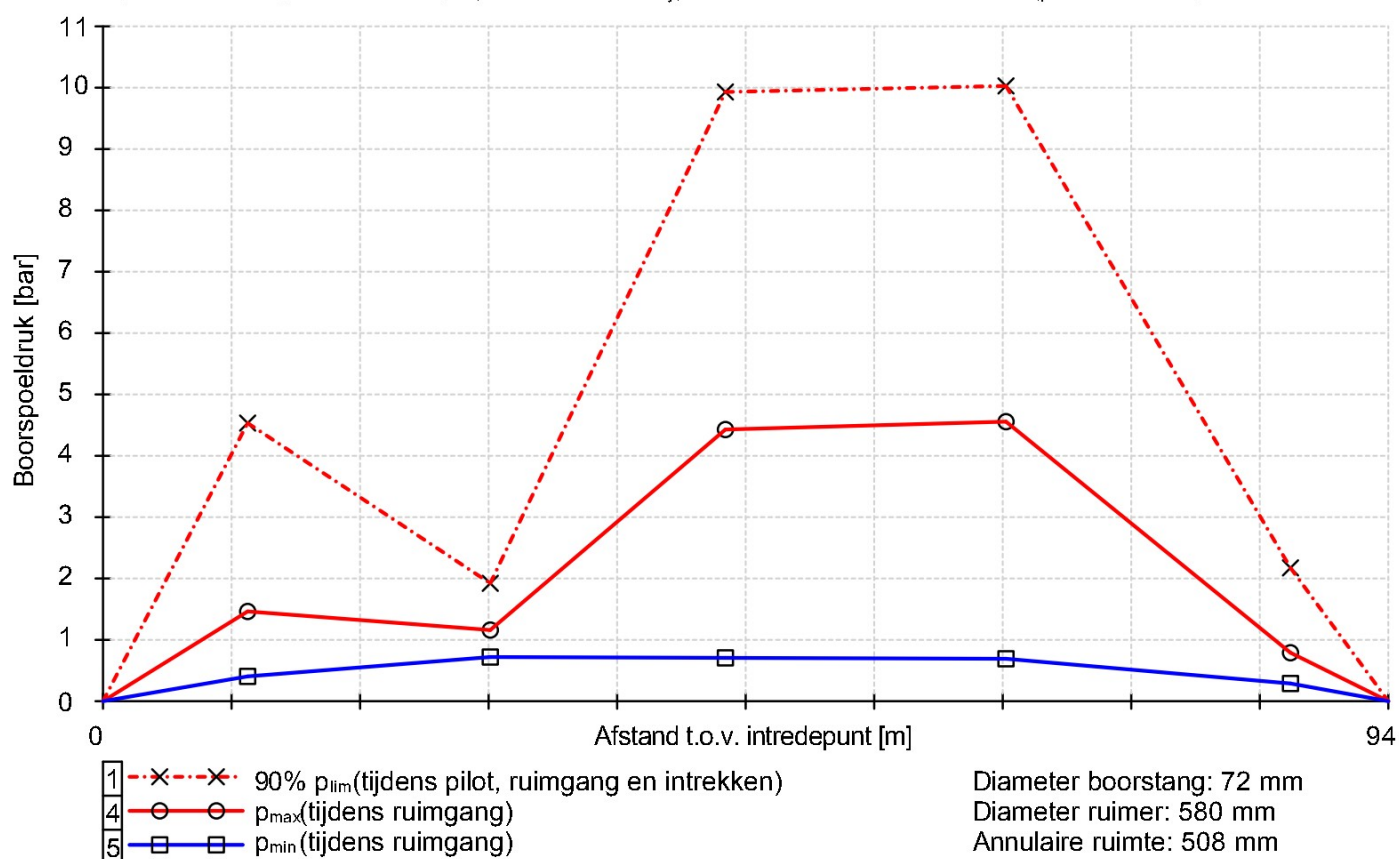
$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{1400}{1/4 \cdot \pi \cdot (580^2 - 72^2)} = 0,090 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_{eq})} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

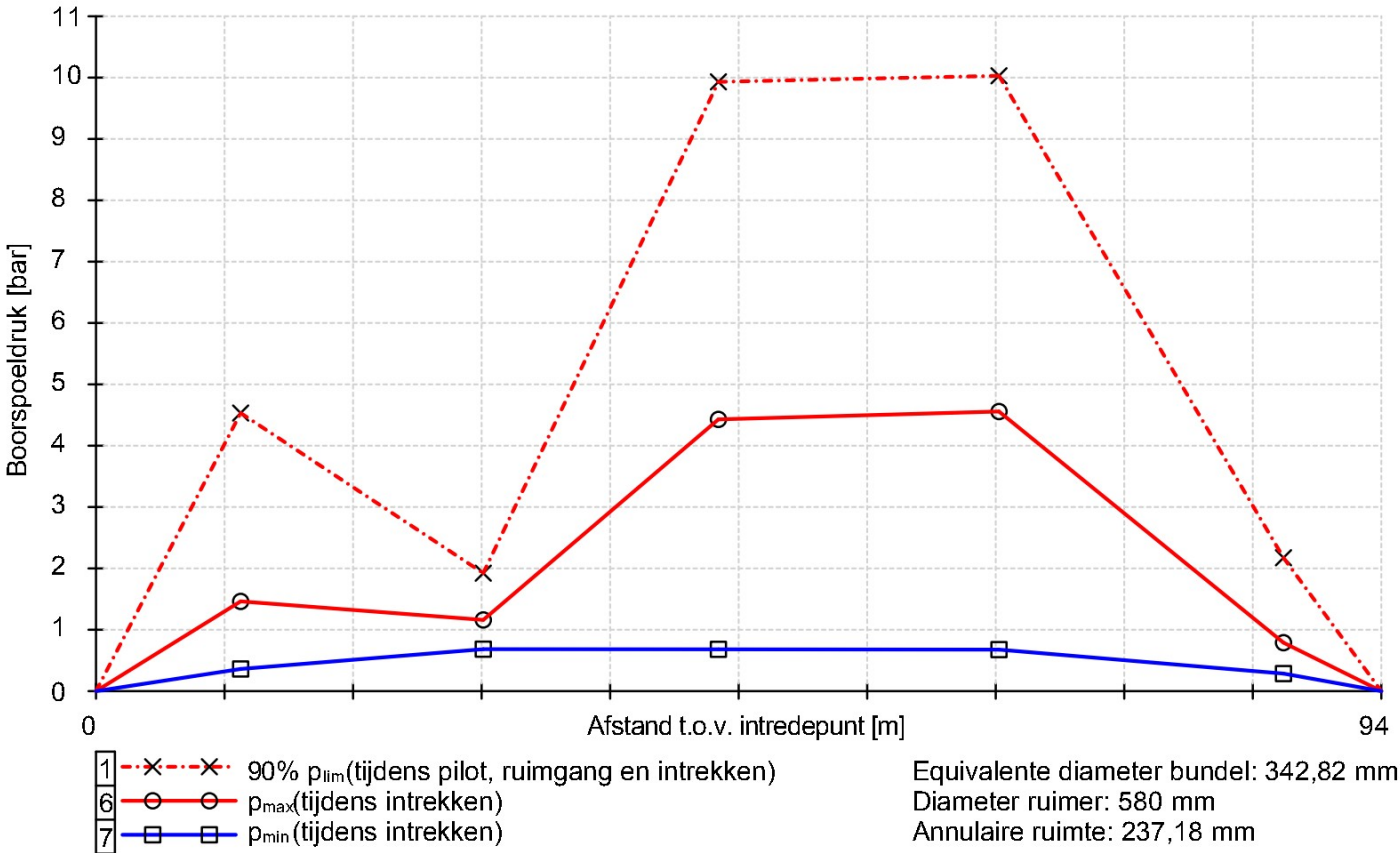
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,136}{(580 - 343)^2} + \frac{13,4}{(580 - 343)} \right) \cdot (94,46663313377976 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

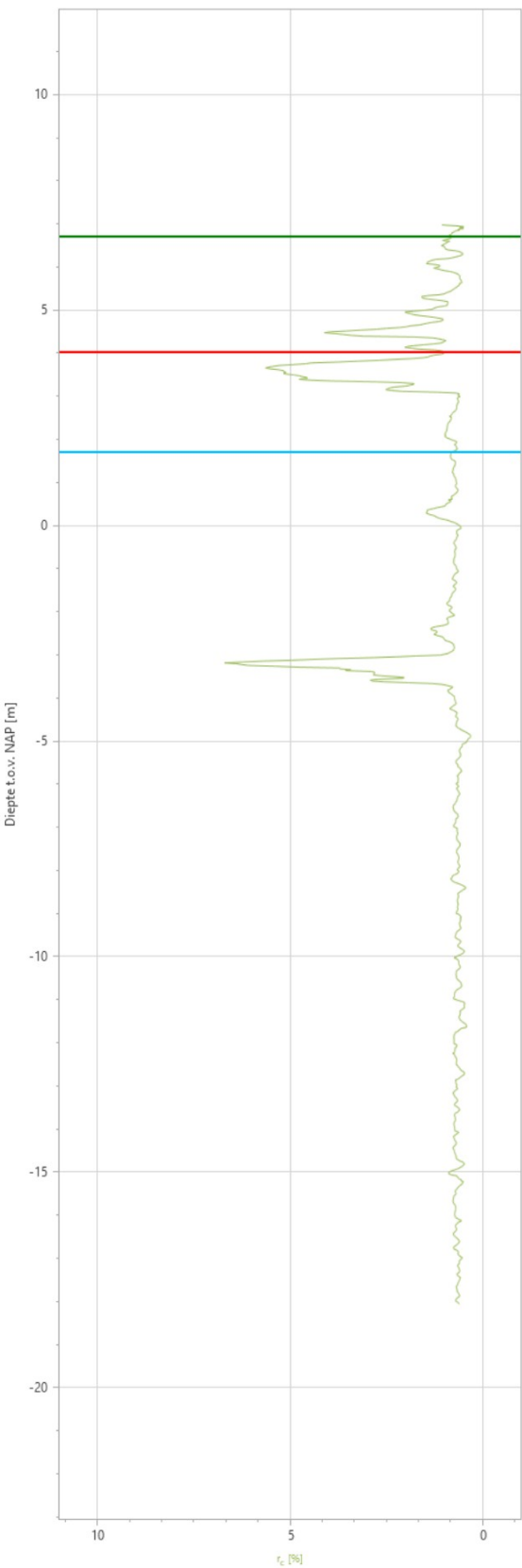
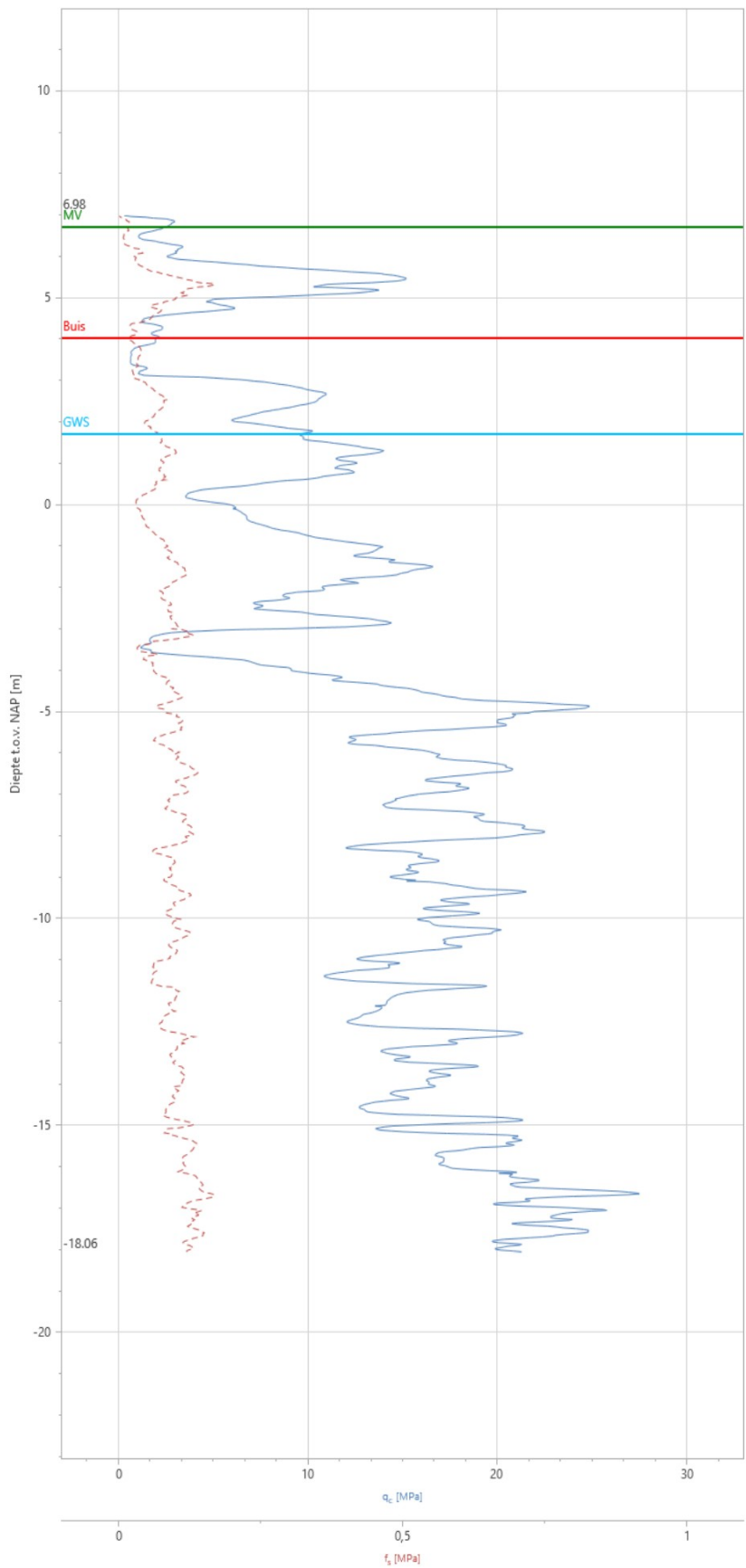
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,090}{(580 - 72)^2} + \frac{13,4}{(580 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

