

Aan: Dhr. D. de Jong (SGS Roos+Bijl)
CC:
Van: L. Nijsten (SGS Roos+Bijl)
E-mail: luc.nijsten@sgs.com
Telefoon: +31(0) 6 47 80 48 66

Datum: 14 november 2019
Kenmerk: ME-TE16353-8812

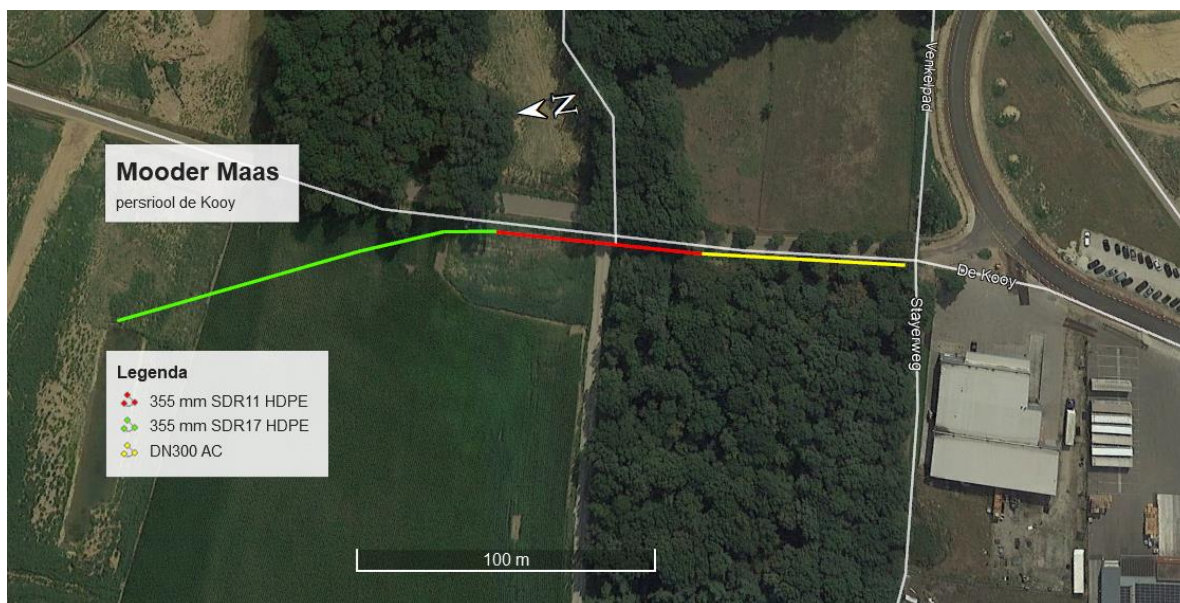
Onderwerp: Sterkteberekening persriool de Kooy v2

Bijlage 1: Ontwerptekening
Bijlage 2: Grondonderzoek
Bijlage 3: Resultaten sterkteberekening persriool, leiding op druk
Bijlage 4: Resultaten sterkteberekening persriool, leiding drukloos

Algemeen

Aannemerscombinatie Mooder Maas is voornemens om een persriool aan te passen bij de Kooy in Wanssum. Het bestaande persriool is uitgevoerd in DN300 asbest cement en sluit aan op een gestuurde boring uitgevoerd in PE100 SDR17. Ter plaatse van de nieuw aan te leggen dijk wordt de leiding over een lengte van ca. 70 m vervangen door 355 mm PE100 SDR11, zie Figuur 1 voor een indicatie van het te vervangen leidingdeel.

De leiding is sterkte technisch beoordeeld conform de NEN3650:2012 en NEN3651:2012. In deze memo worden de resultaten van deze sterkteberekeningen behandeld.



Figuur 1: Projectlocatie met indicatief leidingtracé

In de huidige versie van deze memo zijn de opmerkingen van het Waterschap Limburg op de oorspronkelijke versie verwerkt.

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]
Persriool	11	355	PE100	6

Tabel 1: Beoordeelde leidingen

Materiaalparameters

In de sterkteberekeningen van het nieuwe leidingdeel zijn de materiaalparameters gebruikt zoals gegeven in Tabel 2. Deze zijn overgenomen uit Tabel 5 van de NEN3650-3:2012.

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 dijk. 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 handboringen van Fugro en twee sonderingen en 3 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 zand.

Gronddekking

De huidige leiding heeft een BOB-maat van 12,88 m. Bij een maaiveldhoogte van ca. 15 m geeft dit een gronddekking van $15 - 12,88 - 0,355 = 1,77$. De kruin van de dijk wordt gerealiseerd door middel van een ophoging van 1,96 m. Dit geeft een totale gronddekking van $1,77 + 1,96 = 3,73$ m.

Grondwaterstand

De verwachte freatische grondwaterstand is afgelezen in de ontwerptekening op 11,5 m + NAP. Dit betekent dat de leidingen boven de freatische grondwaterstand worden aangelegd.

Uitvoeringszakkingsverschillen

In de berekeningen is een uitvoeringszakkingsverschil gemodelleerd van 5 mm (normaal zand) aangenomen, geldend voor een droge sleuf en goed verdichte aanvulgrond conform Tabel C.4 van de NEN3650-1:2012.

Temperatuur

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

Zettingen

De leiding heeft een BOB-maat van 12,88 m. Uit het grondonderzoek (B52E3701, HB119 en HB35) blijkt dat zich ter plaatse van het nieuwe leidingdeel enkel lagen zand bevinden. Zand heeft een zeer hoge primaire samendrukkingsconstante waarmee er een geringe elastische samendrukking kan optreden als gevolg van de ophoging in de grond boven de leiding. Secundaire zetting, en de daarmee gepaard gaande zetting op leiding-as niveau, is bij zand niet van toepassing conform tabel B.1 van de NEN3650-1:2012.

Vanaf HB36 en noordelijker bevinden zich sterk zandige leemlagen in de ondergrond, dit is een zettingsgevoelige grondsoort. Dit valt echter buiten het leidingdeel waar het maaiveld wordt opgehoogd, waardoor zich hier geen zettingen kunnen voordoen.

Importantiefactor

Er is een importantiefactor gehanteerd van 0,75 vanwege de ligging in de (nog te realiseren) waterkering conform paragraaf 6.5 van de NEN3651:2012. 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 NEN3650-3:2012:

Combinatie 1: Situatie binnen 2 jaar na aanleg

Combinatie 2: Situatie na 2 jaar na aanleg

Programmatuur

De berekeningen zijn uitgevoerd met het programma Sigma 2018 versie 1.5 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: $(10/1,25) \times 0,75 = 6,0 \text{ N/mm}^2$.

