

PALLAS

Koelwatersysteem PALLAS, aan- en afvoerleidingen

16-2-2022

Contactpersoon

Lead Engineer

T
E

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 56825
1040 AV Amsterdam
Nederland

Inhoudsopgave

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten en randvoorwaarden	6
2.1	Leidinggegevens	6
2.1.1	HDD 1, aanvoerleidingen (kruising polder Sint Maartenszee)	6
2.1.2	HDD 2, afvoerleiding (kruising duinen)	6
2.2	Vooronderzoek	6
2.3	Grondmechanische gegevens	7
2.4	Grondwaterstanden	8
3	Ontwerp van de kruisingen	9
3.1	Tracé en diepteliggingen kruisingen	9
3.1.1	Tracé en diepteligging HDD 1, polder Sint Maartenszee	9
3.1.2	Tracé en diepteligging HDD 2, kruising duinen	9
3.2	In- en uittredepunt	10
3.3	Kabels en leidingen	10
4	Leidingberekening	11
4.1	Algemeen	11
4.2	Sterkteberekening HDD 1	11
4.2.1	Samenvatting berekening	11
4.3	Sterkteberekening HDD	13
4.3.1	Samenvatting berekening	13
5	Grondmechanisch en hydrologisch advies	14
5.1	Boorspoeldrukken	14
5.2	Kwelsituatie	14

5.3	HDD1 kruising Polder Sint Maartenszee	14
5.3.1	Kwel van polder naar polder (van de duinen naar de polder)	14
5.3.2	Kwel uit het 1 ^e watervoerende pakket	15
5.4	HDD 2 kruising met de duinen	15
5.4.1	Kwel van de duinen naar de zee (van de duinen naar de zee)	15
5.4.2	Kwel uit het 1 ^e watervoerende pakket	15
6	Uitvoeringsaspecten	16
6.1	Boren bij verhoogd zoutgehalte in het (grond)water	16
6.2	Controle en registratie tijdens de uitvoering	16
6.3	Keuring en inspectie	16
6.4	Uitvoeringseisen	16
7	Conclusie en advies	17
7.1	Conclusie	17
7.2	Advies	17
7.2.1	Leidingmateriaal	17
7.2.2	Sleufaanvulling	17
7.2.3	Langsloopheid	17

1 Inleiding

Voor de koelwatervoorziening van de PALLASreactor worden twee aanvoerleidingen en één afvoerleiding aangelegd. Het tracé van de aanvoerleidingen loopt vanaf het Noordhollandsch Kanaal richting het terrein van PALLAS. Vervolgens zal er een afvoerleiding aangebracht worden vanaf het terrein van PALLAS richting de Noordzee. Het grootste gedeelte van deze tracés worden uitgevoerd door middel van horizontaal gestuurde boringen (HDD's). In deze rapportage worden de HDD's omschreven

Ten behoeve van vergunningsaanvraag van de maatgevende gestuurde boring een berekening volgens NEN 3650/3651 gemaakt met het programma D-geo pipelie van Deltares te Delft Hellevoetsluis. Dit rapport bevat de uitgangspunten, grond mechanische gegevens en berekeningsresultaten van 2 HDD's. In Figuur 1 zijn de locaties weergegeven. De kruising van de polder in Sint Maartenszee (nr. 1), en de kruising van de duinen (nr. 2).



Figuur 1 locaties horizontaal gestuurde boringen

Principe langprofielen en situering van de HDD's zijn als bijlage 1 bij dit rapport gevoegd.

De volgende voorschriften en normen zijn voor het ontwerp en de berekeningen toegepast:

- NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en NPR 3659:1996/A1:2003 (leidingen).
- NEN-EN 1997-1 (Eurocode 7, geotechniek).
- NEN-EN 1991-2 (Eurocode 1, belastingen op constructies).
- Richtlijnen boortechneken van Rijkswaterstaat 2019.
- Spoor kruising derden, RLN00427-2. (Sleufloze techniek), 31-3-2021.
- Standaard RAW 2020 bepalingen, van toepassing voor het grondwerk, het aanvullen van de sleuven en overig civieltechnisch werk.

2 Uitgangspunten en randvoorwaarden

2.1 Leidinggegevens

2.1.1 HDD 1, aanvoerleidingen (kruising polder Sint Maartenszee)

De leidingen hebben de functie om oppervlakte water vanaf het Inlaatgebouw nabij het NoordHollandsch Kanaal richting de PALLAS site te transporteren. De leidingen hebben de volgende eigenschappen.

Aanvoerleidingen	Gegevens leiding
Materiaal	PE 100 SDR 11 / SDR 9
Diameter (2 leidingen)	Ø900 mm (inw. 736,4 / 700 mm)
Inwendige druk	2 BAR (werkdruk), 4 BAR (testdruk)
Medium	Water
Temperatuur	23 °C
Elasticiteitsmodulus (conform NEN 3650-1)	
- Korte duur	975 N/mm ²
- Lange duur	350 N/mm ²
Toelaatbare spanningen:	
- tijdens de trekoperatie	10 N/mm ²
- tijdens de gebruiksfase	8 N/mm ²

2.1.2 HDD 2, afvoerleiding (kruising duinen)

De leidingen hebben de functie om het aangevoerde leiding van af de site naar het oppervlakte water (de Noordzee) te transporteren. De leiding heeft de volgende eigenschappen.

Aanvoerleidingen	Gegevens leiding
Materiaal	PE 100 SDR 11
Diameter (2 leidingen)	Ø1000 mm (inw. 818,2 mm)
Inwendige druk	2 BAR (werkdruk), 4 BAR (testdruk)
Medium	Water
Temperatuur	40 °C
Elasticiteitsmodulus (conform DIN DVS 2205-1)	
- Korte duur	396 N/mm ²
- Lange duur	184 N/mm ²
Toelaatbare spanningen:	
- tijdens de trekoperatie	7,11 N/mm ²
- tijdens de gebruiksfase	5,69 N/mm ²

2.2 Vooronderzoek

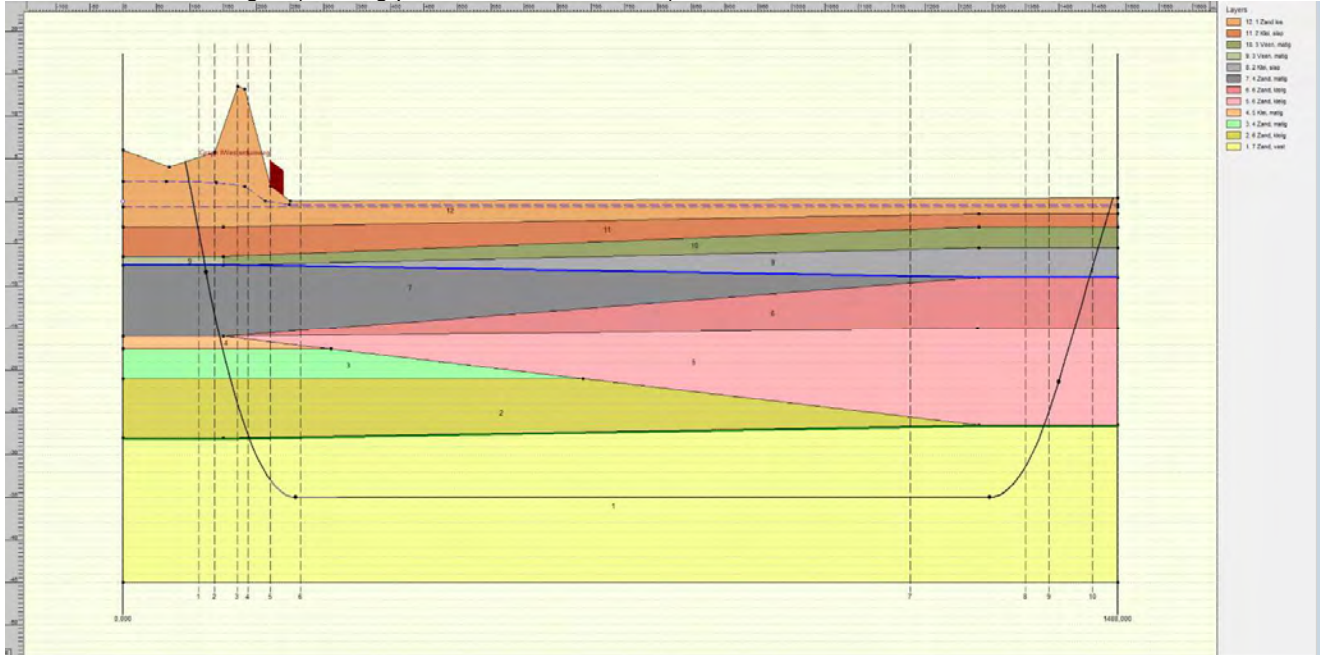
In het vooronderzoek zijn gegevens verzameld over de te kruisen waterstaatswerken, wegen, kabels en leidingen en overige obstakels. Het lengteprofiel is samengesteld uit de AHN (Algemene Hoogtekaart Nederland).

2.3 Grondmechanische gegevens

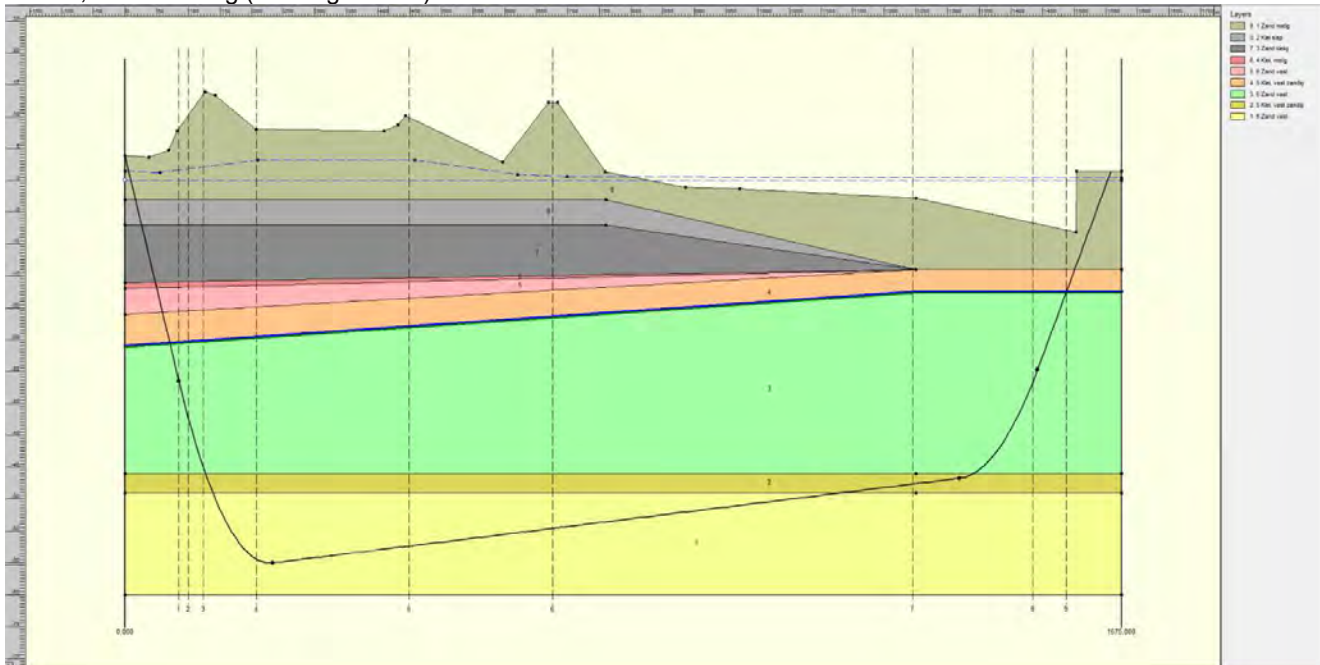
De grondmechanische parameters, ter plaatse van de kruisingen, zijn herleid uit geotechnische onderzoek van Geonoius. De sondeergrafieken zijn opgenomen in bijlage 2, de locaties van de sonderingen op de tekeningen in bijlage 1. Naast de sonderingen die uitgevoerd zijn in het voortraject is ook gebruikt gemaakt van het Dinoloket.

Onderstaande figuren is de bodempopbouw zoals in de D-geo berekeningen is ingevoerd, weergegeven:

HDD 1, Aanvoerleidingen (kruising polder Sint Maartenszee)



HDD 2, Afvoerleiding (kruising duinen)



Opmerkingen:

Uit de sonderingen en de aangeleverde boringen volgt dat er ter plaatse van HDD 1, meerdere afsluitende lagen aanwezig zijn. De bovenste afsluitende laag is een afsluitende laag tussen het brakke “diepe” grondwater en de het zoete grondwater. Deze laag ligt tussen NAP -1,80 m. en NAP-8,25 m. Tijdens de uitvoerings- en de bedrijfsfase van de leiding dienen maatregelen te worden genomen om langsloopheid (kwel) en vermenging van het brakke grondwater met het zoete grondwater te voorkomen. De aannemer dient de HDD-leiding, ter plaatse van deze afsluitende laag (minimaal over 10 meter), af te dichten met een plastische blijvende en afsluitende boorvloei stof (bv. Drill Grout of gelijkwaardig). In overleg met Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier dient te worden gekeken of deze maatregel afdoende is om kwel en vermenging van het brakke met het zoete grondwater te voorkomen.

Omdat in het definitief ontwerp er niet voldoende sonderingen zijn geplaatst, moeten voorafgaand aan de uitvoering, ter controle, sonderingen worden aangebracht volgens de vigerende normen. De resultaten dienen te worden verwerkt in de boorplannen van de aannemer en ter goedkeuring aan de vergunningverlenende partijen te worden voorgelegd.

2.4 Grondwaterstanden

Uit bureau onderzoek zijn de volgende polderpeilen en stijghoogten geïventariseerd. Voor deze inventarisatie is gebruik gemaakt van veldonderzoek en het DINOloket,

De verschillende relevante peilen (nabij de in- en uittredepunten) zijn:

Kruising	(Polder)peilen		Stijghoogte	
	Intredepunt	Uittredepunt	Intredepunt	Uittredepunt
HDD 1	NAP +2,35 m (maatgevend)	NAP -0,41 m	NAP - 0,65 m	NAP -0,65 m
HDD 2	NAP +3,25 m (maatgevend)	NAP 0,00 m	NAP 0,00 m	NAP 0,00 m

Uit het veldonderzoek en het dinoloket blijkt dat er brak tot zout grondwater aanwezig is, tijdens de uitvoering (boorplan van de booraannemer) moeten maatregelen worden genomen om de stabiliteit van de boorspoeling te waarborgen en eventueel kwel langs de leiding te voorkomen.

Omdat in het definitief ontwerp er niet voldoende peilbuizen zijn geplaatst en (grond)waterstanden zijn gebruikt die verkregen zijn uit het bureauonderzoek, moeten voorafgaand aan de uitvoering, ter controle, peilbuizen worden aangebracht. Hiermee dienen de grondwaterstanden, stijghoogten en chloride gehalte in kaart te worden gebracht. De resultaten dienen te worden verwerkt in de boorplannen van de aannemer en ter goedkeuring aan de vergunningverlenende partijen te worden voorgelegd.

3 Ontwerp van de kruisingen

Het waterinlaatpunt bevindt zich aan in het talud van het Noordhollandsch Kanaal. Via een instroomput en twee leidingen (aanbracht met een persing onder de N9) gaat het oppervlakte naar een inlaatgebouw, vandaar uit gaan er twee leidingen richting het oosten. De eerste 225 meter van deze inlaatleidingen wordt in open ontgraving aangebracht, dit om uitlegruimte voor de HDD's te kunnen creëren. Deze instroomput, de persingen en het inlaatgebouw valt buiten deze vergunningsaanvraag.

Om de overlast op de omgeving zoveel mogelijk te beperken is er voor gekozen de rest van het tracé aan te brengen door middel van een horizontaal gestuurde boring. Hieronder is per kruising (van west naar oost) het ontwerp toegelicht.

3.1 Tracé en diepteliggingen kruisingen

3.1.1 Tracé en diepteligging HDD 1, polder Sint Maartenszee

Kruising HDD 1 betreft een kruising van twee leidingen die nagenoeg parallel aan elkaar liggen. De horizontaal gestuurde boringen kruisen de polder Sint Maartenszee, bijlage 1, tekeningen: PAL_CWSR-ARC-TER-XX-DRW-CE-TD-0002). Voor de berekening is ervoor gekozen om het intredepunt aan de westzijde te situeren en het uitredepunt aan de oostzijde. Hiervoor is gekozen in verband met de ruimte voor uitlegtracés aan de oostkant. De intredepunt bevinden zich net aan de oostkant van buitenbeschermingszone.

Er is een intredehoek van 22,5° en uitredehoek van 15° aangehouden. De minimale diepte van de as van het boortracé is circa NAP 35,0 meter, wat overeenkomt met een diepte van minimaal 30 m onder de passerende waterbodems en circa 39,9 m onder de duinen. Nabij het uitredepunt is er (volgens sondering DKM04) een zachte laag tussen NAP -2,0 m en NAP -9,0 m. De NEN 3650 schrijft voor dat, indien minder dan twee keer dikte laagdikte van de "zachte" laag (veen/klei) tussen leidingen aanwezig is er niet gerekend mag worden met horizontale steundruk. Er is daarom gekozen van een tussen afstand van 14,0 meter.

Langs het tracé zijn diverse belendingen gesitueerd. Om te voldoen aan een minimale (tussen)afstands eis van van 5,0 m horizontale vlak) liggen de leidingen niet geheel parallel. De tussen afstanden van de leiding variëren tussen 5,50 meter (intredepunt) hart op hart tot ca. 25,5 meter. De diepteligging van de leidingen blijft wel gelijk. Om het gekozen tracé uit te kunnen voeren zijn er diverse horizontale bochten tussen R= 1000 m en R=1500 m toegepast. De totale lengte van de leiding is circa 1395 meter (over het maaiveld gemeten)

Bij het intredepunt wordt de leiding door een stalen casing Ø1220 millimeter getrokken. Deze casing wordt tot op de diepte van de massieve zandlaag in de grond aangebracht om de grondbelasting van de duinen de HDPE leiding in alle fases te ontlasten. De casing dient door de aannemer te worden berekend en ter goedkeuring aan de vergunningverlening te worden aangeboden.

Om te controleren of het leidingmateriaal geschikt is voor de krachten en belastingen tijdens en na de installatie van de leiding, wordt een spanningsanalyse gemaakt met behulp van D-Geo Pipeline.

3.1.2 Tracé en diepteligging HDD 2, kruising duinen

Kruising HDD 2 is een kruising met duinen, bijlage 1, PAL_CWSR-ARC-TER-XX-DRW-CE-TD-0004). Voor de berekening is ervoor gekozen om het intredepunt aan de westzijde te situeren aan de westkant van de buiten beschermingszone en het uitredepunt aan de westzijde. Hiervoor is gekozen in verband met de ruimte voor een uitlegtracé aan de westkant (in de Noordzee)

Er is gekozen voor een in- en uitredehoek van 22,5°. De leiding ligt in verhang met een as verlopend van een minimale diepte NAP 46,2 meter en tot een maximale diepte NAP 60,00 m, wat overeenkomt met een diepte van minimaal 40 m onder het maaiveld en 59 meter onder de duinen. Hiermee wordt voldaan aan de dekkingseis van NEN 3651:2020 (minimaal 10 meter onder de kruin en minimaal 3,0 meter onder de teen van de duin). Om het gekozen tracé uit te kunnen voeren is er een horizontale bocht R= 1000 m toegepast

Het uittredepunt van de HDD is zo gesitueerd dat deze uitkomt op de locatie waar de bodemhoogte in de Noordzee ligt op N.A.P. -9,00 meter ligt. Dit is een aanvullende eis van Rijswaterstaat. De totale lengte van de leiding komt vanwege deze eis op circa 1557 meter (over het maaiveld gemeten).

Bij het intredepunt wordt de leiding door een stalen casing Ø1420 millimeter (56") getrokken. Deze casing wordt tot op de diepte van de massieve zandlaag in de grond aangebracht om de grondbelasting van de duinen op de HDPE leiding in alle fases te ontlasten. De casing dient door de aannemer te worden berekend en ter goedkeuring aan de vergunningverlening te worden aangeboden.

Om te controleren of het leidingmateriaal geschikt is voor de krachten en belastingen tijdens en na de installatie van de leiding, wordt een spanningsanalyse gemaakt met behulp van D-Geo Pipeline.

3.2 In- en uittredepunt

De in- en uittredepunten van de gestuurde boringen zijn zodanig gekozen dat kan worden voldaan aan de diepte eis t.a.v. de te kruisen waterstaatswerken en leidingen. De boringen worden vanaf het maaiveld ingezet, alleen voor de opvang van de boorspoeling worden ter plaatse van het in- en uittredepunt werkputten gegraven met afmetingen van circa 3,0 x 3,0 x 1,5 meter, een en ander door de booraannemer nader te bepalen.

3.3 Kabels en leidingen

De relevante kabels en leidingen zijn op de situatietekening aangegeven. Vlak voor uitvoering dient er een KLIC-melding te worden gedaan en moet er ter plaatse van de in- en uittredepunten een proefsleuf worden gegraven.

4 Leidingberekening

4.1 Algemeen

De sterkteberekeningen van de HDD zijn uitgevoerd met het programma D-geo-pipeline van Deltares. De berekeningsresultaten (inclusief de locatie van de verticalen) zijn in de bijlage 5 en 6 per HDD opgenomen en hieronder kort samengevat. De berekeningsresultaten van de maatgevende veiligheidszones ter plaatse van de waterstaatswerken zijn in bijlage 4 opgenomen en op de tekeningen weergegeven.

De intredepunten zijn zo gesitueerd dat deze buiten de berekende veiligheidszones liggen. Daarnaast liggen de in- en uitredepunten, ook buiten de door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier aangegeven beschermingszones (indien aanwezig).

4.2 Sterkteberekening HDD 1

Voor de sterkteberekeningen HDD's zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

- Stalen casing (blijvend) 48", lengte 31 m, diepte tot NAP -9,35 m, om de boven (grondbelasting) van de duinen te dragen.
- Voor de importantiefactor (voorheen schadefactor S) is volgens artikel 6.5 en bijlage B van NEN 3651:2020 een waarde van 1 aangehouden;
- Intredepunt 22,5° (westkant) en uitredepunt 15°(oostkant);
- In verband met uitvoerbaarheid en beschikbare ruimte is gekozen voor verticale bochtstralen van $R_v = 350$ m en $R_v = 400$ m, horizontale bochten van $R_h = 1000$ en $R_h = 1500$ m.
- Totale lengte boring ca. 1395 m, as HDD op NAP-35,0 m
- Temperatuurverschil 23°C
- Tijdens de in het intrekken en in gebruik name wordt de leidingen volledig gevuld te zijn met water.
- Maatgevende verticale berekent.

4.2.1 Samenvatting berekening

Hier onder zijn de spanningen per in de berekening aangegeven verticalen weergegeven:

- Krusing HDD, Ø900 mm, PE100, SDR11 , wanddikte = 81,81 mm (gerekend met horizontale steundruk).

	Spanningen tijdens de trekoperatie N/mm2	Toelaatbare spanningen trekoperatie N/mm2	Optredende spanningen gebruiksfase N/mm2	Toelaatbare spanningen gebruiksfase N/mm2
1	3,78	10	5,29	8
2	4,95	10	6,37	8
3	4,92	10	8,75	8
4	4,92	10	8,40	8
5	4,92	10	5,17	8
6	4,18	10	3,51	8
7	3,78	10	2,96	8
8	4,77	10	4,75	8
9	4,77	10	6,12	8
10	3,78	10	3,28	8

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient te voldoen aan de gestelde eis ($<8\% \times D_{inw}$). De maximale optredende deflectie is circa 33,4 mm $<$ 72 mm, dus voldoet.

De leidingen dienen te allen tijde voor 100% **gevuld** te worden met water, anders is er kans op implosie van de leiding.

Ondanks het aanbrengen van de casing bij het intredepunt voldoet de PE-leiding niet aan alle eisen. Voor de leiding is een extra berekening gemaakt om vast te stellen de leiding met een hogere sterkteklasse in de verticale 3 en 4 wel voldoen.

- Kruising HDD, Ø900 mm, PE100, SDR9 , wanddikte = 90 mm (gerekend met horizontale steundruk).

	Verticalen trekoperatie N/mm ²	Spanningen tijdens de trekoperatie N/mm ²	Toelaatbare spanningen Optredende spanningen gebruiksfase N/mm ²	Toelaatbare spanningen gebruiksfase N/mm ²
3	4,42	10	6,14	8
4	4,42	10	5,94	8

Uit deze berekening blijkt dat de leiding SDR 9 voldoet aan alle eisen. Om hydraulisch aan alle eisen te kunnen voldoen heeft de leiding een binnendiameter van Ø736 mm nodig. Om hydraulisch te kunnen voldoen aan de eisen is er voor gekozen om de leidingen samen te stellen uit twee SDR klassen. Ter plaatse van de duinen bestaan de leidingen uit klasse SDR 9, (ca. 172,5 meter), na de verticale bocht bestaan de leidingen uit klasse SDR 11 (ca. 1222,5 meter).

4.3 Sterkteberekening HDD

Voor de berekeningen worden aannames gedaan:

- Koolstofstalen behuizing 56", lengte 92 m, diepte tot NAP -31,9 m, om de boven (grond)belasting van de duinen te dragen.
- Factor van belangrijkheid (S) waarde = 1 volgens art. 6.5 en bijlage B van NEN 3651:2020.
- Instappunt boorhoek 22,5° (oostzijde) en uitgangspunt boorhoek 15° (westzijde).
- Verticale buigradius $R_v = 375$ m en $R_v = 500$ m, horizontale buigradius $R_h = 1000$.
- Totale lengte boren ca. 1557 m (horizontale afstand op maaiveldhoogte).
- Asniveau HDD op NAP -60,0 m (geboord met helling 0,7°).
- Temperatuurvariatie 40°C.
- Tijdens de pullback-operatie moet de pijpleiding volledig met water worden gevuld.
- De leiding moet te allen tijde volledig gevuld zijn met water om risico op implosie te voorkomen.

4.3.1 Samenvatting berekening

Hier onder zijn de spanningen per in de berekening aangegeven verticalen weergegeven:

- Krusing HDD, Ø900 mm, PE100, SDR11, wanddikte = 81,81 mm (gerekend met horizontale steundruk).

	Verticalen trekoperatie N/mm ²	Spanningen tijdens de trekoperatie N/mm ²	Toelaatbare spanningen gebruiksfase N/mm ²	Optredende spanningen gebruiksfase N/mm ²	Toelaatbare spanningen gebruiksfase N/mm ²
1	4,7	7,11	5,02	5,69	5,69
2	5,18	7,11	2,96	5,69	5,69
3	5,18	7,11	2,60	5,69	5,69
4	5,18	7,11	2,56	5,69	5,69
5	4,7	7,11	2,24	5,69	5,69
6	4,7	7,11	2,24	5,69	5,69
7	4,7	7,11	2,43	5,69	5,69
8	5,06	7,11	2,48	5,69	5,69
9	4,7	7,11	3,16	5,69	5,69

De maximale deflectie in de gebruiksfase dient te voldoen aan de gestelde eis ($<8\% \times D_{inw}$). De maximale optredende deflectie is circa 50,3 mm < 72 mm, dus voldoet.

De leidingen dient ten alle tijden voor 100% **gevoeld** te worden met water, anders is er kans op implosie van de leiding.

