

Aan: Dhr. W. van Kruisbergen (SGS Roos+Bijl)

CC:

Van: P. Verkerk (SGS Roos+Bijl)

E-mail: peter.verkerk@sgs.com

Telefoon: +31(0) 88-214 56 69

Datum: 1 februari 2021

Kenmerk: ME-TE16353-9650

Onderwerp: Sterkteberekening vrijvervalriool begraafplaats Geijsteren

Bijlage 1: Ontwerptekening

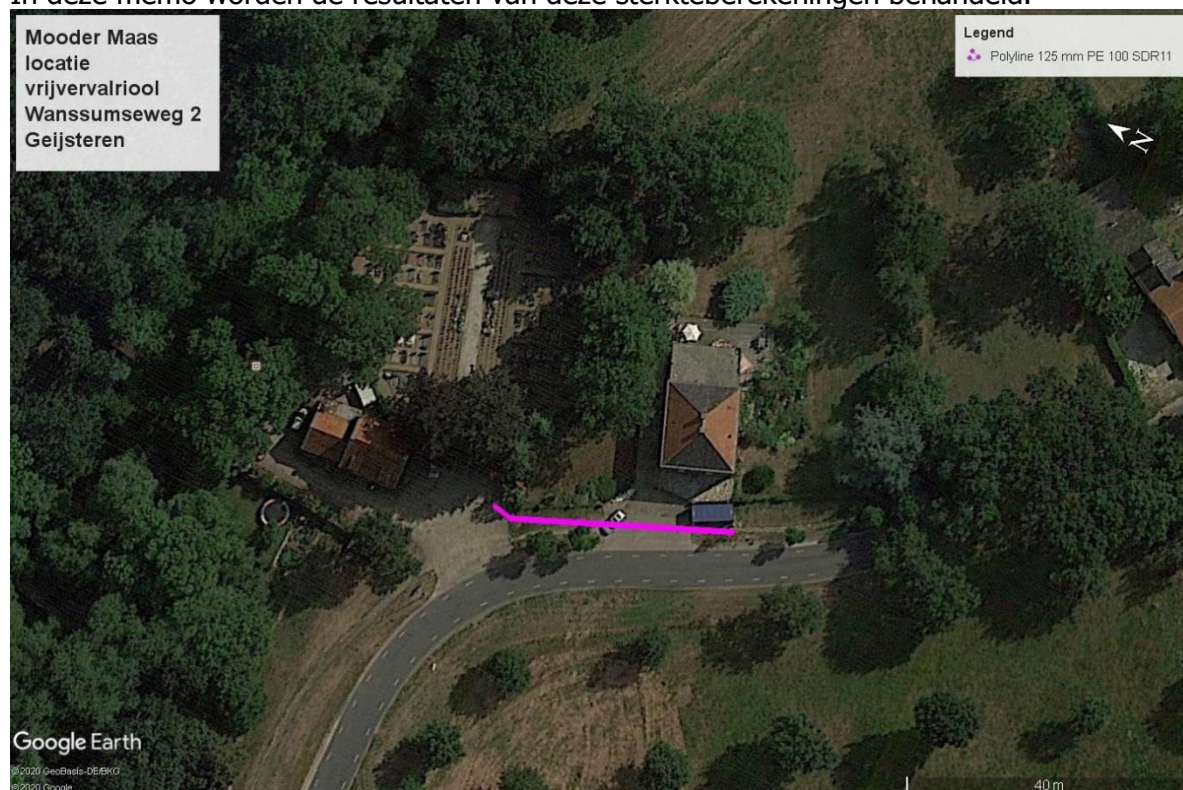
Bijlage 2: Grondonderzoek

Bijlage 3: Resultaten sterkteberekening vrijvervalriool, leiding drukloos

Algemeen

Aannemerscombinatie Mooder Maas is voornemens om een vrijvervalriool aan te passen bij de begraafplaats gelegen aan de Wanssumseweg 2 te Geijsteren. Het bestaande vrijvervalriool is uitgevoerd in DN125 PVC. Ter plaatse van de nieuw aan te leggen waterkering wordt de leiding over een lengte van ca. 35 m vervangen door 125 mm PE100 SDR11 en kruist daarbij de waterkering, zie Figuur 1 voor een indicatie van het te vervangen leidingdeel.