De toetswaarde voor de deflectie voor Combinatie 1 en 2 is de maximale deflectie geldend voor HDPE-leidingen vermenigvuldigd met de importantiefactor: $8 \% \times 0,75 = 6 \%$.

Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten voor de materiaalspanningen staan weergegeven in Tabel 3 en Tabel 4, voor de volledige berekening wordt verwezen naar Bijlage 3 en 4.

Belastingcombinatie [-]	Omtrekspanning [N/mm ²]	Axiale spanning [N/mm ²]	Toetsspanning [N/mm ²]
Belastingcombinatie 1	4,73	3,14	6,0
Belastingcombinatie 2	2,72	3,14	6,0

Tabel 3: Materiaalspanningen, leiding onder druk

Belastingcombinatie [-]	Omtrekspanning [N/mm ²]	Axiale spanning [N/mm ²]	Toetsspanning [N/mm ²]
Belastingcombinatie 1	2,66	0,07	6,0
Belastingcombinatie 2	1,58	0,07	6,0

Tabel 4: Materiaalspanningen, leiding drukloos

De berekeningsresultaten voor de deflectie zijn samengevat in Tabel 5, voor de gehele berekening wordt verwezen naar Bijlage 3 en 4.

Belastingcombinatie [-]	Deflectie [%]	Toelaatbare deflectie [%]
Op druk	1,97	6
Drukloos	1,97	6

Tabel 5: Deflectie

Eis voor relatieve sterkte

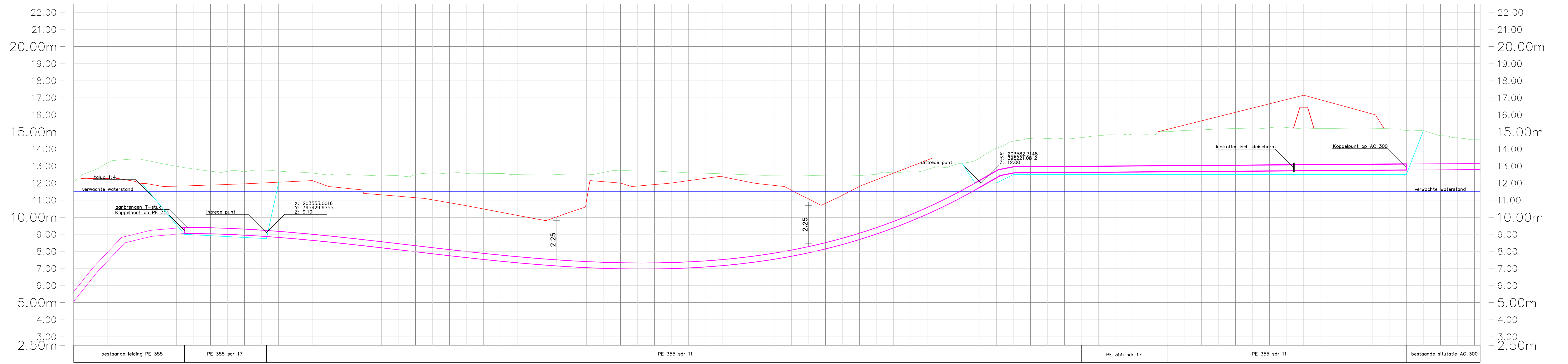
Een leiding in een waterkering dient 20% sterker te zijn voor inwendige druk dan de leiding buiten de waterkering conform paragraaf 6.6 van de NEN3651:2012. De ringspanning is bepaald voor elk leidingdeel met behulp van de ketelformule, zie Tabel 6. De afmetingen van de asbest cement leiding zijn overgenomen uit het Ethernit handboek. Het blijkt dat het nieuwe leidingdeel minimaal $57,6 / 36,0 = 60\%$ sterker is dan de bestaande leidingdelen waarmee voldaan wordt aan de eis voor relatieve sterkte.

Leiding [-]	Ringspanning [N/mm ²]	Toelaatbare ringspanning [N/mm ²]	Perc. toelaatbare ringspanning [N/mm ²]
DN300 AC	8,64	25	69,1
355 mm HDPE SDR17	5,76	10	57,6
355 mm HDPE SDR11	3,60	10	36,0