Door het aanbrengen van een stalen casing over de eerste 92 meter (onder de duinen), kan de PE-leiding aan alle eisen voldoen

5 Grondmechanisch en hydrologisch advies

5.1 Boorspoeldrukken

Om bij het uitvoeren van de gestuurde boringen uitbraak van de boorvloeistof te voorkomen, mag de boorspoeldruk niet boven circa 90% van de maximale druk c.q. limietdruk uitkomen. In de sterkte berekeningen (zie bijlage 5 en 6), is voor een aantal punten in het boortracé de maximaal toelaatbare en minimaal benodigde muddruk bepaald tijdens het boorproces. Uit de grafische weergave van de berekening blijkt dat er risico op muduitbraak is nabij in- en uittredepunt van de boring. Om het risico op muduitbraak te beperken, dienen de muddrukken en de voortgangssnelheid hier te worden aangepast.

Volgens de grondwaterkaarten van TNO/NITG is er tevens sprake van brak tot zout grondwater, zodat tijdens de uitvoering (boorplan van de booraannemer) maatregelen moeten worden genomen om de stabiliteit van de boorspoeling te waarborgen en eventueel kwel langs de leiding te voorkomen.

5.2 Kwelsituatie

Bij een horizontaal gestuurde boring onder een waterkering moet volgens NEN3651 onderzoek worden gedaan naar langsluipheid (kwel) op de (middel)lange termijn.

In hoofdstuk 2.3 zijn de verschillende (grond)waterpeilen geïnventariseerd. Er kunnen verschillende kwelsituaties voorkomen, die per boring hierna zijn beschreven.

5.3 HDD1 kruising Polder Sint Maartenszee

5.3.1 Kwel van polder naar polder (van de duinen naar de polder)

Ten gevolge van een verschil in polderpeil aan weerszijden van de HDD kan kwel langs de leiding ontstaan.

Volgens Bligh-Lane kan de kortste kwelweg als volgt berekend en gecontroleerd worden op interne erosie (piping): $\sum L_v + \sum \alpha \cdot L_h \geq C_l \cdot h$ (absolute toetsing), waarin:

$C_l = 7$ (fijn zand); (maatgevende grondsoort)

$h = \text{hier } -0,410 - (-1,70) = 2,11 \text{ m}$ (peilverschil t.p.v. in- en uittredepunt)

$\sum L_v = 0$ (totaal van de verticale kwelwegen)

$\alpha = \text{weegfactor tussen } 0 \text{ en } 1/3 \text{ voor de weerstand in de boorgang. Voor de berekening houden we hier een minimale weerstand in de boorgang van } \alpha = 0,1 \text{ aan}$

$\sum L_h = \text{lengte horizontale kwelweg} = 1395 \text{ m}$ (lengte boring)

Invulling van bovenstaande gegevens levert:

$0,1 \times 1395 \geq 7 \times 2,35 \rightarrow 139,5 \geq 16,45$ waarmee wordt **voldaan** aan de absolute toets.

Uit bovenstaande blijkt dat wordt voldaan aan de absolute. Uit deze beschouwing blijkt dat er geen kans is op kwel.

5.3.2 Kwel uit het 1^e watervoerende pakket

De boring ligt in het 1^e watervoerend pakket. Het diepste punt van de boring ligt op circa NAP -60,0 m. De te verwachten stijghoogte ter plaatse van de kruising is NAP -0,61 m.

De stijghoogte ligt rond de N.A.P. -0,61 m, deze zijn nagenoeg gelijk aan het polderpeil en, hieruit kan worden geconcludeerd dat er een kleine tot geen kans is op kwel uit het 1^{ste} watervoerende pakket.

De stijghoogte van het 1^e watervoerende pakket is van dienaard dat de kans op vermenging van het brakke met het zoetwater groot is, daarom dient tijdens de uitvoerings- en in de bedrijfsfase van de leiding maatregelen te worden genomen om vermenging van het brakke grondwater met het zoete grondwater te voorkomen. De aannemer dient de HDD-leiding, ter plaatse van deze afsluitende laag (minimaal over 10 meter), af te dichten met een plastische blijvende en afsluitende boorvloeistof (bv. Drill Grout of gelijkwaardig). In overleg met Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier dient te worden gekeken of deze maatregel afdoende is om kwel en vermenging van het brakke met het zoete grondwater te voorkomen.

5.4 HDD 2 kruising met de duinen

5.4.1 Kwel van de duinen naar de zee (van de duinen naar de zee)

Ten gevolge van een verschil in polderpeil aan weerszijden van de HDD kan kwel langs de leiding ontstaan.

Volgens Bligh-Lane kan de kortste kwelweg als volgt berekend en gecontroleerd worden op interne erosie (piping): $\sum L_v + \sum \alpha \cdot L_h \geq C_l \cdot h$ (absolute toetsing), waarin:

$C_l = 7$ (fijn zand); (maatgevende grondsoort)

$h =$ hier $0,00-3,25 = 3,25$ m (peilverschil t.p.v. in- en uitredpunt)

$\sum L_v = 0$ (totaal van de verticale kwelwegen)

$\alpha =$ weegfactor tussen 0 en 1/3 voor de weerstand in de boorgang. Voor de berekening houden we hier een minimale weerstand in de boorgang van $\alpha = 0,1$ aan

$\sum L_h =$ lengte horizontale kwelweg= 1554 m (lengte boring)

Invulling van bovenstaande gegevens levert:

$0,1 \times 1554 \geq 7 \times 3,25 \rightarrow 155,4 \geq 22,75$ waarmee wordt **voldaan** aan de absolute toets.

5.4.2 Kwel uit het 1^e watervoerende pakket

De boring gaat door het 1^e watervoerend pakket. Het diepste punt van de boring ligt op circa NAP -60,0 m. De te verwachten stijghoogte ter plaatse van de kruising is NAP -0,61 m.

De peilen en het maaiveld in de duinen zijn hoger gelegen als de stijghoogte van het 1^{ste} watervoerende pakket. Hier uit kan worden geconcludeerd dat er geen sprake is van kwel uit het 1^{ste} watervoerende pakket.

6 Uitvoeringsaspecten

6.1 Boren bij verhoogd zoutgehalte in het (grond)water

Volgens veldonderzoek en dinoloket is er sprake van brak tot zout grondwater. Voor uitvoering van de boring dient het zoutgehalte van het grond- en oppervlaktewater te worden bepaald. De kwaliteit van het toegepaste (afsluitende) boorvloeistof dient te worden afgestemd op het zoute/brakke grondwater. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de stabiliteit van de boorvloeistof tijdens de uitvoering en op de langere termijn.

6.2 Controle en registratie tijdens de uitvoering

Tijdens de uitvoering wordt steeds per boorstang-lengte de boorkop gecontroleerd en indien nodig bijgestuurd. De toegepaste methode voor controle van richting en diepte wordt door de booraannemer bepaald en dient de goedkeuring van de directie te hebben. Behalve een walk-over systeem kan ook een ander (geavanceerder en duurder) systeem voor controle en registratie worden toegepast zoals een steeringtool of een gyrokompas). In verband met de vereiste nauwkeurigheid, de aard van de te kruisen objecten en de diepte van de boringen heeft een geavanceerd systeem hier de voorkeur.

Voor de maximale afwijkingen zijn we uitgegaan van:

- In het boortracé +0,5 m en -0,5 m horizontaal en verticaal.
- Bij het uittredepunt +1 m en -1 m in de lengterichting van de boring.

De registratie van meetgegevens tijdens de uitvoering dient te geschieden volgens artikel 9.2 (keuring en inspectie) en 10.2 (revisietekening) van NEN 3651:2020. Daarnaast dient door de aannemer een monitoringsplan te worden opgesteld conform eisen van Rijkswaterstaat en ProRail. Na gereedkomen van de boring moeten de revisiegegevens worden verwerkt en aan de vergunningverleners en opdrachtgever worden aangeleverd.

6.3 Keuring en inspectie

Voor het intrekken van de leidingen worden alle lassen van de mantelbuis gekeurd door een door de directie goedgekeurde instantie en volgens de voorschriften beoordeeld. Alle inwendige lasrillen dienen te worden verwijderd.

Zowel vóór het intrekken van de leiding als na het intrekken (en voor ingebruikname) wordt de leiding op sterkte en dichtheid beproefd volgens artikel 9.7 en 9.7.3 van NEN 3651.

6.4 Uitvoeringseisen

Naast de uitvoeringseisen van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier dient de aannemer te voldoen aan uitvoeringseisen van NEN 3650/3651:2020,

Voor de materiaal- en uitvoeringseisen, aanvullingen en -verdichtingen en overige civieltechnische werkzaamheden dient een bestek te worden opgesteld en dient de Standaard RAW bepalingen (Standaard 2020) van toepassing te worden verklaard.

7 Conclusie en advies

7.1 Conclusie

HDD 1: Aanvoerleidingen (kruising polder Sint Maartenszee)

De samengestelde leidingen bestaande uit PE100, SDR11 en SDR9, zowel tijdens de uitvoering- als bedrijfsfase van de leiding.

HDD 1: Afvoerleiding (kruising duinen)

Door het aanbrengen van een stalen casing over de eerste 92 meter (onder de duinen), kan de PE 100, SDR 11 leiding, zowel tijdens de uitvoering- als bedrijfsfase van de leiding, aan alle eisen voldoen

De leidingen dient ten alle tijden voor 100% **gevuld** te worden met water, anders is er kans op implosie van de leiding.

7.2 Advies

7.2.1 Leidingmateriaal

De horizontaal gestuurde boringen moeten minimaal worden uitgevoerd in PE100, PN16 (SDR11), de aansluitende veldstrekkingen in PE100, PN10 (SDR17). De totale leiding voldoet hiermee aan de relatieve sterkte eis.

Ter plaatse van het nieuwe pompgebouw op de PALLAS Site dient over respectievelijk 92 m en 31 m stalen casings te worden aangebracht, dit om de boven (grond)belasting van de duinen op de leidingen op te vangen.

7.2.2 Sleufaanvulling

Omdat de leidingen aansluitend op de gestuurde boring worden aangelegd in een sleuf in het bestaande maaiveld, onder voorbehoud van uitvoeringszettingen, zullen geen noemenswaardige zettingen optreden. Om de spanningen ten gevolge van zettingsverschil ter plaatse van de overgang van de gestuurde boring naar de gelegde leiding zoveel mogelijk te beperken, moet de ondergrond ter plaatse van deze overgang goed verdicht worden, zodat de uitvoeringszettingen en daardoor de spanningsverhogingen minimaal zullen zijn. Het uitkomende materiaal kan worden hergebruikt voor de afdichting van de sleuf, waarbij voldoende aandacht dient te worden besteed aan het laagsgewijs verdichten van de sleufaanvulling. De verdichtingsgraad van de sleuf aanvulling dient hetzelfde de zijn als de omringende grondslag.

7.2.3 Langsloopheid

Uit de kwelwegberekeningen in hoofdstuk 5 blijkt dat er geen kans is op kwel. Wel is er een risico van vermenging brak en zoetwater.

Tijdens de uitvoerings- en de bedrijfsfase van de leiding dienen maatregelen te worden genomen om langsloopheid (kwel) en vermenging van het brakke grondwater met het zoete grondwater te voorkomen. De aannemer dient de HDD-leiding, ter plaatse van deze afsluitende laag (minimaal over 10 meter), af te dichten met een plastische blijvende en afsluitende boorvloeistof (bv. Drill Grout of gelijkwaardig). In overleg met Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier dient te worden gekeken of deze maatregel afdoende is om kwel en vermenging van het brakke met het zoete grondwater te voorkomen. De uitkomsten hiervan moet te worden opgenomen in het werkplan van de aannemer.

Bijlagen

Bijlage 1: Situatie en doorsnede tekeningen van de kruisingen

Bijlage 2: Sonderingen en boringen

Bijlage 3: Grondwater gegevens Dinoloket

Bijlage 4: Verstoringszones

Bijlage 5: Sterkteberekening kruising HDD 1

Bijlage 6: Sterkteberekening kruising HDD 2

Over Arcadis

Arcadis is een toonaangevend wereldwijd ontwerp- en consultancybureau voor de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij maken het verschil voor onze klanten en de maatschappij met doeltreffende, duurzame en digitale oplossingen. Met 27.000 mensen in meer dan 70 landen genereerden we in 2020 een omzet van €3,3 miljard. Wij ondersteunen UN-Habitat met kennis en expertise om leefomstandigheden te verbeteren in gebieden getroffen door de gevolgen van de klimaatverandering.

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 56825
1040 AV Amsterdam
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



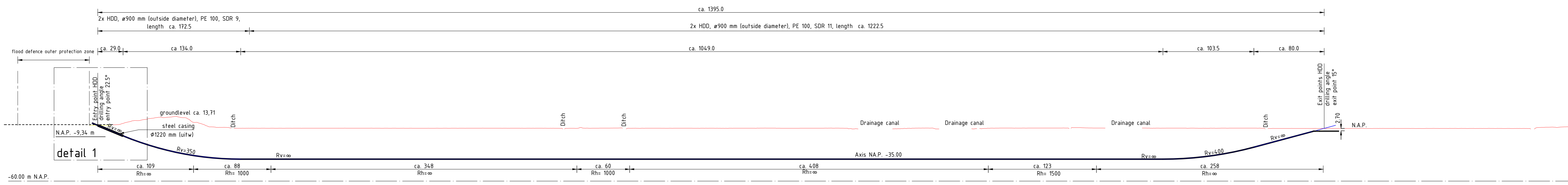
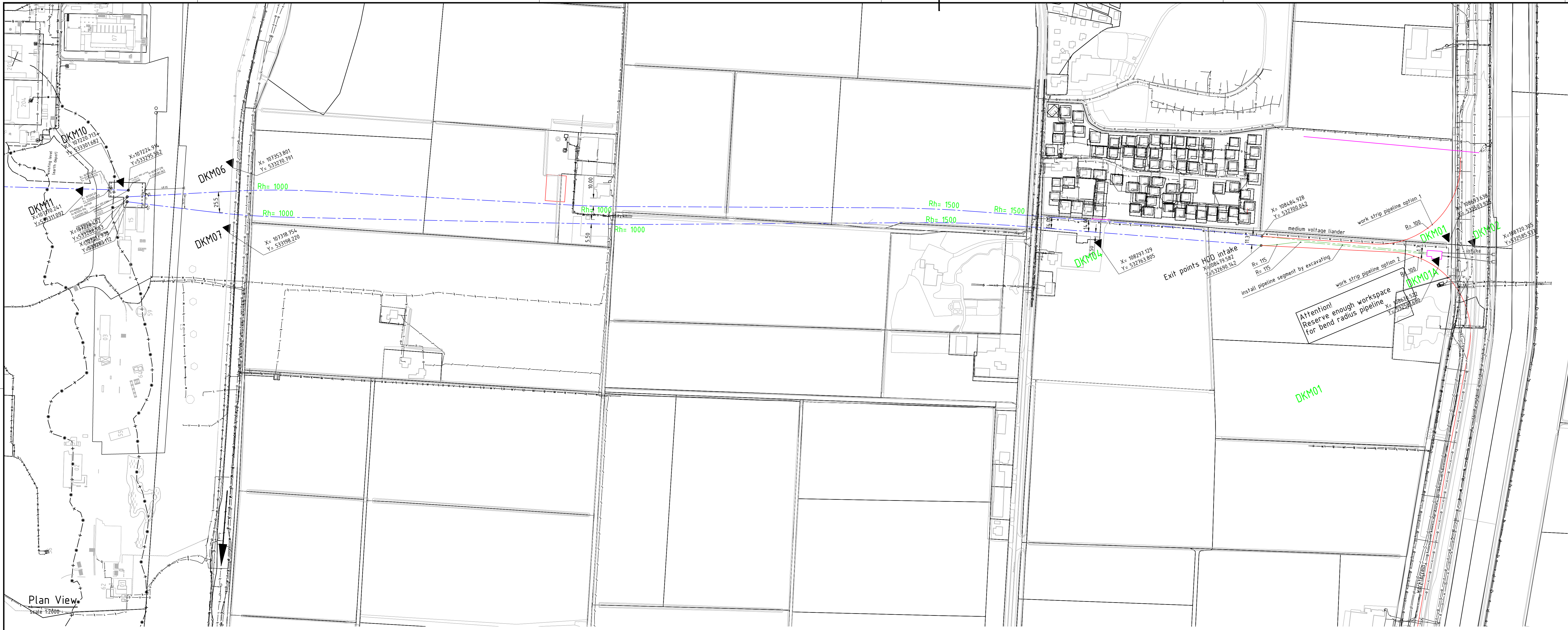
[arcadis-nederland](https://www.arcadis-nederland.nl)



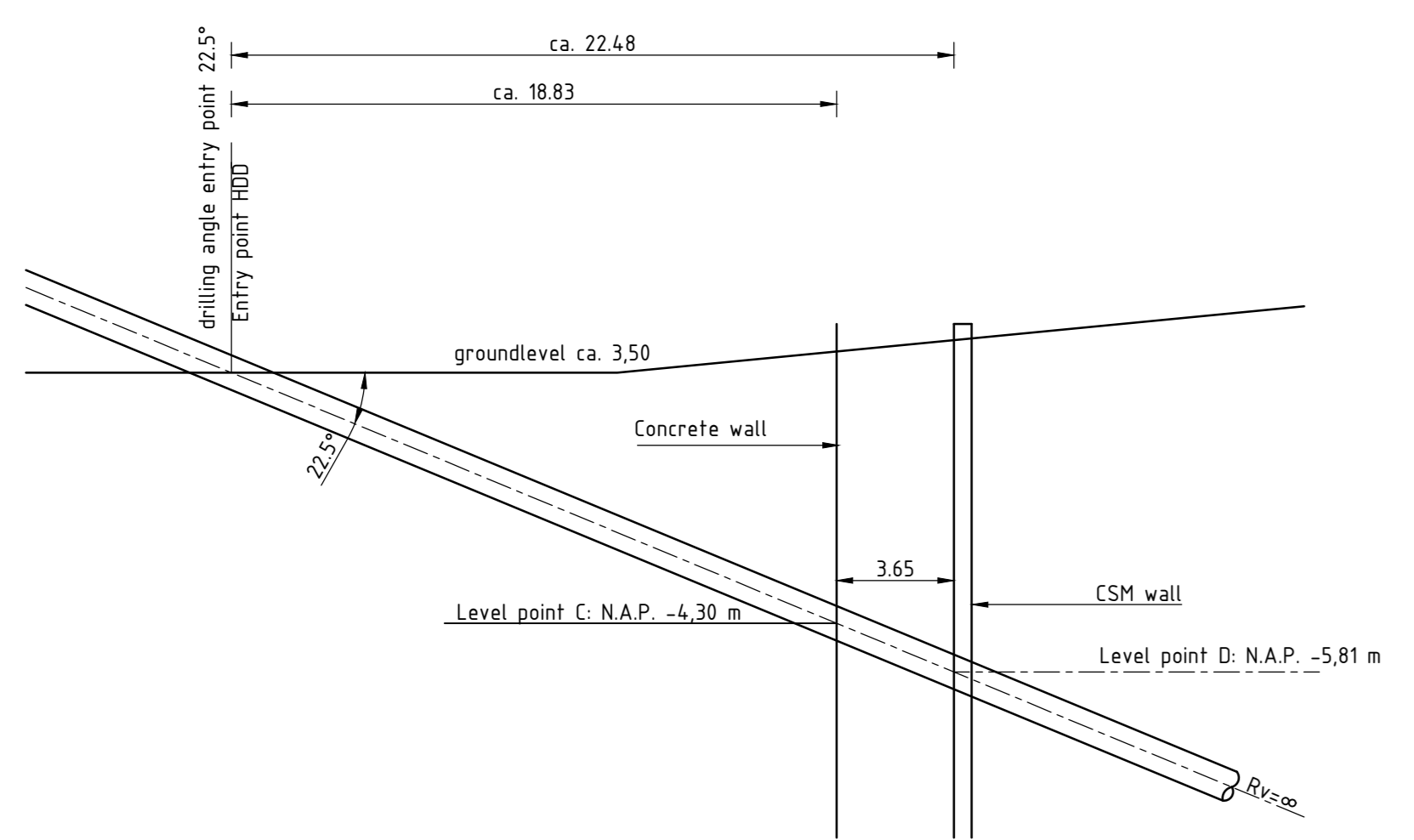
[arcadis.nl](https://www.arcadis.nl)



[ArcadisNetherlands](https://www.ArcadisNetherlands.com)

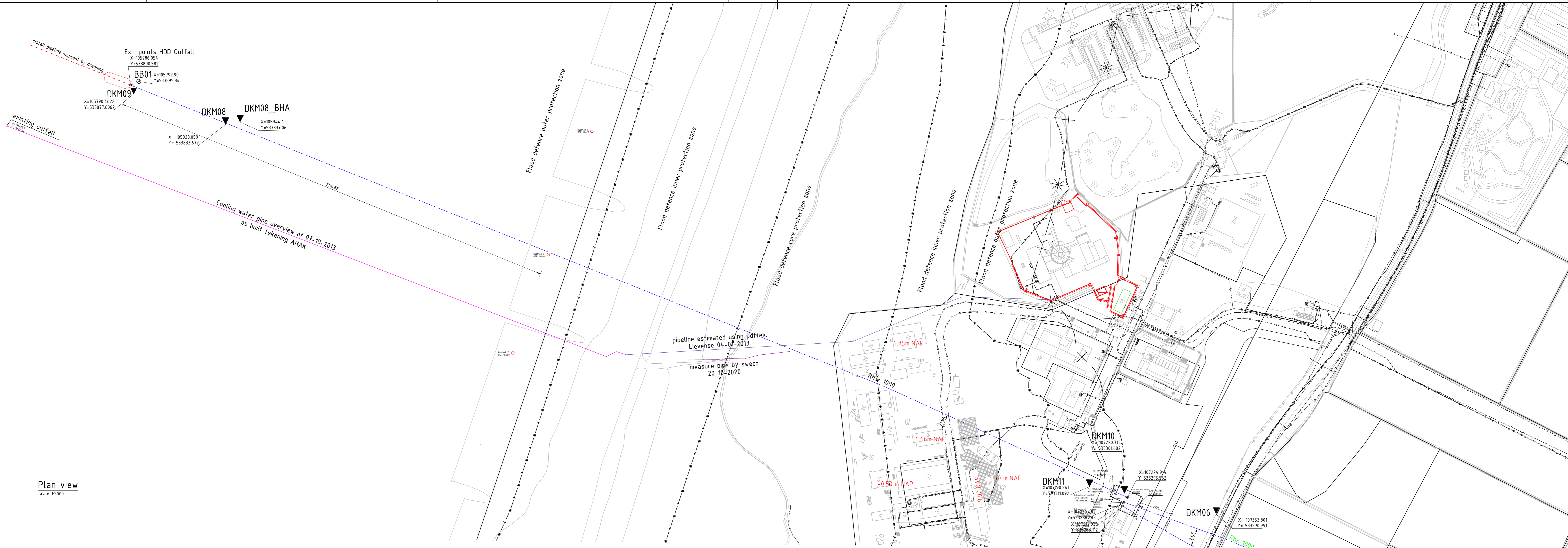


Longitudinal
scale 1:2000

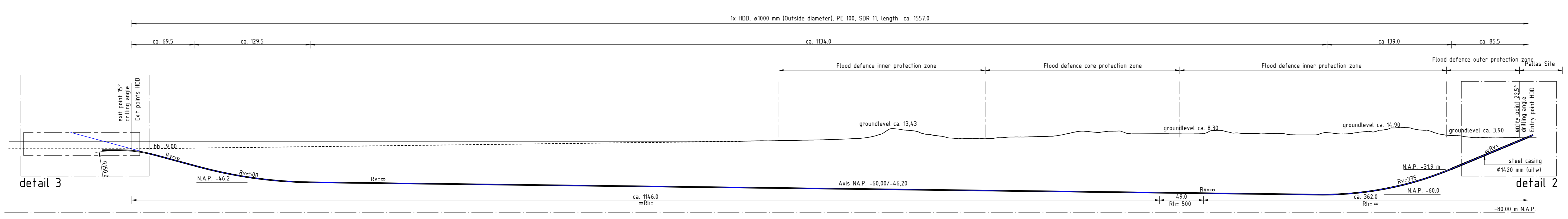


Detail 1
schaal 1:200

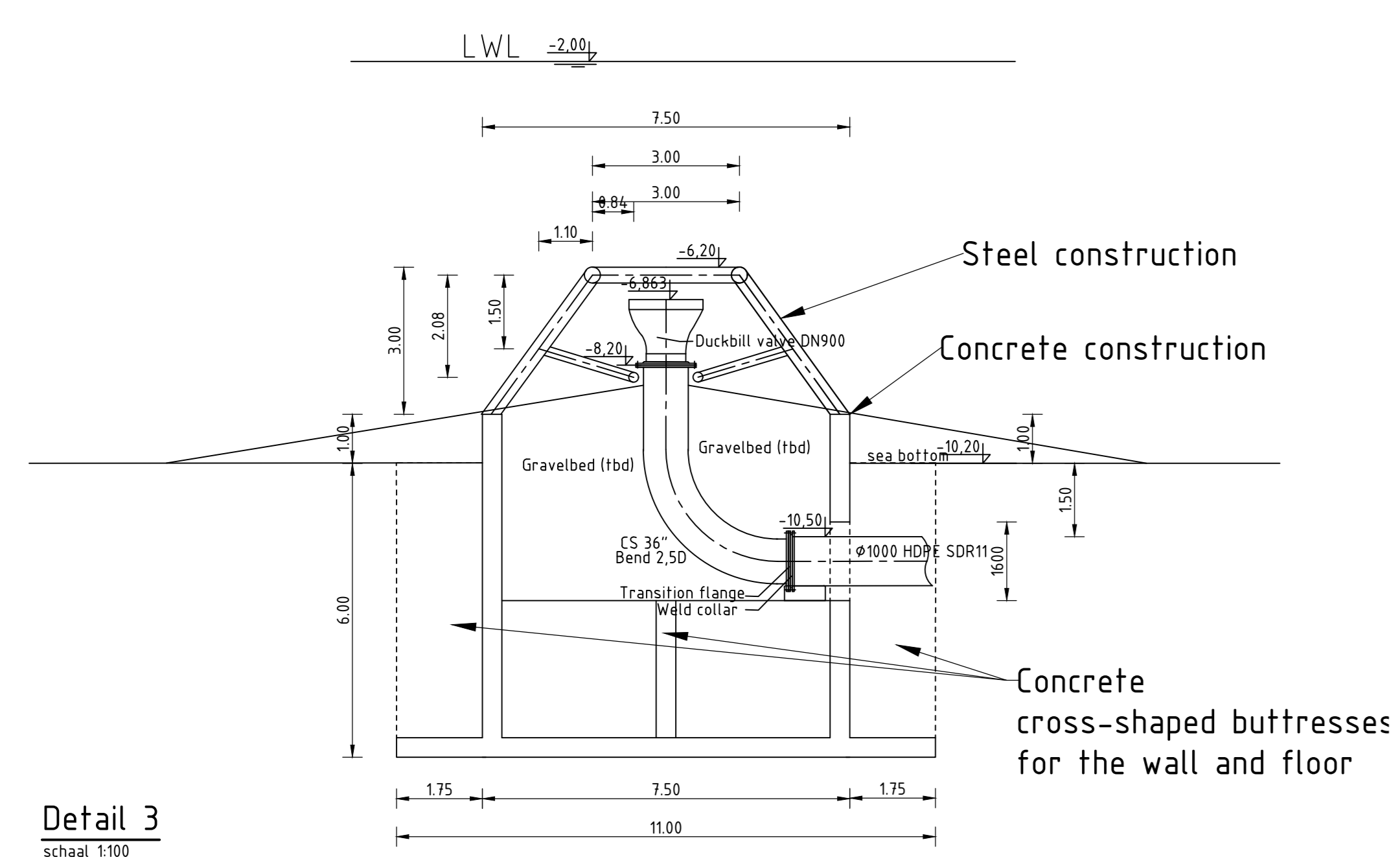
Version 1.0	Description: coordinates of soil research adapted to executed data	Drawn: []	Checked: []	Released: []
Version 0.9	Description: updated on comments	Drawn: []	Checked: []	Released: []
Client: PALLAS Architect				
Engineering company: ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets				
Project: Pallas - werkzaamheden 2020				
Projectnumber: XC05011000642				
Phase: Basic Design				
Subject: Pipe line supply to site, plan view and cross section				
Scale: 2:00 tekening Pageformat: A0 Status: Basic design				
Contractnumber: 20150612-001 CA91 Page number: 1 of 1				
Drawingnumber: PAL_CWSR-ARC-TER-XX-DRW-CE-TD-0002 Version: 1.0				