De leiding is sterkte technisch beoordeeld conform de NEN3650:2020 en NEN3651:2020. In deze memo worden de resultaten van deze sterkteberekeningen behandeld.



Figuur 1: Projectlocatie met indicatief leidingtracé

Leidinggegevens

De gegevens van het nieuwe leidingdeel staan genoemd in onderstaande Tabel 1, de afmetingen zijn overgenomen uit de ontwerptekening welke is opgenomen als Bijlage 1.

Leiding [-]	SDR klasse [-]	Uitw. diameter [mm]	Materiaal [-]	Ontwerpdruk [bar]
Vrijvervalriool	11	125	PE100	n.v.t.

Tabel 1: Beoordeelde leidingen

Materiaalparameters

In de sterkteberekening van het nieuwe leidingdeel zijn de materiaalparameters gebruikt zoals gegeven in Tabel 2. Deze zijn overgenomen uit Tabel 5 van de NEN3650-3:2020.

Materiaal [-]	E [MPa]	E' [MPa]	MRS [MPa]	$\alpha_g \times 10^{-5}$ [mm/mm.K ⁻¹]	γ_m [-]	as [-]
PE100	975	350	10,0	16	1,25	0,65

Tabel 2: Materiaalparameters

Aannames voor de sterkteberekeningen

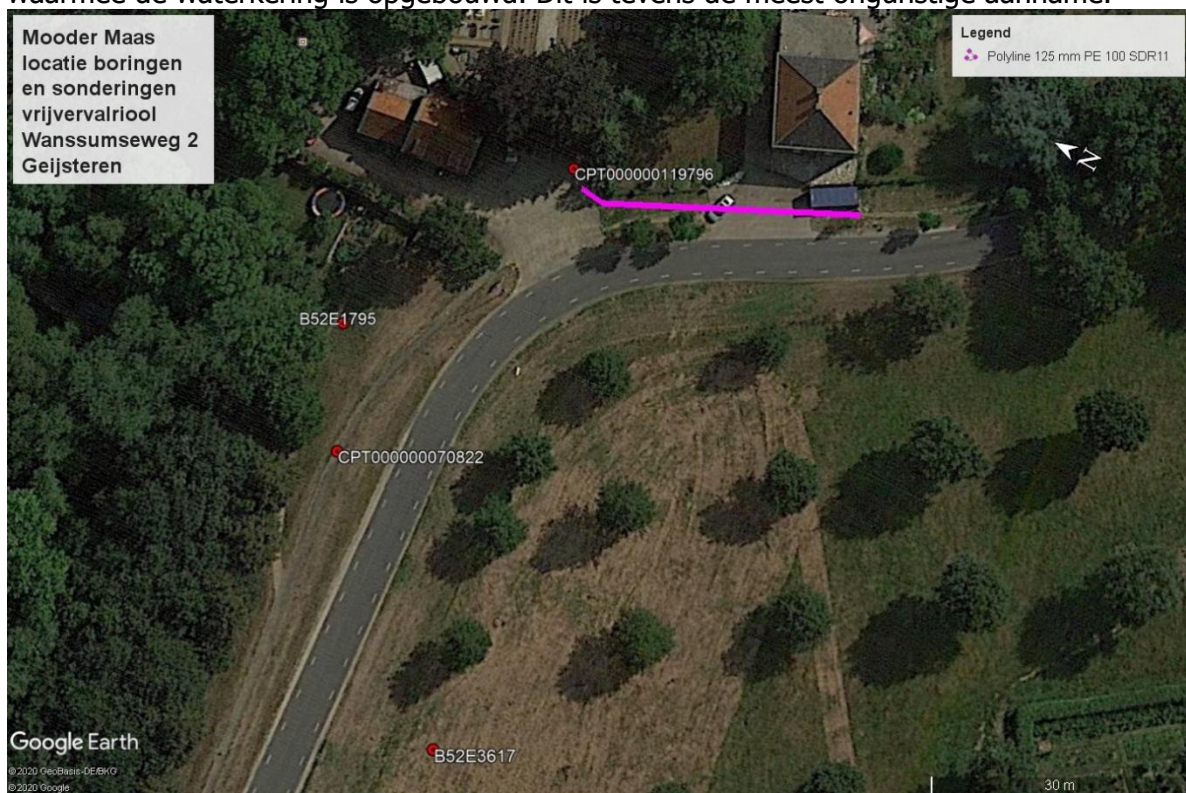
Er is een aantal aannames gedaan voor het opstellen van het rekenmodel, deze worden hieronder opgenoemd.