Tabel 6: Ringspanning

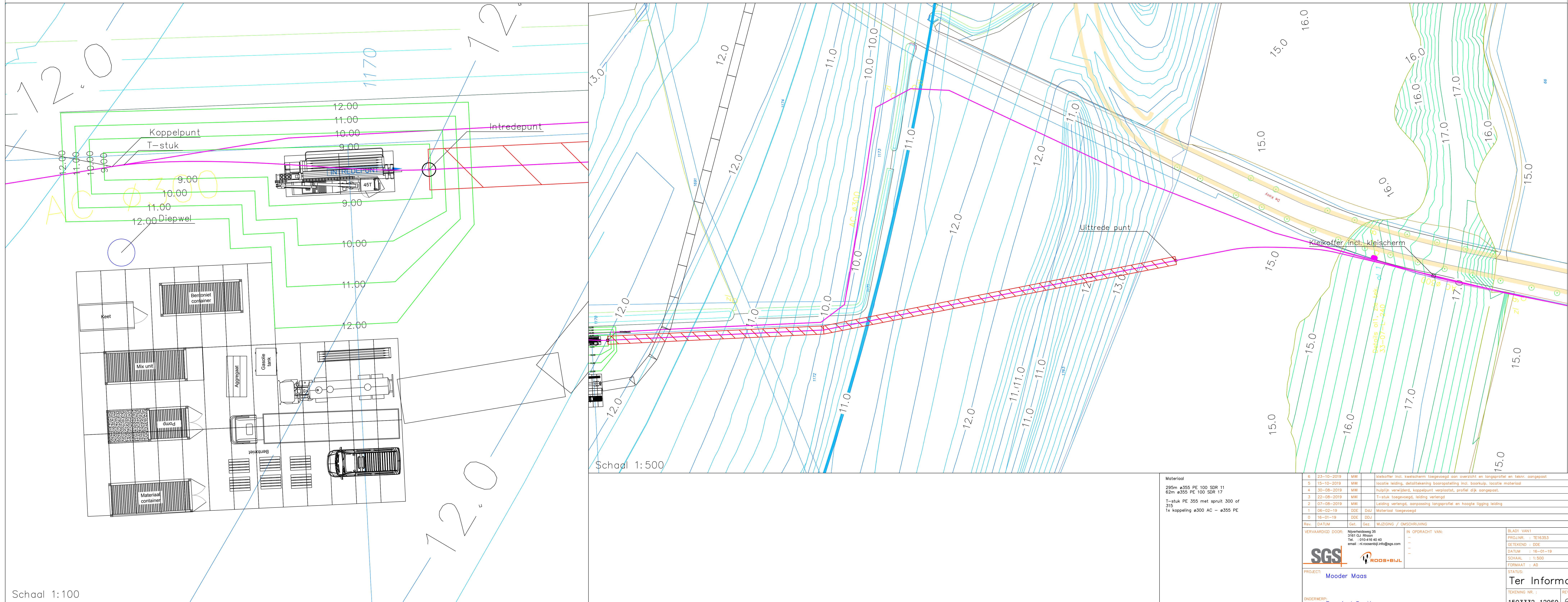
Conclusies

In de Kooy gaat een deel van het bestaande persriool vervangen worden. Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat dit nieuwe leidingdeel voldoet aan de in de NEN3650:2012 en NEN3651:2012 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 en indien er zich geen grondzettingen voordoen ter plaatse van de nieuwe dijk.



Horizontale schaal 1:500
 Verticale schaal 1:100
 PVW - (8)
 Lengteprofiel as ALM - (5)
 Metrering 0.000 tot 411.622

Metrering	Bestaande hoogte	Ontwerphoogte	Tijdelijk maaveld hoogte
0000.00	12.08		
0005.00	12.27		
0010.00	12.27		
0015.00	12.20		
0020.00	11.97		
0025.00	10.49		
0030.00	9.00		
0035.00	8.95		
0040.00	8.91		
0045.00	8.86		
0050.00	8.82		
0055.00	8.77		
0060.00	12.05		
0065.00	12.10		
0070.00	12.14		
0075.00	11.79		
0080.00	11.69		
0085.00	11.40		
0090.00	11.32		
0095.00	11.23		
0100.00	11.15		
0105.00	11.02		
0110.00	10.85		
0115.00	10.67		
0120.00	10.48		
0125.00	10.29		
0130.00	10.10		
0135.00	9.92		
0140.00	9.93		
0145.00	10.28		
0150.00	10.86		
0155.00	12.09		
0160.00	12.00		
0165.00	11.83		
0170.00	11.92		
0175.00	12.01		
0180.00	12.15		
0185.00	12.28		
0190.00	12.37		
0195.00	12.16		
0200.00	11.98		
0205.00	11.86		
0210.00	11.59		
0215.00	11.09		
0220.00	10.82		
0225.00	11.29		
0230.00	11.81		
0235.00	12.21		
0240.00	12.59		
0245.00	12.98		
0250.00	13.36		
0255.00			
0260.00	13.17		
0265.00	13.45		
0270.00	14.05		
0275.00	14.46		
0280.00	14.61		
0285.00	14.61		
0290.00	14.59		
0295.00	14.67		
0300.00	14.78		
0305.00	14.83		
0310.00	14.83		
0315.00	14.81		
0320.00	15.02		
0325.00	15.08		
0330.00	15.12		
0335.00	15.17		
0340.00	15.20		
0345.00	15.17		
0350.00	15.25		
0355.00	15.26		
0360.00	15.17		
0365.00	15.20		
0370.00	15.21		
0375.00	15.23		
0380.00	15.19		
0385.00	15.09		
0390.00	15.07		
0395.00	14.79		
0400.00	14.65		
0405.00	14.55		
0410.00	14.54		
0411.622			



Material
 250m ø355 PE 100 SPR 11
 62m ø355 PE 100 SPR 17
 T-stuk PE 355 met spruit 300 of 315
 1x koppeling ø300 AC - ø355 PE

1	23-10-2019	MW	Kleikoffer incl. kleischerm toegevoegd aan overzicht en langprofiel en tevin oengepast
2	15-11-2019	MW	profiel leiding, detailtekening koppeling en detail tekening speciale materialen
3	22-08-2019	MW	hulprijn verrijpt, koppelpunt verplaatst, profiel d'k oangepast.
4	07-08-2019	MW	T-stuk toegevoegd, leiding verlengd
5	06-02-19	DDE	DDE DRI
6	16-01-19	DDE	DDE DRI