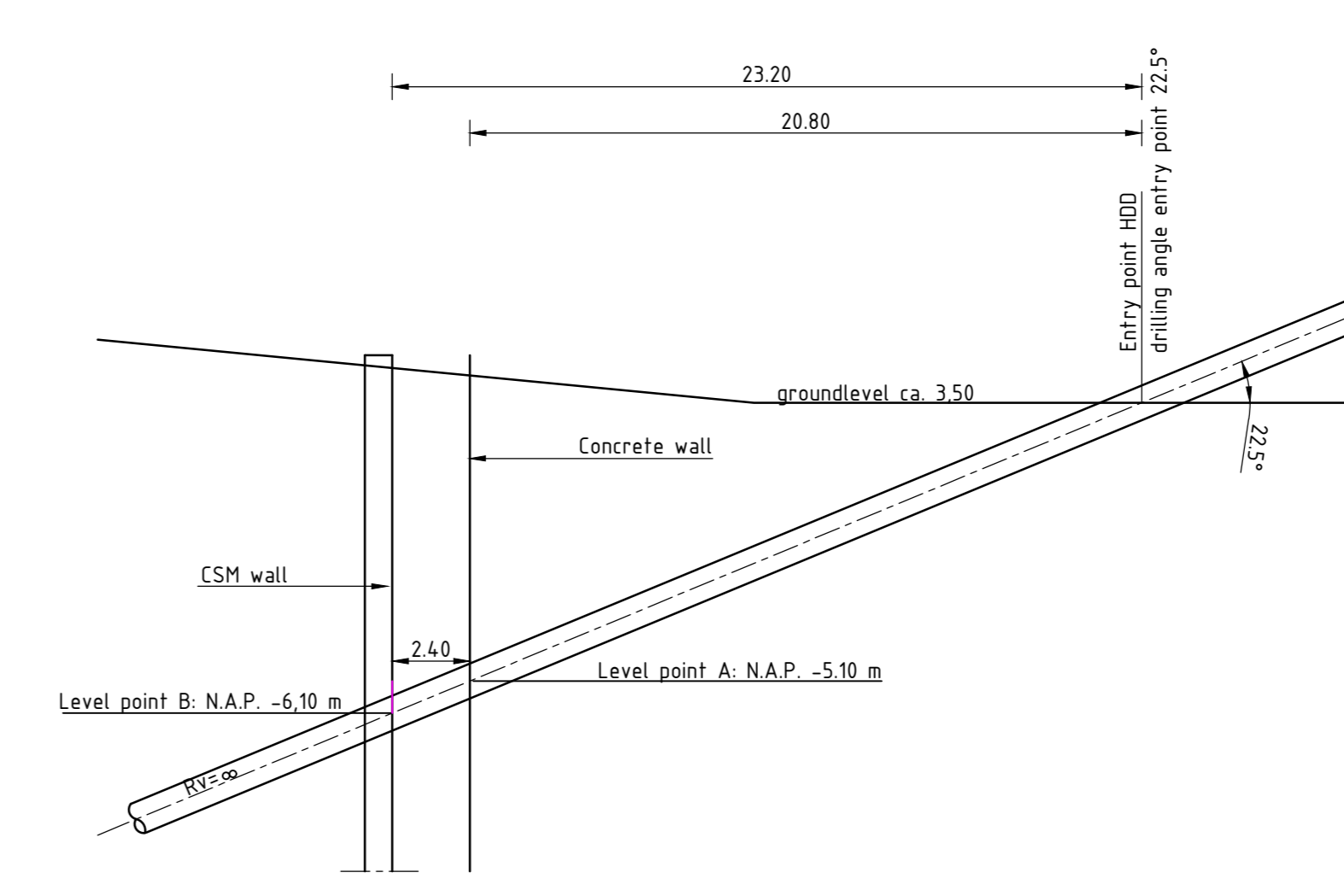
Plan view
scale 1:2000



Longitudinal
scale 1:2000



Detail 3
schaal 1:100



Detail 2
schaal 1:200

Attention!
 CTB DKM08 and DKM08_BH is made within 10 m of de outfall pipeline HDD Alignment (more exactly at a distance of 2 m and 8.5 m)
 This will give risk of blow out of bentonite during construction of de HDD

All dimensions in meters, unless indicated otherwise
 All levels in meters with reference to N.A.P. (N.A.P. = Normal Amsterdam Level)

Version	Description	Coordinates of all research adopted to executed data	Checked	Released
1.0	Drawn			
0.9	Updated on comments			

Client **PALLAS** **Architect**

Engineering company **ARCADIS** **Design & Consultancy for natural and built assets**

Project
 Pallas - werkzaamheden 2020
 Projectnumber: XC050100642
 Phase: Basic Design
 Subject: Outfall, plan view and cross section

Scale: see drawing | Pageformat: A0 | Status: Basic design
 Contractnumber: 2015612-001 | CA91 | Page number: 1 of 1
 Drawingnumber: PAL_CWSR-ARC-TER-XX-DRW-CE-TD-0003 | Version: 1.0



- existing structures
- planned infrastructure
- S standard CPT
- DKM Standard CPT with water pressure
- SWG Standard CPT with electric conductivity
- S/DKM/SWG CPT (cancelled or suspended), grey symbol
- S/DKM/SWG CPT not yet performed
- ⊕ MBH Mechanical Borehole
- ⊕ MBH Mechanical Borehole (cancelled or suspended), grey symbol
- ⊕ MBH Mechanical Borehole not yet performed

project	PALLAS Project Soil investigation - cooling water pipeline and retaining walls		
subject	plan of points DKM1(a) is GB201297		
projectnr	GA201297	projectmanager	
appendix	T01	drawn by	
date	4-8-2021	page size	A3

GEONIUS

Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

scale 1:500



Uittredepunten intake

X=108479.582

Y=532690.142

X=108483.130

Y=532700.376

- existing structures
- - - planned infrastructure
- S standard CPT
- DKM Standard CPT with water pressure
- SWG Standard CPT with electric conductivity
- S/DKM/SWG CPT (cancelled or suspended), grey symbol
- S/DKM/SWG CPT not yet performed
- ⊕ MBH Mechanical Borehole
- ⊕ MBH Mechanical Borehole (cancelled or suspended), grey symbol
- ⊕ MBH Mechanical Borehole not yet performed

project PALLAS Project Soil investigation - cooling water pipeline and retaining walls		 Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen +31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl	
subject plan of research points			
projectnr GA201297	projectmanager	scale 1:1000	
appendix T02	drawn by	 	
date 4-8-2021	page size A3		



- existing structures
- - - planned infrastructure
- S standard CPT
- DKM Standard CPT with water pressure
- SWG Standard CPT with electric conductivity
- S/DKM/SWG CPT (cancelled or suspended), grey symbol
- S/DKM/SWG CPT not yet performed
- ⊕ MBH Mechanical Borehole
- ⊕ MBH Mechanical Borehole (cancelled or suspended), grey symbol
- ⊕ MBH Mechanical Borehole not yet performed

project	PALLAS Project Soil investigation - cooling water pipeline and retaining walls		
subject	plan of research points		
projectnr	GA201297	projectmanager	
appendix	T03	drawn by	
date	4-8-2021	page size	A3

GEONIUS

Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

scale 1:1000



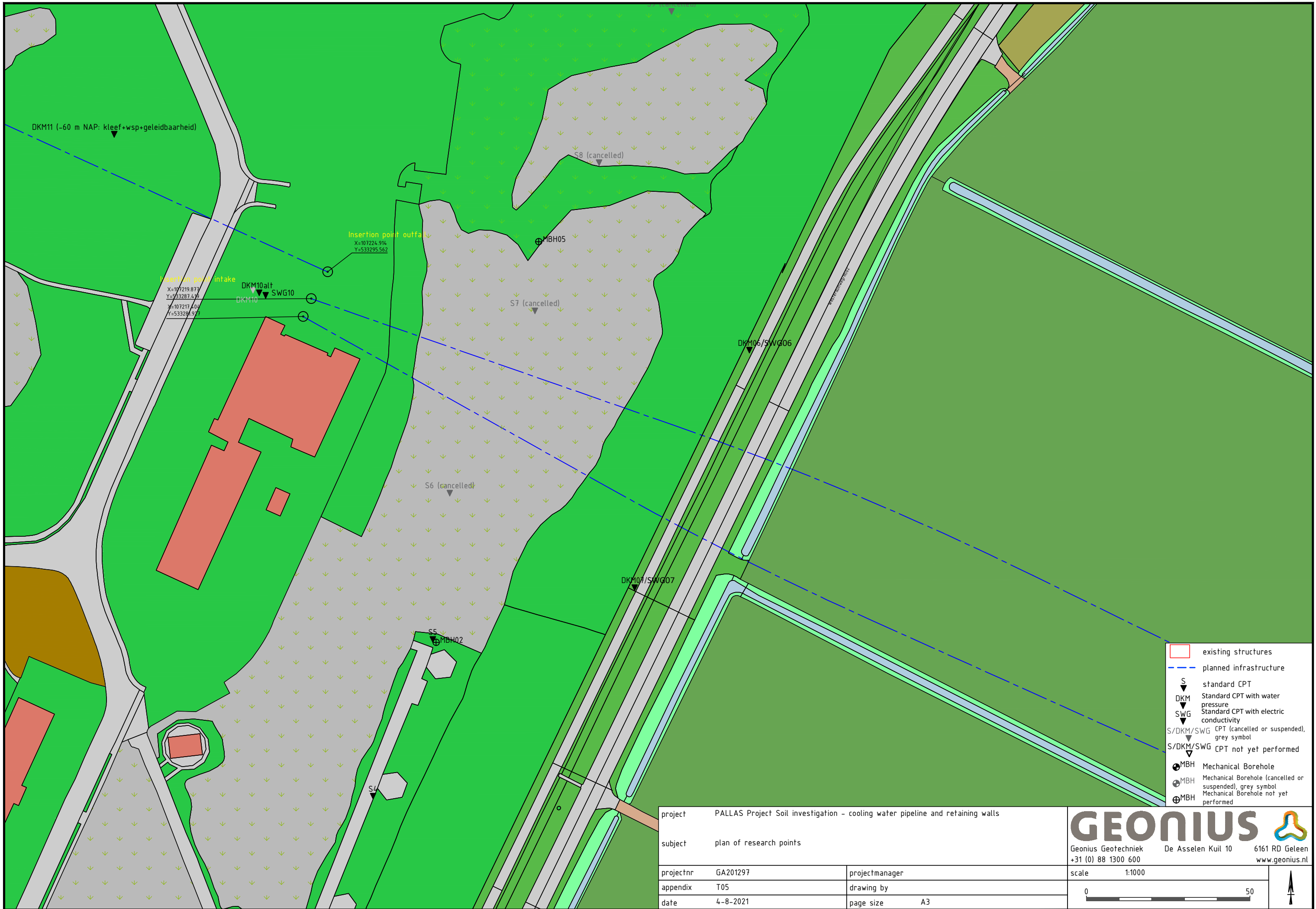
- existing structures
- planned infrastructure
- S
▼ standard CPT
- DKM
▼ Standard CPT with water pressure
- SWG
▼ Standard CPT with electric conductivity
- S/DKM/SWG
▼ CPT (cancelled or suspended), grey symbol
- S/DKM/SWG
▼ CPT not yet performed
- ⊕
MBH Mechanical Borehole
- ⊕
MBH Mechanical Borehole (cancelled or suspended), grey symbol
- ⊕
MBH Mechanical Borehole not yet performed

project	PALLAS Project Soil investigation - cooling water pipeline and retaining walls		
subject	plan of research points		
projectnr	GA201297	projectmanager	
appendix	T04	drawing by	
date	4-8-2021	page size	A3


GEONIUS

Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

scale 1:1000





project	PALLAS Project Soil investigation - cooling water pipeline and retaining walls		
subject	plan of research points		
projectnr	GA201297	projectmanager	
appendix	T05	drawing by	
date	4-8-2021	page size	A3

GEONIUS 

Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

scale 1:1000

0 50 





- existing structures
- planned infrastructure
- S standard CPT
- DKM Standard CPT with water pressure
- SWG Standard CPT with electric conductivity
- S/DKM/SWG CPT (cancelled or suspended), grey symbol
- S/DKM/SWG CPT not yet performed
- MBH Mechanical Borehole
- MBH Mechanical Borehole (cancelled or suspended), grey symbol
- MBH Mechanical Borehole not yet performed

project	PALLAS Project Soil investigation - cooling water pipeline and retaining walls	
subject	plan of research points	
projectnr	GA201297	projectmanager
appendix	T06	drawing by
date	4-8-2021	page size A3

GEONIUS

Geonius Geotechniek De Asselen Kuil 10 6161 RD Geleen
+31 (0) 88 1300 600 www.geonius.nl

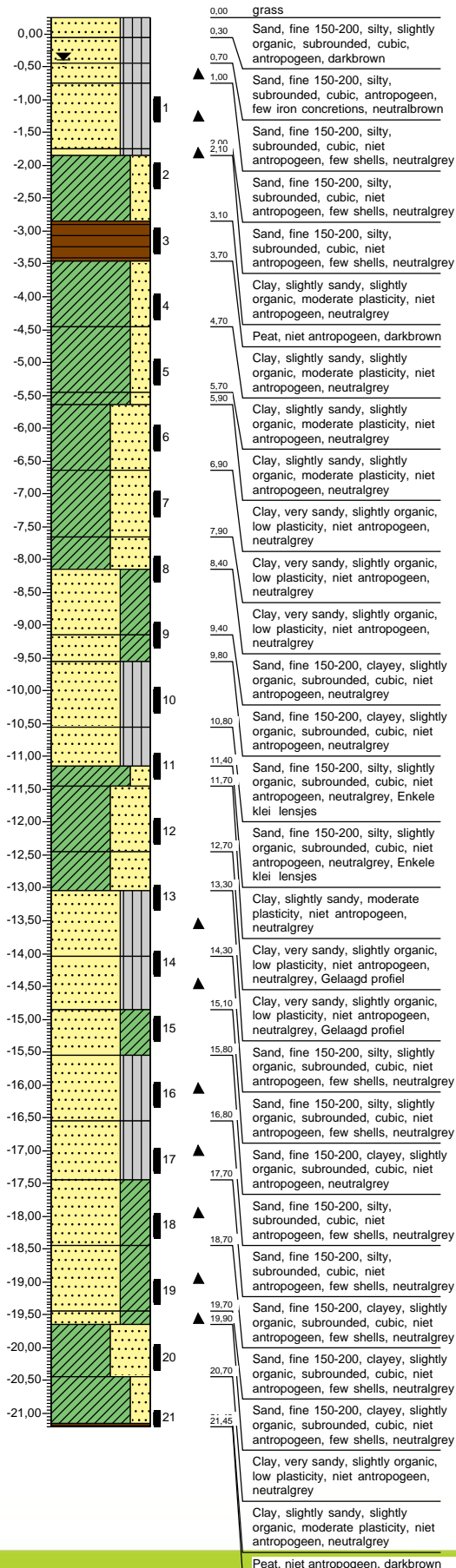
scale 1:1000

0
50

↑

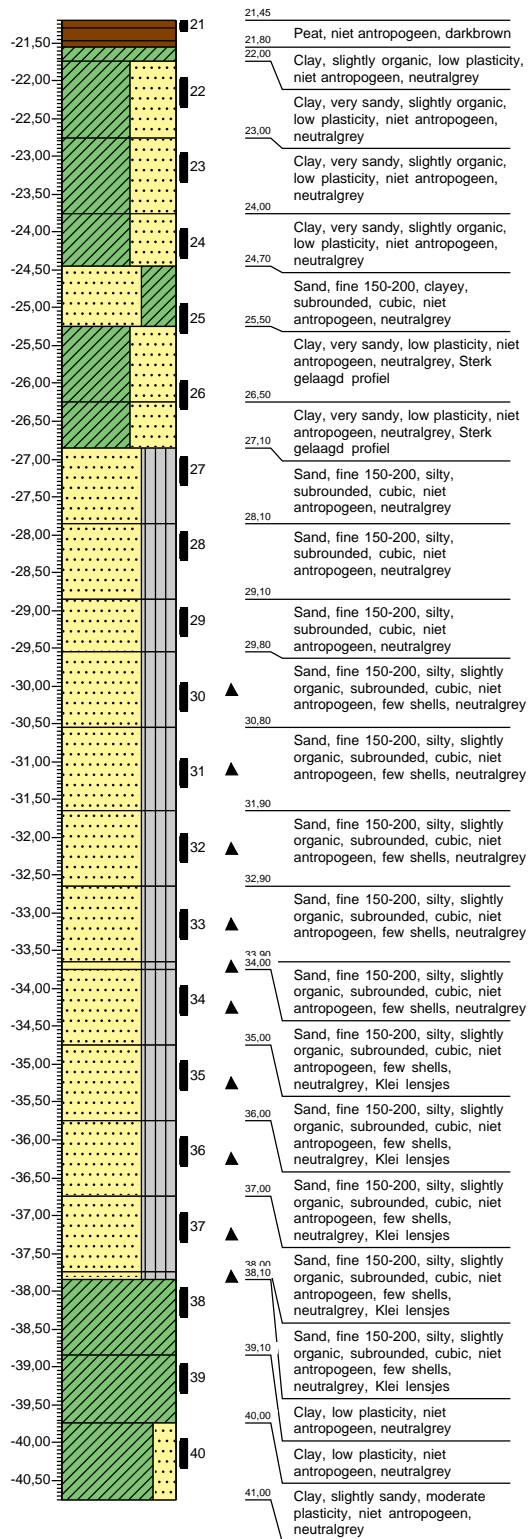
Borehole: MBH06
 Maaiveldhoogte: 0,25 m. t.o.v. N.A.P.
 GWL: 65 cm. -mv.
 Date: 15-7-2021
 Remark: NAP - 40 meter

X-coordinate: 108298,55
 Y-coordinate: 532763,02



Borehole: MBH06
 Maaielveldhoogte: 0,25 m. t.o.v. N.A.P.
 GWL: 65 cm. -mv.
 Date: 15-7-2021
 Remark: NAP - 40 meter

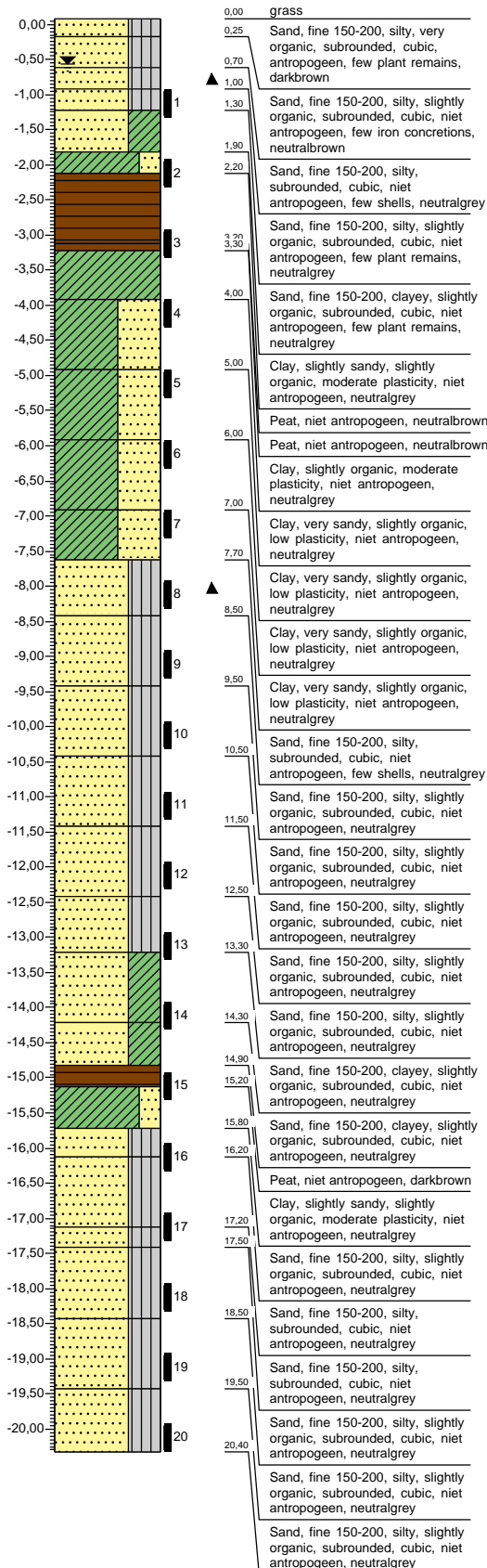
X-coordinate: 108298,55
 Y-coordinate: 532763,02

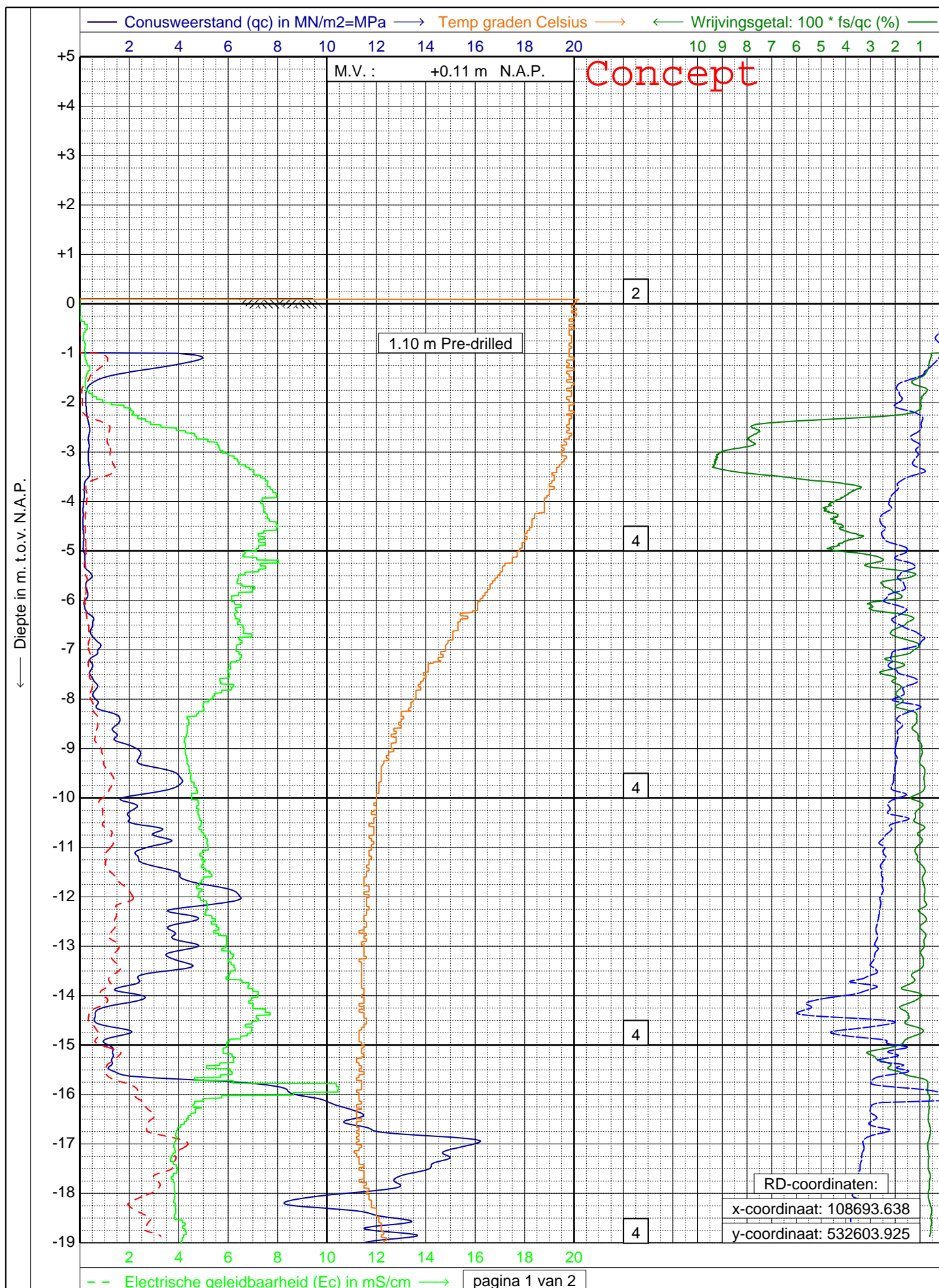


Borehole: MBH08

Maaiveldhoogte: 0,08 m. t.o.v. N.A.P.
 GWL: 65 cm. -mv.
 Date: 15-7-2021
 Remark: 20m-mv