Verkeersbelasting

Er is uitgegaan van verkeersbelasting conform Grafiek II in figuur C.17 van de NEN3650-1 om rekening te houden met verkeersbelasting over de waterkering. Hierbij is geen rekening gehouden met de ontlastende invloed van het wegdek, dit is een zeer ongunstige aanname.

Bodemopbouw

Voor de bodemopbouw is gebruik gemaakt van twee sonderingen en twee boringen uit het DINOloket van TNO, deze zijn opgenomen in Bijlage 2. Op basis van dit grondonderzoek kan worden afgeleid dat de leiding wordt gelegd in slappe klei. Uitgangspunt is dat de nieuwe grond waarmee de locatie wordt opgehoogd uit de zelfde kleisoort bestaat waarmee de waterkering is opgebouwd. Dit is tevens de meest ongunstige aanname.



Figuur 2: Boor- en sonderingslocaties DINOloket

Gronddekking

Er is aangenomen dat het nieuw te leggen vrijvervalriool op een diepte van 1 meter onder het nieuwe maaiveld wordt aangelegd. Het huidige maaiveld volgens AHN is op deze locatie 14,58 m + NAP.

Grondwaterstand

De verwachte freatische grondwaterstand is afgelezen in AHN op 11,98 m + NAP. Dit betekent dat de leiding boven de freatische grondwaterstand wordt aangelegd.

Uitvoeringszakingsverschillen

In de berekeningen is een uitvoeringszakingsverschil gemodelleerd van 20 mm (slappe klei) aangenomen, geldend voor een droge sleuf en goed verdichte aanvulgrond conform Tabel C.4 van de NEN3650-1:2020.

Temperatuur

Er is voor de situatie een maximaal verschil in bedrijfstemperatuur van 10 °C aangehouden.

Importantiefactor

Er is een importantiefactor gehanteerd van 0,95 vanwege de ligging in de (nog te realiseren) waterkering conform paragraaf 6.5 van de NEN3651:2020. Deze is toegepast op zowel de materiaalspanningen als de deflectie.

Beschouwde belastingcombinaties

De volgende twee belastingcombinaties zijn beschouwd conform paragraaf 8.5.4.2 van de NEN3650-3:2020:

Combinatie 1: Situatie binnen 2 jaar na aanleg

Combinatie 2: Situatie na 2 jaar na aanleg

Software

De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Sigma 2020 versie 1.0 van Bureau Schrijvers. Dit is een programma waarmee vereenvoudigde sterkteberekeningen gemaakt kunnen worden.

Toetswaarden

De toetswaarde voor de materiaalspanningen voor Combinatie 1 en 2 is de MRS-waarde van HDPE gedeeld door de materiaalfactor en vermenigvuldigd met de importantiefactor: $(10/1,25) \times 0,95 = 7,6 \text{ N/mm}^2$.

De toetswaarde voor de deflectie voor Combinatie 1 en 2 is de maximale deflectie geldend voor HDPE-leidingen vermenigvuldigd met de importantiefactor: $8 \% \times 0,95 = 7,6 \%$.

Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten voor de materiaalspanningen staan weergegeven in Tabel 3, voor de volledige berekening wordt verwezen naar Bijlage 3.

Belastingcombinatie [-]	Omtrekspanning [N/mm ²]	Axiale spanning [N/mm ²]	Toetsspanning [N/mm ²]
Belastingcombinatie 1	3,67	0,23	7,6
Belastingcombinatie 2	3,50	0,70	7,6

Tabel 3: Materiaalspanningen, leiding drukloos

De berekeningsresultaten voor de deflectie zijn samengevat in 4, voor de gehele berekening wordt verwezen naar Bijlage 3.

Belastingcombinatie [-]	Deflectie [%]	Toelaatbare deflectie [%]
Drukloos	1,19	7,6

Tabel 4: Deflectie

Eis voor relatieve sterkte

Een leiding in een waterkering dient 20% sterker te zijn voor inwendige druk dan de leiding buiten de waterkering conform paragraaf 6.6 van de NEN3651:2012. Om aan deze eis te voldoen dient minimaal één leidingdeel buiten de veiligheidszone van de waterkering te worden uitgevoerd in de drukklasse SDR 13,6.