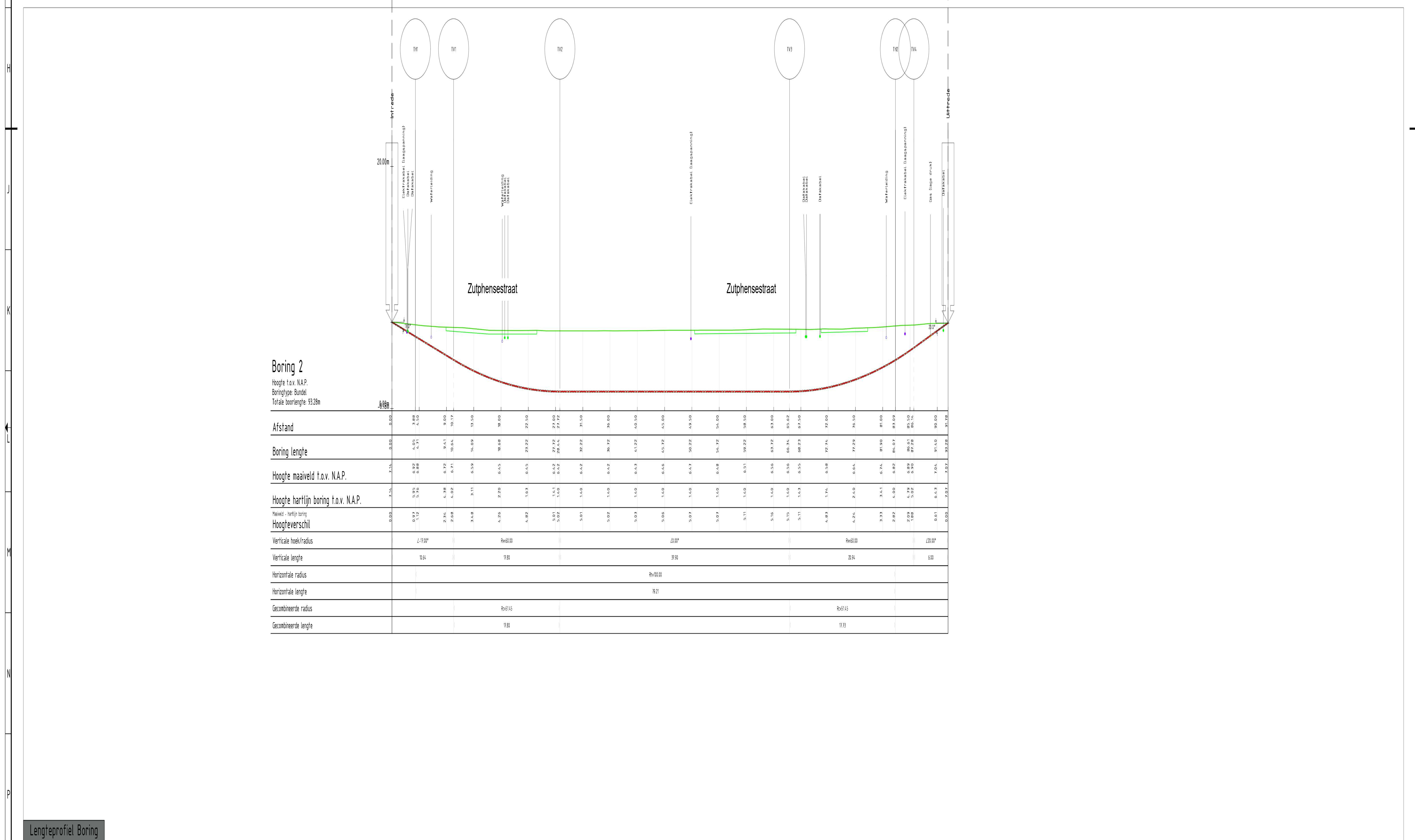
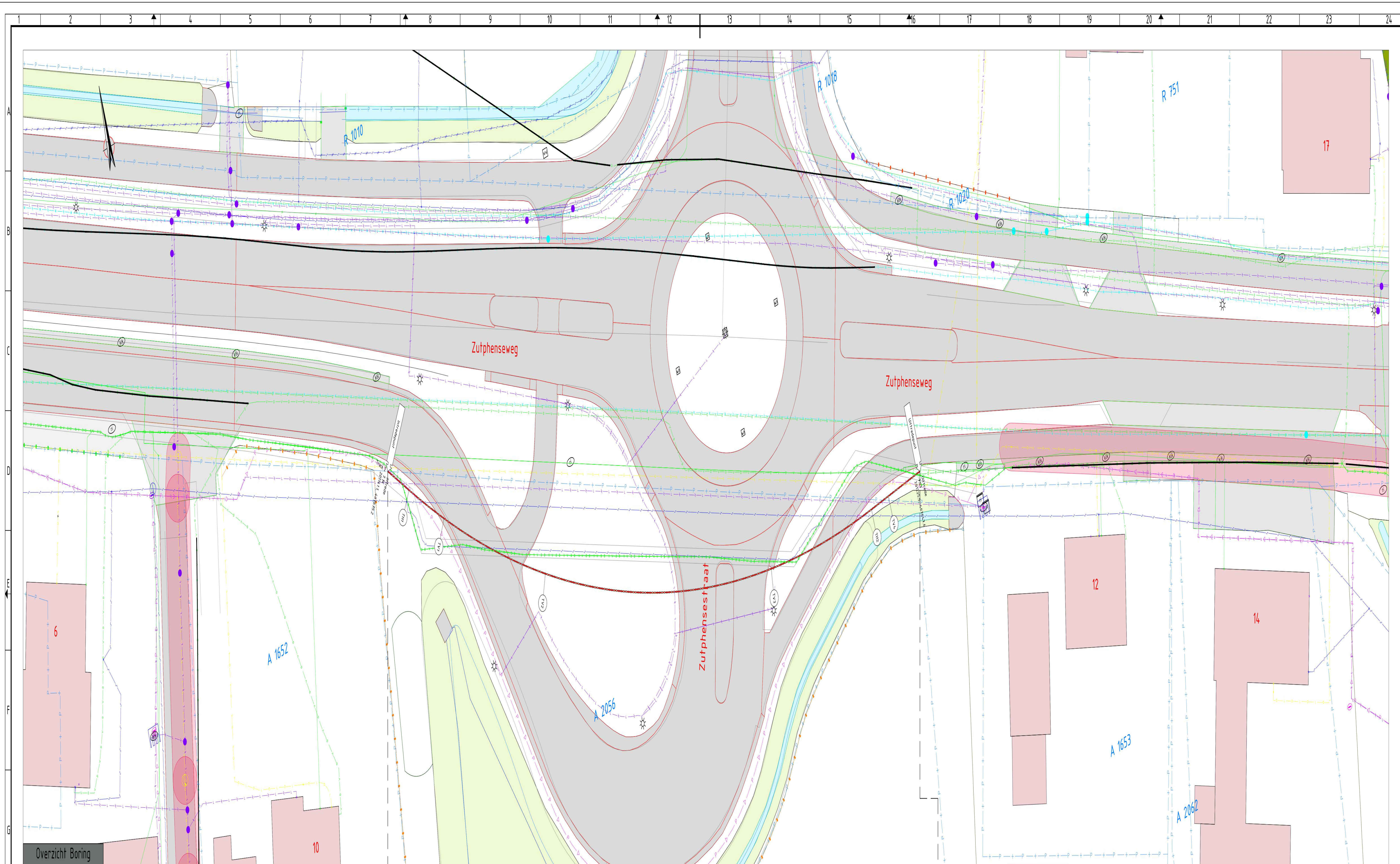
11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 100 \text{ l/min}$)11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ($\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 2000 \text{ l/min}$)

11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,i} = 1400 \text{ l/min}$)



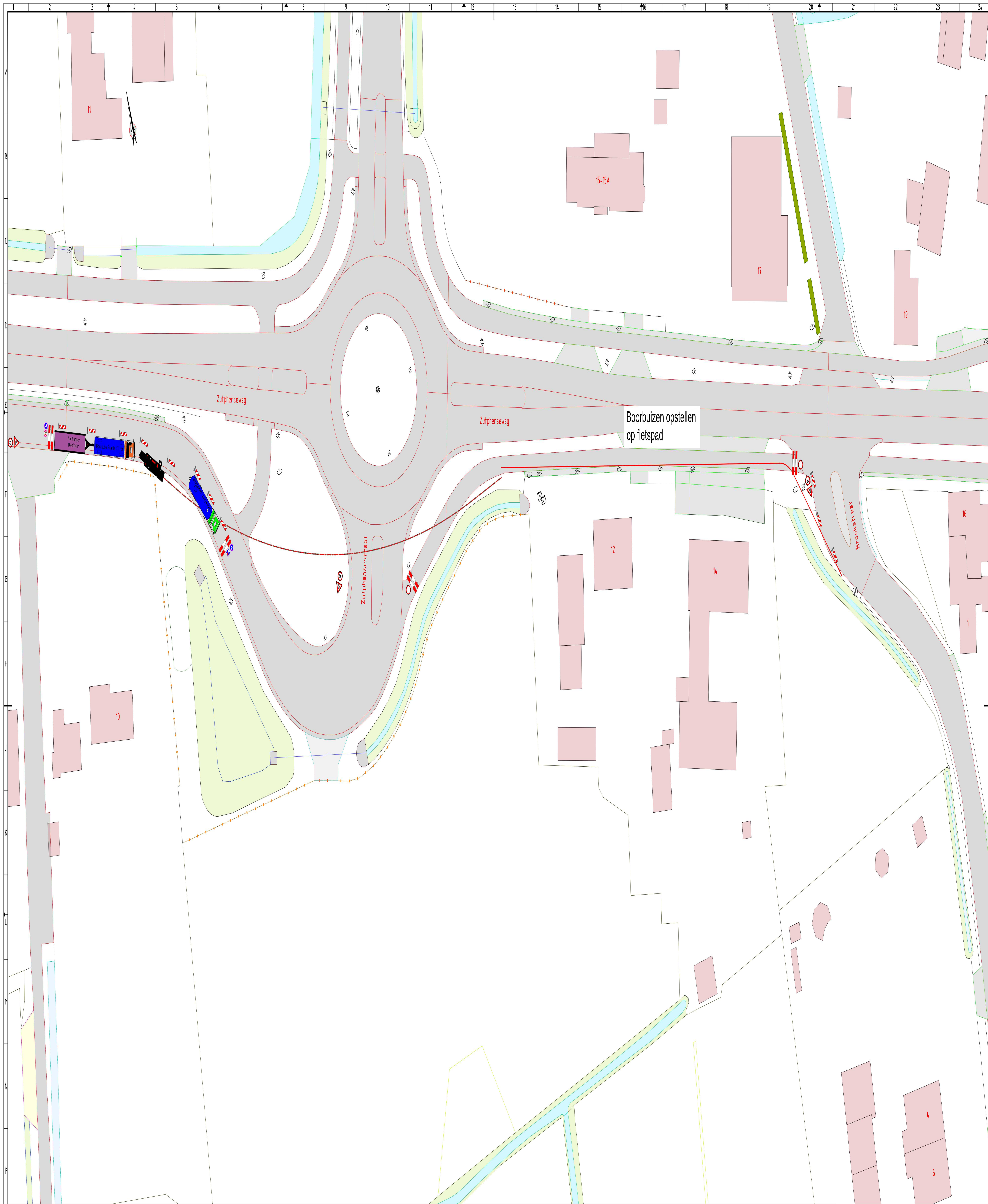
Naam van het project : GB240207-02
Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x125+1x160+1x200







Lengteprofiel Boring





REI	DTM	OMSCHRIJVING	TEKENING	GEOMETRIE
OPDRACHTGEVER				
				
PROJECTOMSCHRIJVING			brent energie	
Zutphenseweg 10 Klarenbeek		POSTNOMER: Visser & Smit Hanab B.V. Afdeling Integratie Projecten Postbus 150 3300 AH Papendrecht		
TEKENINGOMSCHRIJVING				
Opstelling			BEZEMKADER: Visser & Smit Hanab B.V. Afdeling Integratie Projecten Bakermat 1011 6500 SG Houten Tel: +31 (0)20 208 309 Email: info@visserhanab.nl	
FASE		STATUS		
ONTWERP		CONCEPT		
TEKENAAR		CONTROLEUR		PROJECTLEIDER
SCHAAAL		DATUM	FORMAAT	PROJECTNUMMER
-		19-06-2024	A0	MT 15
				TEKENINGNUMMER
				GB240207-02
Deze tekening is eigendom van Visser & Smit Hanab B.V. zonder haar toestemming mag niets van deze tekening worden gepubliceerd, gebruikt of aan derden ter beschikking worden gesteld.				

Algemene gegevens

Naam van het project : GB240207-01

Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x160

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

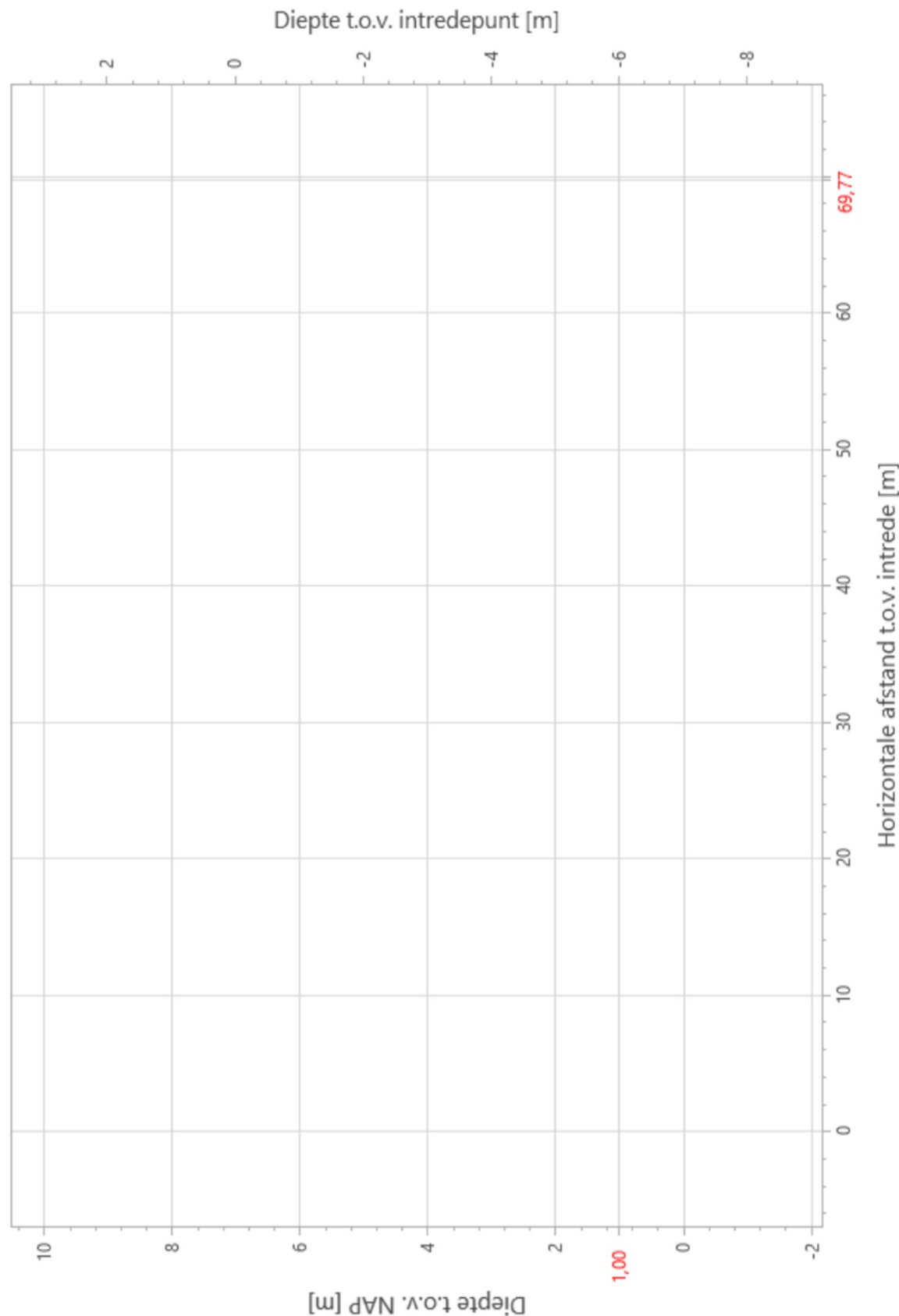
Totale lengte	L = 71,56	m
Totale horizontale lengte	L _{hor} = 69,77	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r = 100,00	m
Intredehoek (bij boorstelling)	α_1 = 17,00 / 30,57	° / %
Uittredehoek (bij rollenbaan)	α_2 = 25,31 / 47,29	° / %
Belastinghoek	α = 30	°
Ondersteuningshoek	β = 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ = 120	°
MV intrede t.o.v. NAP	MV _{in} = 7,02	m
MV uittrede t.o.v. NAP	MV _{uit} = 7,35	m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
A	11,43	10,93	11,43	10,93	-
B	18,06	17,80	29,49	28,73	60,00
C	16,88	16,88	46,37	45,61	-
D	21,87	21,16	68,24	66,77	50,00
E	3,32	3,00	71,56	69,77	-

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.2 ©			
Uitvoeringsaspecten							
Diameter boorstang		D_b	= 72	mm			
Tijdens pilot							
Diameter boorkop/boorgat		D_p	= 125	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_p	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,p}$	= 100	l/min			
Tijdens ruimgang							
Boorstangen koppelen tijden ruimen							
Diameter ruimer/boorgat		$D_{g,r}$	= 450	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_r	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,r}$	= 500	l/min			
Tijdens intrekken							
Equivalente diameter bundel		D_{eq}	= 248,8	mm			
Soortelijk gewicht boorvloeistof		$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m ³			
Zwichtspanning boorvloeistof		$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa			
Plastische viscositeit boorvloeistof		η_i	= 0,009	Pa·s			
Debiet boorvloeistof		$Q_{m,i}$	= 300	l/min			
Aantal buizen in de bundel		n	= 4				
De bundelbuizen worden niet gekoppeld							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan							
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang							
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. zonder rollenbaan		f_1	= 0,3				
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof		f_2	= 0,00005	N/mm ²			
Wrijving tussen leiding/boorgangwand		f_3	= 0,2				
Partiële factor grondbelasting		γ	= 1,1				
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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	11,43	3,46	-	Zand	18,11	-	35,00
2	29,23	6,14	5,00	Zand	18,55	20,68	35,00
3	36,76	6,14	5,00	Zand	18,54	20,68	35,00
4	46,11	6,10	5,00	Zand	18,54	20,67	35,00
5	67,92	1,34	-	Zand	17,00	-	17,50