X-coordinate: 108694,08
 Y-coordinate: 532604,79



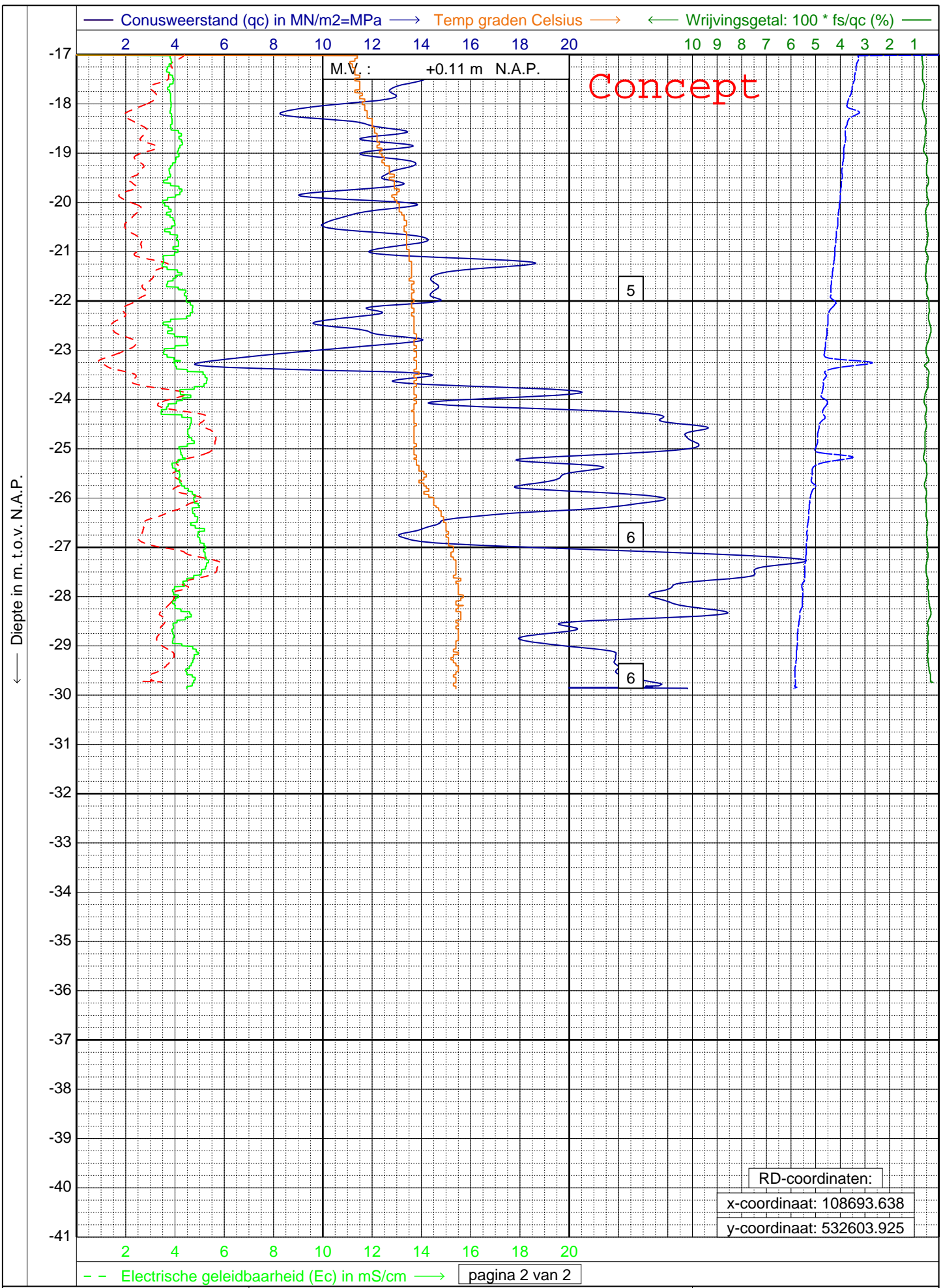


GEONIUS
 www.geonius.nl
 E-mail: info@geonius.nl
 Tel.: 088-1300600

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
 Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

Datum : **28-07-2021**
 Conus : **S15-CFIP.1615**
 Opdracht : **GA201297**
 Sondering : **DKM01**

Concept



Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1

Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

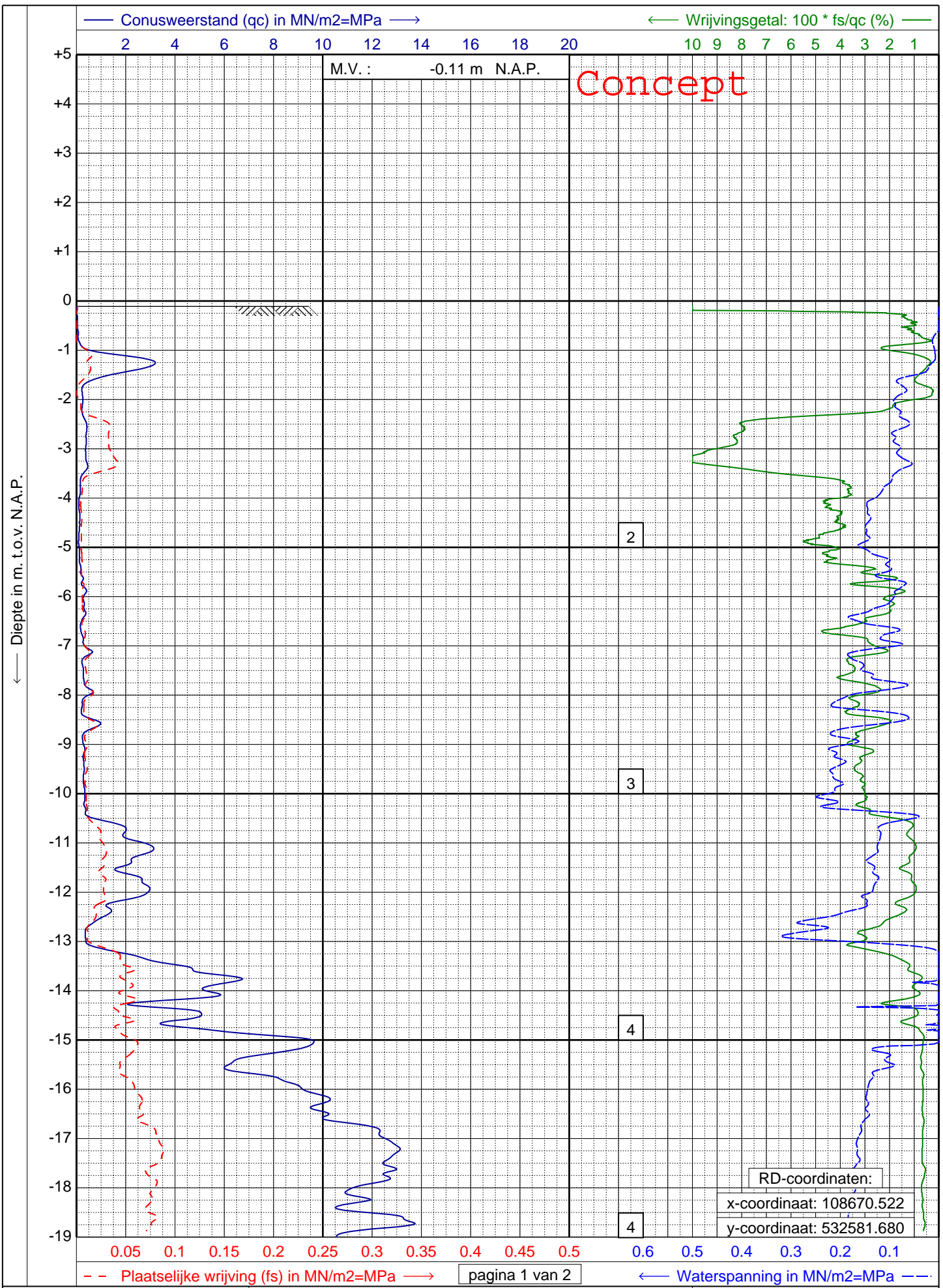
Datum : **28-07-2021**

Conus : **S15-CFIP.1615**

Opdracht : **GA201297**

Sondering : **DKM01**

Concept



Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1

Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

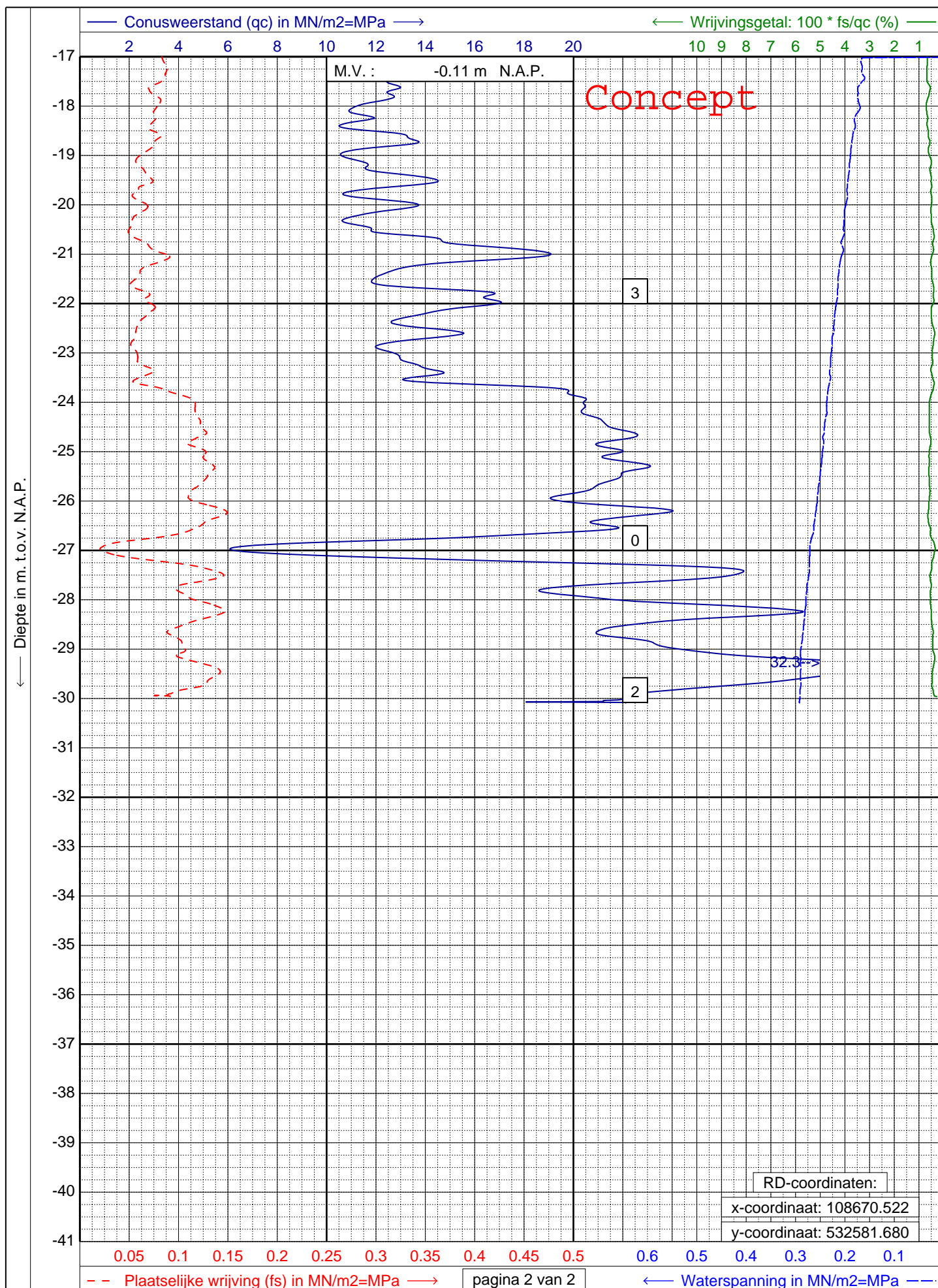
Datum : **28-07-2021**

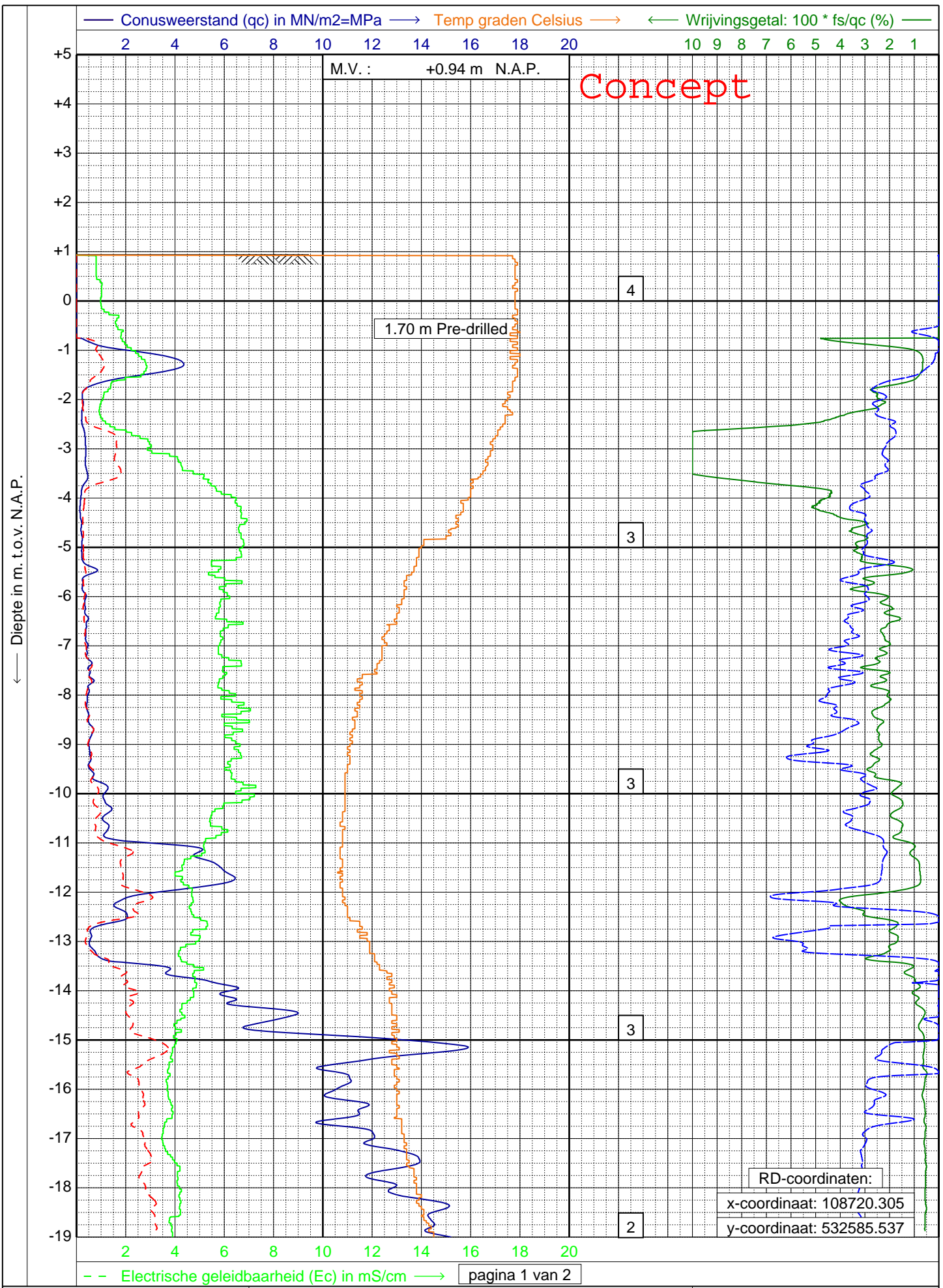
Conus : **S15-CFIP.1615**

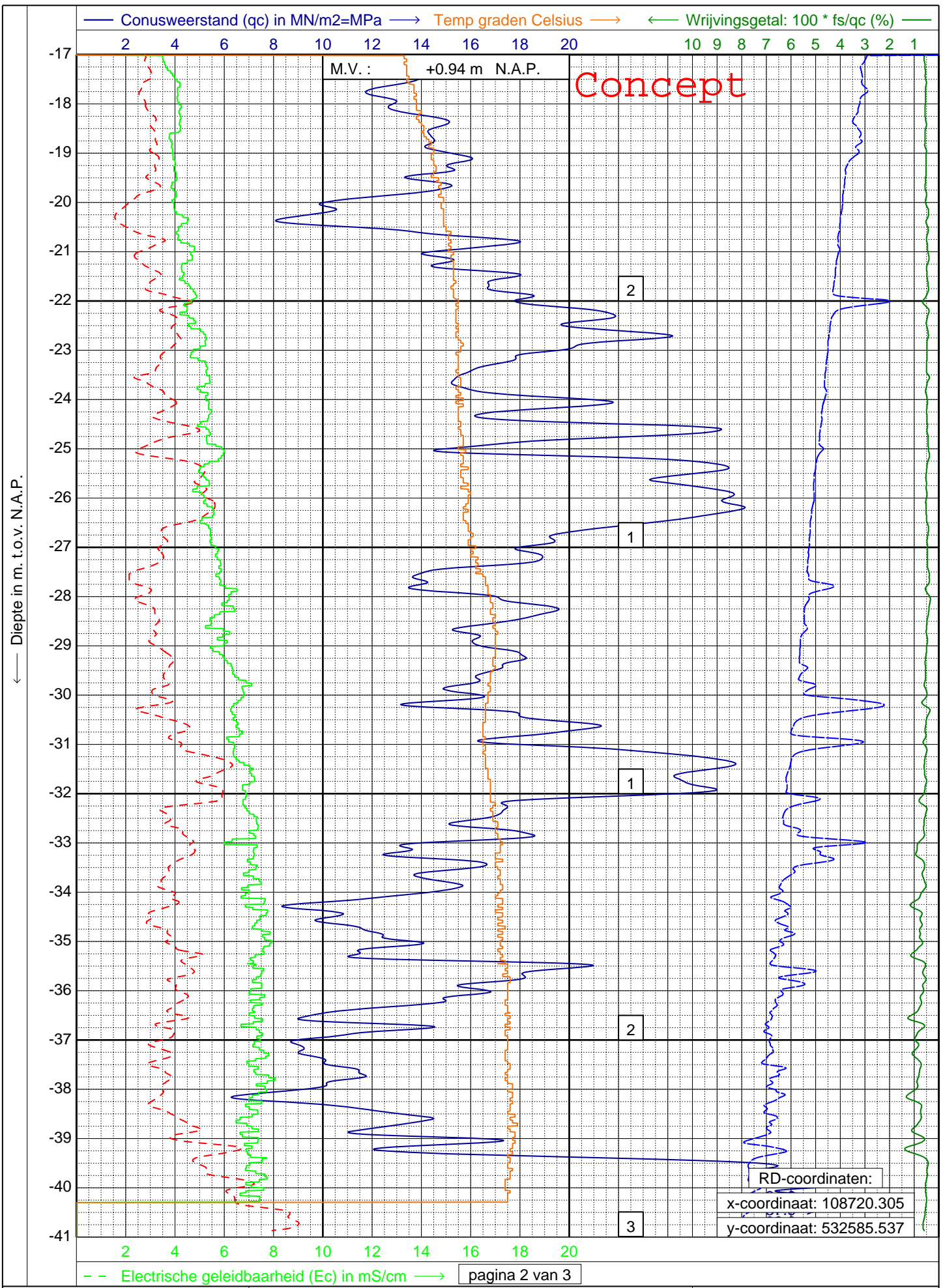
Opdracht : **GA201297**

Sondering : **DKM01A**

Concept



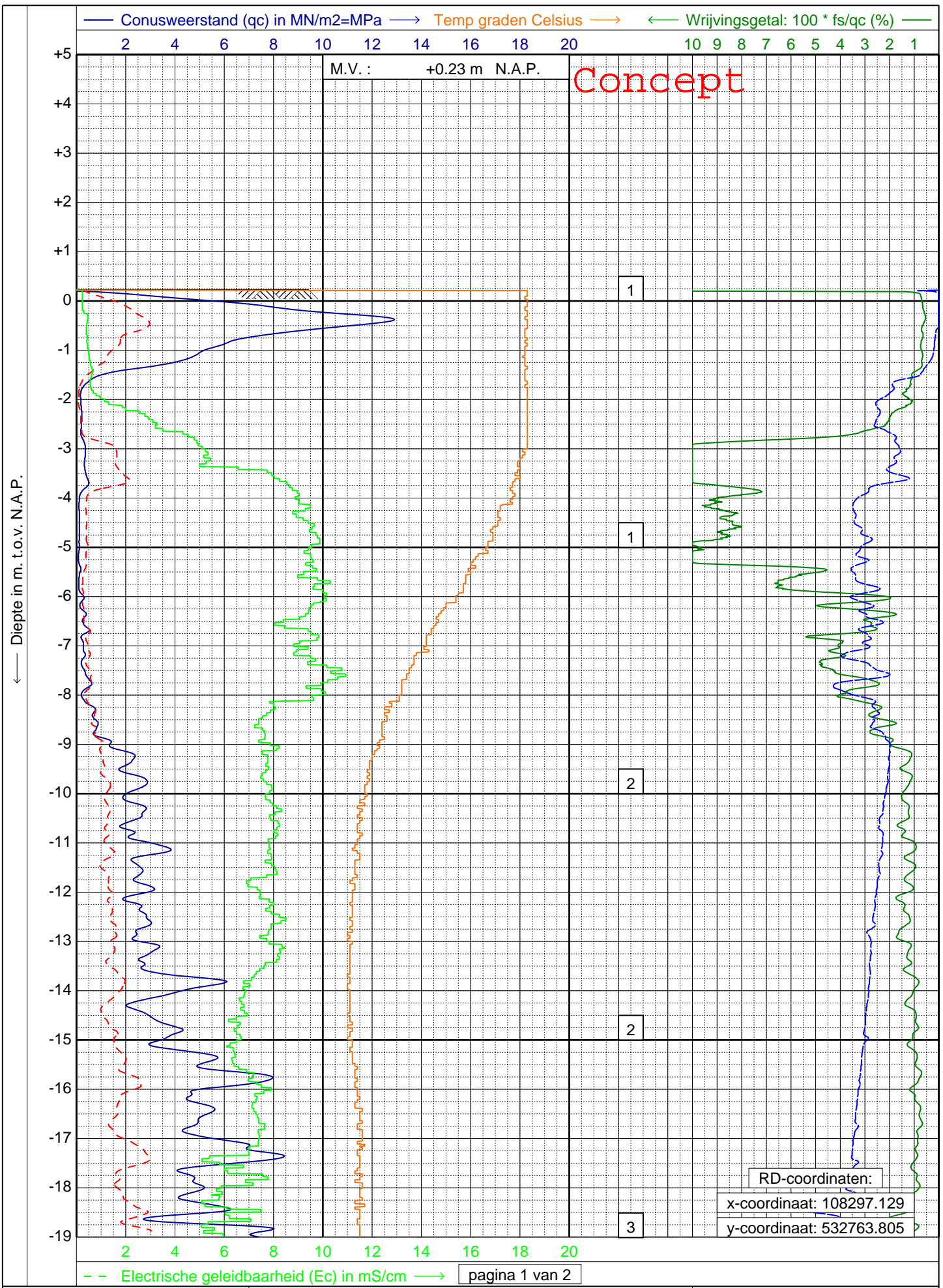




Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

Datum : **30-07-2021**
Conus : **S15-CFIP.1615**
Opdracht : **GA201297**
Sondering : **DKM02**

Concept



Concept

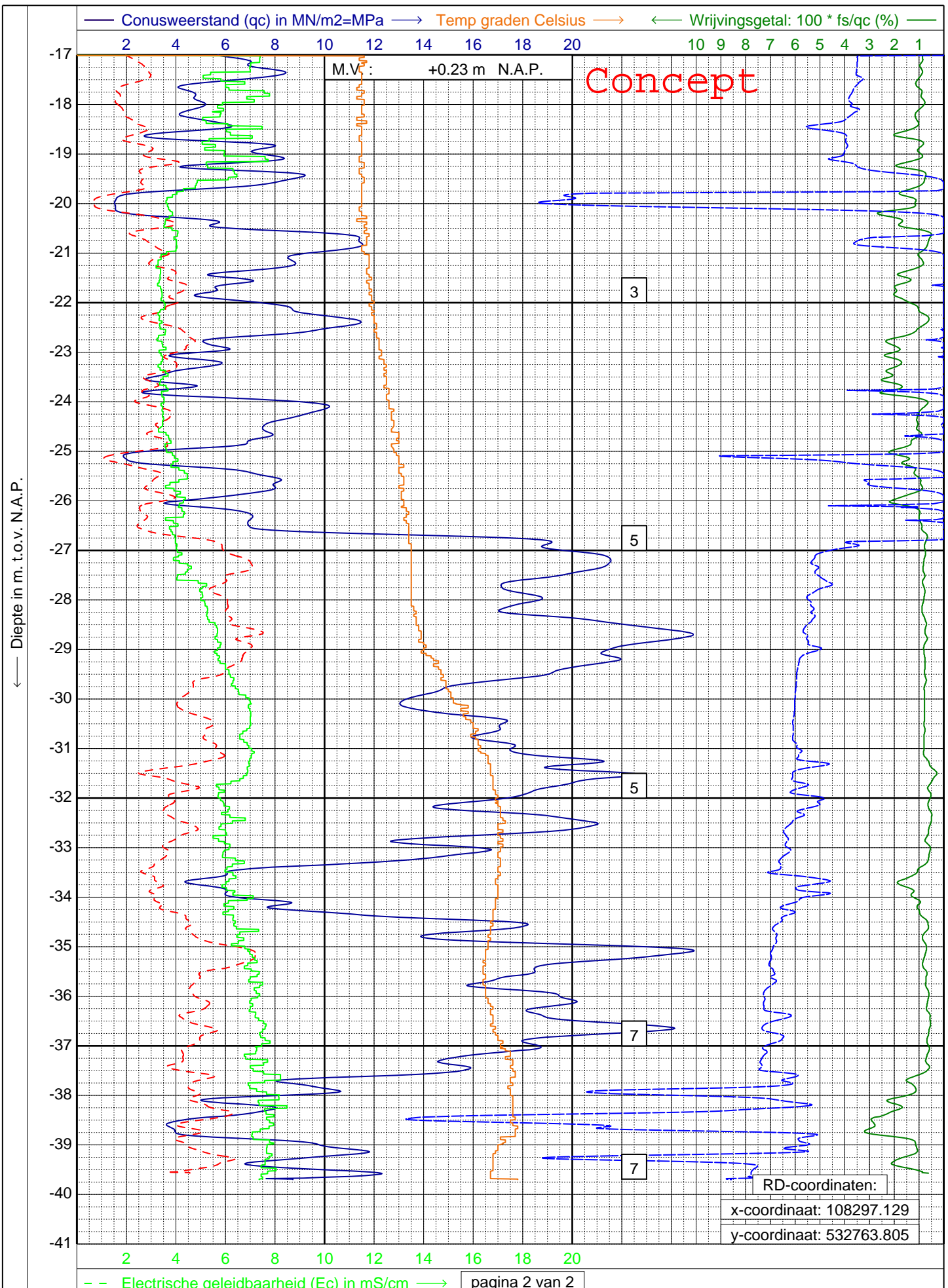
Concept



GEONIUS
 www.geonius.nl
 E-mail: info@geonius.nl
 Tel.: 088-1300600

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
 Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

Datum : **28-07-2021**
 Conus : **S15-CFIP.1615**
 Opdracht : **GA201297**
 Sondering : **DKM04**



Concept

Diepte in m. t.o.v. N.A.P.

M.V.: +0.23 m N.A.P.