Conclusies

Langs de Wanssumseweg t.h.v. de begraafplaats Geijsteren gaat het bestaande vrijvervalriool vervangen worden. Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat dit nieuwe leidingdeel voldoet aan de in de NEN3650:2020 en NEN3651:2020 gestelde eisen voor sterkte en stijfheid en aan de eis voor relatieve sterkte. Deze conclusie is geldig indien het nieuwe leidingdeel wordt uitgevoerd in PE100 SDR 11 één leidingdeel buiten de veiligheidszone van de waterkering wordt uitgevoerd in PE100 SDR13,6.



Bijlage 1: Ontwerptekening



Overzicht K+L
schaal: 1 : 100

Versie		Datum		Get.		Omschrijving	
Versie		Datum		Get.		Omschrijving	
01		01-01-2019		L. van Peer		Definitief ontwerp	
02		01-01-2019		L. van Peer		Definitief ontwerp	
03		01-01-2019		L. van Peer		Definitief ontwerp	



Moeder
Maas

Contact
Geijsterseweg 11a
5861 BK, Wanssum
moedermaas@duravermeer.nl

Opdrachtgever
provincie limburg



Project
Gebiedsontwikkeling Ooijen - Wanssum

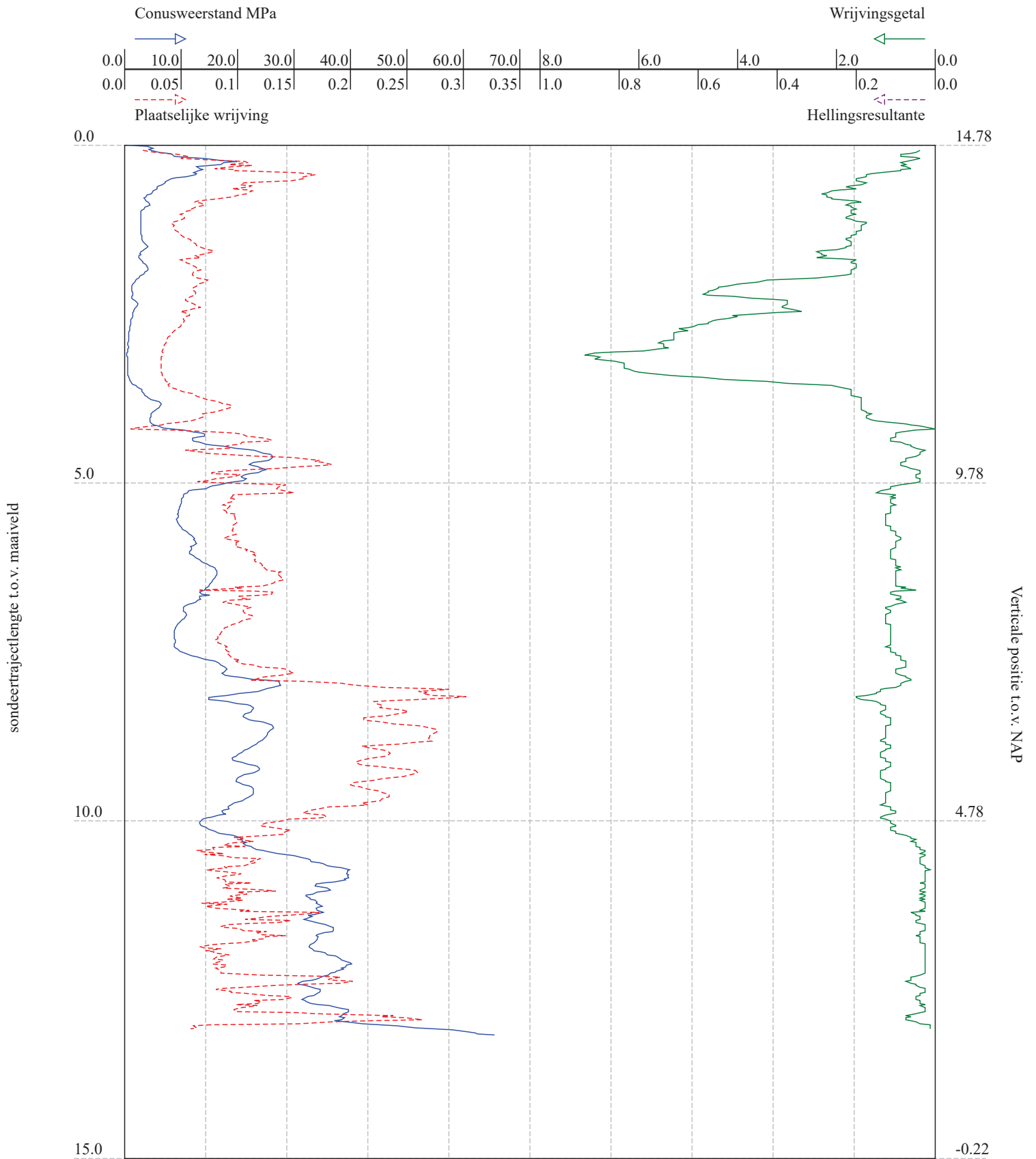
Fase : Definitief Ontwerp

Onderwerp : Overzicht K+L

Objectnummer : 1.2.2.3	Objectnaam : Harde kering Geijsteren begraafplaats	Versie:	
Schaal : Bladformaat : 84x1189	Bladnummer : van 4	Status :	
Contractnummer : ONT-2019-001	Bladnummer : van 4	Status :	
DocumentID : 503332-00000		Status :	