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	✓	0,00	75,00	Grafiek I
3	✓	0,00	75,00	Grafiek I
4	✓	0,00	75,00	Grafiek I
5	✓	5,00	2,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Homogeen (zand)	1
2	Homogeen (zand)	1
3	Homogeen (zand)	1
4	Homogeen (zand)	1
5	Homogeen (zand)	



* Niet op schaal

1.2.2.0/03-2024/24-4261615-5

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020				Sigma 2024 1.2 ©	
2. 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	
3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding					
	Leiding op rollenbaan/maaiveld			Leiding in boorgat	
Gewicht mediumleiding	g	= 0,0300	N/mm ¹	g	= 0,0300 N/mm ¹
Gewicht vulling	g_{vul}	= N.v.t.	+	g_{vul}	= N.v.t. +
Totaal gewicht	g_{rol}	= 0,0300	N/mm ¹	g_{gat}	= 0,0300 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] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)		
Starten met trekken	71,56	1.159	644		
Na intrekken van E	68,24	1.106	614		
Na intrekken van D	46,37	751	417		
Na intrekken van C	29,49	478	265		
Na intrekken van B	11,43	185	103		
$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = f \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,3$					
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] (f = 1,8)	σ_t [N/mm ²]			
Starten met trekken	1.159	0,37			
Na intrekken van E	1.106	0,35			
Na intrekken van D	751	0,24			
Na intrekken van C	478	0,15			
Na intrekken van B	185	0,06			
$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$					
				29-08-2024 07:32:17	

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{100.000} = 42.538,15 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{42.538,15}{72.114} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

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	0,37	0,75
Na intrekken van E	0,35	0,74
Na intrekken van D	0,24	0,62
Na intrekken van C	0,15	0,54
Na intrekken van B	0,06	0,44

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,59 + \sigma_t$$

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 0,75 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

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**

Aantal buizen in de bundel $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0.3} = 0,660$

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

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 227,99 \text{ mm}^1$

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

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

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_2 / L_b [m]	T_2 [N] ($f = 1,8$)	T_{3a} [N] ($f = 1,8$)	T_2 [N] ($f = 1$)	T_{3a} [N] ($f = 1$)
Na intrekken van E	71,56	163	-	90	-
Na intrekken van D	68,24	-	1.236	-	687
Na intrekken van C	46,37	2.064	-	1.147	-
Na intrekken van B	29,49	-	2.950	-	1.639
Na intrekken van A	11,43	3.511	-	1.950	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (227,99 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (227,99 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm ²]	q_n [kN/m ²]	$E_{100,norm}$ [N/mm ²]	ν [-]	I [mm]	m [-]	λ [mm ⁻¹]	k_v [N/mm ³]
D (5)	2,00	25,06	1,00	0,4115	822,7	0,52	0,00382	0,02991
B (1)	75,00	68,93	62,27	0,2989	324,3	0,69	0,00969	1,23868
B (2)	75,00	116,56	80,97	0,2989	324,3	0,69	0,00969	1,23868

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0.5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0.8}$ (Veen/Klei)

$$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$I = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = I \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 30^\circ \cdot 55 = 28,80 \text{ mm}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (\text{m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c})$$

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm ²]	Q_r [N/mm ¹]	T_{3b} [N] ($f = 1,8$)	T_{3b} [N] ($f = 1$)
D (5)	50,00	0,0037	0,40	239	133
B (1)	60,00	0,020	2,17	506	281
B (2)	60,00	0,020	2,17	506	281

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot l_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}{110 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 110$$

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

5.4 Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b,max}$ [N] ($f = 1$)	ΣT_{3b} [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
D	417	687	133	133	1.237
B	103	1.639	281	414	2.156

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] ($f = 1,8$)	T_{3c} [N] ($f = 1$)
D	12,53	1.237	193	107
B	8,62	2.156	233	129

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van $f=1,8$ wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	1.106	163	-	-	-	1.268	0,13
Na intrekken van D	751	-	1.236	239	193	2.420	0,24
Na intrekken van C	478	2.064	-	239	193	2.974	0,30
Na intrekken van B	185	-	2.950	745	426	4.306	0,43
Na intrekken van A	0	3.511	-	745	426	4.682	0,47

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	614	90	-	-	-	705	0,07
Na intrekken van D	417	-	687	133	107	1.344	0,13
Na intrekken van C	265	1.147	-	133	107	1.652	0,17
Na intrekken van B	103	-	1.639	414	237	2.392	0,24
Na intrekken van A	0	1.950	-	414	237	2.601	0,26

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **2.601 N** (» **0,26 ton**).

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van E	1.268	0,40
Na intrekken van D	2.420	0,77
Na intrekken van C	2.974	0,95
Na intrekken van B	4.306	1,37
Na intrekken van A	4.682	1,49

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

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

Trekkkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm ²]
D	50,00	120.309,91	1,67
B	60,00	100.258,26	1,39

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{72.113,83}$$

5.10 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 E	1.268	0,40	-	0,40
Na intrekken van D	2.420	0,77	1,67	1,85
Na intrekken van C	2.974	0,95	-	0,95
Na intrekken van B	4.306	1,37	1,39	2,27
Na intrekken van A	4.682	1,49	-	1,49

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

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

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 2,27 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

1.2.2.0/03-2024/24-4261615-5

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020						Sigma 2024 1.2 ©	
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: $f_{rr} = 1,00$							
6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n							
Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	3,46	-	Zand	-	-	68,93	7,58
2	6,14	5,00	Zand	102,03	14,53	116,56	12,82
3	6,14	5,00	Zand	101,97	14,53	116,50	12,82
4	6,10	5,00	Zand	101,97	14,01	115,98	12,76
5	1,34	-	Zand	-	-	25,06	2,76
$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 110$							
6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}							
Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]				
1	3,46	-	19,92				
2	6,14	5,00	18,98				
3	6,14	5,00	18,97				
4	6,10	5,00	19,01				
5	1,34	-	18,70				
$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$							
Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]		
1	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,86 ⁽¹⁾	1,63		
2	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,30 ⁽¹⁾	1,57		
3	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,29 ⁽¹⁾	1,57		
4	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,32 ⁽¹⁾	1,58		
5	Homogeen (zand)	0,23	1,80	0,00 ⁽¹⁾	0,00		
$R = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$ $B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$ $K = 1 - \sin(\varphi)$							
						29-08-2024 07:32:17	

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

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 110$$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	68,93	7,58	14,86	1,63
2	116,56	12,82	14,30	1,57
3	116,50	12,82	14,29	1,57
4	115,98	12,76	14,32	1,58
5	25,06	2,76	0,00	0,00

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	3,46	Grafiek ½ x II	3,17	0,35
2	6,14	Grafiek I	8,11	0,89
3	6,14	Grafiek I	8,11	0,89
4	6,10	Grafiek I	8,17	0,90
5	1,34	Grafiek ½ x II	12,08	1,33

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	7,58	1,63	0,35	1,98	22,15 ⁽²⁾	1,33
2	✓	12,82	1,57	0,89	2,46	27,54 ⁽²⁾	1,65
3	✓	12,82	1,57	0,89	2,46	27,53 ⁽²⁾	1,65
4	✓	12,76	1,58	0,90	2,47	27,64 ⁽²⁾	1,66
5	✓	2,76	0,00	1,33	1,33	12,65 ⁽²⁾	0,76

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00$$

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

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

Locatie	R [m]	q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
1	60,00	0,020	1,28
2	60,00	0,020	1,28
5	50,00	0,0037	0,24

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

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

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

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

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

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

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

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

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	1,33	1,28	0,65	1,70
2	1,65	1,28	0,65	1,91
3	1,65	-	0,65	1,07
4	1,66	-	0,65	1,08
5	0,76	0,24	0,65	0,65

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,91 \leq 8,00 \rightarrow \text{Voldoet}$

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	1,39	0,65	0,90
2	0,00	0,00	1,39	0,65	0,90
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	1,67	0,65	1,08

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm² $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,08 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ¹]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	7,58	1,63	0,35	2,17	0,49⁽²⁾	0,38
2	12,82	1,57	0,89	2,17	0,55⁽²⁾	0,42
3	12,82	1,57	0,89	-	0,55⁽²⁾	0,42
4	12,76	1,58	0,90	-	0,55⁽²⁾	0,42
5	2,76	0,00	1,33	0,40	0,11⁽²⁾	0,065

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

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

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = 8,00$ mm $\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 0,42 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

11. 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]	$E_{100,\text{norm}}$ [MN/m ²]
1	3,46	56,96	24,29	40,63	63,93	62,27
2	6,14	94,35	40,23	67,29	105,89	80,97
3	6,14	94,30	40,21	67,26	105,84	80,95
4	6,10	93,94	40,06	67,00	105,43	80,77
5	1,34	20,71	14,48	17,60	27,66	1,00

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

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

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

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

$$E_{100,\text{norm}} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	23,97	0,00097	0,0000	0,2989	0,80	7,21
2	31,17	0,0012	0,0114	0,2989	1,23	11,04
3	31,16	0,0012	0,0114	0,2989	1,23	11,03
4	31,09	0,0012	0,0110	0,2989	1,22	10,99
5	0,35	0,028	0,0000	0,4115	0,08	0,75

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1	0,63	3,34	0,33	3,34	0,04	0,41
2	0,56	5,96	0,52	5,18	0,08	0,76
3	0,56	5,93	0,52	5,18	0,08	0,78
4	0,56	5,89	0,52	5,16	0,08	0,80
5	0,12	1,23	0,04	0,41	0,03	0,32

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 0,203 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + p_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,203}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
5	0,42	1,56	0,04	0,41	0,02 ⁽¹⁾	0,18
4	2,02	6,22	0,52	5,16	0,07 ⁽¹⁾	0,72
3	2,02	6,26	0,52	5,18	0,07 ⁽¹⁾	0,73
2	2,02	6,29	0,52	5,18	0,07 ⁽¹⁾	0,74
1	1,73	3,67	0,28	2,77	0,04 ⁽²⁾	0,42

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (450^2 - 72^2)} = 0,054 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 1,016 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,054}{(450 - 72)^2} + \frac{13,4}{(450 - 72)} \right) \cdot (71,55695163885352 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 1,016}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
5	0,42	1,56	0,04	0,41	0,02 ⁽²⁾	0,17
4	2,02	6,22	0,52	5,16	0,07 ⁽²⁾	0,69
3	2,02	6,26	0,52	5,18	0,07 ⁽²⁾	0,70
2	2,02	6,29	0,52	5,18	0,07 ⁽²⁾	0,70
1	1,73	3,67	0,28	2,77	0,04 ⁽²⁾	0,39

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 248,8 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (450^2 - 249^2)} = 0,045 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (450^2 - 72^2)} = 0,032 \text{ m/s}$$

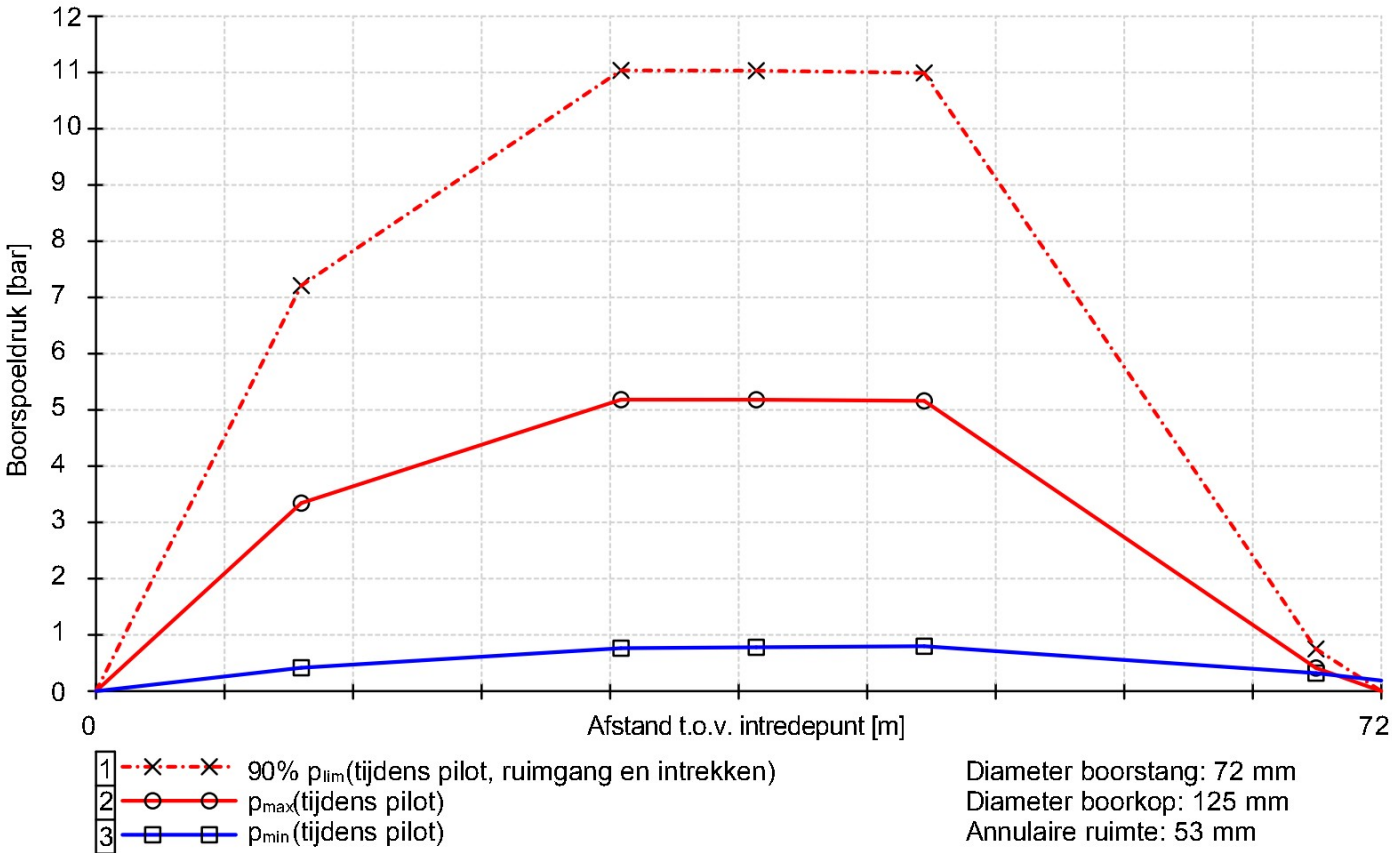
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_{eq})} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,045}{(450 - 249)^2} + \frac{13,4}{(450 - 249)} \right) \cdot (71,55695163885352 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