RD-coördinaten:
 x-coördinaat: 108297.129
 y-coördinaat: 532763.805

--- Electriciteit geleidbaarheid (Ec) in mS/cm → pagina 2 van 2

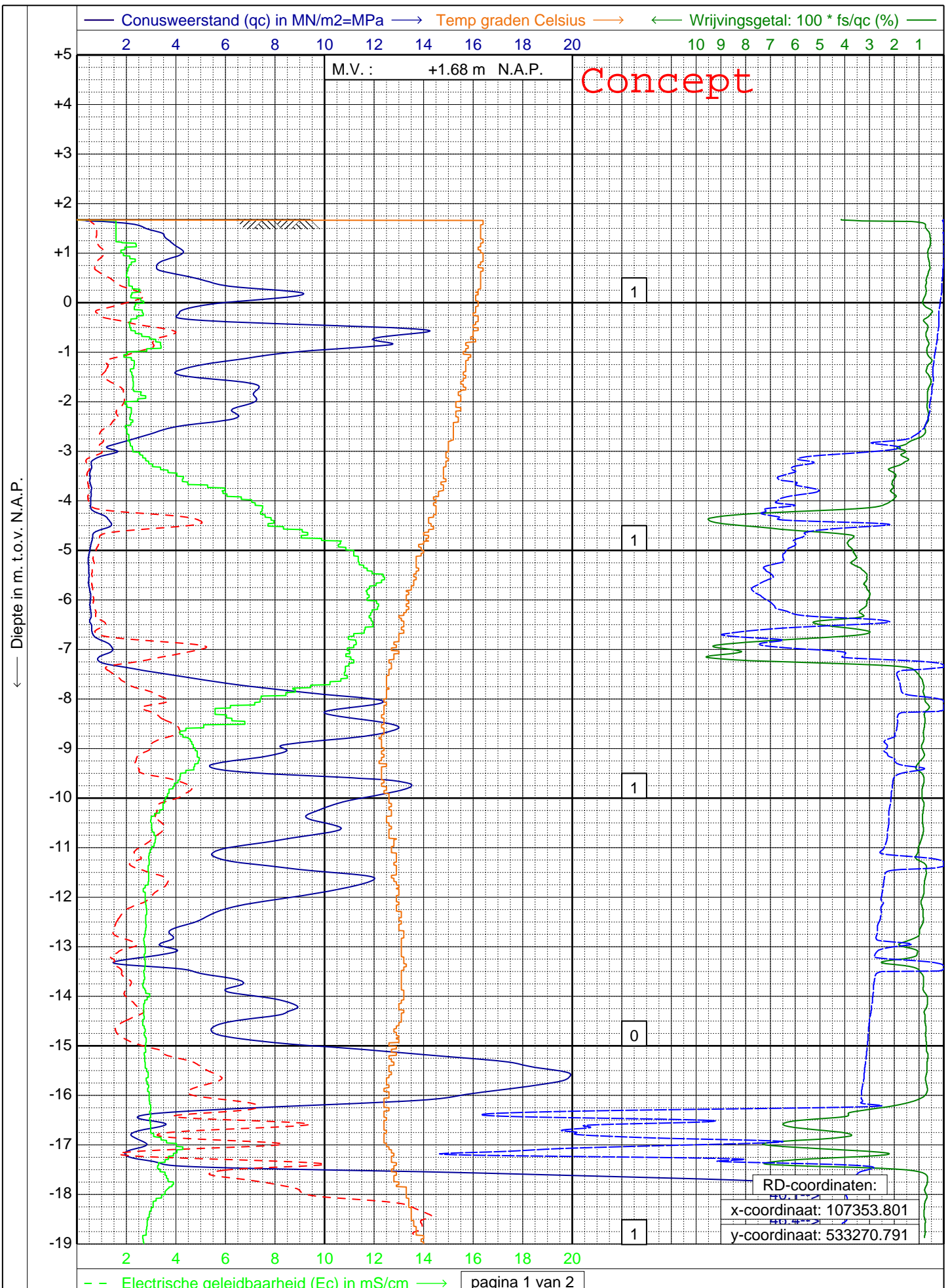


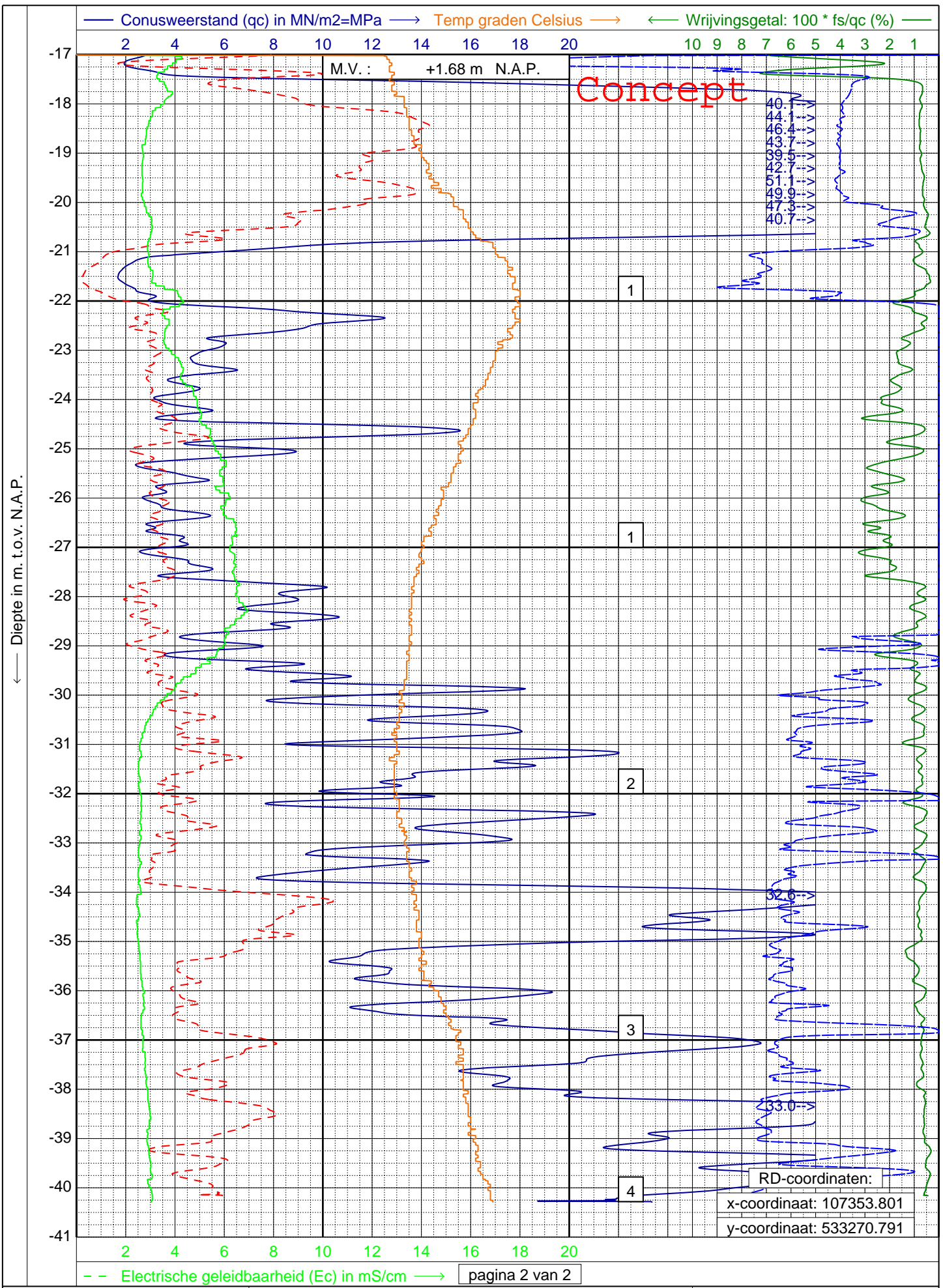
GEONIUS
 www.geonius.nl
 E-mail: info@geonius.nl
 Tel.: 088-1300600

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
 Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

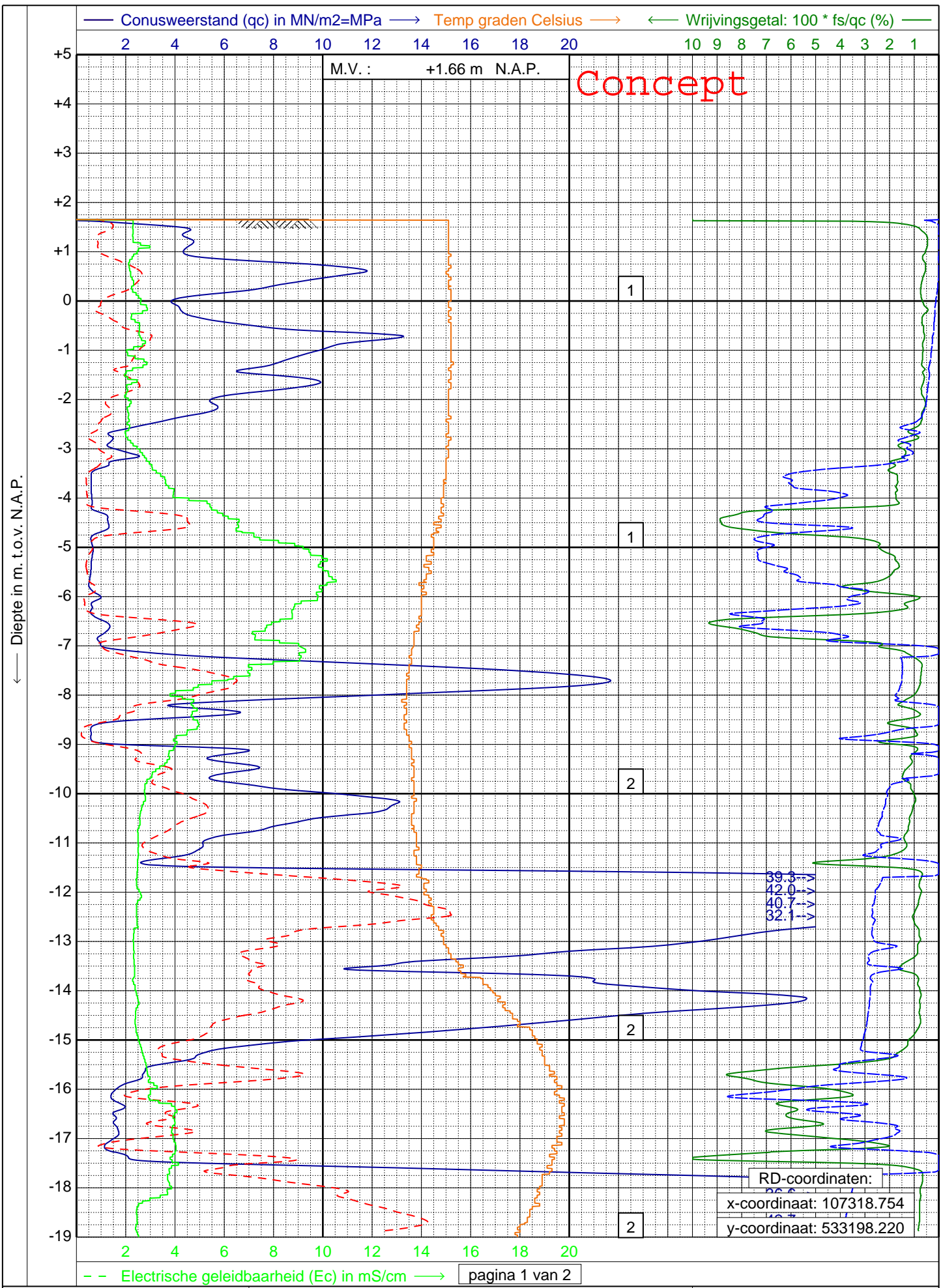
Datum : **28-07-2021**
 Conus : **S15-CFIP.1615**
 Opdracht : **GA201297**
 Sondering : **DKM04**

Concept





Concept



Concept

← Diepte in m. t.o.v. N.A.P.

M.V. : +1.66 m N.A.P.

39.3
42.0
40.7
32.1

RD-coördinaten:
 x-coördinaat: 107318.754
 y-coördinaat: 533198.220

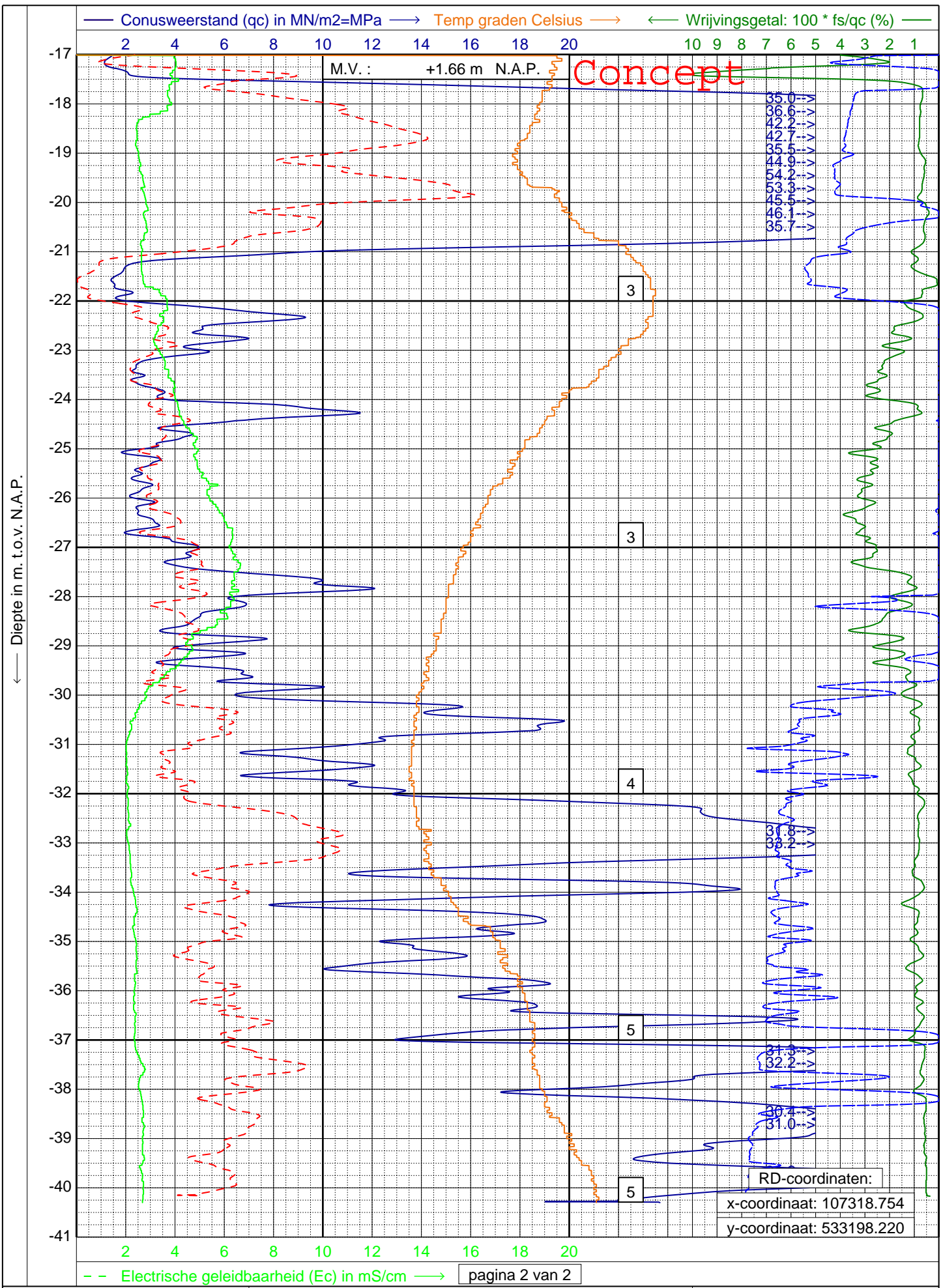
pagina 1 van 2



Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1
 Project : Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls

Datum : 30-07-2021
 Conus : S15-CFIP.1615
 Opdracht : GA201297
 Sondering : DKM07

Concept



Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2 Type: TE1

Project : **Pallas Project Soil investigation cooling water pipeline and retaining walls**

Datum : **30-07-2021**

Conus : **S15-CFIP.1615**

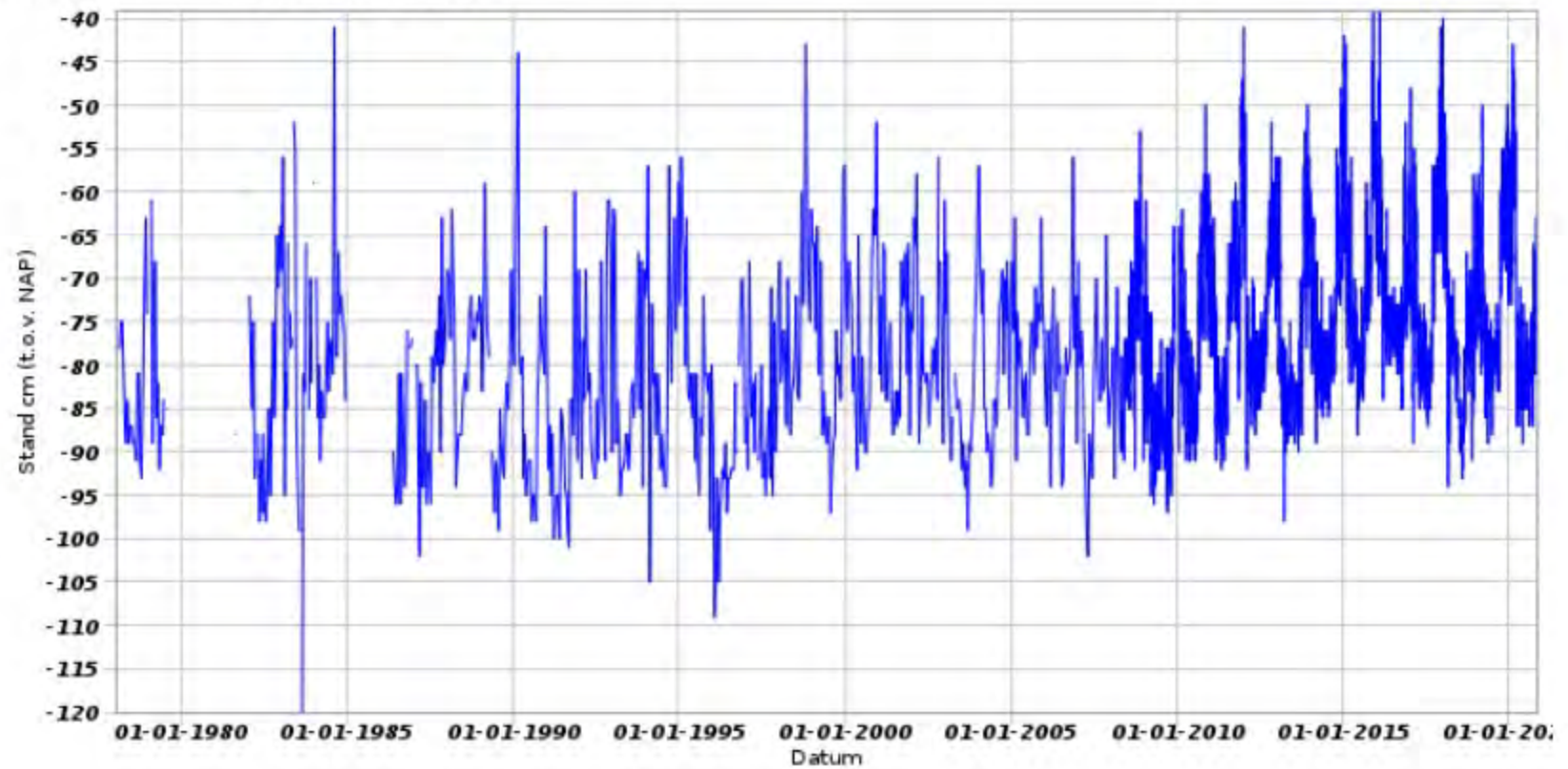
Opdracht : **GA201297**

Sondering : **DKM07**

Concept

Grondwaterstanden

Identificatie: B14C0024
Identificatie buis: B14C0024-001
Coördinaten: 108715, 533723 (RD)
Maaiveld: 1.65 m t.o.v. NAP



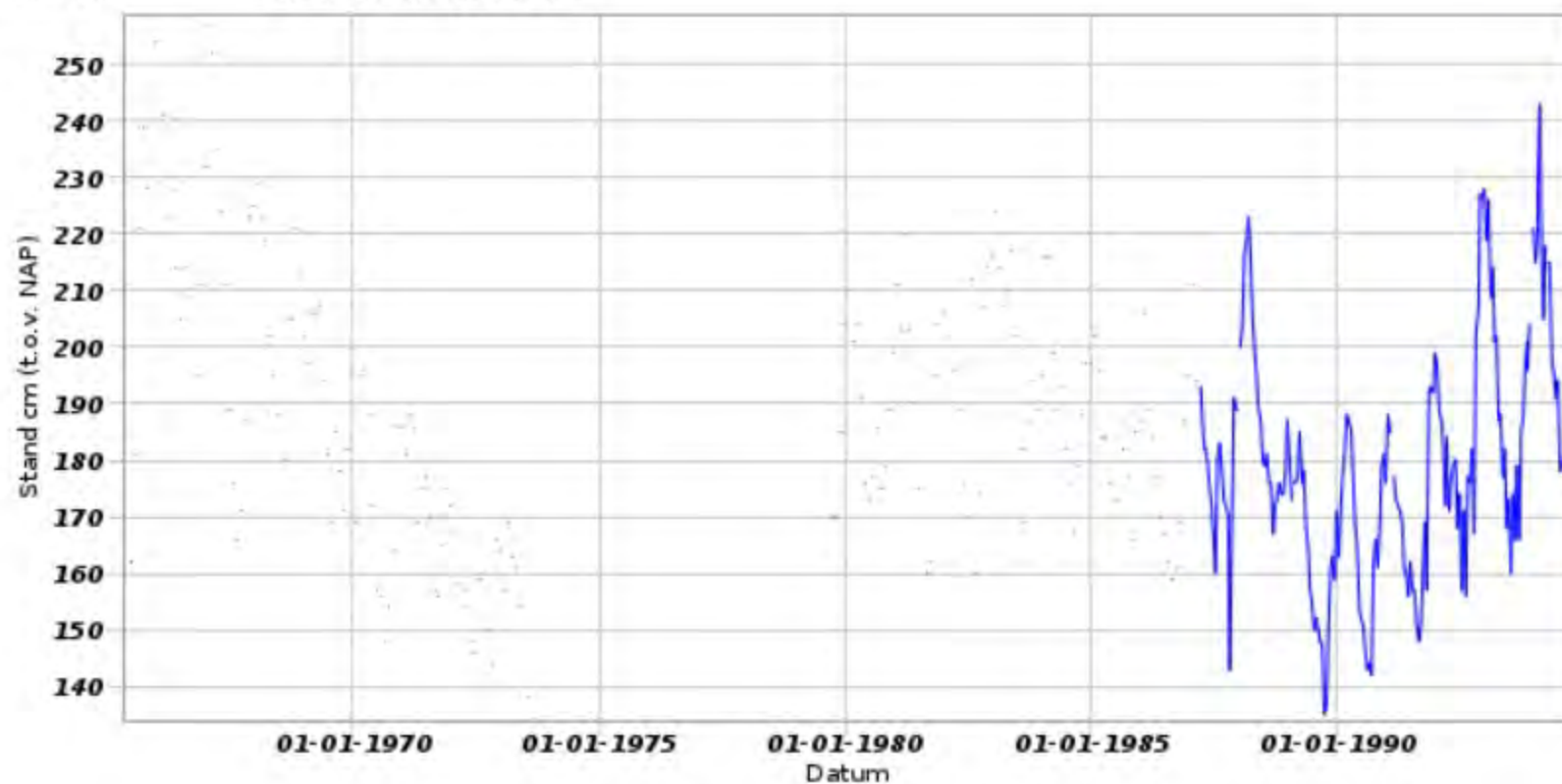
Grondwaterstanden

Identificatie: B14C0060

Identificatie buis: B14C0060-001

Coördinaten: 106690, 533470 (RD)

Maaiveld: 4.61 m t.o.v. NAP



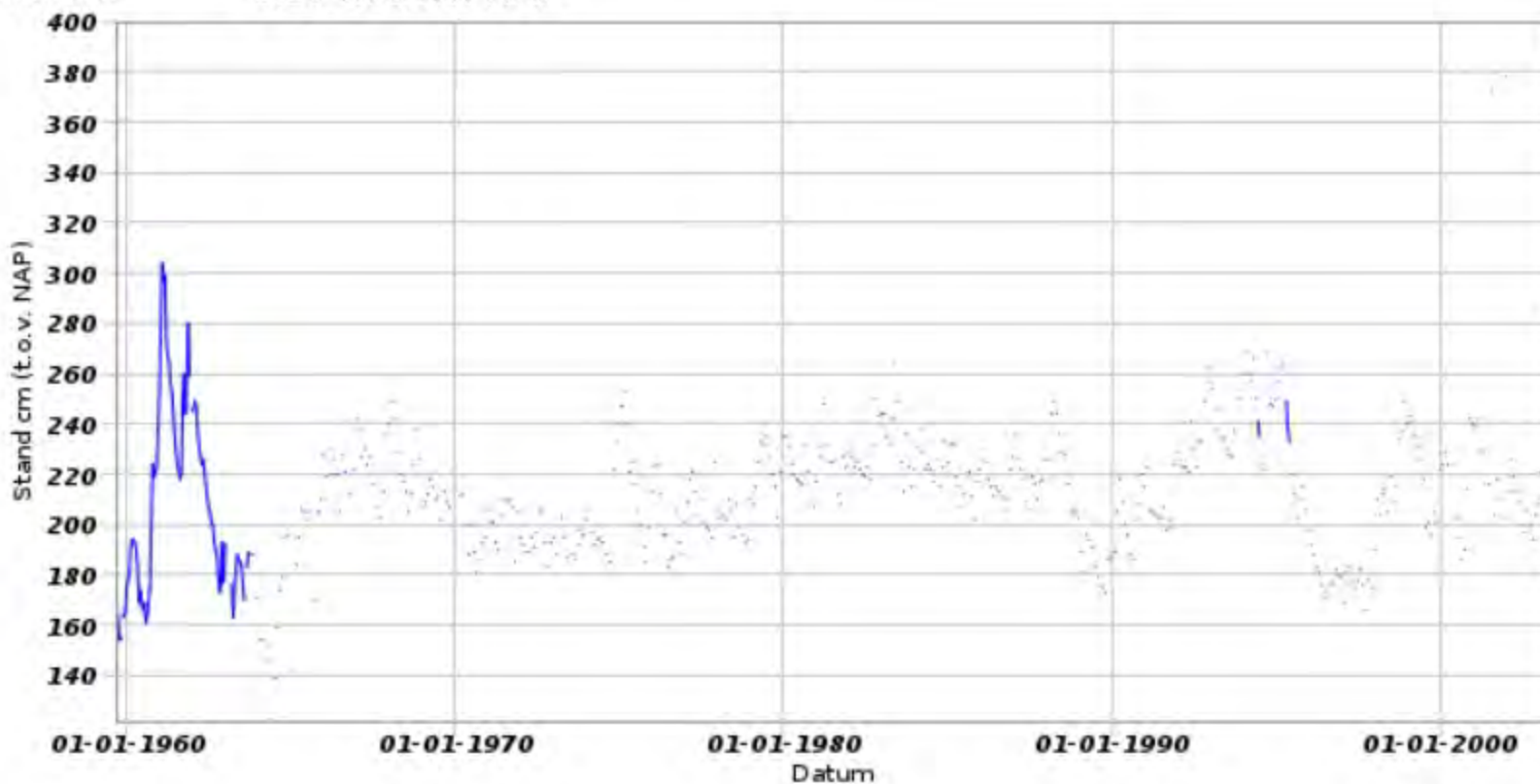
Grondwaterstanden

Identificatie: B14C0066

Identificatie buis: B14C0066-001

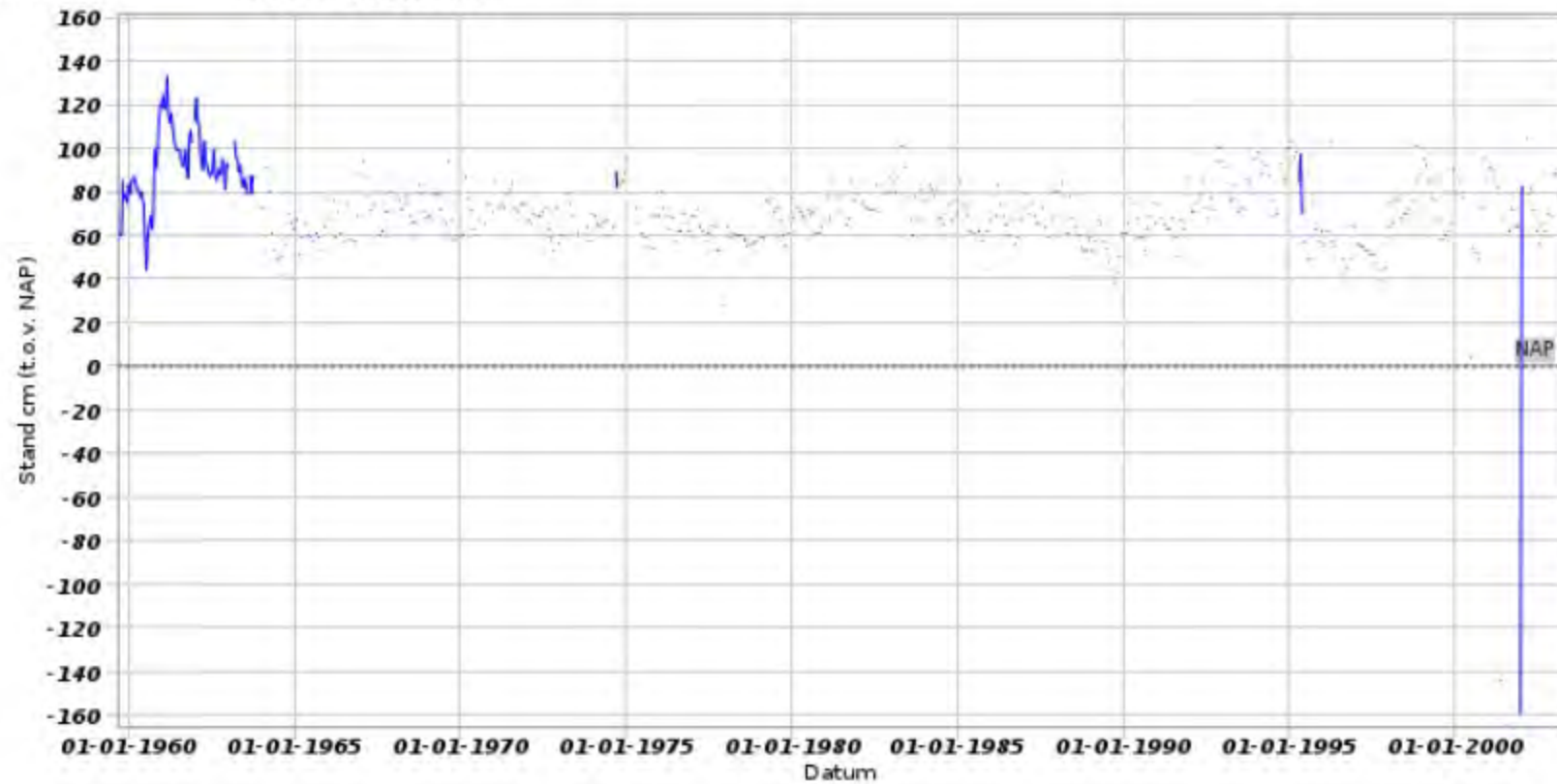
Coördinaten: 107120, 533540 (RD)