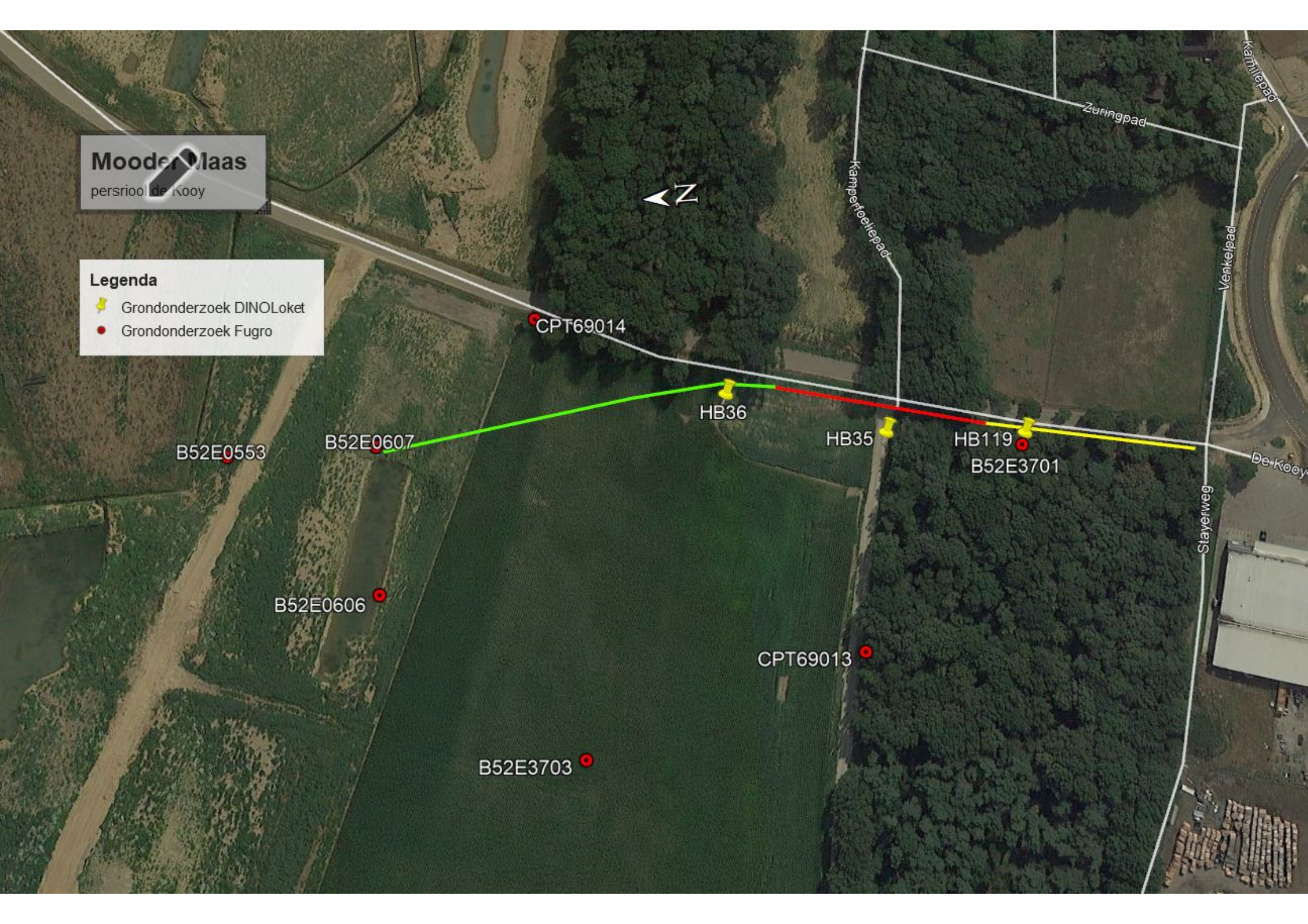
VERRAARDIGD DOOR: Nieuwsteeg 35, 3701 GJ Breda, Tel: 016-418 40 40, email: info@persiold.de.kooy.com
 IN OPDRACHT VAN: Moeder Maas
 PROJECT: Moeder Maas
 ONDERWERP: Persiold De Kooy
 STATUS: **Ter Informatie**
 TEKENING NR.: 1503332-12969
 REV: 6

Moederlaas

persioudede Kooy

Legenda

- Grondonderzoek DINOloket
- Grondonderzoek Fugro



CPT69014

HB36

HB35

HB119

B52E3701

B52E0553

B52E0607

B52E0606

CPT69013

B52E3703

Zuringpad

Kampenfoeliepad

Venkelepad

Kamillepad

Slayerweg

De Kooy

Boring: HB119

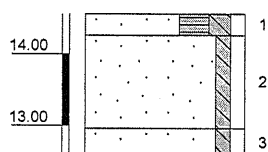
Veldclassificatie

Pagina 1 van 1

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



14.56 tot 14.26	Zand, matig fijn, matig siltig, sterk humeus, resten wortels, donker bruin
14.26 tot 12.96	Zand, matig grof, zwak siltig, sporen grind, licht bruin
12.96 tot 12.56	Zand, matig fijn, zwak siltig, licht bruin

← 42 m. lewin.

Algemene opmerking:

X: 203560.7

Y: 395057.4

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP):

Bodem (m tov NAP): 14.56

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloestof:

Datum uitvoering: 20-03-2017

Boormeester: jmn

Geclassificeerd door: jmn

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

GOW handboringen kade ontwerp

Fugro GeoServices B.V.

1216-0011-230

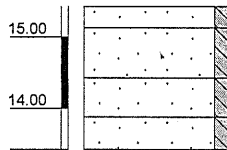
Boring: HB35

Veldclassificatie

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



15.43 tot 15.13	Zand, matig fijn, zwak siltig bruin
15.13 tot 14.43	Zand, matig fijn, zwak siltig, licht bruin
14.43 tot 13.88	Zand, matig grof, zwak siltig, licht bruin
13.88 tot 13.43	Zand, matig fijn, zwak siltig bruin

ca 6m van punt dyl.
zelfde X-lyer

Bob 12.88

Algemene opmerking:

X: 203563.6

Y: 395104.4

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 13.33

Bodem (m tov NAP): 15.43

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering: 03-06-2013

Boormeester:

Geclassificeerd door:

BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Grondonderzoek t.b.v. primaire waterkeringen

**rondweg en
hoogwatergeul**

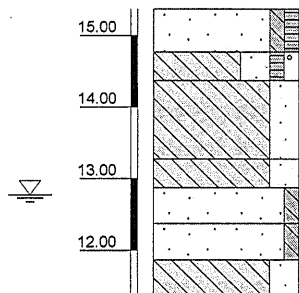
Boring: HB36

Veldclassificatie

Referentie (m tov NAP)

Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104



15.37 tot 14.77	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, donker bruin
14.77 tot 14.37	Leem, sterk zandig, zwak humeus, zwak grindig bruin
14.37 tot 13.27	Leem, sterk zandig bruin
13.27 tot 12.87	Leem, sterk zandig bruin
12.87 tot 12.37	Zand, matig fijn, zwak siltig, licht bruin
12.37 tot 11.87	Zand, matig fijn, zwak siltig bruin
11.87 tot 11.37	Leem, sterk zandig bruin

+ 50 m.

Algemene opmerking:

X: 203581.7

Y: 395156.0

Coördinatenstelsel: RD

GWS (m tov NAP): 12.77

Bodem (m tov NAP): 15.37

GHG (m tov NAP):

GLG (m tov NAP):

Boorvloeistof:

Datum uitvoering: 03-06-2013

Boormeester:

Geclassificeerd door:

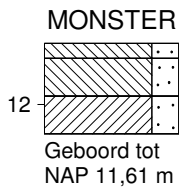
BORING VOLGENS NEN-EN-ISO 22475-1

Grondonderzoek t.b.v. primaire waterkeringen

**rondweg en
hoogwatergeul**

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(12,81)



DIEPTE NAP [m]			
↓LAAG↓		VAN	TOT
1	1	12,81	12,61
2	2	12,61	12,11
3	3	12,11	11,61

BESCHRIJVING



leem, sterk zandig; donker-, bruin

leem, sterk zandig; bruin

klei, sterk zandig; bruin

Einde Boring B52E0553

maaiveld: NAP 12,81 m
X = 203575 m Y = 395323 m (RD)