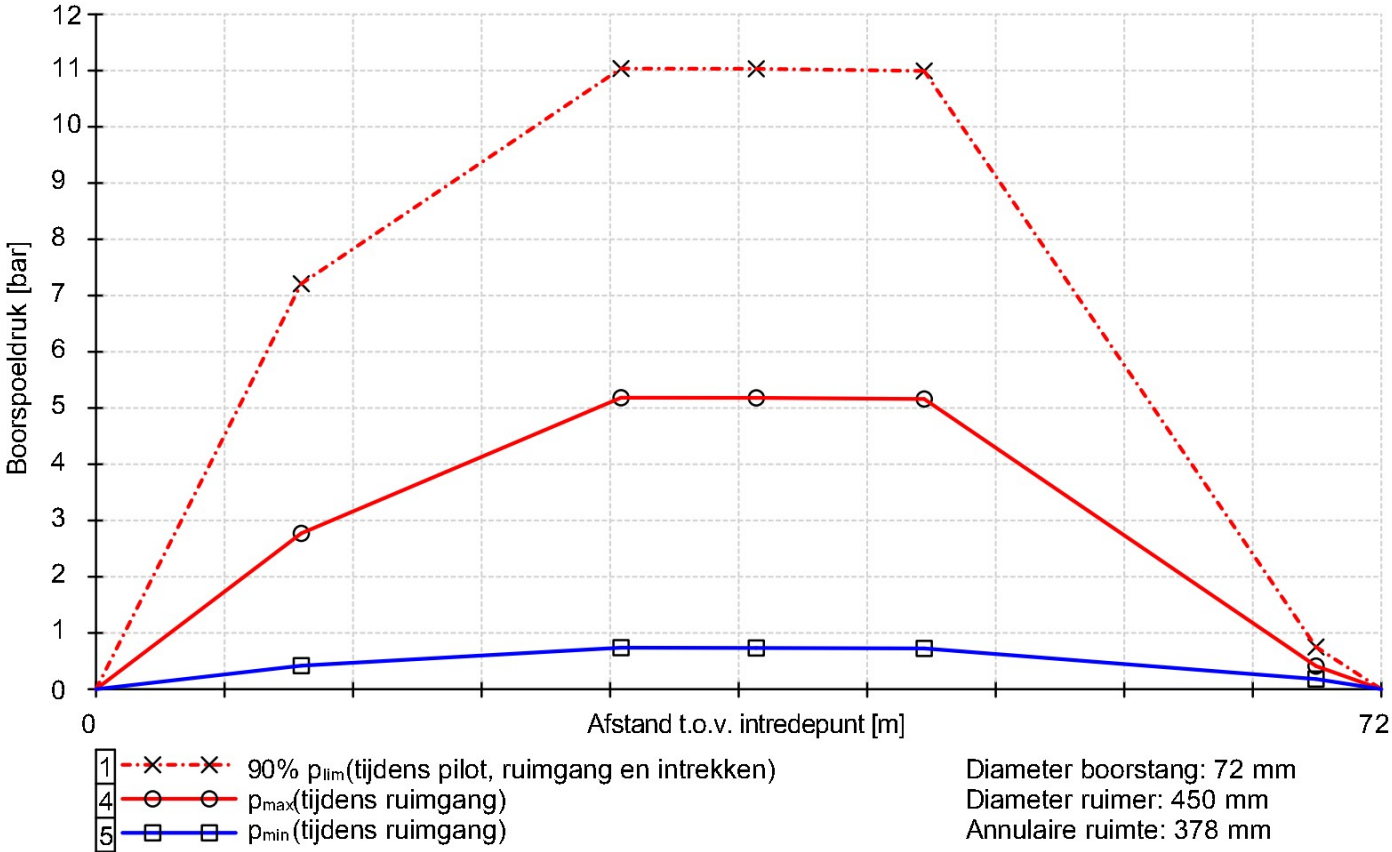
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

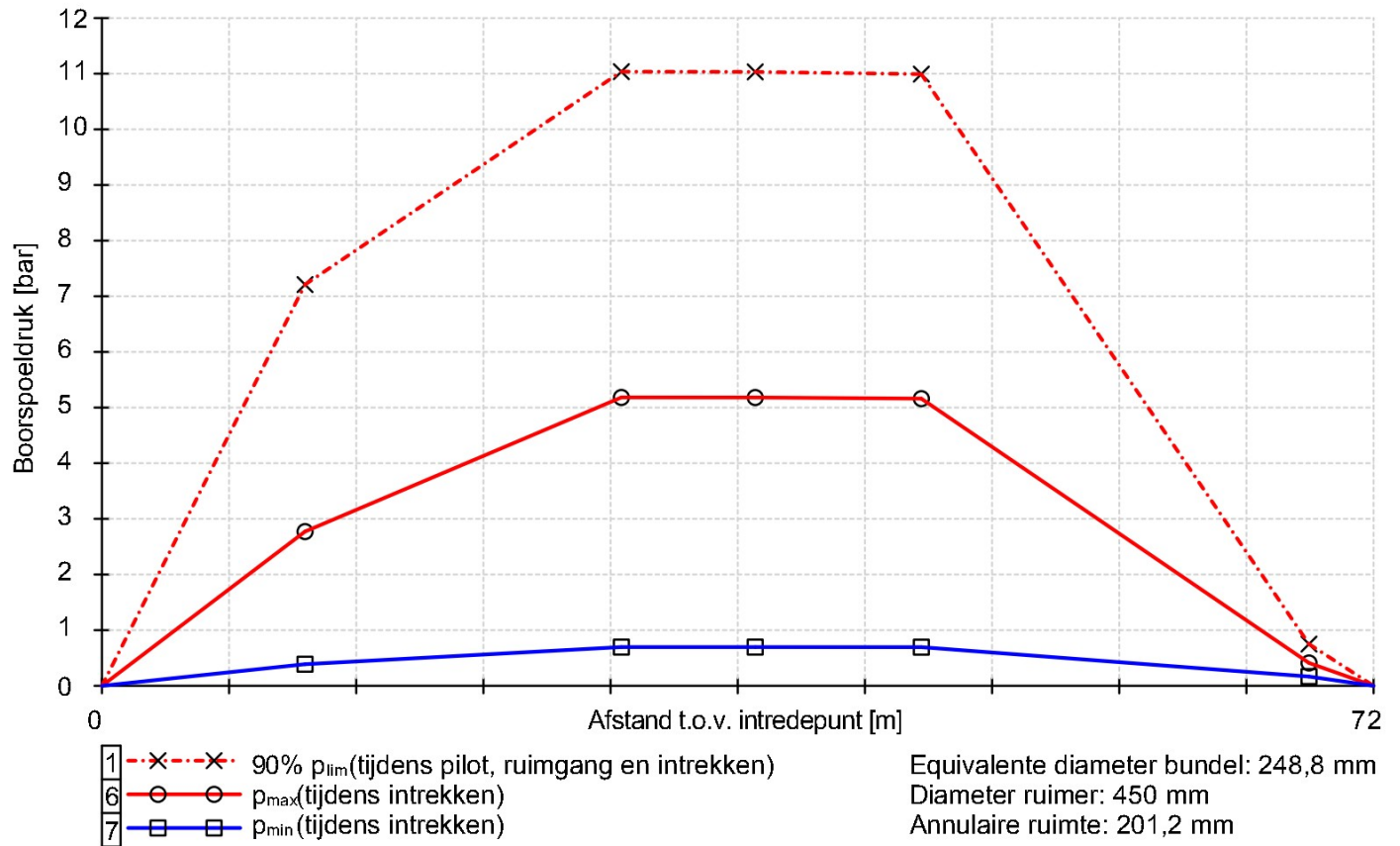
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,032}{(450 - 72)^2} + \frac{13,4}{(450 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 100 \text{ l/min}$)

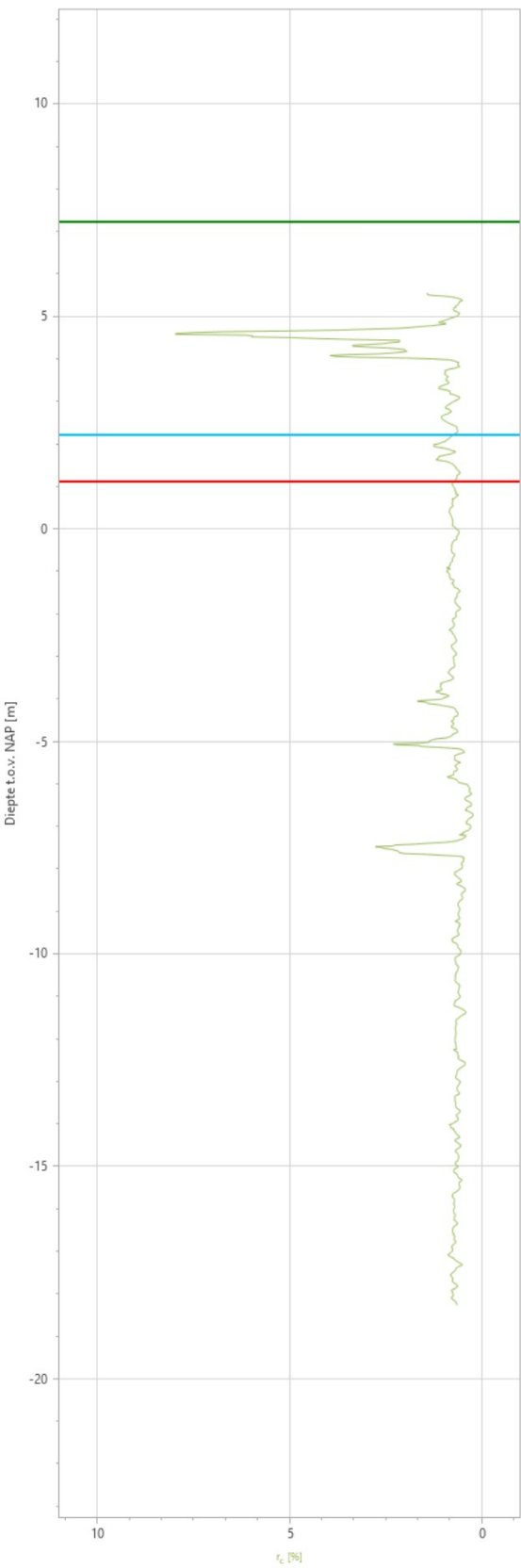
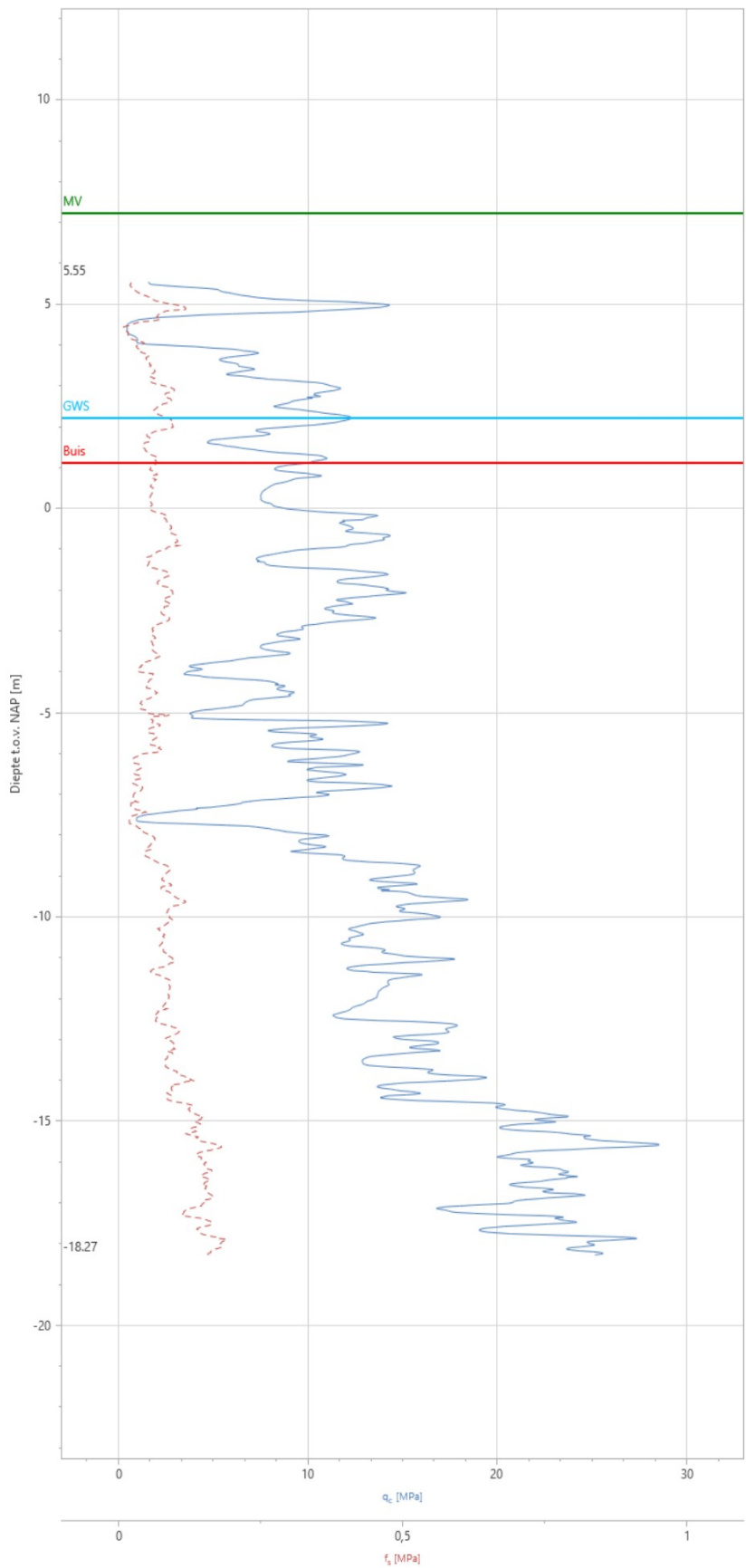


11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ($\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 500 \text{ l/min}$)



11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,i} = 300 \text{ l/min}$)

Naam van het project : GB240207-01
Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x160



Algemene gegevens

Naam van het project : GB240207-01

Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x160

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	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 14,6	mm

Procesgegevens

Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)

= Drukloos

Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken

Totale lengte	L	= 71,56	m
Totale horizontale lengte	L _{hor}	= 69,77	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R _r	= 100,00	m
Intredehoek (bij boorstelling)	α_1	= 17,00 / 30,57	° / %
Uittredehoek (bij rollenbaan)	α_2	= 25,31 / 47,29	° / %
Belastinghoek	α	= 30	°
Ondersteuningshoek	β	= 30	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
MV intrede t.o.v. NAP	MV _{in}	= 7,02	m
MV uittrede t.o.v. NAP	MV _{uit}	= 7,35	m

Beschrijving	Lengte langs buis [m]	Horizontale lengte [m]	Cummulatieve lengte langs buis [m]	Cummulatieve horizontale lengte [m]	Verticale straal [m]
A	11,43	10,93	11,43	10,93	-
B	18,06	17,80	29,49	28,73	60,00
C	16,88	16,88	46,37	45,61	-
D	21,87	21,16	68,24	66,77	50,00
E	3,32	3,00	71,56	69,77	-

Uitvoeringsaspecten

Diameter boorstang	D_b	= 72	mm
<i>Tijdens pilot</i>			
Diameter boorkop/boorgat	D_p	= 125	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,p}$	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,p}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_p	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,p}$	= 100	l/min
<i>Tijdens ruimgang</i>			
Boorstangen koppelen tijden ruimen			
Diameter ruimer/boorgat	$D_{g,r}$	= 450	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,r}$	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,r}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_r	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,r}$	= 500	l/min
<i>Tijdens intrekken</i>			
Equivalente diameter bundel	D_{eq}	= 248,8	mm
Soortelijk gewicht boorvloeistof	$\rho_{m,i}$	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	$\tau_{y,i}$	= 13,4	Pa
Plastische viscositeit boorvloeistof	η_i	= 0,009	Pa·s
Debiet boorvloeistof	$Q_{m,i}$	= 300	l/min
Aantal buizen in de bundel	n	= 4	
De bundelbuizen worden niet gekoppeld			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			