Maaiveld: 5.37 m t.o.v. NAP



Grondwaterstanden

Identificatie: B14C0067
Identificatie buis: B14C0067-001
Coördinaten: 107480, 533500 (RD)
Maaiveld: 1.92 m t.o.v. NAP



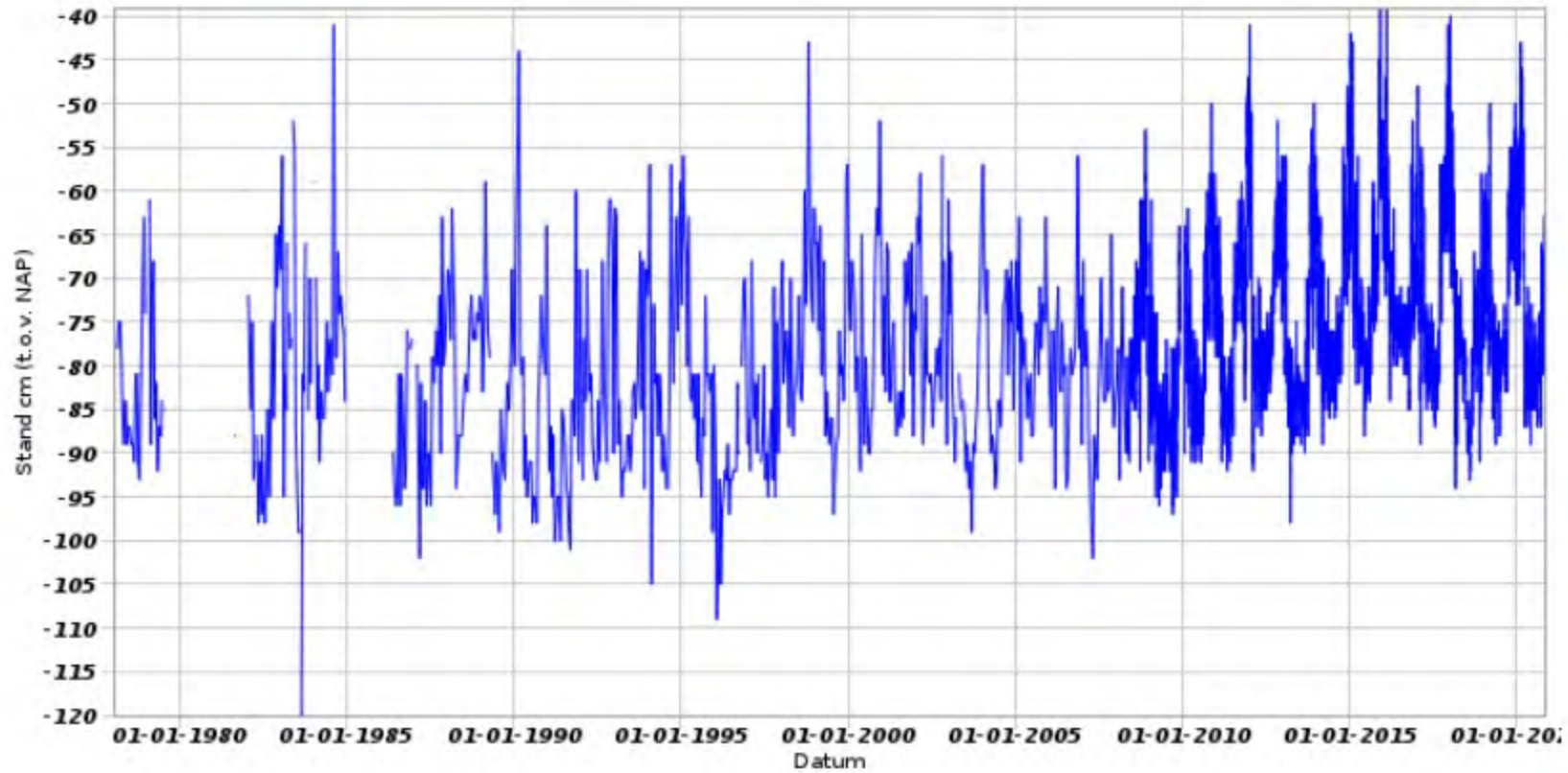
gegevens DINO

NO

Basisgegevens

Grondwaterstand

Grondwatersamenstelling

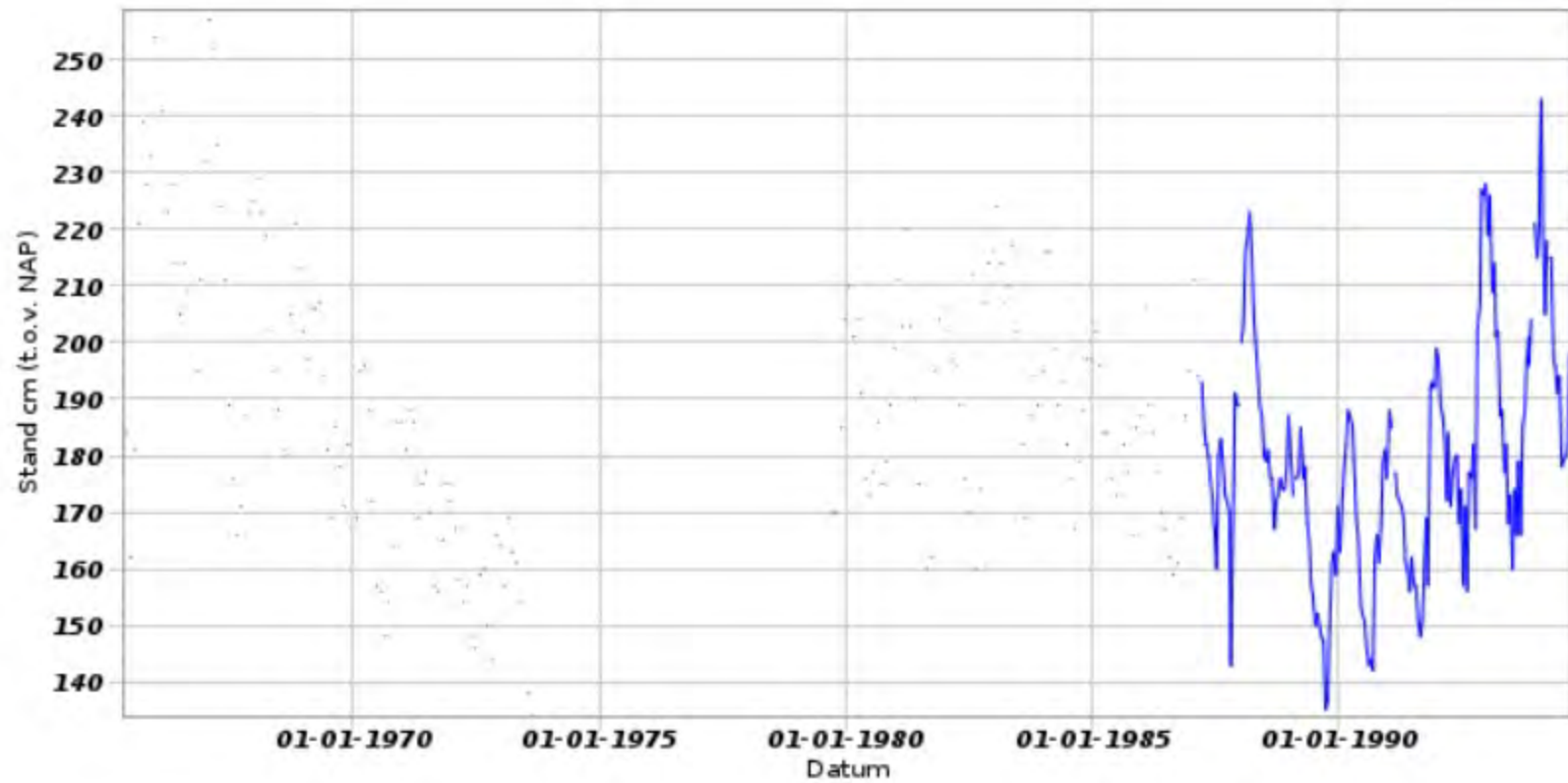


zoeksgegevens DINO

ns DINO

Basisgegevens

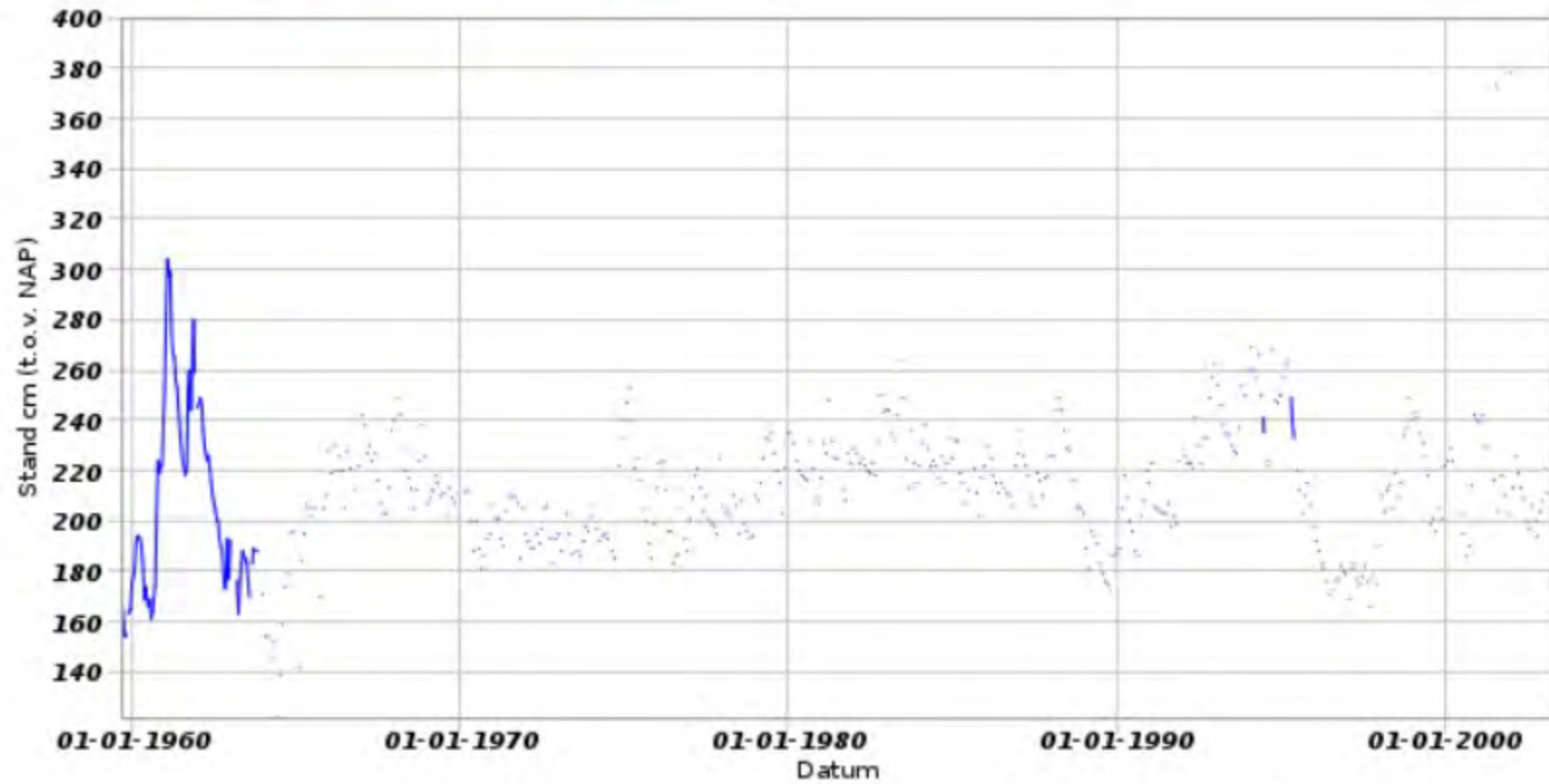
Grondwaterstand



is DINO

Basisgegevens

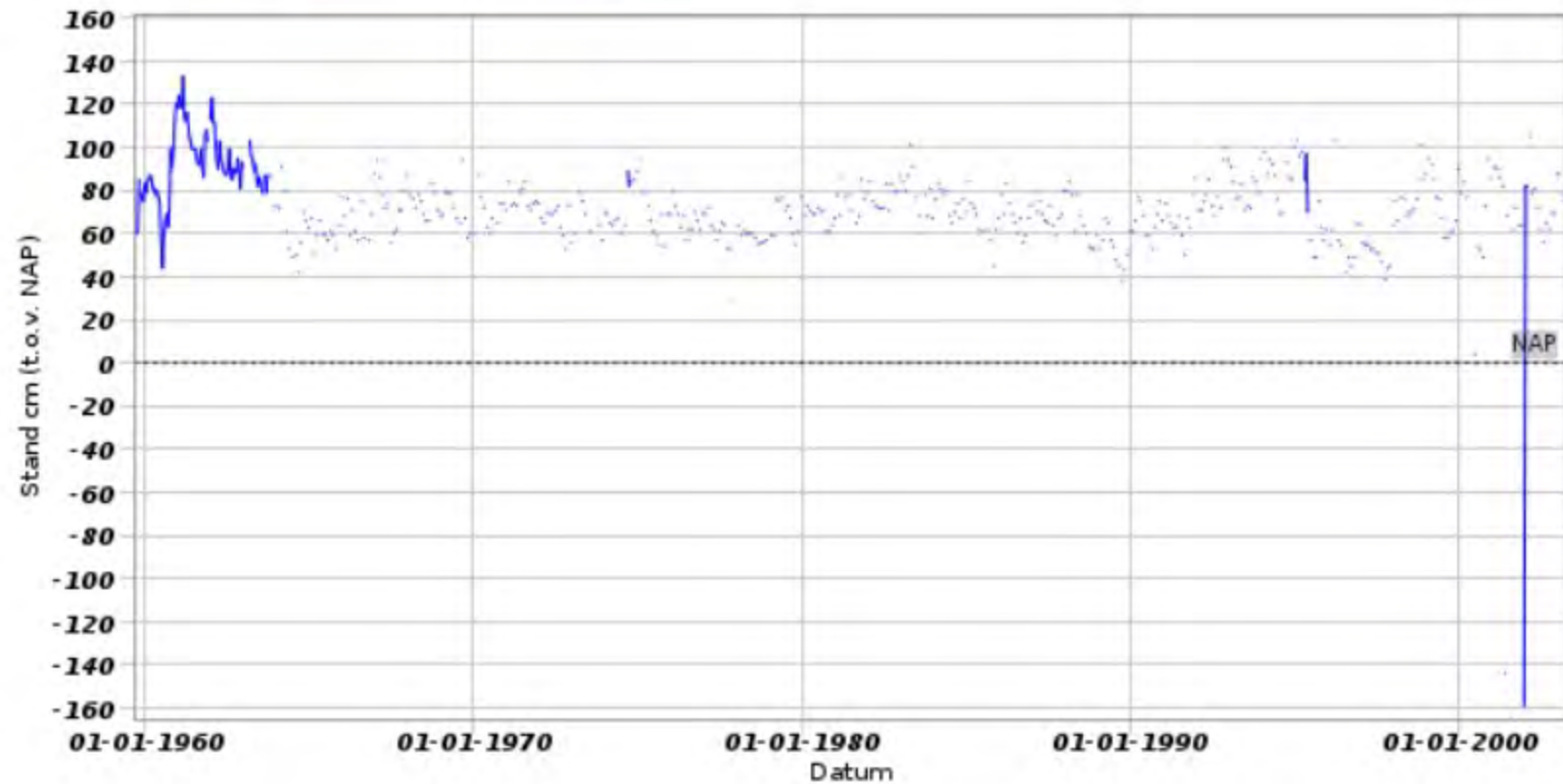
Grondwaterstand



ns DINO

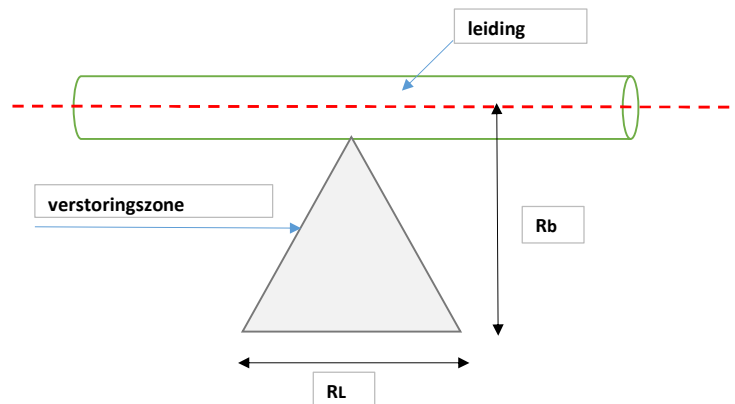
Basisgegevens

Grondwaterstand



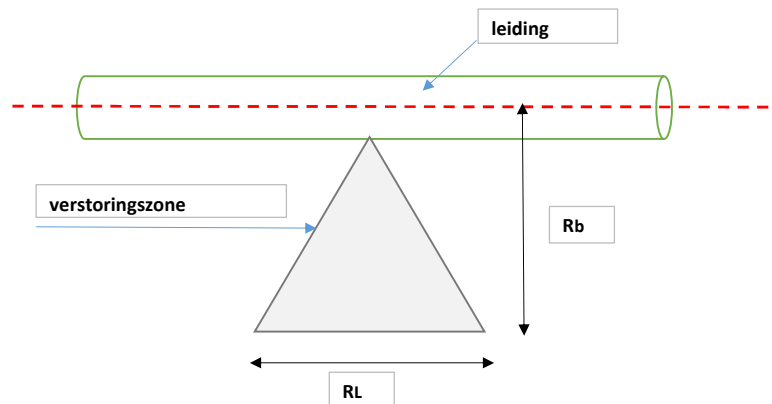
Opdrachtgever:	PALLAS		
Project:	vergunningaanvraag aan- en afvoerleiding		
Bijlage:	4		
Gegevens:	Aanvoerleidingen		
Leiding:			SDR klasse
Mediumvoerende buis	PE		9,00
Uitwendige diameter	900,00	mm	
Wanddikte	100,00	mm	(ingeschat)
Inwendige diameter	700,00	mm	
Overige gegevens:			
Werkdruk op de leiding	2,00	BAR	
Drukhoogte bij gat	2,70	m	
Debiet door het gat	niet bekend		
Uitgangspunt:	Uitgangspunt waterleiding 3 BAR		
Vereenvoudigen berekening methode volgens NEN 3651 A2.3.			
Breedte ontgrondingskuil		Toelichting	
h	20,39 m	drukhoogte	
D _i	0,700 m	maximaal inwendige leidingdiameter	
R _b	19,83 m	berekende waarde halve breedte ontgrondingskuil volgens A.2.3	
Lengte ontgrondingskuil			
R _L	9,91 m	Voor een klein gat	
R _L	19,83 m	Voor een groot gat	
Diepte ontgrondingskuil			
D _o	0,90 m	uitwendige middellijn leiding	
H	2,70 m	grondekking leiding tot kruin	
D _k	4,32 m	diepte kuil onder maaiveld	

Bovenaanzicht



Opdrachtgever:	PALLAS		
Project:	vergunningsaanvraag aan- en afvoerleiding		
Bijlage:	4		
Gegevens:	Aanvoerleidingen		
Leiding:			SDR klasse
Mediumvoerende buis	PE		11,00
Uitwendige diameter	1000,00	mm	
Wanddikte	90,91	mm	(ingeschat)
Inwendige diameter	818,18	mm	
Overige gegevens:			
Werkdruk op de leiding	2,00	BAR	
Drukhoogte bij gat	2,70	m	
Debiet door het gat	niet bekend		
Uitgangspunt:	Uitgangspunt waterleiding 3 BAR		
Vereenvoudigen berekening methode volgens NEN 3651 A2.3.			
Breedte ontgrondingskuil		Toelichting	
h	20,39 m	drukhoogte	
D _i	0,818 m	maximaal inwendige leidingdiameter	
R _b	21,86 m	berekende waarde halve breedte ontgrondingskuil volgens A.2.3	
Lengte ontgrondingskuil			
R _L	10,93 m	Voor een klein gat	
R _L	21,86 m	Voor een groot gat	
Diepte ontgrondingskuil			
D _o	1,00 m	uitwendige middellijn leiding	
H	2,70 m	grondekking leiding tot kruin	
D _k	4,44 m	diepte kuil onder maaiveld	

Bovenaanzicht



Rapport voor D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontaal Gestuurde Boring
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: ARCADIS
Infrastructure

Datum van rapport: 4-2-2022
Tijd van rapport: 12:01:32
Rapport met versie: 20.1.2.31161
Berekend met versie: 20.1.2.31161

Bestandsnaam: intake SDR 9 NL

Projectbeschrijving: Pallas
intake pipelines

1 Inhoudsopgave

1	Inhoudsopgave	2
2	Berichten	5
2.1	Berekeningswaarschuwingen	5
3	Invoergegevens	6
3.1	Gebruikt Model	6
3.2	Laagscheidingen	6
3.3	PN-Lijnen	6
3.4	Freatische Lijn	6
3.5	Grondprofielen	6
3.6	Grenslagen	7
3.7	Grondeigenschappen	7
3.8	Geometrie	8
3.8.1	Geometrie Sectie, Detail	8
3.8.2	Geometrie Bovenaanzicht	9
3.9	Berekenings Verticalen	9
3.10	Verkeersbelasting	9
3.11	Configuratie van de Pijpleiding	9
3.12	Materiaalgegevens van de Leiding	10
3.13	Gegevens voor Leidingberekening	10
3.14	Boorvloeistof Gegevens	10
3.15	Factoren	11
3.16	Rekenopties	11
4	Boorvloeistofdrukken	12
4.1	Boorvloeistof Gegevens	12
4.2	Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk	12
4.3	Boorvloeistofdruk Grafieken	13
4.3.1	Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring	13
4.3.2	Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen	13
4.3.3	Boorvloeistofdrukken tijdens Ruim- en Intrekoperatie	14
5	Spanning Overzicht	15
5.1	Spanning overzicht per pijp and verticaal	15
6	Grondmechanische Data	16
6.1	Grondmechanische Parameters (Leiding: intake pipe (SDR 9))	16
6.2	Young's Modulus per Laag per Verticaal	16
7	Gegevens voor Sterkteberekening	19
7.1	Algemene Gegevens	19
7.2	Ballasten Leiding	19
7.3	Trekkkrachtberekening	19
8	Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1	20
8.1	Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1	20
8.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1	20
8.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	20
8.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	21
8.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	21
8.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	21
8.2.5	Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	21
8.3	Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1	22
8.4	Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1	22
9	Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2	24
9.1	Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2	24
9.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2	24
9.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	24
9.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	25
9.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	25
9.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	25
9.2.5	Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	25
9.3	Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2	26
9.4	Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2	26
10	Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3	28
10.1	Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3	28
10.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3	28
10.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	28
10.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	29
10.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	29

10.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	29
10.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	29
10.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3	30
10.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3	30
11 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4	32
11.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4	32
11.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4	32
11.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	32
11.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	33
11.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	33
11.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	33
11.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	33
11.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4	34
11.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4	34
12 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5	36
12.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5	36
12.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5	36
12.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	36
12.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	37
12.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	37
12.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	37
12.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	37
12.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5	38
12.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5	38
13 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6	40
13.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6	40
13.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6	40
13.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	40
13.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	41
13.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	41
13.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	41
13.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	41
13.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6	42
13.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6	42
14 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7	44
14.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7	44
14.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7	44
14.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	44
14.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	45
14.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	45
14.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	45
14.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	45
14.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7	46
14.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7	46
15 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8	48
15.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8	48
15.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8	48
15.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	48
15.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	49
15.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	49
15.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	49
15.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	49
15.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8	50
15.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8	50
16 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9	52
16.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9	52
16.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9	52
16.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	52
16.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	53
16.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	53
16.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	53
16.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	53
16.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9	54
16.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9	54
17 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10	56
17.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10	56
17.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10	56

17.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	56
17.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	57
17.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	57
17.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	57
17.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	57
17.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10	58
17.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10	58

2 Berichten

2.1 Berekeningswaarschuwingen

Een of meer lagen boven de grens tussen de ongedraineerde toplagen en de onderliggende gedraineerde lagen hebben een Su-waarde van 0.