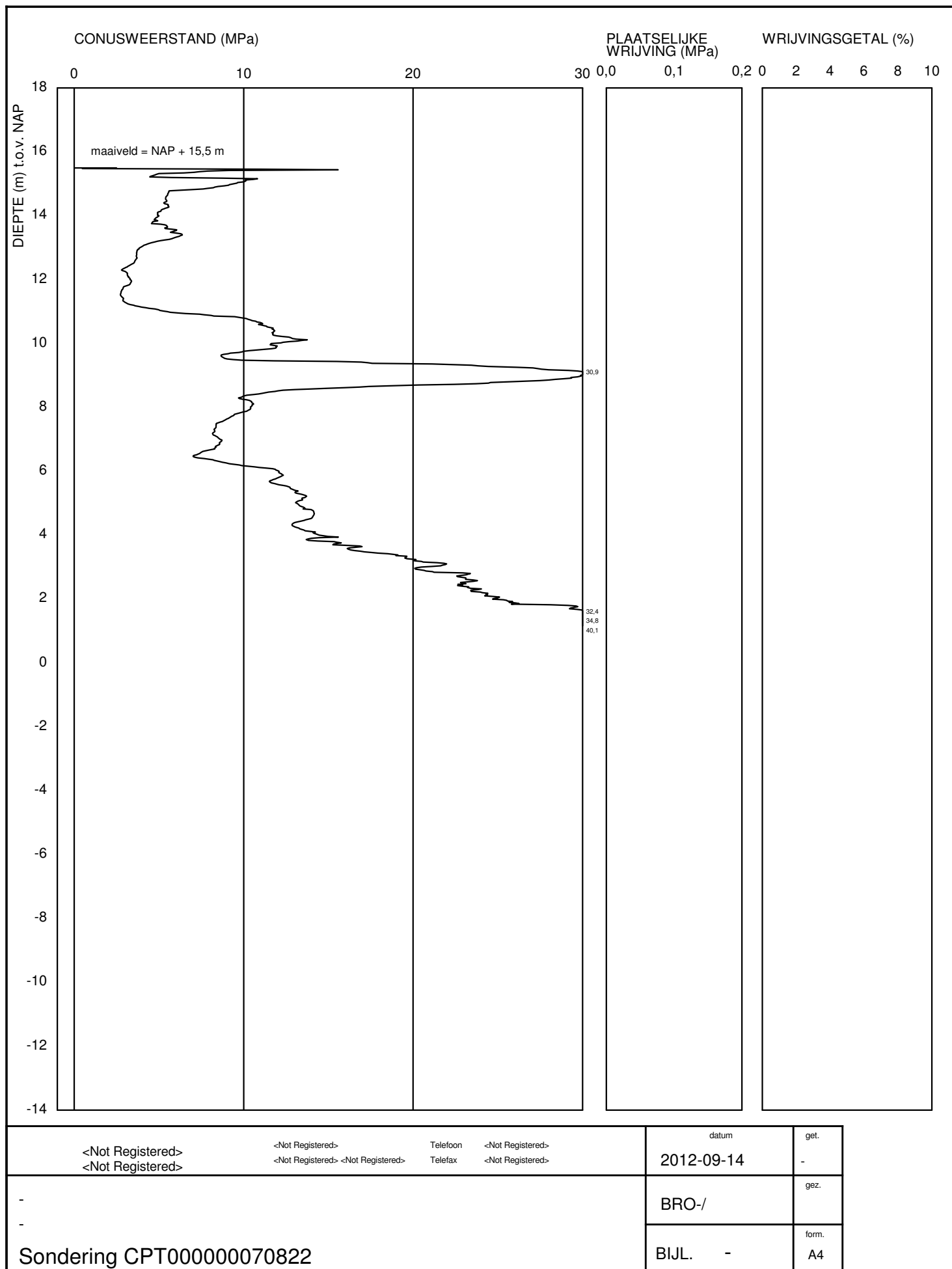


Bijlage 2: Grondonderzoek



BRO-ID: CPT000000119796

Aangeleverde coördinaten: 201314.610, 396243.270 (urn:ogc:def:crs:EPSG::28992)

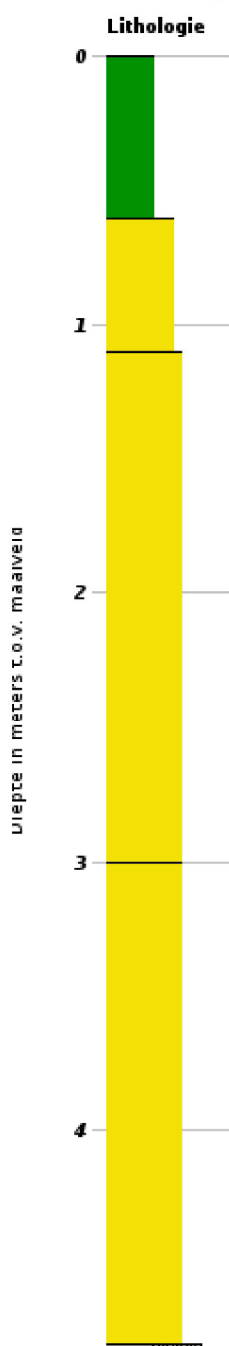


Boormonsterprofiel

Identificatie : B52E3617
Coördinaten : 201245 , 396222 (RD)
Maaiveld: 12.44 m t.o.v. NAP
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
Beschrijfmethode: GEF Standaard

Lithologie

 Klei
 Zand midden categorie



Boormonsterprofiel

Identificatie : B52E1795
Coördinaten : 201283 , 396258 (RD)
Maaiveld: 13.20 m t.o.v. NAP
Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
Beschrijfmethode: Onbekend

Lithologie

 Zand fijne categorie
 Zand grove categorie
 Niet benoemd



Bijlage 3: Resultaten sterkteberekening vrijvervalriool, leiding drukloos

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2020		Sigma 2020 1.0 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: TE16353 Begraafplaats Geijsteren vrijvervalriool 125 mm		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening drukloos		
Importatiefactor S	: 0,95		
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	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 125,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,4	mm
Wanddikte bocht	t	= 11,4	mm
Bochtstraal	R	= 187,50	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 9.006	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 1	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 20	mm
Zettingsverschil	f _z	= 25	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,1	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Verheeld			
Avegaarboring HES		01-02-2021 09:39:03	

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Klei	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 14	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 17,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 25,0	kN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,004	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,006	N/mm ³
Niet rekenen met horizontale steundruk			
Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	

Verkeersbelasting

Grafiek II: Fatigue Load Model 2, Lorry 4
 Niet rekenen met ontlastende invloed wegdek

1. 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

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.