Onzekerheids- en wrijvingsfactoren

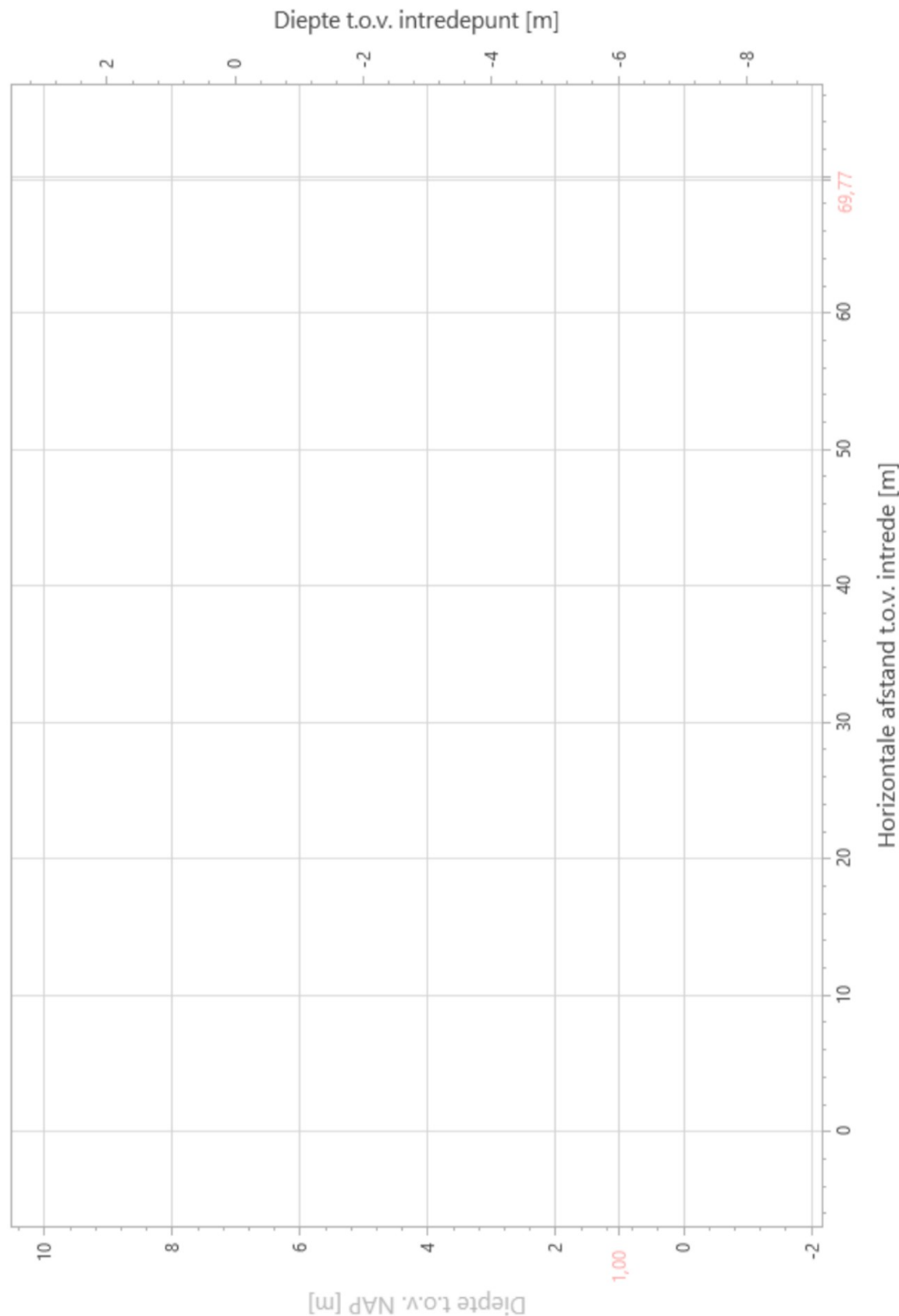
Totaalfactor bij boring met bundels	f	= 1,8	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. zonder rollenbaan	f_1	= 0,3	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
Partiële factor grondbelasting	γ	= 1,1	

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]	Grondsoort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvingshoek grond [°]
1	11,43	3,46	-	Zand	18,11	-	35,00
2	29,23	6,14	5,00	Zand	18,55	20,68	35,00
3	36,76	6,14	5,00	Zand	18,54	20,68	35,00
4	46,11	6,10	5,00	Zand	18,54	20,67	35,00
5	67,92	1,34	-	Zand	17,00	-	17,50

Locatie	Hor. steundruk	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
1	✓	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
2	✓	0,00	75,00	Grafiek I
3	✓	0,00	75,00	Grafiek I
4	✓	0,00	75,00	Grafiek I
5	✓	5,00	2,00	Grafiek ½ x II

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Sondering
1	Homogeen (zand)	1
2	Homogeen (zand)	1
3	Homogeen (zand)	1
4	Homogeen (zand)	1
5	Homogeen (zand)	



* Niet op schaal

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

	Leiding op rollenbaan/maaiveld	Leiding in boorgat
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] (f = 1,8)	T_1 [N] (f = 1)
Starten met trekken	71,56	2.461	1.367
Na intrekken van E	68,24	2.347	1.304
Na intrekken van D	46,37	1.595	886
Na intrekken van C	29,49	1.014	563
Na intrekken van B	11,43	393	218

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

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] (f = 1,8)	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	2.461	0,37
Na intrekken van E	2.347	0,35
Na intrekken van D	1.595	0,24
Na intrekken van C	1.014	0,15
Na intrekken van B	393	0,06

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

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758}{100.000} = 190.923,86 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{190.923,86}{222.522} = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

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	0,37	0,93
Na intrekken van E	0,35	0,91
Na intrekken van D	0,24	0,80
Na intrekken van C	0,15	0,71
Na intrekken van B	0,06	0,62

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,86 + \sigma_t$$

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 0,93 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

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**

Aantal buizen in de bundel $n = 4$

De bundelbuizen worden niet gekoppeld $\rightarrow f_b = 1/n^{0,3} = 0,660$

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

66,0% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet.

Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 331,63 \text{ mm}^1$

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

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

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

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L_2 / L_b [m]	T_2 [N] ($f = 1,8$)	T_{3a} [N] ($f = 1,8$)	T_2 [N] ($f = 1$)	T_{3a} [N] ($f = 1$)
Na intrekken van E	71,56	299	-	166	-
Na intrekken van D	68,24	-	2.271	-	1.262
Na intrekken van C	46,37	3.793	-	2.107	-
Na intrekken van B	29,49	-	5.421	-	3.012
Na intrekken van A	11,43	6.451	-	3.584	-

Rechte delen: $T_2 = f \cdot L_2 \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_2 \cdot (331,63 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_b \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = f \cdot L_b \cdot (331,63 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$

5.2 Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding I en beddingsconstanten in de bochten k_v

Leidingdeel (Doorsnede)	E_{100} [N/mm ²]	q_n [kN/m ²]	$E_{100,norm}$ [N/mm ²]	ν [-]	I [mm]	m [-]	λ [mm ⁻¹]	k_v [N/mm ³]
D (5)	2,00	25,06	1,00	0,4115	1.197,4	0,52	0,00262	0,02056
B (1)	75,00	68,93	62,27	0,2989	472,0	0,69	0,00666	0,85145
B (2)	75,00	116,56	80,97	0,2989	472,0	0,69	0,00666	0,85145

$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,5}$ (Zand/Leem/Grind) of $E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^{0,8}$ (Veen/Klei)

$$K = 1 - \sin(\varphi) \quad \nu = \frac{K}{1 + K}$$

$$I = \frac{\pi}{\lambda} \quad A = I \cdot b \quad b = \beta \cdot r_e = 30^\circ \cdot 80 = 41,89 \text{ mm}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{D_o \cdot k_v}{4 \cdot E \cdot I_b}}$$

$$k_v = \frac{E_{100,norm}}{m \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sqrt{A}} \quad (\text{m volgens tabel C.5 NEN3650-1 C.4.3.3c})$$

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

Leidingdeel (Doorsnede)	R_v [m]	q_r [N/mm ²]	Q_r [N/mm ¹]	T_{3b} [N] ($f = 1,8$)	T_{3b} [N] ($f = 1$)
D (5)	50,00	0,0053	0,86	738	410
B (1)	60,00	0,029	4,59	1.560	867
B (2)	60,00	0,029	4,59	1.560	867

$$q_r = e^{(-\pi/4)} \cdot \sin(\pi/4) \cdot \frac{\lambda^2 \cdot E \cdot l_b}{D_o \cdot f_{r,0} \cdot R} = 0,322 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot 975 \cdot 17.801.758,07}{160 \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$Q_r = q_r \cdot D_o = q_r \cdot 160$$

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

5.4 Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N] ($f = 1$)	T_2 / T_{3a} [N] ($f = 1$)	$T_{3b,max}$ [N] ($f = 1$)	ΣT_{3b} [N] ($f = 1$)	T_{bocht} [N]
D	886	1.262	410	410	2.558
B	218	3.012	867	1.277	4.507

$$T_{bocht} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b}$$

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N] ($f = 1,8$)	T_{3c} [N] ($f = 1$)
D	12,53	2.558	399	222
B	8,62	4.507	487	270

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

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

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

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

5.6 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Wanneer een totaalfactor van $f=1,8$ wordt toegepast gelden de volgende waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	2.347	299	-	-	-	2.646	0,26
Na intrekken van D	1.595	-	2.271	738	399	5.003	0,50
Na intrekken van C	1.014	3.793	-	738	399	5.944	0,59
Na intrekken van B	393	-	5.421	2.298	886	8.998	0,90
Na intrekken van A	0	6.451	-	2.298	886	9.635	0,96

$$T_{tot} = T_1 + T_2 + T_{3a} + \Sigma T_{3b} + \Sigma T_{3c}$$

5.7 Karakteristieke waarden van de benodigde trekkrachten in fase II

Wanneer geen totaalfactor wordt toegepast ($f = 1$), gelden de volgende karakteristieke waarden voor de trekkrachten.

Trekkracht T_{tot} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_2 [N]	T_{3a} [N]	ΣT_{3b} [N]	ΣT_{3c} [N]	T_{tot} [N]	T_{tot} [ton]
Na intrekken van E	1.304	166	-	-	-	1.470	0,15
Na intrekken van D	886	-	1.262	410	222	2.779	0,28
Na intrekken van C	563	2.107	-	410	222	3.302	0,33
Na intrekken van B	218	-	3.012	1.277	492	4.999	0,50
Na intrekken van A	0	3.584	-	1.277	492	5.353	0,54

De maximale karakteristieke waarde voor de benodigde trekkracht bedraagt **5.353 N (» 0,54 ton)**.

Volgens het voorschrift van de Drilling Contractors Association (DCA - Europe) wordt een boormachine voorgeschreven met een trekkracht 2 tot 3 keer deze maximale waarde.

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]
Na intrekken van E	2.646	0,40
Na intrekken van D	5.003	0,75
Na intrekken van C	5.944	0,89
Na intrekken van B	8.998	1,35
Na intrekken van A	9.635	1,44

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

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

Trekkkracht T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	R [m]	M_b [Nmm]	σ_b [N/mm ²]
D	50,00	539.986,66	2,43
B	60,00	449.988,88	2,02

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{f_{r,o} \cdot R} = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot R}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{222.521,98}$$

5.10 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 E	2.646	0,40	-	0,40
Na intrekken van D	5.003	0,75	2,43	2,33
Na intrekken van C	5.944	0,89	-	0,89
Na intrekken van B	8.998	1,35	2,02	2,66
Na intrekken van A	9.635	1,44	-	1,44

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

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

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

$$\sigma_a \leq \sigma_{kd} \rightarrow 2,66 \leq 10,00 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020					Sigma 2024 1.2 ©		
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: $f_{rr} = 1,00$							
6.3.1 Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n							
Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grondsoort	q_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
1	3,46	-	Zand	-	-	68,93	11,03
2	6,14	5,00	Zand	102,03	14,53	116,56	18,65
3	6,14	5,00	Zand	101,97	14,53	116,50	18,64
4	6,10	5,00	Zand	101,97	14,01	115,98	18,56
5	1,34	-	Zand	-	-	25,06	4,01
$q_{\text{droog}} = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$ $q_{\text{nat}} = \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$ $Q_n = q_n \cdot D_o = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot 160$							
6.3.2 Berekening van de gereduceerde neutrale grondbelasting Q_{nr}							
Locatie	h [m]	GWS [m]	γ' [kN/m ³]				
1	3,46	-	19,92				
2	6,14	5,00	18,98				
3	6,14	5,00	18,97				
4	6,10	5,00	19,01				
5	1,34	-	18,70				
$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$							
Locatie	Gereduceerde grondbelasting	B_1 [m]	$8 \cdot B_1$ [m]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]		
1	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,86 ⁽¹⁾	2,38		
2	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,30 ⁽¹⁾	2,29		
3	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,29 ⁽¹⁾	2,29		
4	Homogeen (zand)	0,23	1,80	14,32 ⁽¹⁾	2,29		
5	Homogeen (zand)	0,23	1,80	0,00 ⁽¹⁾	0,00		
$R = \frac{D_{gr}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$ $B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_o + D_o \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$ $K = 1 - \sin(\varphi)$							
					29-08-2024 07:31:57		

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ($h \geq 8 \cdot B_1$):

$$q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}\right) \quad (1)$$

$$Q_{n,r} = q_{n,r} \cdot D_o = q_{n,r} \cdot 160$$

6.3.3 Overzicht berekende (gereduceerde) neutrale gronddrukken

Locatie	q_n [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]	$q_{n,r}$ [kN/m ²]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]
1	68,93	11,03	14,86	2,38
2	116,56	18,65	14,30	2,29
3	116,50	18,64	14,29	2,29
4	115,98	18,56	14,32	2,29
5	25,06	4,01	0,00	0,00

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeersbelasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
1	3,46	Grafiek ½ x II	3,17	0,51
2	6,14	Grafiek I	8,11	1,30
3	6,14	Grafiek I	8,11	1,30
4	6,10	Grafiek I	8,17	1,31
5	1,34	Grafiek ½ x II	12,06	1,93

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

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Hor. steundruk	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
1	✓	11,03	2,38	0,51	2,88	46,85 ⁽²⁾	1,32
2	✓	18,65	2,29	1,30	3,59	58,24 ⁽²⁾	1,64
3	✓	18,64	2,29	1,30	3,58	58,22 ⁽²⁾	1,64
4	✓	18,56	2,29	1,31	3,60	58,46 ⁽²⁾	1,65
5	✓	4,01	0,00	1,93	1,93	26,72 ⁽²⁾	0,75

Indien horizontale steundruk: $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g$ (1)

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (2)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70$$

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

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

Locatie	R [m]	q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
1	60,00	0,029	1,85
2	60,00	0,029	1,85
5	50,00	0,0053	0,35

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot q_r \cdot 160 \cdot \frac{80,00}{35,53}$$

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

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

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

Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

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

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

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	1,32	1,85	0,65	2,06
2	1,64	1,85	0,65	2,27
3	1,64	-	0,65	1,07
4	1,65	-	0,65	1,07
5	0,75	0,35	0,65	0,71

Rechte delen: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ Bochten: $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 2,27 \leq 8,00 \rightarrow \text{Voldoet}$

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	2,02	0,65	1,31
2	0,00	0,00	2,02	0,65	1,31
3	0,00	0,00	-	-	0,00
4	0,00	0,00	-	-	0,00
5	0,00	0,00	2,43	0,65	1,58

Rechte delen: $\sigma_x = \sigma_{ax}$ Bochten: $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b$ Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm² $\sigma_{y2} \leq \sigma_{ld} \rightarrow 1,58 \leq 8,00 \rightarrow$ Voldoet

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	$Q_{n,r}$ [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ¹]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
1	11,03	2,38	0,51	4,59	0,71⁽²⁾	0,38
2	18,65	2,29	1,30	4,59	0,79⁽²⁾	0,42
3	18,64	2,29	1,30	-	0,79⁽²⁾	0,41
4	18,56	2,29	1,31	-	0,79⁽²⁾	0,42
5	4,01	0,00	1,93	0,86	0,16⁽²⁾	0,064

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot (1 - \sin \phi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,095 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,095 \cdot \frac{(1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)} \cdot (Q_{n,r} + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

Toelaatbare deflectie: $\delta_{Y,max} = 8,00\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 145,40 = 11,63$ mm $\delta_Y \leq \delta_{Y,max} \rightarrow 0,61 \leq 11,63 \rightarrow$ Voldoet

11. 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]	$E_{100,norm}$ [MN/m ²]
1	3,46	56,96	24,29	40,63	63,93	62,27
2	6,14	94,35	40,23	67,29	105,89	80,97
3	6,14	94,30	40,21	67,26	105,84	80,95
4	6,10	93,94	40,06	67,00	105,43	80,77
5	1,34	20,71	14,48	17,60	27,66	1,00

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

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

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

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

$$E_{100,norm} = E_{100} \cdot (q_n/100)^m \quad (\text{Zand/Leem/Grind} \rightarrow m = 0,5; \text{Veen/Klei} \rightarrow m = 0,8)$$

Locatie	G [MN/m ²]	Q [-]	u [N/mm ²]	v [-]	p_{lim} [N/mm ²]	90% p_{lim} [bar] 1
1	23,97	0,00097	0,0000	0,2989	0,80	7,21
2	31,17	0,0012	0,0114	0,2989	1,23	11,04
3	31,16	0,0012	0,0114	0,2989	1,23	11,03
4	31,09	0,0012	0,0110	0,2989	1,22	10,99
5	0,35	0,028	0,0000	0,4115	0,08	0,75