3 Invoergegevens

3.1 Gebruikt Model

Gebruikt Model : Horizontaal Gestuurde Boring

3.2 Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [m]				
12 - L -	0,000	68,756	136,929	171,890	182,378
12 - Z -	6,043	4,076	5,775	13,552	13,194
12 - L -	220,835	250,551	1488,000		
12 - Z -	1,841	0,034	0,409		
11 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
11 - Z -	-3,000	-3,000	-1,500	-1,500	
10 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
10 - Z -	-6,500	-6,500	-3,000	-3,000	
9 - L -	0,000	150,000	150,042	1280,000	1488,000
9 - Z -	-6,500	-6,500	-7,500	-5,500	-5,500
8 - L -	0,000	150,000	150,042	1280,000	1488,000
8 - Z -	-7,500	-7,500	-7,500	-5,500	-5,500
7 - L -	0,000	150,000	150,042	1280,000	1488,000
7 - Z -	-7,500	-7,500	-7,500	-9,000	-9,000
6 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
6 - Z -	-16,000	-16,000	-9,000	-9,000	
5 - L -	0,000	150,000	1277,738	1488,000	
5 - Z -	-16,000	-16,000	-15,000	-15,000	
4 - L -	0,000	150,000	311,429	688,096	1280,000
4 - Z -	-16,000	-16,000	-17,500	-21,000	-26,500
4 - L -	1488,000				
4 - Z -	-26,500				
3 - L -	0,000	311,429	688,096	1280,000	1488,000
3 - Z -	-17,500	-17,500	-21,000	-26,500	-26,500
2 - L -	0,000	688,096	1280,000	1488,000	
2 - Z -	-21,000	-21,000	-26,500	-26,500	
1 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
1 - Z -	-28,000	-28,000	-26,500	-26,500	
0 - L -	0,000	1488,000			
0 - Z -	-45,000	-45,000			

3.3 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinaten [m]				
1 - L -	0,000	65,333	139,970	182,458	212,889
1 - Z -	2,353	2,352	2,177	1,736	0,027
1 - L -	248,444	1488,000			
1 - Z -	-0,410	-0,410			
2 - L -	0,000	1488,000			
2 - Z -	-0,650	-0,650			

3.4 Freatische Lijn

Piezo lijn 1 is gebruikt als freatische lijn (grondwater).

3.5 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
12	1 Zand los	1	1
11	2 Klei, slap	1	99
10	3 Veen, matig	99	99
9	3 Veen, matig	99	2
8	2 Klei, slap	99	2
7	4 Zand, matig	2	2

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
6	6 Zand, kleiig	2	2
5	6 Zand, kleiig	2	2
4	5 Klei, matig	99	99
3	4 Zand, matig	2	2
2	6 Zand, kleiig	2	2
1	7 Zand, vast	2	2

3.6 Grenslagen

De grens tussen (cohesieve) ongedraineerde toplagen en onderliggende (niet-cohesieve) gedraineerde lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 7: 4 Zand, matig

De grens tussen compressibele toplagen en de onderliggende niet-compressibele lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 1: 7 Zand, vast

3.7 Grondeigenschappen

Naam	Gamma-onverz			Gamma-verz		
	Uniek [kN/m ³]	Laag [kN/m ³]	Hoog [kN/m ³]	Uniek [kN/m ³]	Laag [kN/m ³]	Hoog [kN/m ³]
1 Zand los	-	17,00	18,00	-	19,00	20,00
2 Klei, slap	-	14,00	17,00	-	14,00	17,00
3 Veen, matig	-	12,00	13,00	-	12,00	13,00
4 Zand, matig	-	18,00	19,00	-	20,00	21,00
5 Klei, matig	-	17,00	19,00	-	17,00	19,00
- Klei, zeer zandig	-	18,00	20,00	-	18,00	20,00
6 Zand, kleiig	-	18,00	19,00	-	20,00	21,00
7 Zand, vast	-	19,00	20,00	-	21,00	22,00

Naam	Cohesie			Phi		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [grad]	Laag [grad]	Hoog [grad]
1 Zand los	-	0,00	0,00	-	30,00	32,50
2 Klei, slap	-	0,00	5,00	-	17,50	17,50
3 Veen, matig	-	2,50	5,00	-	15,00	15,00
4 Zand, matig	-	0,00	0,00	-	32,50	35,00
5 Klei, matig	-	5,00	13,00	-	17,50	17,50
- Klei, zeer zandig	-	0,00	2,00	-	25,00	27,50
6 Zand, kleiig	-	0,00	1,00	-	27,50	30,00
7 Zand, vast	-	0,00	0,00	-	35,00	40,00

Naam	Su-top			Su-onder		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand los	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
2 Klei, slap	-	25,00	50,00	-	25,00	50,00
3 Veen, matig	-	20,00	30,00	-	20,00	30,00
4 Zand, matig	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
5 Klei, matig	-	50,00	100,00	-	50,00	100,00
- Klei, zeer zandig	-	1,00	10,00	-	1,00	10,00
6 Zand, kleiig	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
7 Zand, vast	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00

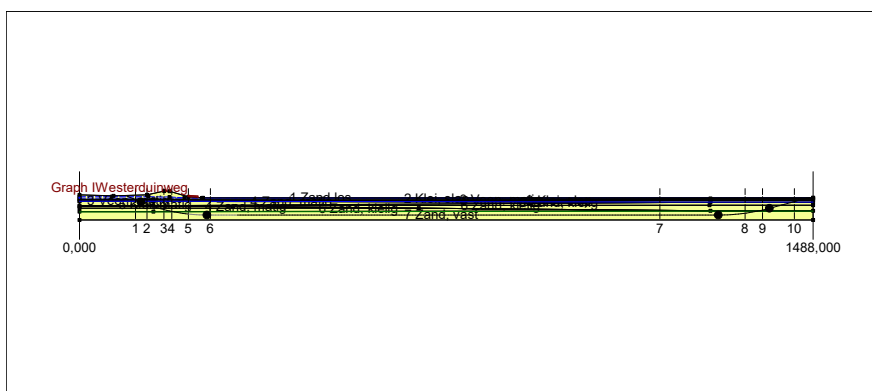
Naam	Emod-top			Emod-onder		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand los	-	-	-	-	-	-
2 Klei, slap	-	-	-	-	-	-
3 Veen, matig	-	-	-	-	-	-
4 Zand, matig	-	-	-	-	-	-
5 Klei, matig	-	-	-	-	-	-
- Klei, zeer zandig	-	-	-	-	-	-
6 Zand, kleiig	-	-	-	-	-	-
7 Zand, vast	-	-	-	-	-	-

Naam	Grondtype	Emod 100		
		Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand los	Sand	-	15000,00	45000,00
2 Klei, slap	Clay	-	1000,00	2000,00
3 Veen, matig	Peat	-	500,00	1000,00
4 Zand, matig	Sand	-	45000,00	75000,00
5 Klei, matig	Clay	-	2000,00	4000,00
- Klei, zeer zandig	Clay	-	2000,00	5000,00
6 Zand, kleiig	Sand	-	15000,00	30000,00
7 Zand, vast	Sand	-	75000,00	110000,00

Naam	Adhesie A [kN/m ²]	Delta D [grad]	Nu [-]
1 Zand los	-	-	0,00
2 Klei, slap	-	-	0,00
3 Veen, matig	-	-	0,00
4 Zand, matig	-	-	0,00
5 Klei, matig	-	-	0,00
- Klei, zeer zandig	-	-	0,00
6 Zand, kleiig	-	-	0,00
7 Zand, vast	-	-	0,00

3.8 Geometrie

3.8.1 Geometrie Sectie, Detail



3.8.2 Geometrie Boveraanzicht



3.9 Berekenings Verticalen

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
1	113,453	-3,792
2	136,994	-13,263
3	171,050	-23,921
4	187,180	-27,674
5	220,858	-32,979
6	265,500	-35,000
7	1177,280	-35,000
8	1350,000	-31,326
9	1385,528	-24,831
10	1450,000	-7,822

Locaties berekenings verticalen; L is de horizontale coördinaat langs de leiding geprojecteerd op het horizontale vlak, opgehoogd met de intrede coördinaat.

3.10 Verkeersbelasting

Westerduinweg		
L begin	220,00	[m]
L einde	240,00	[m]
Belastingsmodel (grafiektype)	Graph I	

3.11 Configuratie van de Pijpleiding

X coördinaat linker punt	93,000	[m]
Y coördinaat linker punt	0,000	[m]
Z coördinaat linker punt	4,680	[m]
X coördinaat rechter punt	1480,000	[m]
Y coördinaat rechter punt	0,000	[m]
Z coördinaat rechter punt	0,407	[m]

Hoek links	22,5000	[grd]
Hoek rechts	15,0000	[grd]
Kromtestraal links, verticaal in/uit	350,000	[m]
Kromtestraal rechts, verticaal in/uit	400,000	[m]
Kromtestraal rollenbaan (intrekboog)	400,000	[m]
Diepste punt van de pijpleiding (hart boortracé)	-35,000	[m]
Hoek van de pijpleiding (tussen de stralen)	0,0000	[grd]
Aantal horizontale bochten:	1	

De pijpleiding wordt van links naar rechts ingetrokken.

Bocht nr.	X1-coörd. [m]	Y1-coörd. [m]	X2-coörd. [m]	Y2-coörd. [m]	Kromtestraal [m]	Richting
1	220,686	11,266	322,000	15,090	1000,000	links

3.12 Materiaalgegevens van de Leiding

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	975,00	[N/mm ²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	350,00	[N/mm ²]
Toelaatbare spanning (kort)	10,00	[N/mm ²]
Toelaatbare spanning (lang)	8,00	[N/mm ²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]
Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001800	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	900,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	100,00	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m ³]
Ontwerpdruk	2,00	[bar]
Incidentele druk	4,00	[bar]
Temperatuur variatie	26,00	[gr C]

3.13 Gegevens voor Leidingberekening

Leiding gevuld met water op rollen	Nee	
Percentage leiding gevuld met vloeistof	100	[%]
Volume gewicht vloeistof	10,00	[kN/m ³]
Opleghoek	120	[grd]
Belastingshoek	180	[grd]
Relatieve verplaatsing	10,00	[mm]
Samendrukkingsconstante	6,00	[-]
Beddingsconstante boorvloeistof (Kv)	500,00	[kN/m ³]
Hoek van inwendige wrijving boorvloeistof	15,00	[grd]
Cohesie boorvloeistof	5,00	[kN/m ²]
Wrijvingsfactor leiding-rollenbaan (f1)	0,10	[-]
Wrijvingscoëfficiënt leiding-boorvloeistof (f2)	0,000050	[N/mm ²]
Wrijvingsfactor leiding-grond (f3)	0,20	[-]

3.14 Boorvloeistof Gegevens

Uitwendige diameter boorgat pilotboring	0,250	[m]
Uitwendige diameter pilotbuis	0,080	[m]
Uitwendige diameter boorgat voorruimen	0,800	[m]
Uitwendige diameter buis voorruimen	0,150	[m]
Uitwendige diameter uiteindelijke boorgat	1,200	[m]
Uitwendige diameter leiding	0,900	[m]
Debiet tijdens pilotboring	100,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens voorruimen	600,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens intrekken	800,0000	[liter/minuut]
Factor debietverlies tijdens pilotboring	0,30	[-]
Factor debietverlies tijdens voorruimen	0,20	[-]
Factor debietverlies tijdens intrekken	0,20	[-]
Volumegewicht boorvloeistof	11,1	[kN/m ³]
Zwichtspanning boorvloeistof	0,014	[kN/m ²]
Viscositeit boorvloeistof	0,000040	[kN.s/m ²]

3.15 Factoren

(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Lang)	3,0	[-]
(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Kort)	1,5	[-]
Onzekerheidsfactor volumegewicht		
van materiaaltypen onder en boven freatische lijn	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor (gedraineerde) cohesie C	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor ongedraineerde schuifsterkte Su	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor Phi	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor E-modulus	1,25	[-]
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	2,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie) (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor testdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor aanlegbelasting (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. $q_{n;r}$ (Polyetheen)	1,50	[-]
Belastingsfactor temperatuur (Polyetheen)	1,10	[-]
Belastingsfactor verkeersbelasting (Polyetheen)	1,35	[-]
Importantie factor (S)	1,00	[-]
Toelaatbare deflectie stalen leiding	15,00	[%]
Toelaatb. deflectie stalen leiding bij inspectie ('piggability')	5,00	[%]
Toelaatbare deflectie polyetheen leiding	8,00	[%]
Toelaat. deflectie polyetheen leiding bij inspectie ('piggability')	8,00	[%]
Volumegewicht water	10,00	[kN/m ³]
Veiligheidsfactor dekking (gedraineerde lagen)	0,50	[-]
Veiligheidsfactor dekking (ongedraineerde lagen)	0,50	[-]
Verhouding H/Do voor grens tussen ondiepe en diepe situatie	7,50	[-]

3.16 Rekenopties

Stress analyse optie : Per verticaal

4 Boorvloeistofdrukken

4.1 Boorvloeistof Gegevens

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken pilot [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	188	188	102	527
2	799	1399	216	623
3	1069	1780	347	729
4	1107	1815	394	765
5	1580	2933	465	812
6	1568	2888	503	819
7	1536	2822	821	500
8	1377	2529	841	399
9	661	1015	781	315
10	155	155	616	102

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken voorruimen [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	171	171	96	102
2	799	892	203	216
3	1101	1847	325	347
4	1117	1837	368	394
5	1557	2841	430	465
6	1554	2851	456	500
7	1524	2769	500	420
8	1354	2362	399	364
9	660	1015	315	289
10	154	154	102	94

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken intrekken [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	149	149	98	96
2	725	725	208	203
3	1124	1823	334	325
4	1125	1854	379	368
5	1540	2556	444	430
6	1543	2599	475	456
7	1514	2513	420	453
8	1337	2086	364	378
9	660	973	289	299
10	154	154	94	98

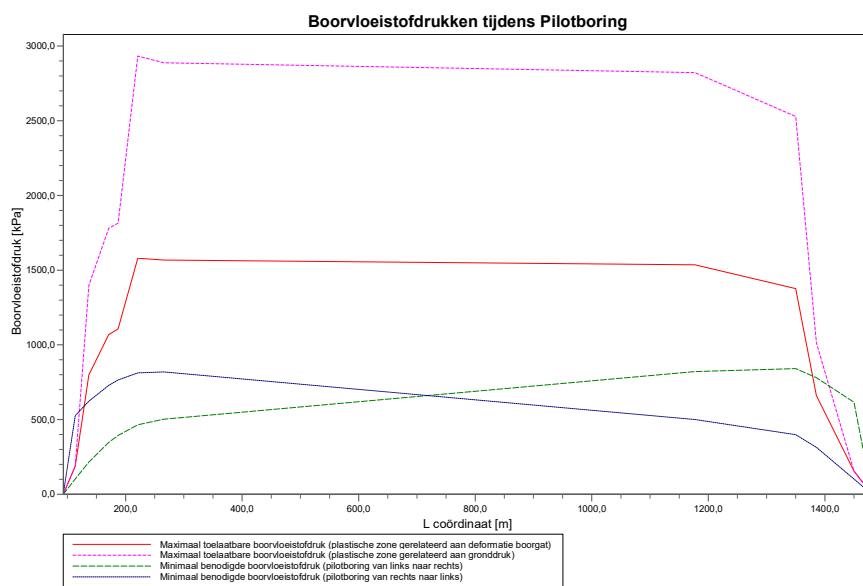
4.2 Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk

Verticaal nr.	Hydrostatische kolomdruk			
	Boorvloeistof [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Veiligheidsfactor [-]	Resultaat
1	94	55	1,70	voldoet
2	199	126	1,58	voldoet
3	316	233	1,36	voldoet
4	357	270	1,32	voldoet
5	414	323	1,28	voldoet
6	435	344	1,27	voldoet
7	401	344	1,17	voldoet
8	354	307	1,15	voldoet
9	281	242	1,16	voldoet
10	91	72	1,27	voldoet

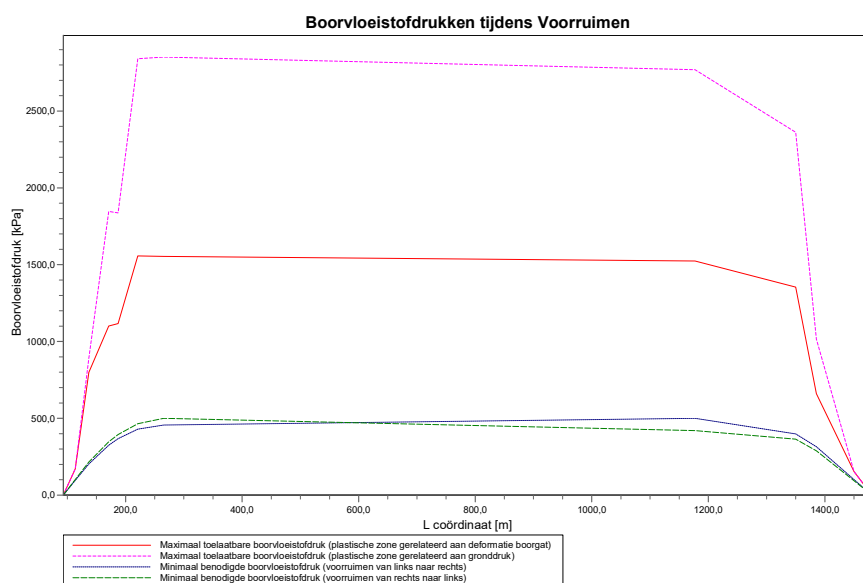
De statische boorvloeistofdruk is berekend en kan worden vergeleken met de berekende grondwater druk. De veiligheids factor wordt bepaald door de verhouding van boorvloeistofdruk en grondwater druk. Deze moet hoger zijn dan de vereiste veiligheidsfactor van 1,10

4.3 Boorvloeistofdruk Grafieken

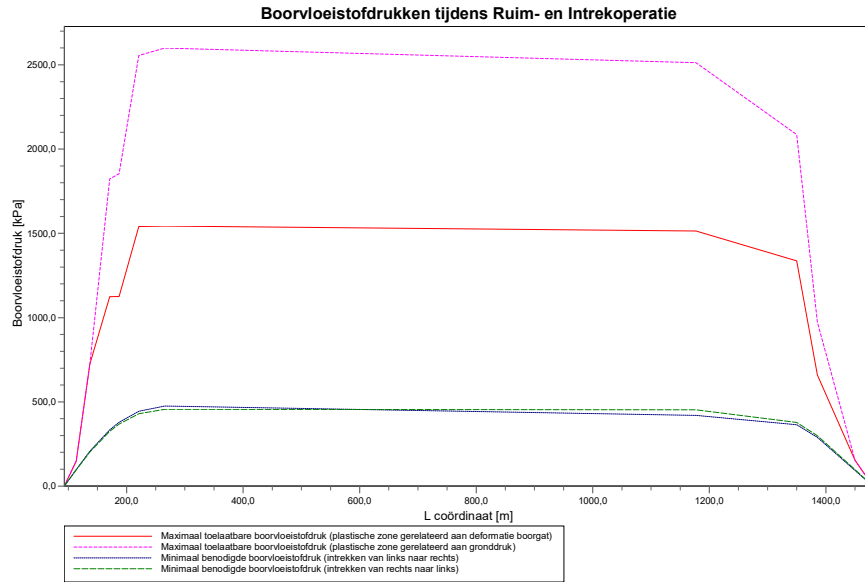
4.3.1 Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring



4.3.2 Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen



4.3.3 Boorvloeiستofdrücken tijdens Ruim- en Intrekoperatie



5 Spanning Overzicht

5.1 Spanning overzicht per pijp and verticaal

Leiding	Verticaal	Resultaat
1	1	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	2	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	3	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	4	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	5	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	6	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	7	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	8	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	9	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	10	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

6 Grondmechanische Data

6.1 Grondmechanische Parameters (Leiding: intake pipe (SDR 9))

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q _{v;p}	Passieve grondspanning	kN/m ²
q _{v;n}	Neutrale grondspanning	kN/m ²
q _{h;n}	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m ²
q _{v;r;n}	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m ²
q _{verkeer}	Verkeersbelasting	kN/m ²
q _{v;e}	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m ²
q _{h;e}	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m ²
k _{v;bot}	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m ³
k _{v;top}	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m ³
k _h	Horizontaal beddinggetal	kN/m ³
t _{max}	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m ²
d _{max}	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q _{v;p} [kN/m ²]	q _{v;n} [kN/m ²]	q _{h;n} [kN/m ²]	q _{v;r;n} [kN/m ²]	q _{verkeer} [kN/m ²]	q _{v;e} [kN/m ²]
1	312	111	82	111	0	894
2	1667	232	98	132	0	10915
3	3077	482	141	190	0	12909
4	3143	494	132	178	0	43084
5	4675	375	71	96	2	32812
6	4595	367	45	61	0	32072
7	4550	360	38	51	0	31530
8	3606	316	65	88	0	27669
9	1708	240	93	125	0	10289
10	179	59	44	59	0	909

Verticaal nr.	q _{h;e} [kN/m ²]	k _{v;bot} [kN/m ³]	k _{v;top} [kN/m ³]	k _h [kN/m ³]	t _{max} [kN/m ²]	d _{max} [mm]
1	312	18653	25696	13057	0,05	7,5
2	2451	61105	80675	42773	0,05	7,5
3	3077	78670	80044	55069	0,05	7,5
4	3143	208892	46156	146224	0,05	7,5
5	5116	181500	164977	127050	0,05	7,5
6	5023	179375	162682	125563	0,05	7,5
7	4956	177813	160993	124469	0,05	7,5
8	4410	166404	145423	116483	0,05	7,5
9	1708	114672	29965	80270	0,05	7,5
10	179	15508	383	10855	0,05	7,5

Maximale grondspanning	: q _{v;n;max} = 494 kN/m ²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen)	: q _{verkeer;max} = 190 kN/m ²
Maximale gereduceerde grondspanning	: q _{v;r;n;max} = 190 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor) alleen voor verticalen in diepe situatie	: k _{v;max} = 208892 kN/m ³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast) alleen voor verticalen in diepe situatie	: k _{v;max} = 417784 kN/m ³

6.2 Young's Modulus per Laag per Verticaal

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingstype
12	1 Zand los	Berekend met E100
11	2 Klei, slap	Berekend met E100
10	3 Veen, matig	Berekend met E100
9	3 Veen, matig	Berekend met E100
8	2 Klei, slap	Berekend met E100

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingstype
7	4 Zand, matig	Berekend met E100
6	6 Zand, kleilig	Berekend met E100
5	6 Zand, kleilig	Berekend met E100
4	5 Klei, matig	Berekend met E100
3	4 Zand, matig	Berekend met E100
2	6 Zand, kleilig	Berekend met E100
1	7 Zand, vast	Berekend met E100

Laag nummer	Verticaal 1 (L=113,453 m)		Verticaal 2 (L=136,994 m)		Verticaal 3 (L=171,05 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	46,222	0,000	48,621	0,000	71,924
11	2,088	2,803	2,264	2,961	4,235	4,800
10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	2,400	2,456
9	1,401	1,470	1,480	1,547	n.v.t.	n.v.t.
8	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4,912	4,923
7	95,429	119,859	98,527	122,339	131,684	150,007
6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	60,003	60,095
5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	60,095	60,271
4	8,469	8,825	8,751	9,105	12,214	12,497
3	122,986	131,496	125,404	133,761	152,854	159,781
2	52,598	58,818	53,504	59,630	63,912	69,102
1	215,667	266,826	218,642	269,237	253,372	298,198

Laag nummer	Verticaal 4 (L=187,18 m)		Verticaal 5 (L=220,858 m)		Verticaal 6 (L=265,5 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	68,204	0,000	35,644	0,000	25,630
11	3,890	4,422	1,377	1,847	0,813	1,278
10	2,211	2,263	0,923	0,961	0,639	0,675
9	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
8	4,526	4,544	1,922	1,951	1,350	1,397
7	125,256	144,137	73,855	101,903	59,940	91,185
6	57,655	57,824	40,761	41,215	36,474	37,297
5	57,824	58,147	41,215	42,073	37,297	38,826
4	11,532	11,787	6,872	7,083	6,043	6,154
3	147,364	154,537	107,188	116,854	98,171	108,642
2	61,815	67,151	46,742	53,558	43,457	50,659
1	246,219	292,197	196,380	251,765	185,749	243,740

Laag nummer	Verticaal 7 (L=1177,28 m)		Verticaal 8 (L=1350 m)		Verticaal 9 (L=1385,528 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	22,639	0,000	22,450	0,000	22,537
11	0,666	0,915	0,657	0,881	0,662	0,884
10	0,458	0,533	0,440	0,520	0,442	0,522
9	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
8	1,066	1,484	1,040	1,500	1,044	1,503
7	62,231	65,960	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6	26,384	35,156	25,062	34,959	25,097	34,984
5	35,156	47,656	34,959	48,586	34,984	48,604
4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
2	47,656	48,776	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1	178,846	242,178	178,149	242,072	178,215	242,121

Laag nummer	Verticaal 10 (L=1450 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	22,695
11	0,669	0,891
10	0,446	0,525
9	n.v.t.	n.v.t.
8	1,050	1,509
7	n.v.t.	n.v.t.

Laag nummer	Verticaal 10 (L=1450 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	25,160	35,029
5	35,029	48,637
4	n.v.t.	n.v.t.
3	n.v.t.	n.v.t.
2	n.v.t.	n.v.t.
1	178,334	242,209

7 Gegevens voor Sterkteberekening

7.1 Algemene Gegevens

Equivalente diameter leiding	:	Do = 900,00 mm
Equivalente nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Equivalente volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 208892 kN/m ³
Volumegewicht boorvloeistof	:	gamma_b = 11,10 kN/m ³
Kromtestraal op rollenbaan (intrekboog)	:	Rrol = 400,000 m
Wrijvingscoëfficiënt leiding/rollenbaan	:	f1 = 0,10
Wrijving tussen leiding en boorvloeistof	:	f2 = 0,000050 N/mm ²
Wrijvingscoëfficiënt leiding/grond	:	f3 = 0,20

7.2 Ballasten Leiding

Het opdrijvend vermogen van de productbuis in de boorvloeistof heeft invloed op de wrijving tussen de grond en de leiding. Door het ballasten van de leiding neemt de opwaartse kracht van de leiding in de boorvloeistof af. Bij een optimaal vullingpercentage is de wrijvingskracht tussen de leiding en de wand van het boorgat minimaal

Bij een vulling percentage van 100% ontstaat het volgende resulterende gewicht.

Opwaartse kracht	:	720	[kg/m]
Gewicht productbuis (inclusief vulling)	:	637	[kg/m]
Resultaat	:	83	[kg/m] (Leiding beweegt opwaarts)

7.3 Trekkraftberekening

Tijdens het intrekken van de leiding door het boorgat ondervindt de buis een wrijving die is opgebouwd uit:

- wrijving tussen buis en rollenbaan (f1 = 0,10)
- wrijving tussen buis en boorvloeistof (f2 = 0,000050 [N/mm²])
- wrijving tussen buis en grond (f3 = 0,20)

Door het optreden van wrijving tijdens het intrekken ontstaat een trekkraft in de leiding. De pijpleiding wordt van links naar rechts ingetrokken.

Bij het berekenen van de trekkraften wordt rekening gehouden met het feit dat de lengte van de buis op de rollenbaan afneemt naarmate de doortrekeoperatie vordert. Bij het berekenen van de trekkraft wordt uitgegaan van een stabiel boorgat.