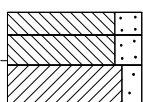
 	Nijverheidsweg 35 3161 GJ Rhoon	Telefoon Telefax	datum 1997-04-07	get.
			DINO-BOR	gez.
			BIJL.	form. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(12,64)

12

MONSTER



Geboord tot
NAP 11,44 m

DIEPTE NAP [m]

↓LAAG↓



VAN TOT

BESCHRIJVING

↓LAAG↓	VAN	TOT	BESCHRIJVING
1	12,64	12,34	leem, sterk zandig; donker-, bruin
2	12,34	11,94	leem, sterk zandig; bruin
3	11,94	11,44	klei, matig zandig; bruin

Einde Boring B52E0606

maaiveld: NAP 12,64 m
X = 203525 m Y = 395273 m (RD)

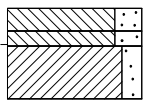
 	Nijverheidsweg 35 3161 GJ Rhoon	Telefoon Telefax	datum 1997-04-07	get.
			DINO-BOR	gez.
			BIJL.	form. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(12,48)

12



MONSTER



Geboord tot
NAP 11,28 m

↓LAAG↓	DIEPTE NAP [m]		BESCHRIJVING	
	VAN	TOT		
1	1	12,48	12,18	leem, sterk zandig; donker-, bruin
2	2	12,18	11,98	leem, sterk zandig; bruin
3	3	11,98	11,28	klei, matig zandig; bruin
Einde Boring B52E0607				

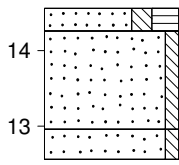
maaiveld: NAP 12,48 m
X = 203575 m Y = 395273 m (RD)

 	Nijverheidsweg 35 3161 GJ Rhoon	Telefoon Telefax	datum 1997-04-07	get.
			DINO-BOR	gez.
			BIJL.	form. A4

DIEPTE (m) t.o.v. NAP

MV
(14,56)

MONSTER



Geboord tot
NAP 12,56 m

DIEPTE NAP [m]

↓LAAG↓

VAN TOT

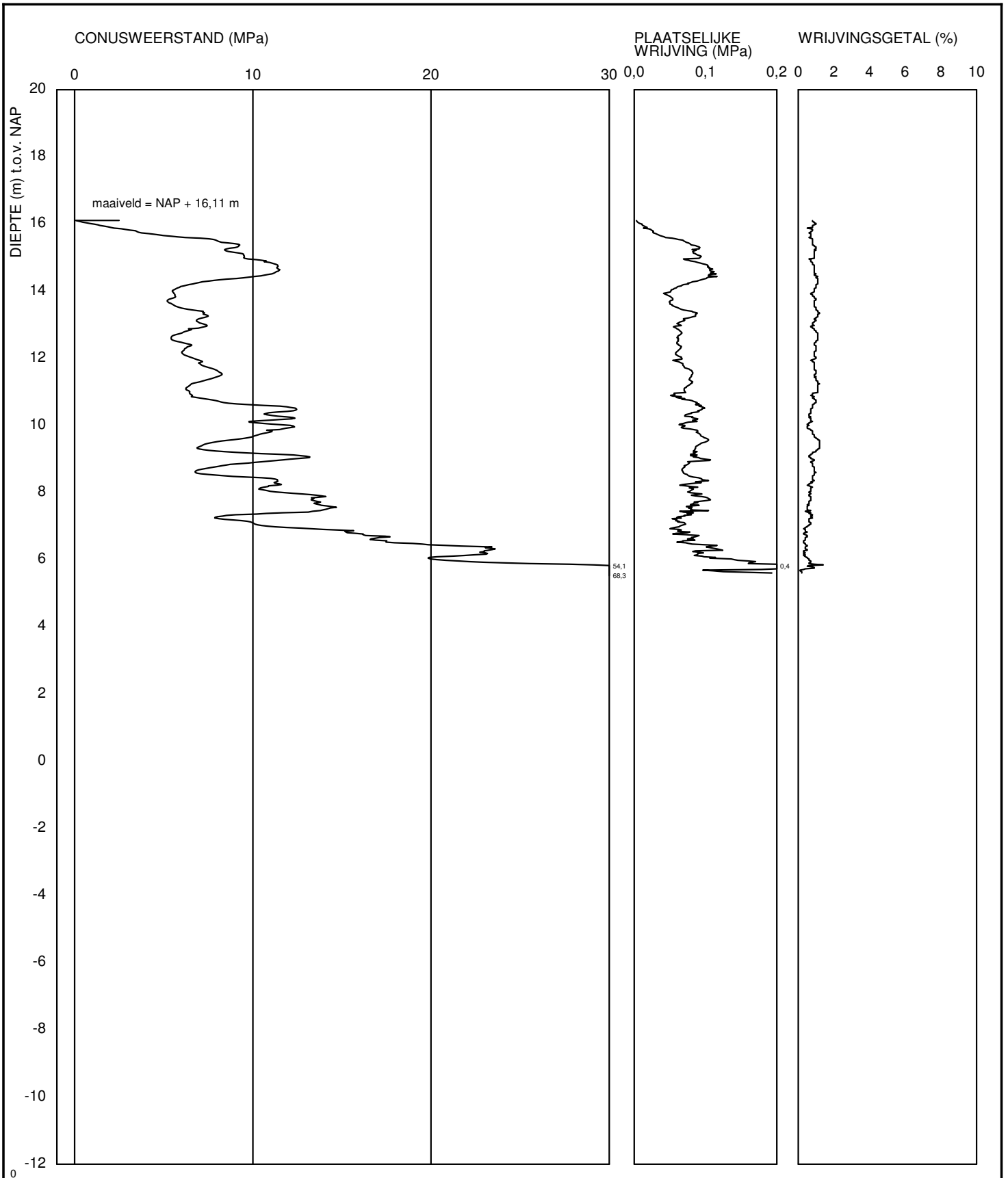
BESCHRIJVING



↓LAAG↓	VAN	TOT	BESCHRIJVING
1	14,56	14,26	zand, matig siltig, sterk humeus; donker-, bruin 'ZMF'
2	14,26	12,96	zand, zwak siltig; licht-, bruin 'ZMG'
3	12,96	12,56	zand, zwak siltig; licht-, bruin 'ZMF'

Einde Boring B52E3701

X = 203561 m Y = 395057 m (RD)