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$v = \frac{K}{1 + K}$$

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

11.1 Tijdens pilot

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{in} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 2	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 3
1	0,63	3,34	0,33	3,34	0,04	0,41
2	0,56	5,96	0,52	5,18	0,08	0,76
3	0,56	5,93	0,52	5,18	0,08	0,78
4	0,56	5,89	0,52	5,16	0,08	0,80
5	0,12	1,23	0,04	0,41	0,03	0,32

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

$$R_o = \frac{D_p}{2} = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ mm}$$

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

$$v_{m,p} = \frac{Q_{m,p}}{A_p} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{100}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 0,203 \text{ m/s}$$

$$p_{min} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_p \cdot v_{m,p}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,p}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + p_{m,p} \cdot \Delta h_{in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,203}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in}$$

11.2 Tijdens ruimgang

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 4	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 5
5	0,42	1,56	0,04	0,41	0,02 ⁽¹⁾	0,18
4	2,02	6,22	0,52	5,16	0,07 ⁽¹⁾	0,72
3	2,02	6,26	0,52	5,18	0,07 ⁽¹⁾	0,73
2	2,02	6,29	0,52	5,18	0,07 ⁽¹⁾	0,74
1	1,73	3,67	0,28	2,77	0,04 ⁽²⁾	0,42

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$$

$$v_{m,r,uit} = \frac{Q_{m,r}}{A_r} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (450^2 - 72^2)} = 0,054 \text{ m/s}$$

$$v_{m,r,in} = \frac{Q_{m,r}}{A_p} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - D_b^2)} = \frac{500}{1/4 \cdot \pi \cdot (125^2 - 72^2)} = 1,016 \text{ m/s}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,uit}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,054}{(450 - 72)^2} + \frac{13,4}{(450 - 72)} \right) \cdot (71,55695163885352 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_r \cdot v_{m,r,in}}{(D_p - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,r}}{(D_p - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,r} \cdot \Delta h_{in}$$

$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 1,016}{(125 - 72)^2} + \frac{13,4}{(125 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.3 Tijdens intrekken

Locatie	$R_{p,max}$ [m]	Δh_{uit} [m]	p_{max} [N/mm ²]	p_{max} [bar] 6	p_{min} [N/mm ²]	p_{min} [bar] 7
5	0,42	1,56	0,04	0,41	0,02 ⁽²⁾	0,17
4	2,02	6,22	0,52	5,16	0,07 ⁽²⁾	0,69
3	2,02	6,26	0,52	5,18	0,07 ⁽²⁾	0,70
2	2,02	6,29	0,52	5,18	0,07 ⁽²⁾	0,70
1	1,73	3,67	0,28	2,77	0,04 ⁽²⁾	0,39

$$D_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_{0,i}^2} = 248,8 \text{ mm}$$

$$R_o = \frac{D_{g,r}}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm}$$

$$v_{m,i,uit} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_{eq}^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (450^2 - 249^2)} = 0,045 \text{ m/s}$$

$$v_{m,i,in} = \frac{Q_{m,i}}{A_i} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (D_{g,r}^2 - D_b^2)} = \frac{300}{1/4 \cdot \pi \cdot (450^2 - 72^2)} = 0,032 \text{ m/s}$$

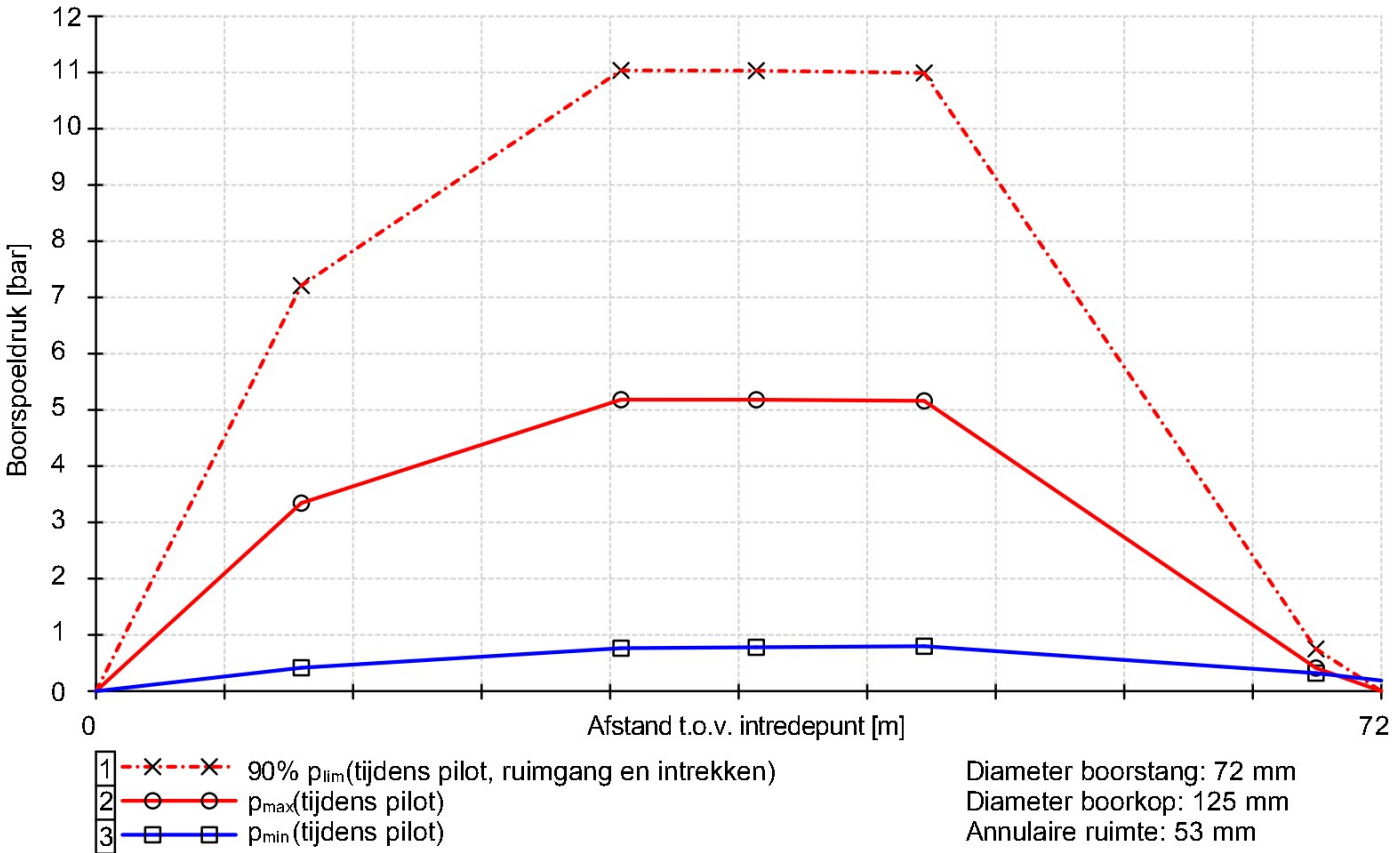
$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,uit}}{(D_{g,r} - D_{eq})^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_{eq})} \right) \cdot (L_{tot} - L) + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{uit}$$

$$p_{min,uit} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,045}{(450 - 249)^2} + \frac{13,4}{(450 - 249)} \right) \cdot (71,55695163885352 - L) + 11,5 \cdot \Delta h_{uit}$$

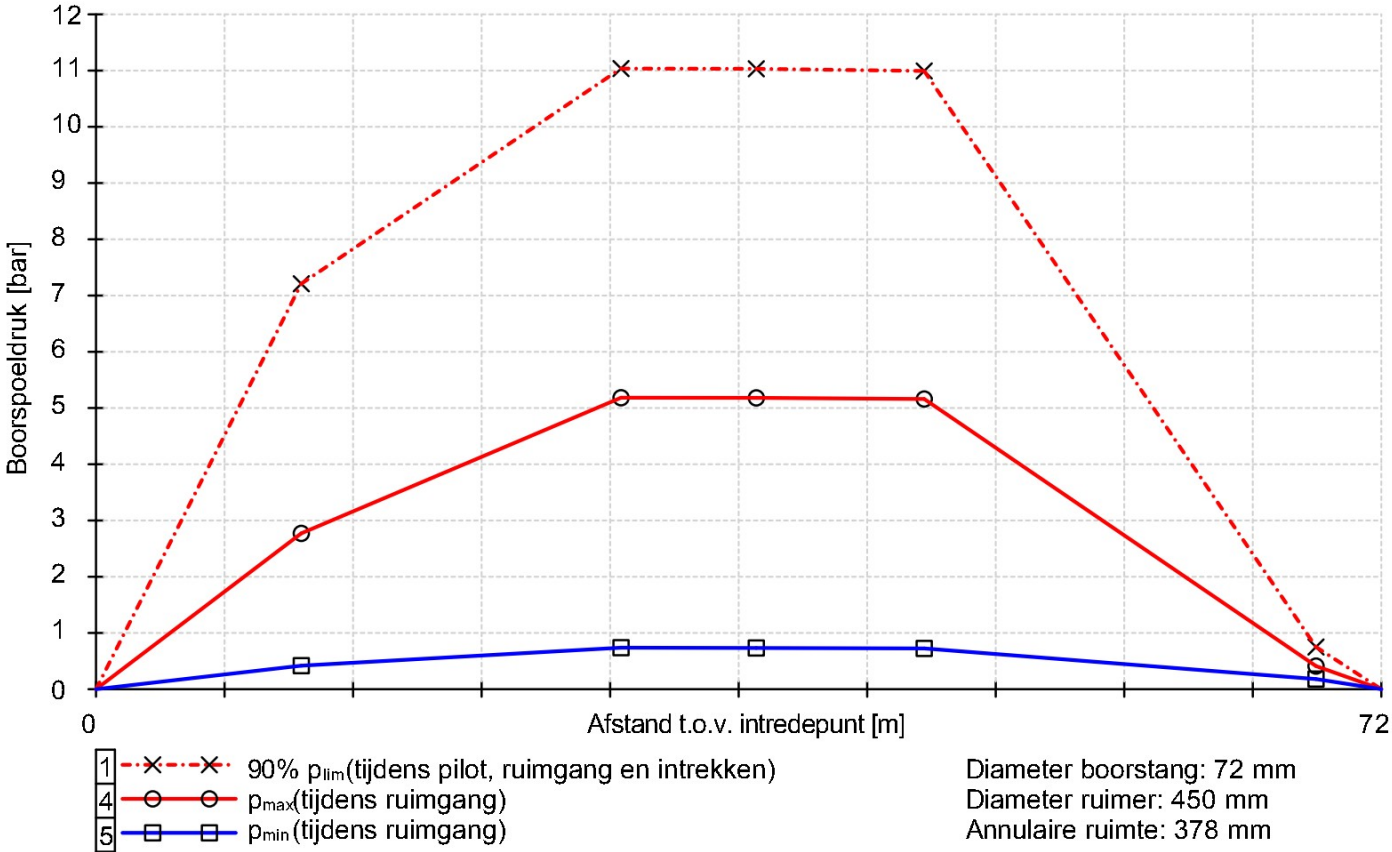
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot \eta_i \cdot v_{m,i,in}}{(D_{g,r} - D_b)^2} + \frac{\tau_{y,i}}{(D_{g,r} - D_b)} \right) \cdot L + \rho_{m,i} \cdot \Delta h_{in}$$

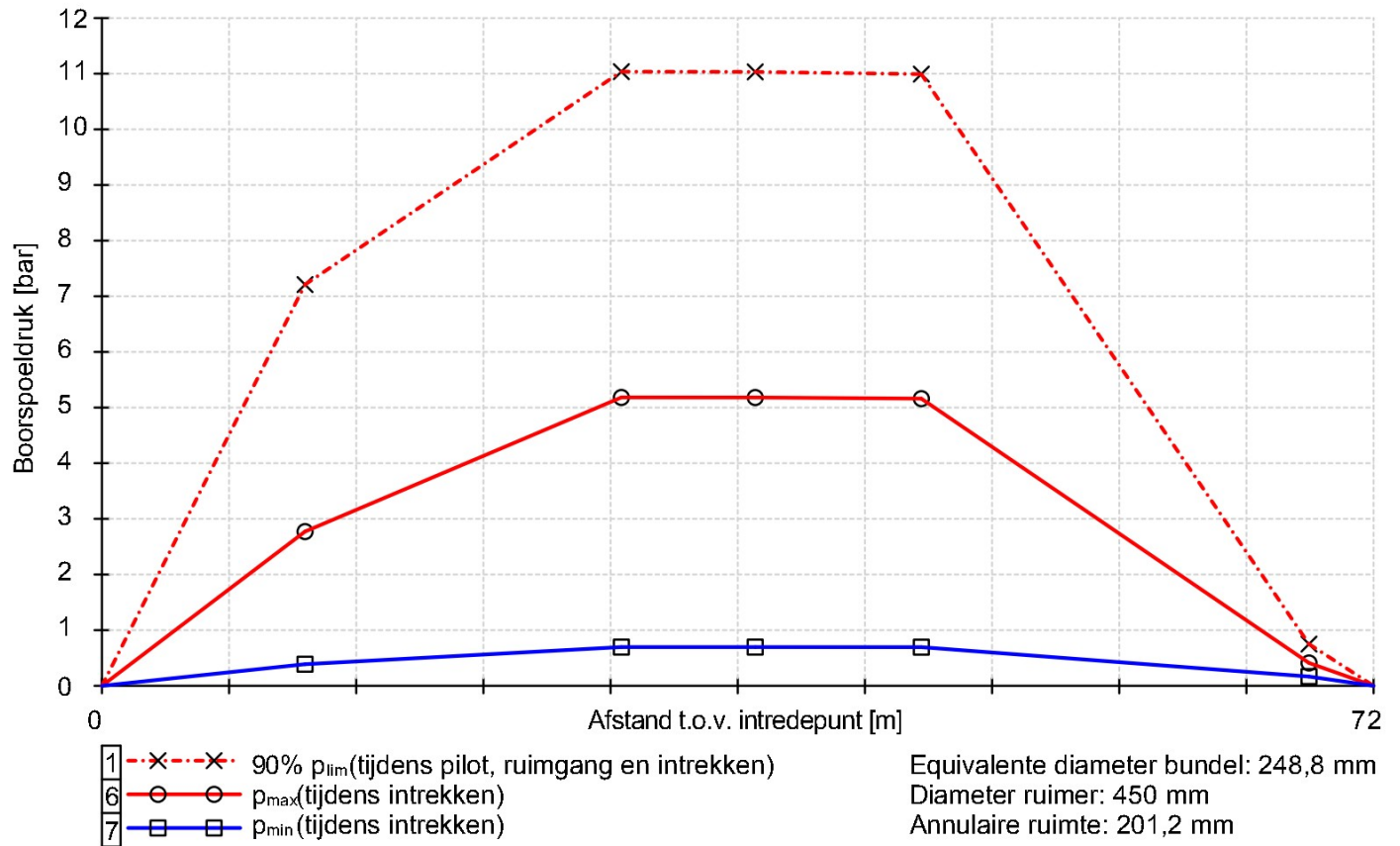
$$p_{min,in} = \left(\frac{14580 \cdot 0,009 \cdot 0,032}{(450 - 72)^2} + \frac{13,4}{(450 - 72)} \right) \cdot L + 11,5 \cdot \Delta h_{in} \quad (2)$$

11.4 Boorspoeldrukken tijdens pilot ($\rho_{m,p} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,p} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_p = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 100 \text{ l/min}$)