3. Berekening van de veiligheidszone

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 0,00 = 0,00$ m

4. Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk

Leiding is drukloos:

$\sigma_p = 0,00$ N/mm²

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

Leiding is drukloos:

$f_{rr} = 1,00$

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d$

$q_n = 1,1 \cdot 14 \cdot 1 = 15,40$ kN/m²

$Q_n = q_n \cdot D_o$

$Q_n = 15,40 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 1,93$ N/mm¹

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d$$

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{14}{1,1} \cdot 1 = 12,73 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_{\text{hor}} = 12,73 \cdot (1 - \sin(17,5)) = 8,90 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\sigma_o' = \frac{12,73 + 8,90}{2} = 10,81 \text{ kN/m}^2$$

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

$$p'_f = 10,81 \cdot (1 + \sin(17,5)) + 0 \cdot \cos(17,5) = 14,07 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\kappa = 1 - \sin(17,5) = 0,699$$

$$\nu = \frac{\kappa}{1 + \kappa}$$

$$\nu = \frac{0,699}{1 + 0,699} = 0,41$$

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

$$G = \frac{1,0}{2 \cdot (1 + 0,41)} = 0,35$$

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

$$Q = \frac{10,81 \cdot \sin(17,5) + 0 \cdot \cos(17,5)}{0,35 \cdot 10^3} = 0,009$$

$$p'_{\text{max}} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot D_0^2}{0,5 \cdot D_0 + H} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi)$$

$$p'_{\text{max}} = (14,07 + 17,5 \cdot \cot(0)) \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 0,125^2}{0,5 \cdot 0,125 + 1} + 0,01 \right)^{\frac{-\sin 17,5}{1 + \sin 17,5}} - 0 \cdot \cot(17,5)$$

$$p'_{\text{max}} = \mathbf{38,64 \text{ kN/m}^2}$$

$$Q_p = p'_{\text{max}} \cdot D_0$$

$$Q_p = 38,64 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 4,83 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$E_1 = E_{100} / \frac{1 - \nu - 2 \cdot \nu^2}{1 - \nu}$$

$$E_1 = 1,0 / \frac{1 - 0,41 - 2 \cdot 0,41^2}{1 - 0,41} = 2,36 \text{ MN/m}^2$$

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{D_o}{E_1^{1,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,25 \cdot \frac{0,125}{2,36^{1,5} \cdot \sqrt{1/0,125}} = 0,0031 \text{ m}$$

$$q_k = q_n + \frac{\frac{\mu \cdot D_o}{z_{\max}} \cdot (q_p - q_n)}{1 + \frac{q_p - q_n}{z_{\max} \cdot k_{v,\min}}}$$

$$q_k = 15,40 + \frac{\frac{0,1 \cdot 0,125}{0,0031} \cdot (38,64 - 15,40)}{1 + \frac{38,64 - 15,40}{0,0031 \cdot 0,0040 \cdot 10^6}} = 48,17 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 48,17 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 6,02 \text{ N/mm}^1$$

Aanpassing van Q_k nodig $\rightarrow Q_k > Q_p \rightarrow Q_k = Q_p = 4,83 \text{ N/mm}^1$

9. Berekening van de verkeersbelasting Q_v volgens Grafiek II NEN 3650-1:C.17

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 38,63 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 38,63 \cdot 10^{-3} \cdot 125 = 4,83 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{125 \cdot 0,006}{4 \cdot 975 \cdot 6.629.052,19}} = 0,0023 \text{ mm}^{-1}$$

11. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (1^e en 2^e jaar)

$$\text{Zettingslengte } L = 9.006 \text{ mm}$$

$$\lambda \cdot L = 0,0023 \cdot 9.006 = 20,90$$

$$i = 0,900 \text{ (= 90,0 \% inklemming)}$$

$$B_z = 0,000360 \text{ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)}$$

$$Q_z = B_z \cdot f_v \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot 20 \cdot 125 \cdot 0,006 = 0,0054 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6}\right)$$

$$Q_d = 0,0054 \cdot 0,0023 \cdot 9.006 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 9.006}{6}\right) = 0,45 \text{ N/mm}^1$$

12. Berekening van de indirect overgedragen bovenbelasting (na 2 jaar)

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v, \text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (20 + 2,0 \cdot 25) \cdot 125 \cdot 0,006 = 0,019 \text{ N/mm}^1$$

$$Q_d = Q_z \cdot \lambda \cdot L \cdot \left(i + \frac{i \cdot \lambda \cdot L}{6} \right)$$

$$Q_d = 0,019 \cdot 0,0023 \cdot 9.006 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0023 \cdot 9.006}{6} \right) = 1,59 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen

Berekening evenwichtsdraagvermogen

$$B = D_o = 0,13 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 1,00 + 0,13 / 2 = 1,06 \text{ m}$$

$$S_c = 0,2 \cdot B/L = 0,02$$

$$d_c = 0,4 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 0,4 \cdot \tan^{-1}(1,06/0,13) = 0,58$$

$$P_{we} = 0,85 \cdot c_u \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + S_c + d_c)$$

$$P_{we} = 0,85 \cdot 25,0 \cdot (\pi + 2) \cdot (1 + 0,02 + 0,58)$$

$$P_{we} = 174,98 \text{ kN/m}^2 = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weD_o} = P_{we} \cdot D_o = 0,17 \cdot 125,00 = 21,87 \text{ N/mm}^1$$

Controle bovenbelastingen met evenwichtsdraagvermogen

<i>Situatie 1^e en 2^e jaar</i>	<i>Conclusie:</i>	<i>Situatie na 2 jaar</i>	<i>Conclusie:</i>
$Q_k = 4,83 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig	$Q_n = 1,93 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing van Q_d nodig
$Q_v = 4,83 \text{ N/mm}^1$		$Q_v = 4,83 \text{ N/mm}^1$	
$Q_d = 0,45 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 1,59 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 10,11 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 8,35 \text{ N/mm}^1$	

14. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (1^e en 2^e jaar)

Moment t.g.v. Q_k en Q_v

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

$$M_q = 0,138 \cdot (4,83 + 4,83) \cdot 56,80$$

$$M_q = 75,71 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b, \text{ind}} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 0,45 \cdot 56,80$$

$$M_{qd} = 2,14 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (75,71 + 2,14) / 21,66 = 3,59 \text{ N/mm}^2$$

15. Momenten en spanningen t.g.v. directe en indirecte bovenbelastingen (na 2 jaar)

Moment t.g.v. Q_n en Q_v

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

$$M_q = 0,138 \cdot (1,93 + 4,83) \cdot 56,80$$

$$M_q = 52,94 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

$$M_{qd} = K_{b, \text{ind}} \cdot Q_d \cdot r_g$$

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 1,59 \cdot 56,80$$

$$M_{qd} = 7,51 \text{ Nmm/mm}^1$$

Spanning t.g.v. M_q en M_{qd}

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot (M_q + M_{qd}) / W_w$$

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (52,94 + 7,51) / 21,66 = 2,79 \text{ N/mm}^2$$

16. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot f_v \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,27 \text{ N/mm}^2}$$

17. Berekening van de spanning σ_{bx} t.g.v. uitvoeringszakkingverschil f_v en zettingsverschil f_z

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 2,0 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (20 + 2,0 \cdot 25) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,006}{11,4}} = \mathbf{0,96 \text{ N/mm}^2}$$

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

Leiding is drukloos

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

19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bochtBerekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht:

$$r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 56,80 \text{ mm}$$

$$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{11,4 \cdot 187,5}{56,8^2} = 0,66$$

$$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{0,66} = 2,49$$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{0,66^{(2/3)}} = 1,18$$

$$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 1,18 = 2,37$$

20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{123,46}{113,6^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m²****21. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**Veiligheidsfactor γ voor langdurige onderdruk: $\gamma = 3$ Veiligheidsfactor γ voor kortdurende onderdruk: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 123,46}{113,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07 m** grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_d) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (1,93 + \frac{1}{2} \cdot 4,83) - 0,083 \cdot (1 - \sin(17,5^\circ)) \cdot (1,93 + \frac{1}{2} \cdot 4,83) + 0,048 \cdot 1,59) \cdot 56,80^3}{350 \cdot 123,46} = \mathbf{0,89 \text{ mm}} (= 0,79\%)$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot \text{importantiefactor } S \cdot D_g = 0,08 \cdot 0,95 \cdot 113,60 = \mathbf{8,63 \text{ mm}}$$

23. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (1^e en 2^e jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,59 + 2,37 \cdot 0,27) = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$$

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 1,18 \cdot 0,27 = \mathbf{0,21 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}$$

24. Berekening van het totaal aan optredende spanningen (na 2 jaar)

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

$$\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + i_y \cdot \sigma_{bx})$$

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,79 + 2,37 \cdot 0,96) = \mathbf{3,30 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \alpha_\sigma \cdot i_x \cdot \sigma_{bx}$$

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 1,18 \cdot 0,96 = \mathbf{0,74 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,95 = \mathbf{7,60 \text{ N/mm}^2}$$