 	Nijverheidsweg 35 3161 GJ Rhoon	Telefoon Telefax	datum 2017-03-20	get. jmn
	-	DINO-BOR		gez.
	-	BIJL.		form. A4



 	Nijverheidsweg 35 Telefoon 3161GJ Rhooon Telefax		datum 2013-06-03	get. -	
	- -			BRO-/	gez.
	Sondering CPT000000069013			BIJL. -	form. A4

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: TE16353 Mooder Maas - persriool de Kooy		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening drukloos v2		
Importatiefactor S	: 0,75		
Materiaalgegevens			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
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 Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 355,00	mm
Wanddikte	d _n	= 32,27	mm
Wanddikte bocht	t	= 32,27	mm
Bochtstraal	R	= 532,50	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)	= Drukloos		
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 12.957	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 3,73	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 3,5	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 0,23	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 2	m
		12-11-2019 15:58:21	

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 10	MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,012	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,032	N/mm ³
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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 290,46	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i) / 2$	= 322,73	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 355,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 177,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 145,23	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 161,37	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 430.226.779,35	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 2.423.812,84	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 2.800,37	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 173,56	mm ³ /mm ¹

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Leiding is drukloos: Controle is niet mogelijk.

3. Berekening van de veiligheidszone

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} = 4 \cdot 2,00 = 8,00$ 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

$q_n = \gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$
 $q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 3,5 + 1,1 \cdot 20 \cdot 0,23 - 10 \cdot 0,23 = 72,06$ kN/m²
 $Q_n = q_n \cdot D_o$
 $Q_n = 72,06 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 25,58$ N/mm¹

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$
 $q_p = 72,06 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{3,73}{0,355} \right) = 299,20$ kN/m²
 $Q_p = q_p \cdot D_o$
 $Q_p = 299,20 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 106,22$ N/mm¹

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,355}{10^{0,5} \cdot \sqrt{3,73/0,355}} = 0,0069 \text{ m}$$

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

$$q_k = 72,06 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,355}{0,0069} \cdot (299,20 - 72,06)}{1 + \frac{299,20 - 72,06}{0,0069 \cdot 0,0120 \cdot 10^6}} = 134,43 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 134,43 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 47,72 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 5,76 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 5,76 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 2,05 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{355 \cdot 0,032}{4 \cdot 975 \cdot 430.226.779,35}} = 0,0016 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 12.957 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0016 \cdot 12.957 = 20,90$$

$i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming)

$B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 355 \cdot 0,032 = 0,020 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,020 \cdot 0,0016 \cdot 12.957 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0016 \cdot 12.957}{6}\right) = 1,72 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 355 \cdot 0,032 = 0,020 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,020 \cdot 0,0016 \cdot 12.957 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0016 \cdot 12.957}{6}\right) = 1,72 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

$$B = D_o = 0,36 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 3,73 + 0,36 / 2 = 3,91 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,40$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + (\gamma \cdot \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o/2) / Z = 18,99 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 2.558,73 \text{ kN/m}^2 = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 2,56 \cdot 355,00 = 908,35 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 47,72 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 25,58 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 2,05 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 2,05 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 1,72 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 1,72 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 51,49 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 29,35 \text{ N/mm}^1$	

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*

$$M_q = K_b \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_k + Q_v) \cdot r_g$$

$$M_q = 0,138 \cdot (47,72 + 2,05) \cdot 161,37 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (47,72 + 2,05) \cdot 161,37$$

$$M_q = 648,11 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 1,72 \cdot 161,37$$

$$M_{qd} = 23,07 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (648,11 + 23,07) / 173,56 = 3,87 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$M_q = 0,138 \cdot (25,58 + 2,05) \cdot 161,37 - 0,143 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot \sin(1/2 \cdot 120^\circ) \cdot (25,58 + 2,05) \cdot 161,37$$

$$M_q = 359,76 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,083 \cdot 1,72 \cdot 161,37$$

$$M_{qd} = 23,07 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 1,00 \cdot (359,76 + 23,07) / 173,56 = 2,21 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,032}{32,27}} = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,032}{32,27}} = 0,09 \text{ N/mm}^2$$

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

Leiding is drukloos

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

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

$$r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 161,37 \text{ mm}$$

$$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{32,27 \cdot 532,5}{161,365^2} = 0,66$$

$$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{0,66} = 2,50$$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{0,66^{(2/3)}} = 1,19$$

$$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 1,19 = 2,37$$

20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{2.800,37}{322,73^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,23 \text{ kN/m}^2}$$

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: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 2.800,37}{322,73^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 2.800,37}{322,73^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,77** m grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

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

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (25,58 + 2,05) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (25,58 + 2,05) + 0,048 \cdot 1,72) \cdot 161,37^3}{350 \cdot 2.800,37} = \mathbf{6,35 \text{ mm} (= 1,97\%)}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 322,73 = \mathbf{19,36 \text{ mm}}$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (3,87 + 2,37 \cdot 0,09) = \mathbf{2,66 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 1,19 \cdot 0,09 = \mathbf{0,07 \text{ N/mm}^2}$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (2,21 + 2,37 \cdot 0,09) = \mathbf{1,58 \text{ N/mm}^2}$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

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

$$\sigma_x = 0,65 \cdot 1,19 \cdot 0,09 = \mathbf{0,07 \text{ N/mm}^2}$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een leiding in open sleuf conform NEN 3650/3651:2012		Sigma 2018 1.5 ©	
Algemene gegevens			
Naam van het project	: TE16353 Mooder Maas - persriool de Kooy		
Projectonderdeel	: Sterkteberekening op druk v2		
Importatiefactor S	: 0,75		
Materiaalgegevens			
Materiaal soort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100		
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 Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens			
Uitwendige middellijn	D _e	= 355,00	mm
Wanddikte	d _n	= 32,27	mm
Wanddikte bocht	t	= 32,27	mm
Bochtstraal	R	= 532,50	mm
Procesgegevens			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Vloeistof	
Ontwerpdruk	p _d	= 0,6	N/mm ²
Volumieke massa vloeistof	ρ	= 1000	kg/m ³
Temperatuurverschil	Δt	= 10	°
Aanleggegevens			
Ligging: Kruising met een waterstaatswerk			
Zettingslengte	L	= 12.957	mm
Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld	H	= 3,73	m
Gronddekking boven de grondwaterstand	H _d	= 3,5	m
Gronddekking onder de grondwaterstand	H _n	= 0,23	m
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 70	°
Uitvoeringszakkingverschil	f _v	= 5	mm
Zettingsverschil	f _z	= 0	mm
Klinkpercentage	μ	= 0,02	%
Marstonfactor	f _m	= 0,3	-
Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone			
Waterstaatswerk: Niet Verheeld			
Hoogteverschil kruin-maaiveld		= 2	m
		12-11-2019 15:59:20	