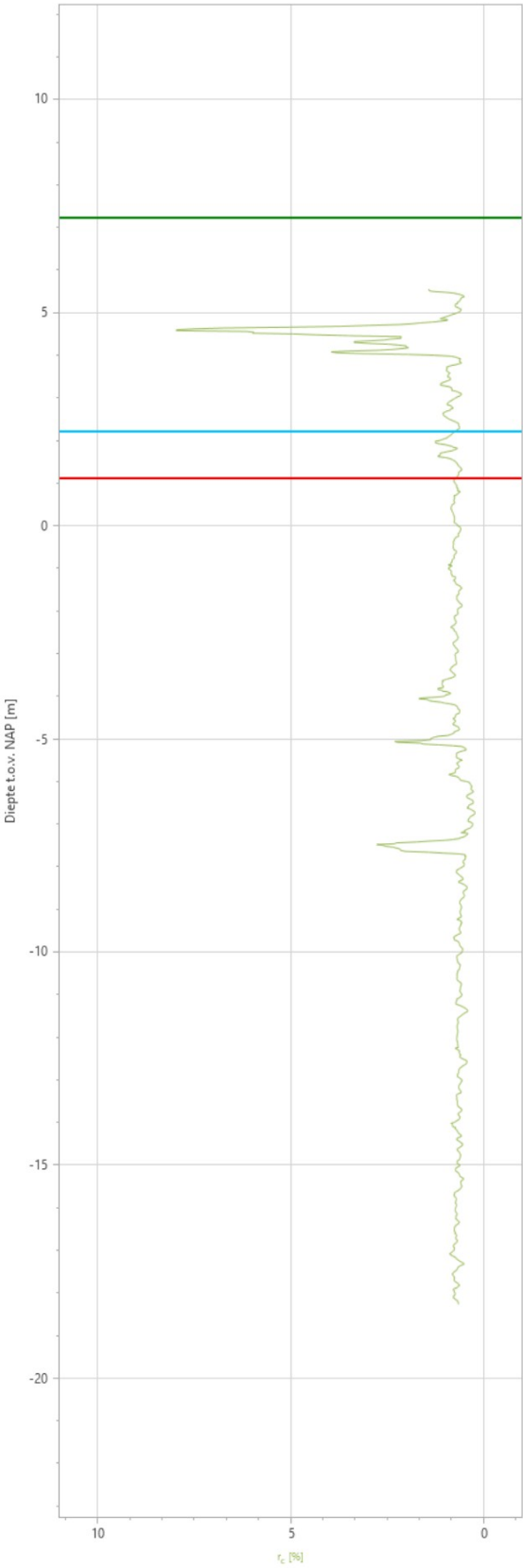
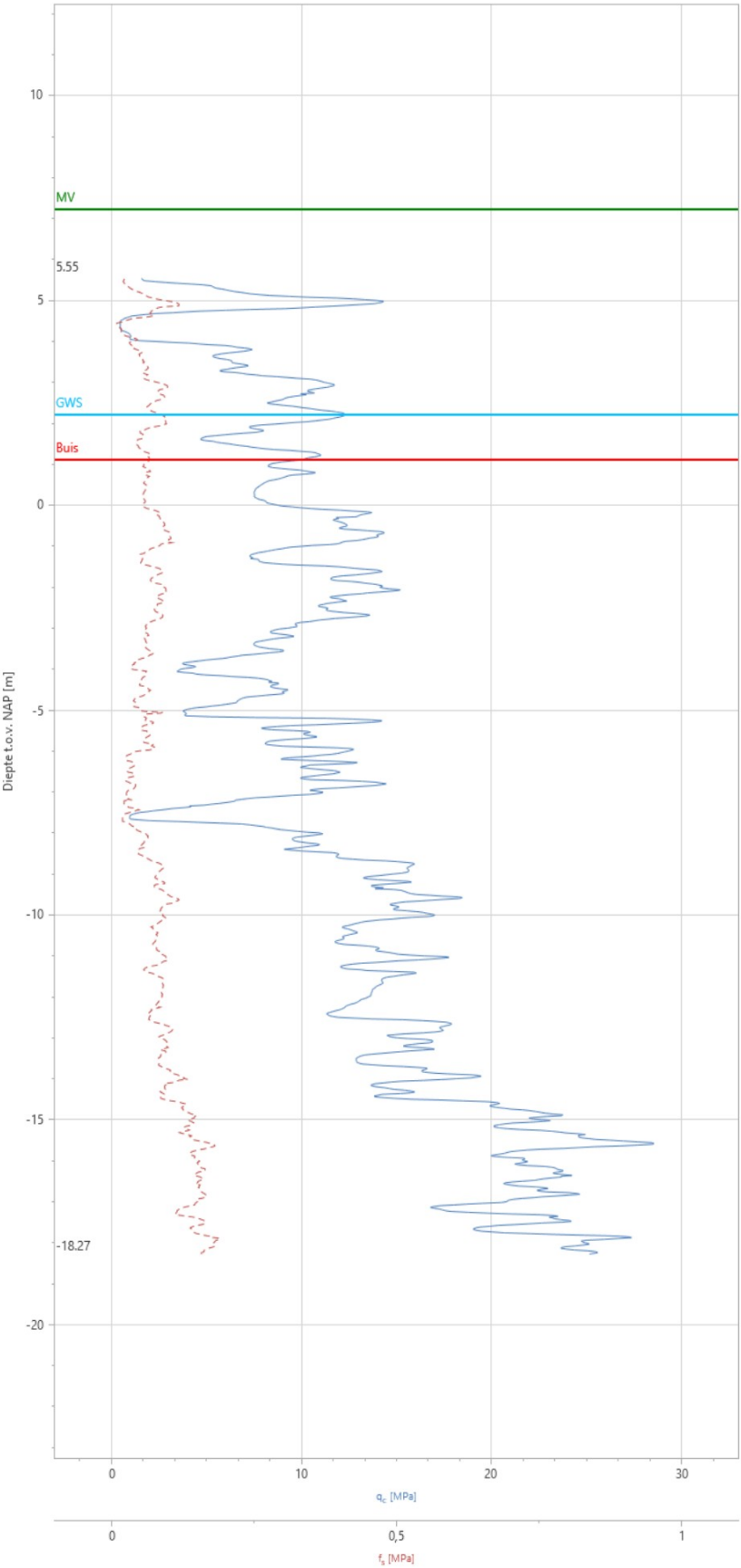


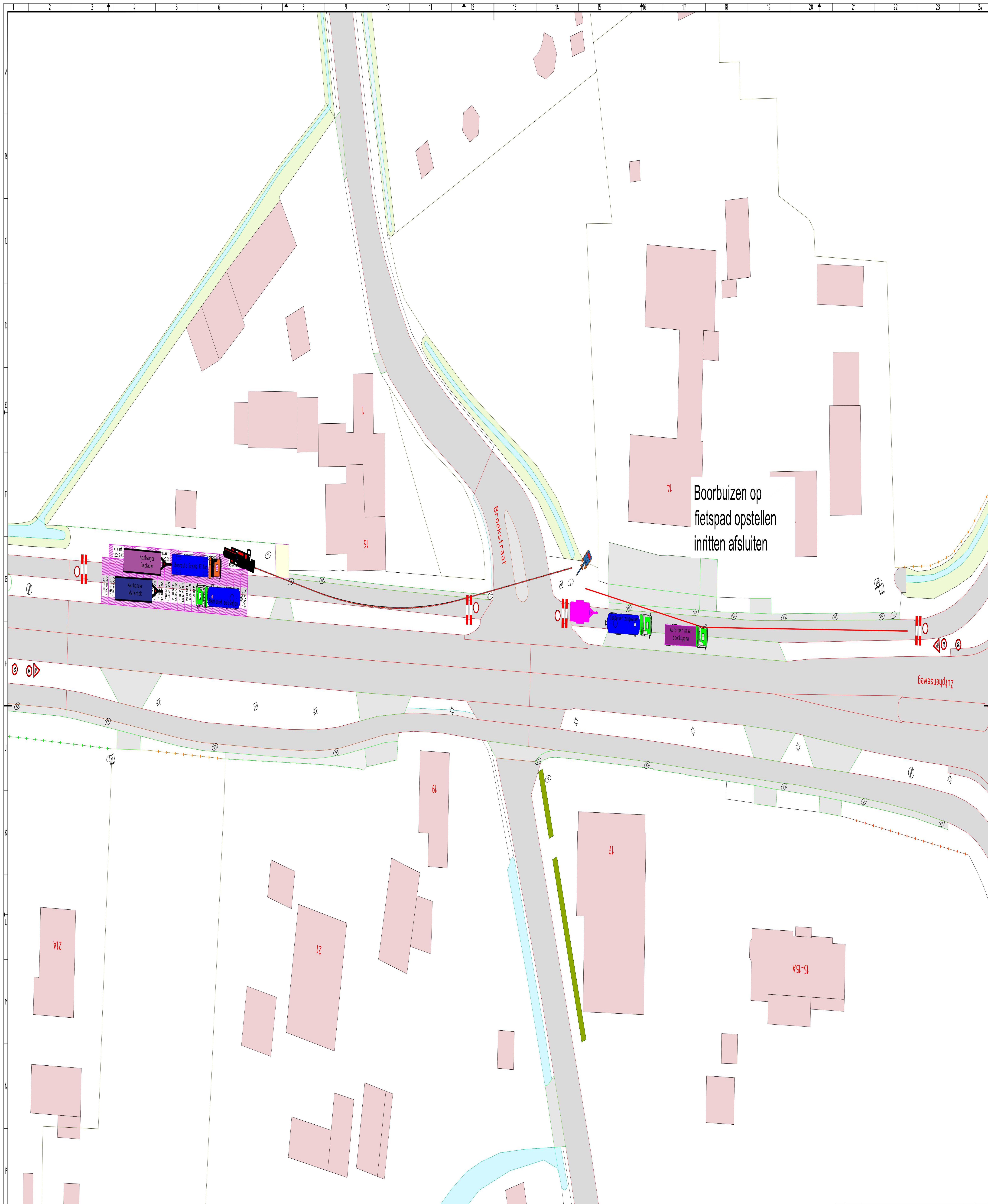
11.5 Boorspoeldrukken tijdens ruimen ($\rho_{m,r} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,r} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_r = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,p} = 500 \text{ l/min}$)



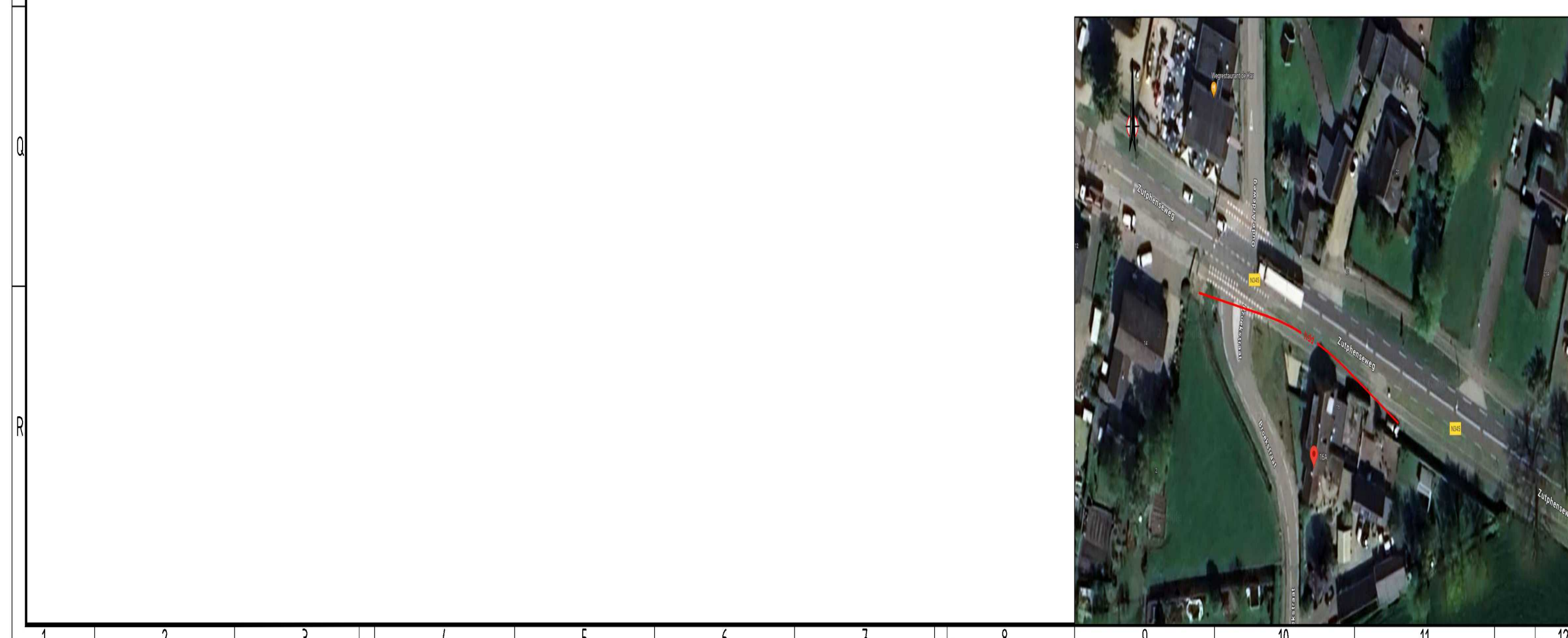
11.6 Boorspoeldrukken tijdens intrekken ($\rho_{m,i} = 11,5 \text{ kN/m}^3$ / $\tau_{y,i} = 13,4 \text{ Pa}$ / $\eta_i = 0,009 \text{ Pas}$ / $Q_{m,i} = 300 \text{ l/min}$)

Naam van het project : GB240207-01
Projectonderdeel : Bundel 3x110+1x160

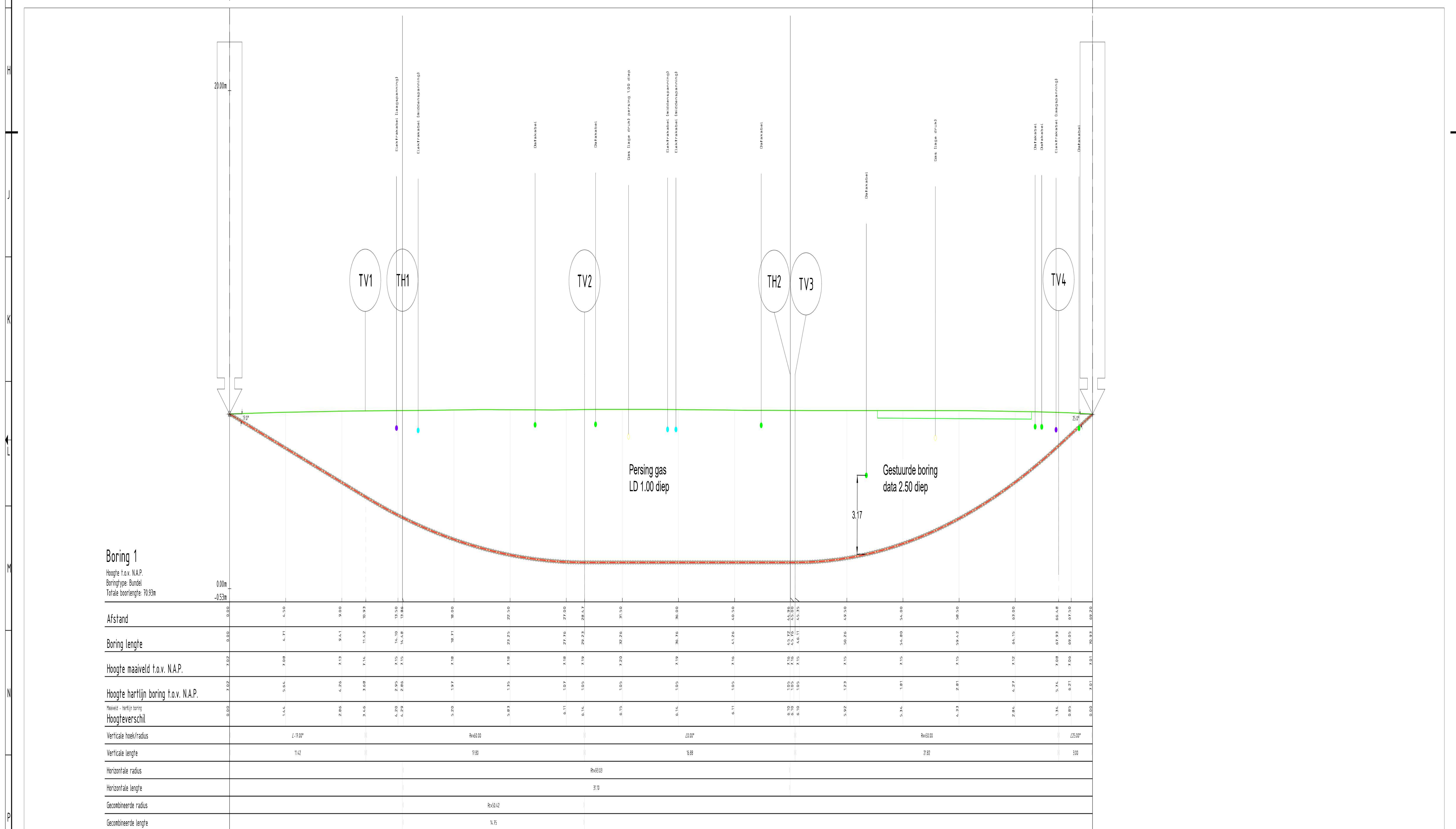
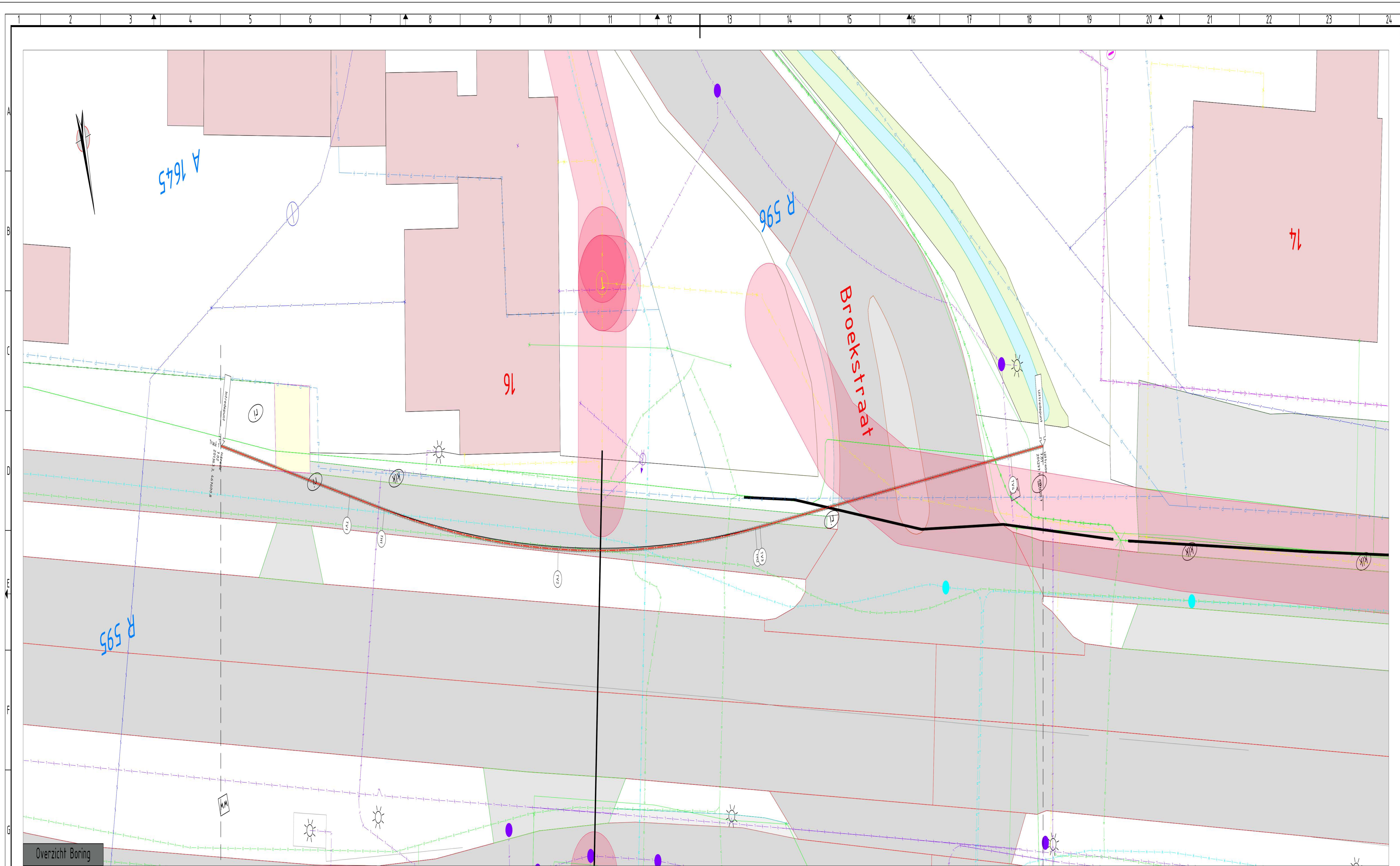




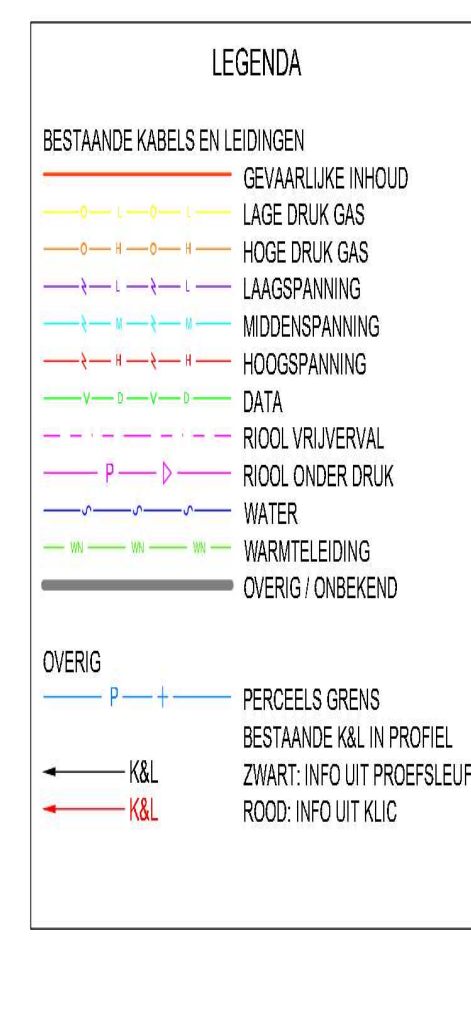
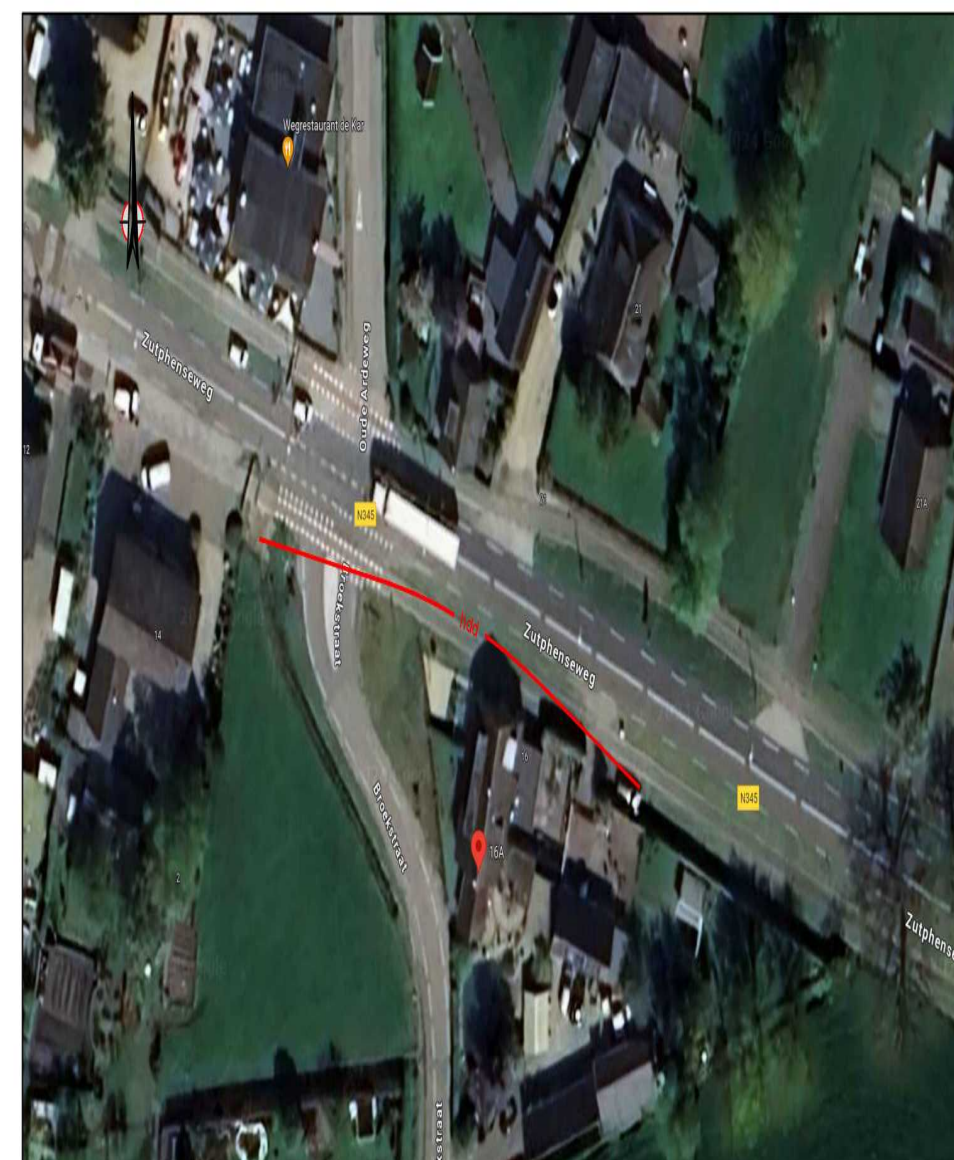
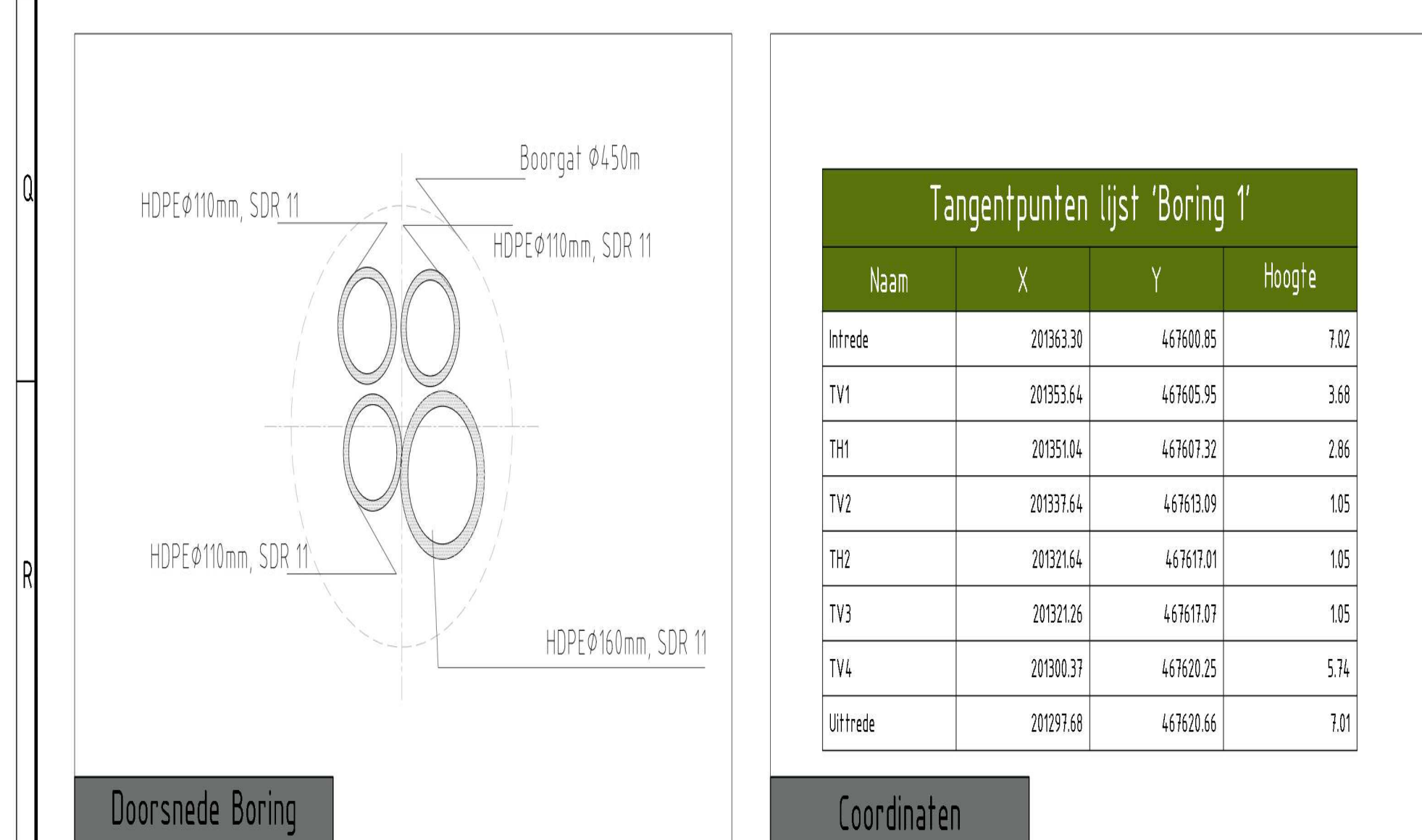
Boorbuizen op
fietspad opstellen
inritten afsluiten



REF		DATUM		OUDPROEVEN		REVISIE		TECHNIEK	
OPDRACHTGEVER									
PROJECTOMSCHRIJVING				POSTNOED					
Zutphensweg 16				Visser & Smit Hanab B.V.					
Klarenbeek				Abding Integratie Projecten					
Opstelling				Postbus 150					
				3300 AH Papendrecht					
TEKENINGOMSCHRIJVING				BEZORGER					
				Visser & Smit Hanab B.V.					
				Abding Integratie Projecten					
				Bakermat 1011					
				0600 501 Hoogvliet					
				Tel: +31 (0)20 208 309					
				Email: info@visser.nl					
NAAM		EDIS		PROJECTLEIDER		PROJECTNUMMER			
ONTWERP		CONCEPT				TEKENINGNUMMER			
TEKENAAR		CONTROLEUR		PROJECTLEIDER					
SCHAAAL		DATUM		FORMAAT		PROJECTNUMMER		TEKENINGNUMMER	
-		19-06-2024		A0		MT 15		GB240207-01	
<small>Deze tekening is eigendom van Visser & Smit Hanab B.V. zonder haar toestemming mag niets van deze tekening worden gepubliceerd, gebruikt of aan derden ter beschikking worden gesteld.</small>									









Lengteprofiel Boring



Opmerkingen

- Maken in meters, tenzij anders vermeld
- Hoogtematen t.a.v. N.A.P. tenzij anders vermeld
- **VOOR AANVAAN WERKZAAMHEID EXACTE LOCATIE BESTAANDE KABELS EN LEIDINGEN NADER TE BEPALEN**
- Bestaande kabels en leidingen informatie afkomstig uit oriëntatieversnoek 2400086115
- Grondonderzoek afkomstig
- Maaiveld hoogtes afkomstig uit AHN
- Ondergrond afkomstig uit BGT

REI	DATUM	DISCIPLINER	LIETBEDIJ	BEZORGER
OPDRACHTSCHRIJVING				
				
PROJECTOMSCHRIJVING			NOTES	
Zuithovenweg 16 Klantenbeek			Visser & Smit Hanab B.V. Afkling Integratie-Projecten Postbus 305 330 AH Papendrecht	
TEKENINGSOMSCHRIJVING				
Gesteunde boring				
FASE		STATUS		
ONTWERP		CONCEPT		
TEKENAAR	CONTROLEUR	PROJECTLEIDER		
				
ECHAAL	DATUM	FORMAAT	PROJECTNUMMER	TEKENINGNUMMER
1:100	13-06-2024	A0	MT 15	GB240207-01
Deze tekening is afgeleverd aan Visser & Smit Hanab B.V. zonder haar toestemming mag niets van deze tekening worden gepubliceerd, gebruikt of aan anderen ter inzage worden gegeven.				