Grondmechanische gegevens

Grondsoort		= Zand	
Volumiek gewicht droge grond	γ_d	= 18	kN/m ³
Volumiek gewicht natte grond	γ_n	= 20	kN/m ³
Volumiek gewicht water	γ_w	= 10	kN/m ³
Inwendige wrijvingshoek grond	ϕ	= 32,5	°
Effectieve cohesie	c'	= 0	kN/m ²
Ongedraineerde schuifsterkte	c_u	= 0	kN/m ²
E-modulus sleufmateriaal	E_1	= 10	MN/m ²
Minimale verticale beddingconstante	$k_{v,min}$	= 0,012	N/mm ³
Gemiddelde verticale beddingconstante	$k_{v,gem}$	= 0,032	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	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 290,46	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 322,73	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 355,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 177,50	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 145,23	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 161,37	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$	= 430.226.779,35	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 2.423.812,84	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 2.800,37	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 173,56	mm ³ /mm ¹

2. Toetsing of vereenvoudigde berekeningsmethode is toegestaan

Voor vloeistofleidingen geldt: $H^3 \cdot D_i^5$ moet kleiner dan 40 m⁸ zijn.

H is de druk in meters vloeistofkolom.

Rekening houdende met $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ volgt:

$$H = \frac{p_d}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{600.000}{1.000 \cdot 9,81} = 61,16 \text{ m} \rightarrow H^3 \cdot D_i^5 = 61,16^3 \cdot 0,29^5 = 473,02 \text{ m}^8$$

3. Berekening van de veiligheidszone

$$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{H^3 \cdot D_i^5}$$

$$R_B = 8 \cdot \sqrt[3]{61,16^3 \cdot 0,29^5} = 17,28 \text{ m}$$

Indien er sprake is van een klein gat: $R_{L1} = 0,5 \cdot R_B = 8,64 \text{ m}$

Indien er sprake is van een groot gat: $R_{L2} = R_B = 17,28 \text{ m}$

Indien er sprake is van niet-trekvraste verbindingen: $R_{L3} = 2 \cdot R_B = 34,55 \text{ m}$

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L1} = 4 \cdot 2,00 + 8,64 = 16,64 \text{ m}$

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L2} = 4 \cdot 2,00 + 17,28 = 25,28 \text{ m}$

Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + R_{L3} = 4 \cdot 2,00 + 34,55 = 42,55 \text{ m}$

4. Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk

$D_g/d_n = 322,73/32,27 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow$ Dikwandige leiding

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

$$\sigma_p = \frac{177,50^2 + 145,23^2}{177,50^2 - 145,23^2} \cdot 0,6 = 3,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_p(\text{bi}) = \frac{2 \cdot R - 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R - D_e} \cdot \sigma_p$$

$$\sigma_p(\text{bi}) = \frac{2 \cdot 532,5 - 0,5 \cdot 355}{2 \cdot 532,5 - 355} \cdot 3,03 = 3,79 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_p(\text{bu}) = \frac{2 \cdot R + 0,5 \cdot D_e}{2 \cdot R + D_e} \cdot \sigma_p$$

$$\sigma_p(\text{bu}) = \frac{2 \cdot 532,5 + 0,5 \cdot 355}{2 \cdot 532,5 + 355} \cdot 3,03 = 2,65 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p(\text{bi}) = 3,79 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 3,79 = 1,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Toelaatbare spanning} = \bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = \mathbf{6,00 \text{ N/mm}^2}$$

5. Berekening reroundingfactor f_{rr}

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

$$f_{rr} = 1 / \left(1 + \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 161,365^3 \cdot 0,102}{975 \cdot 2.800,37} \right) = 0,84$$

6. Berekening van de neutrale grondbelasting Q_n

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

$$q_n = 1,1 \cdot 18 \cdot 3,5 + 1,1 \cdot 20 \cdot 0,23 - 10 \cdot 0,23 = 72,06 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_n = q_n \cdot D_o$$

$$Q_n = 72,06 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 25,58 \text{ N/mm}^1$$

7. Berekening van de passieve grondbelasting Q_p

$$q_p = q_n \cdot \left(1 + f_m \cdot \frac{H}{D_o} \right)$$

$$q_p = 72,06 \cdot \left(1 + 0,3 \cdot \frac{3,73}{0,355} \right) = 299,20 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p \cdot D_o$$

$$Q_p = 299,20 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 106,22 \text{ N/mm}^1$$

8. Berekening van de reële grondbelasting Q_k

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{D_o}{E_1^{0,5} \cdot \sqrt{H/D_o}}$$

$$z_{\max} = 0,2 \cdot \frac{0,355}{10^{0,5} \cdot \sqrt{3,73/0,355}} = 0,0069 \text{ m}$$

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

$$q_k = 72,06 + \frac{\frac{0,02 \cdot 0,355}{0,0069} \cdot (299,20 - 72,06)}{1 + \frac{299,20 - 72,06}{0,0069 \cdot 0,0120 \cdot 10^6}} = 134,43 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = q_k \cdot D_o$$

$$Q_k = 134,43 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 47,72 \text{ N/mm}^1$$

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

Niet rekenen met ontlastende invloed

$$q_v = 5,76 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_v = q_v \cdot D_o$$

$$Q_v = 5,76 \cdot 10^{-3} \cdot 355 = 2,05 \text{ N/mm}^1$$

10. Berekening van de stijfheidsverhouding grond/leiding λ

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{355 \cdot 0,032}{4 \cdot 975 \cdot 430.226.779,35}} = 0,0016 \text{ mm}^{-1}$$

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

Zettingslengte $L = 12.957 \text{ mm}$

$$\lambda \cdot L = 0,0016 \cdot 12.957 = 20,90$$

$i = 0,900$ (= 90,0 % inklemming)

$B_z = 0,000360$ (volgens NEN 3651 - 8.5.2.4 tabel 5)

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

$$Q_z = 0,000360 \cdot 5 \cdot 355 \cdot 0,032 = 0,020 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,020 \cdot 0,0016 \cdot 12.957 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0016 \cdot 12.957}{6}\right) = 1,72 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_z = B_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot D_o \cdot k_{v,\text{gem}}$$

$$Q_z = 0,000360 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot 355 \cdot 0,032 = 0,020 \text{ N/mm}^1$$

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

$$Q_d = 0,020 \cdot 0,0016 \cdot 12.957 \cdot \left(0,900 + \frac{0,900 \cdot 0,0016 \cdot 12.957}{6}\right) = 1,72 \text{ N/mm}^1$$

13. Berekening evenwichtsdraagvermogen en controle met bovenbelastingen*Berekening evenwichtsdraagvermogen*

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\varphi)} \cdot \tan^2(45^\circ + \varphi/2) = 24,58$$

$$N_y = 1,5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi) = 22,54$$

$$B = D_o = 0,36 \text{ m}$$

$$B/L = 0,1$$

$$Z = h + D_o / 2 = 3,73 + 0,36 / 2 = 3,91 \text{ m}$$

$$S_y = 1 - 0,4 \cdot B/L = 0,96$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi) \cdot (1 - \sin(\varphi))^2 \cdot \tan^{-1}(Z/B) = 1,40$$

$$\gamma'_{gem} = (q_n + (\gamma \cdot \gamma_n - \gamma_w) \cdot D_o / 2) / Z = 18,99 \text{ kN/m}^3$$

$$P_{we} = 0,95 \cdot (0,5 \cdot \gamma'_{gem} \cdot D_o \cdot N_y \cdot S_y \cdot d_y + S_q \cdot N_q \cdot d_q \cdot (q_n + c' \cdot \cot(\varphi)) - c' \cdot \cot(\varphi))$$

$$P_{we} = 2.558,73 \text{ kN/m}^2 = 2,56 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{weDo} = P_{we} \cdot D_o = 2,56 \cdot 355,00 = 908,35 \text{ N/mm}^1$$

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>
$Q_k = 47,72 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing	$Q_n = 25,58 \text{ N/mm}^1$	Geen aanpassing
$Q_v = 2,05 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig	$Q_v = 2,05 \text{ N/mm}^1$	van Q_d nodig
$Q_d = 1,72 \text{ N/mm}^1 +$		$Q_d = 1,72 \text{ N/mm}^1 +$	
$\Sigma = 51,49 \text{ N/mm}^1$		$\Sigma = 29,35 \text{ N/mm}^1$	

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*

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

$$M_q = 0,178 \cdot (47,72 + 2,05) \cdot 161,37$$

$$M_q = 1.429,56 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,72 \cdot 161,37$$

$$M_{qd} = 33,91 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,84 \cdot (1.429,56 + 33,91) / 173,56 = 7,10 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$M_q = 0,178 \cdot (25,58 + 2,05) \cdot 161,37$$

$$M_q = 793,54 \text{ Nmm/mm}^1$$

Moment t.g.v. Q_d

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

$$M_{qd} = 0,122 \cdot 1,72 \cdot 161,37$$

$$M_{qd} = 33,91 \text{ Nmm/mm}^1$$

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

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

$$\sigma_q = 0,84 \cdot (793,54 + 33,91) / 173,56 = 4,01 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot 5 \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,032}{32,27}} = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$$

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

$$\sigma_{bx} = C_z \cdot (f_v + 1,5 \cdot f_z) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_{v,gem}}{d_n}}$$

$$\sigma_{bx} = 0,0192 \cdot (5 + 1,5 \cdot 0) \cdot \sqrt{\frac{975 \cdot 0,032}{32,27}} = \mathbf{0,09 \text{ N/mm}^2}$$

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

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

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

19. Berekening van de spanningsverhogingsfactoren van de bocht

Berekening van de factoren i_x , i_{xp} , i_y en i_{yp} van de bocht:

$$r = \left(\frac{D_e}{2} + \frac{D_e - 2 \cdot t}{2} \right) / 2 = 161,37 \text{ mm}$$

$$h = \frac{t \cdot R}{r^2} = \frac{32,27 \cdot 532,5}{161,365^2} = 0,66$$

$$k = \frac{1,65}{h} = \frac{1,65}{0,66} = 2,50$$

$$i_x = \frac{0,9}{h^{(2/3)}} = \frac{0,9}{0,66^{(2/3)}} = 1,19$$

$$c_2 = 1 + 3,25 \cdot (p_d/E) \cdot (r/t)^{(5/2)} \cdot (R/r)^{(2/3)}$$

$$c_2 = 1 + 3,25 \cdot (0,6/975) \cdot (161,37/32,27)^{(5/2)} \cdot (532,50/161,365)^{(2/3)} = 1,25$$

$$i_{xp} = \frac{i_x}{c_2} = \frac{1,19}{1,25} = 0,95$$

$$i_y = 2 \cdot i_x = 2 \cdot 1,19 = 2,37$$

$$i_{yp} = 2 \cdot i_{xp} = 2 \cdot 0,95 = 1,90$$

$$i_{xp} < 1 \rightarrow i_{xp} = 1,00$$

20. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{2.800,37}{322,73^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,23 \text{ kN/m}^2}$$

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: $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 2.800,37}{322,73^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 2.800,37}{322,73^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,77** m grondwater boven de leiding

22. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

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

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (25,58 + 2,05) - 0,083 \cdot (1 - \sin(32,5^\circ)) \cdot (25,58 + 2,05) + 0,048 \cdot 1,72) \cdot 161,37^3}{350 \cdot 2.800,37} = 6,35 \text{ mm} (= 1,97\%)$$

Toelaatbare deflectie = 8% · importantiefactor S · $D_g = 0,08 \cdot 0,75 \cdot 322,73 = 19,36$ mm

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (7,10 + 1,90 \cdot 0,09) = 4,73 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 1,52 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,09 + 1,56 = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = 6,00 \text{ N/mm}^2$

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

Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

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

$$\sigma_{y2} = 0,65 \cdot (4,01 + 1,90 \cdot 0,09) = 2,72 \text{ N/mm}^2$$

Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

$$\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_\sigma \cdot i_{xp} \cdot \sigma_{bx} + \sigma_{ax}$$

$$\sigma_x = 1,52 + 0,65 \cdot 1,00 \cdot 0,09 + 1,56 = 3,14 \text{ N/mm}^2$$

Toelaatbare spanning = $\bar{\sigma}_t \cdot S = 8,00 \cdot 0,75 = 6,00 \text{ N/mm}^2$