Karakteristieke punten	Lengte leiding in gat (m)	Karakteristieke waarde voor de trekkraft (kN)
T1	0	335
T2	34	337
T3	172	437
T4	1209	520
T5	1314	583
T6	1398	588

De berekende waarden van de trekkraft zijn karakteristieke waarden waarop nog een totaal factor voor stochastische variatie en modelonzekerheid (f) van tenminste 1.4 moet worden toegepast in de sterkte berekening, volgens art. E.1.2.1 van NEN 3650-1:2012. In de sterkteberekening (volgend hoofdstuk) is een factor van 1,40 gebruikt en een belasting factor van 1,00.

De maximale representatieve trekkraft is 2513 kN, exclusief rekenfactor. Bij deze trekkraft zijn de spanningen in de leiding gelijk aan de toelaatbare spanning.

8 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1

8.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 111 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 25696 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

8.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

8.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

8.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,28	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	8,7E-4	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,41	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

8.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,96	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	3,23	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,21	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,96	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,80	N/mm ²

8.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,28	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,00	2,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	3,23	3,80

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 9,0 mm (1,00% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

8.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 1

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 98 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 55 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

9 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2

9.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 132 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 80675 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

9.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

9.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

9.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,28	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,42	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,2E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0302	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,54	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,35	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,41	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

9.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,32	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,89	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	4,04	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \alpha_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,62	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,32	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,89	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,57	N/mm ²

9.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,42	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,62
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,35	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	4,04	4,57

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 12,4 mm (1,38% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

9.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 2

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 208 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 126 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

10 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3

10.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 190 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 80044 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

10.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

10.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

10.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,28	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,42	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,2E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0301	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,54	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,35	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,41	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

10.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,32	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,51	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	5,74	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,62	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,32	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,51	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,14	N/mm ²

10.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,42	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,62
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,35	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	5,74	6,14

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 17,2 mm (1,91% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

10.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 3

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 334 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 233 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

11 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4

11.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 178 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 208892 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

11.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

11.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 2,87 N/mm²

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

11.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 1,76 N/mm²

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$ = 3,28 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 4,42 N/mm²

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$ = 1,5E-3 1/mm

qr = 0,0486 N/mm²

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,87 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 0,57 N/mm²

11.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$ = 0,41 N/mm²

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 1,63 N/mm²

11.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,63 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 0,41 N/mm²

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,52 N/mm²

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 7,97 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 5,52 N/mm²

11.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,63 N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \alpha_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,62	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,52	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,97	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,94	N/mm ²

11.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,42	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,62
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,57	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	5,52	5,94

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 17,3 mm (1,92% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

11.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 4

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 379 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 270 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

12 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5

12.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 96 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 2 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 181500 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

12.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

12.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

12.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,28	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,42	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,4E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0453	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,53	N/mm ²
---	---	------	-------------------

12.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,41	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

12.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,49	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,34	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	3,14	N/mm ²
---	---	------	-------------------

12.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,62	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,49	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,34	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,73	N/mm ²

12.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,42	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,62
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,53	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	3,14	3,73

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 10,7 mm (1,19% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

12.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 5

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 444 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 323 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

13 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6

13.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 61 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 179375 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 1000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

13.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

13.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 2,87 N/mm²

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

13.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,61 N/mm²

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$ = 3,28 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 3,67 N/mm²

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$ = 1,4E-3 1/mm

qr = 0,0158 N/mm²

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,28 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 0,18 N/mm²

13.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$ = 0,41 N/mm²

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 1,63 N/mm²

13.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,22 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 0,14 N/mm²

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,17 N/mm²

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 2,73 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 1,88 N/mm²

13.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,22 N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,35	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,17	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,73	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,56	N/mm ²

13.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,67	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,14	2,35
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,18	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	1,88	2,56

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 5,9 mm (0,65% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

13.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 6

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 475 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 344 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

14 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7

14.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 51 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 177813 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

14.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

14.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

14.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,28	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,4E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,41	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

14.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	1,47	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,21	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,26	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,18	N/mm ²

14.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,28	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,00	2,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	1,47	2,18

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 4,1 mm (0,46% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

14.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 7

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 420 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 344 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

15 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8

15.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 166404 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 400,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

15.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

15.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 2,87 N/mm²

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

15.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 1,54 N/mm²

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$ = 3,28 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 4,27 N/mm²

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$ = 1,4E-3 1/mm

qr = 0,0380 N/mm²

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,68 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 0,44 N/mm²

15.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$ = 0,41 N/mm²

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 1,63 N/mm²

15.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,55 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 0,36 N/mm²

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,41 N/mm²

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 3,93 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 2,82 N/mm²

15.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,55 N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,57	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	3,93	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,43	N/mm ²

15.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,27	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,36	2,57
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,44	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	2,82	3,43

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 9,3 mm (1,03% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

15.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 8

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 364 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 307 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

16 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9

16.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 125 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 114672 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 400,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

16.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

16.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 2,87 N/mm²

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

16.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 1,54 N/mm²

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$ = 3,28 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 4,27 N/mm²

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$ = 1,3E-3 1/mm

qr = 0,0315 N/mm²

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,57 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 0,37 N/mm²

16.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$ = 0,41 N/mm²

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 1,63 N/mm²

16.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,55 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 0,36 N/mm²

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,34 N/mm²

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 5,59 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 3,86 N/mm²

16.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,55 N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 0,81 N/mm²

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,57	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,34	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,59	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,40	N/mm ²

16.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,27	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,36	2,57
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,37	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	3,86	4,40

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 12,0 mm (1,33% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

16.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 9

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 289 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 242 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

17 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10

17.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 100,00 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 59 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 15508 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

17.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 100,0 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

17.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

17.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,28	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	7,7E-4	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

17.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,41	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

17.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,64	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	1,72	N/mm ²
---	---	------	-------------------

17.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,41	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	1,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,21	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,64	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,928	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,960	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,40	N/mm ²

17.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	1,63	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	0,81	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,28	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,00	2,21
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	1,72	2,40

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 4,8 mm (0,53% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

17.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 9) Verticaal 10

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 94 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 3023 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 3377 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 72 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 543 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 897 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

Einde Rapport

Rapport voor D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontaal Gestuurde Boring
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: ARCADIS
Infrastructure

Datum van rapport: 4-2-2022
Tijd van rapport: 12:03:42
Rapport met versie: 20.1.2.31161
Berekend met versie: 20.1.2.31161

Bestandsnaam: intake SDR 11 NL

Projectbeschrijving: Pallas
intake pipelines

1 Inhoudsopgave

1	Inhoudsopgave	2
2	Berichten	5
2.1	Berekeningswaarschuwingen	5
3	Invoergegevens	6
3.1	Gebruikt Model	6
3.2	Laagscheidingen	6
3.3	PN-Lijnen	6
3.4	Freatische Lijn	6
3.5	Grondprofielen	6
3.6	Grenslagen	7
3.7	Grondeigenschappen	7
3.8	Geometrie	8
3.8.1	Geometrie Sectie, Detail	8
3.8.2	Geometrie Bovenaanzicht	9
3.9	Berekenings Verticalen	9
3.10	Verkeersbelasting	9
3.11	Configuratie van de Pijpleiding	9
3.12	Materiaalgegevens van de Leiding	10
3.13	Gegevens voor Leidingberekening	10
3.14	Boorvloeistof Gegevens	10
3.15	Factoren	11
3.16	Rekenopties	11
4	Boorvloeistofdrukken	12
4.1	Boorvloeistof Gegevens	12
4.2	Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk	12
4.3	Boorvloeistofdruk Grafieken	13
4.3.1	Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring	13
4.3.2	Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen	13
4.3.3	Boorvloeistofdrukken tijdens Ruim- en Intrekoperatie	14
5	Spanning Overzicht	15
5.1	Spanning overzicht per pijp and verticaal	15
6	Grondmechanische Data	16
6.1	Grondmechanische Parameters (Leiding: intake pipe (SDR 11))	16
6.2	Young's Modulus per Laag per Verticaal	16
7	Gegevens voor Sterkteberekening	19
7.1	Algemene Gegevens	19
7.2	Ballasten Leiding	19
7.3	Trekkkrachtberekening	19
8	Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1	20
8.1	Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1	20
8.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1	20
8.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	20
8.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	21
8.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	21
8.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	21
8.2.5	Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	21
8.3	Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1	22
8.4	Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1	22
9	Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2	24
9.1	Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2	24
9.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2	24
9.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	24
9.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	25
9.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	25
9.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	25
9.2.5	Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	25
9.3	Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2	26
9.4	Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2	26
10	Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3	28
10.1	Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3	28
10.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3	28
10.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	28
10.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	29
10.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	29

10.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	29
10.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	29
10.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3	30
10.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3	30
11 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4	32
11.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4	32
11.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4	32
11.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	32
11.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	33
11.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	33
11.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	33
11.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	33
11.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4	34
11.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4	34
12 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5	36
12.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5	36
12.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5	36
12.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	36
12.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	37
12.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	37
12.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	37
12.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	37
12.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5	38
12.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5	38
13 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6	40
13.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6	40
13.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6	40
13.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	40
13.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	41
13.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	41
13.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	41
13.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	41
13.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6	42
13.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6	42
14 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7	44
14.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7	44
14.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7	44
14.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	44
14.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	45
14.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	45
14.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	45
14.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	45
14.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7	46
14.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7	46
15 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8	48
15.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8	48
15.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8	48
15.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	48
15.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	49
15.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	49
15.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	49
15.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	49
15.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8	50
15.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8	50
16 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9	52
16.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9	52
16.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9	52
16.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	52
16.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	53
16.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	53
16.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	53
16.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	53
16.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9	54
16.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9	54
17 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10	56
17.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10	56
17.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10	56

17.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	56
17.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	57
17.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	57
17.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	57
17.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	57
17.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10	58
17.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10	58

2 Berichten

2.1 Berekeningswaarschuwingen

Een of meer lagen boven de grens tussen de ongedraineerde toplagen en de onderliggende gedraineerde lagen hebben een Su-waarde van 0.

3 Invoergegevens

3.1 Gebruikt Model

Gebruikt Model : Horizontaal Gestuurde Boring

3.2 Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [m]				
12 - L -	0,000	68,756	136,929	171,890	182,378
12 - Z -	6,043	4,076	5,775	13,552	13,194
12 - L -	220,835	250,551	1488,000		
12 - Z -	1,841	0,034	0,409		
11 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
11 - Z -	-3,000	-3,000	-1,500	-1,500	
10 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
10 - Z -	-6,500	-6,500	-3,000	-3,000	
9 - L -	0,000	150,000	150,042	1280,000	1488,000
9 - Z -	-6,500	-6,500	-7,500	-5,500	-5,500
8 - L -	0,000	150,000	150,042	1280,000	1488,000
8 - Z -	-7,500	-7,500	-7,500	-5,500	-5,500
7 - L -	0,000	150,000	150,042	1280,000	1488,000
7 - Z -	-7,500	-7,500	-7,500	-9,000	-9,000
6 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
6 - Z -	-16,000	-16,000	-9,000	-9,000	
5 - L -	0,000	150,000	1277,738	1488,000	
5 - Z -	-16,000	-16,000	-15,000	-15,000	
4 - L -	0,000	150,000	311,429	688,096	1280,000
4 - Z -	-16,000	-16,000	-17,500	-21,000	-26,500
4 - L -	1488,000				
4 - Z -	-26,500				
3 - L -	0,000	311,429	688,096	1280,000	1488,000
3 - Z -	-17,500	-17,500	-21,000	-26,500	-26,500
2 - L -	0,000	688,096	1280,000	1488,000	
2 - Z -	-21,000	-21,000	-26,500	-26,500	
1 - L -	0,000	150,000	1280,000	1488,000	
1 - Z -	-28,000	-28,000	-26,500	-26,500	
0 - L -	0,000	1488,000			
0 - Z -	-45,000	-45,000			

3.3 PN-Lijnen

PN-lijnummer	Coördinaten [m]				
1 - L -	0,000	65,333	139,970	182,458	212,889
1 - Z -	2,353	2,352	2,177	1,736	0,027
1 - L -	248,444	1488,000			
1 - Z -	-0,410	-0,410			
2 - L -	0,000	1488,000			
2 - Z -	-0,650	-0,650			

3.4 Freatische Lijn

Piezo lijn 1 is gebruikt als freatische lijn (grondwater).

3.5 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
12	1 Zand los	1	1
11	2 Klei, slap	1	99
10	3 Veen, matig	99	99
9	3 Veen, matig	99	2
8	2 Klei, slap	99	2
7	4 Zand, matig	2	2

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
6	6 Zand, kleiig	2	2
5	6 Zand, kleiig	2	2
4	5 Klei, matig	99	99
3	4 Zand, matig	2	2
2	6 Zand, kleiig	2	2
1	7 Zand, vast	2	2

3.6 Grenslagen

De grens tussen (cohesieve) ongedraineerde toplagen en onderliggende (niet-cohesieve) gedraineerde lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 7: 4 Zand, matig

De grens tussen compressibele toplagen en de onderliggende niet-compressibele lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 1: 7 Zand, vast

3.7 Grondeigenschappen

Naam	Gamma-onverz			Gamma-verz		
	Uniek [kN/m ³]	Laag [kN/m ³]	Hoog [kN/m ³]	Uniek [kN/m ³]	Laag [kN/m ³]	Hoog [kN/m ³]
1 Zand los	-	17,00	18,00	-	19,00	20,00
2 Klei, slap	-	14,00	17,00	-	14,00	17,00
3 Veen, matig	-	12,00	13,00	-	12,00	13,00
4 Zand, matig	-	18,00	19,00	-	20,00	21,00
5 Klei, matig	-	17,00	19,00	-	17,00	19,00
- Klei, zeer zandig	-	18,00	20,00	-	18,00	20,00
6 Zand, kleiig	-	18,00	19,00	-	20,00	21,00
7 Zand, vast	-	19,00	20,00	-	21,00	22,00

Naam	Cohesie			Phi		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [grad]	Laag [grad]	Hoog [grad]
1 Zand los	-	0,00	0,00	-	30,00	32,50
2 Klei, slap	-	0,00	5,00	-	17,50	17,50
3 Veen, matig	-	2,50	5,00	-	15,00	15,00
4 Zand, matig	-	0,00	0,00	-	32,50	35,00
5 Klei, matig	-	5,00	13,00	-	17,50	17,50
- Klei, zeer zandig	-	0,00	2,00	-	25,00	27,50
6 Zand, kleiig	-	0,00	1,00	-	27,50	30,00
7 Zand, vast	-	0,00	0,00	-	35,00	40,00

Naam	Su-top			Su-onder		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand los	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
2 Klei, slap	-	25,00	50,00	-	25,00	50,00
3 Veen, matig	-	20,00	30,00	-	20,00	30,00
4 Zand, matig	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
5 Klei, matig	-	50,00	100,00	-	50,00	100,00
- Klei, zeer zandig	-	1,00	10,00	-	1,00	10,00
6 Zand, kleiig	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
7 Zand, vast	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00

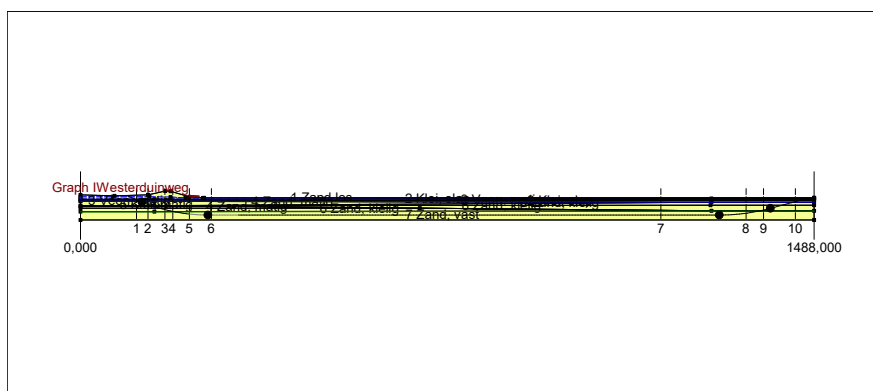
Naam	Emod-top			Emod-onder		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand los	-	-	-	-	-	-
2 Klei, slap	-	-	-	-	-	-
3 Veen, matig	-	-	-	-	-	-
4 Zand, matig	-	-	-	-	-	-
5 Klei, matig	-	-	-	-	-	-
- Klei, zeer zandig	-	-	-	-	-	-
6 Zand, kleiig	-	-	-	-	-	-
7 Zand, vast	-	-	-	-	-	-

Naam	Grondtype	Emod 100		
		Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand los	Sand	-	15000,00	45000,00
2 Klei, slap	Clay	-	1000,00	2000,00
3 Veen, matig	Peat	-	500,00	1000,00
4 Zand, matig	Sand	-	45000,00	75000,00
5 Klei, matig	Clay	-	2000,00	4000,00
- Klei, zeer zandig	Clay	-	2000,00	5000,00
6 Zand, kleiig	Sand	-	15000,00	30000,00
7 Zand, vast	Sand	-	75000,00	110000,00

Naam	Adhesie A [kN/m ²]	Delta D [grad]	Nu [-]
1 Zand los	-	-	0,00
2 Klei, slap	-	-	0,00
3 Veen, matig	-	-	0,00
4 Zand, matig	-	-	0,00
5 Klei, matig	-	-	0,00
- Klei, zeer zandig	-	-	0,00
6 Zand, kleiig	-	-	0,00
7 Zand, vast	-	-	0,00

3.8 Geometrie

3.8.1 Geometrie Sectie, Detail



3.8.2 Geometrie Bovenaanzicht



3.9 Berekenings Verticalen

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
1	113,453	-3,792
2	136,994	-13,263
3	171,050	-23,921
4	187,180	-27,674
5	220,858	-32,979
6	265,500	-35,000
7	1177,280	-35,000
8	1350,000	-31,326
9	1385,528	-24,831
10	1450,000	-7,822

Locaties berekenings verticalen; L is de horizontale coördinaat langs de leiding geprojecteerd op het horizontale vlak, opgehoogd met de intrede coördinaat.

3.10 Verkeersbelasting

Westerduinweg		
L begin	220,00	[m]
L einde	240,00	[m]
Belastingsmodel (grafiektype)	Graph I	

3.11 Configuratie van de Pijpleiding

X coördinaat linker punt	93,000	[m]
Y coördinaat linker punt	0,000	[m]
Z coördinaat linker punt	4,680	[m]
X coördinaat rechter punt	1480,000	[m]
Y coördinaat rechter punt	0,000	[m]
Z coördinaat rechter punt	0,407	[m]

Hoek links	22,5000	[grd]
Hoek rechts	15,0000	[grd]
Kromtestraal links, verticaal in/uit	350,000	[m]
Kromtestraal rechts, verticaal in/uit	400,000	[m]
Kromtestraal rollenbaan (intrekboog)	400,000	[m]
Diepste punt van de pijpleiding (hart boortracé)	-35,000	[m]
Hoek van de pijpleiding (tussen de stralen)	0,0000	[grd]
Aantal horizontale bochten:	1	

De pijpleiding wordt van links naar rechts ingetrokken.

Bocht nr.	X1-coörd. [m]	Y1-coörd. [m]	X2-coörd. [m]	Y2-coörd. [m]	Kromtestraal [m]	Richting
1	220,686	11,266	322,000	15,090	1000,000	links

3.12 Materiaalgegevens van de Leiding

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	975,00	[N/mm ²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	350,00	[N/mm ²]
Toelaatbare spanning (kort)	10,00	[N/mm ²]
Toelaatbare spanning (lang)	8,00	[N/mm ²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]
Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001800	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	900,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	81,82	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m ³]
Ontwerpdruk	2,00	[bar]
Incidentele druk	4,00	[bar]
Temperatuur variatie	26,00	[gr C]

3.13 Gegevens voor Leidingberekening

Leiding gevuld met water op rollen	Nee	
Percentage leiding gevuld met vloeistof	100	[%]
Volume gewicht vloeistof	10,00	[kN/m ³]
Opleghoek	120	[grd]
Belastingshoek	180	[grd]
Relatieve verplaatsing	10,00	[mm]
Samendrukkingsconstante	6,00	[-]
Beddingsconstante boorvloeistof (Kv)	500,00	[kN/m ³]
Hoek van inwendige wrijving boorvloeistof	15,00	[grd]
Cohesie boorvloeistof	5,00	[kN/m ²]
Wrijvingsfactor leiding-rollenbaan (f1)	0,10	[-]
Wrijvingscoëfficiënt leiding-boorvloeistof (f2)	0,000050	[N/mm ²]
Wrijvingsfactor leiding-grond (f3)	0,20	[-]

3.14 Boorvloeistof Gegevens

Uitwendige diameter boorgat pilotboring	0,250	[m]
Uitwendige diameter pilotbuis	0,080	[m]
Uitwendige diameter boorgat voorruimen	0,800	[m]
Uitwendige diameter buis voorruimen	0,150	[m]
Uitwendige diameter uiteindelijke boorgat	1,200	[m]
Uitwendige diameter leiding	0,900	[m]
Debiet tijdens pilotboring	100,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens voorruimen	600,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens intrekken	800,0000	[liter/minuut]
Factor debietverlies tijdens pilotboring	0,30	[-]
Factor debietverlies tijdens voorruimen	0,20	[-]
Factor debietverlies tijdens intrekken	0,20	[-]
Volumegewicht boorvloeistof	11,1	[kN/m ³]
Zwichtspanning boorvloeistof	0,014	[kN/m ²]
Viscositeit boorvloeistof	0,000040	[kN.s/m ²]

3.15 Factoren

(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Lang)	3,0	[-]
(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Kort)	1,5	[-]
Onzekerheidsfactor volumegewicht		
van materiaaltypen onder en boven freatische lijn	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor (gedraineerde) cohesie C	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor ongedraineerde schuifsterkte Su	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor Phi	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor E-modulus	1,25	[-]
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	2,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie) (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor testdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor aanlegbelasting (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q _{n;r} (Polyetheen)	1,50	[-]
Belastingsfactor temperatuur (Polyetheen)	1,10	[-]
Belastingsfactor verkeersbelasting (Polyetheen)	1,35	[-]
Importantie factor (S)	1,00	[-]
Toelaatbare deflectie stalen leiding	15,00	[%]
Toelaatb. deflectie stalen leiding bij inspectie ('piggability')	5,00	[%]
Toelaatbare deflectie polyetheen leiding	8,00	[%]
Toelaat. deflectie polyetheen leiding bij inspectie ('piggability')	8,00	[%]
Volumegewicht water	10,00	[kN/m ³]
Veiligheidsfactor dekking (gedraineerde lagen)	0,50	[-]
Veiligheidsfactor dekking (ongedraineerde lagen)	0,50	[-]
Verhouding H/Do voor grens tussen ondiepe en diepe situatie	7,50	[-]

3.16 Rekenopties

Stress analyse optie : Per verticaal

4 Boorvloeistofdrukken

4.1 Boorvloeistof Gegevens

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken pilot [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	188	188	102	527
2	799	1399	216	623
3	1069	1780	347	729
4	1107	1815	394	765
5	1580	2933	465	812
6	1568	2888	503	819
7	1536	2822	821	500
8	1377	2529	841	399
9	661	1015	781	315
10	155	155	616	102

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken voorruimen [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	171	171	96	102
2	799	892	203	216
3	1101	1847	325	347
4	1117	1837	368	394
5	1557	2841	430	465
6	1554	2851	456	500
7	1524	2769	500	420
8	1354	2362	399	364
9	660	1015	315	289
10	154	154	102	94

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken intrekken [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	149	149	98	96
2	725	725	208	203
3	1124	1823	334	325
4	1125	1854	379	368
5	1540	2556	444	430
6	1543	2599	475	456
7	1514	2513	420	453
8	1337	2086	364	378
9	660	973	289	299
10	154	154	94	98

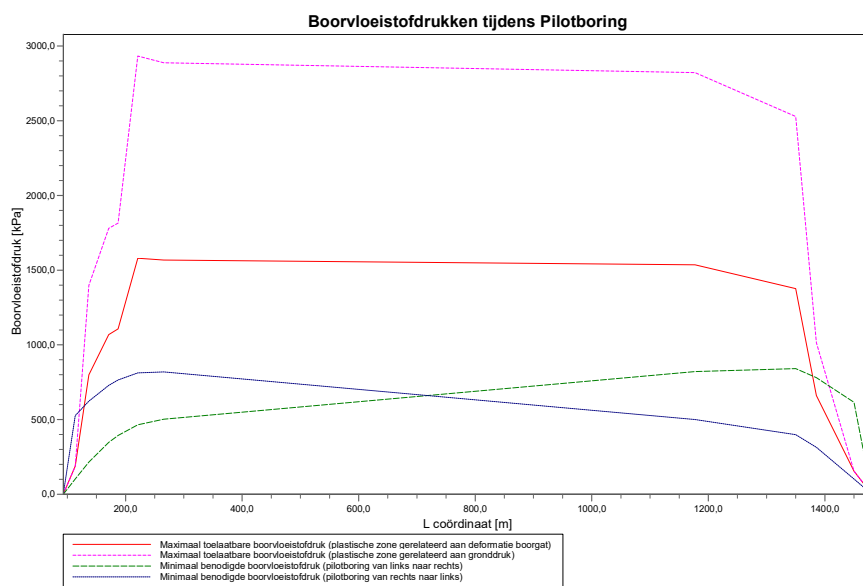
4.2 Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk

Verticaal nr.	Hydrostatische kolomdruk			
	Boorvloeistof [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Veiligheidsfactor [-]	Resultaat
1	94	55	1,70	voldoet
2	199	126	1,58	voldoet
3	316	233	1,36	voldoet
4	357	270	1,32	voldoet
5	414	323	1,28	voldoet
6	435	344	1,27	voldoet
7	401	344	1,17	voldoet
8	354	307	1,15	voldoet
9	281	242	1,16	voldoet
10	91	72	1,27	voldoet

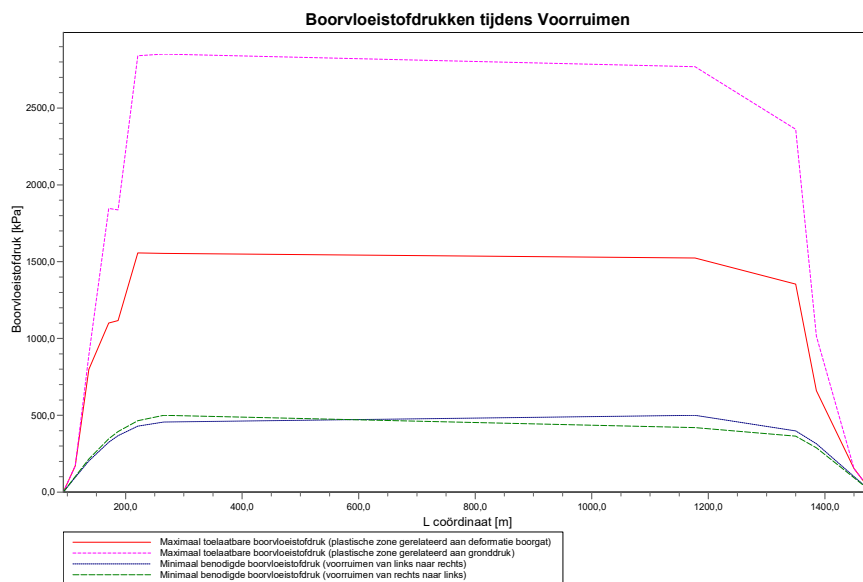
De statische boorvloeistofdruk is berekend en kan worden vergeleken met de berekende grondwater druk. De veiligheids factor wordt bepaald door de verhouding van boorvloeistofdruk en grondwater druk. Deze moet hoger zijn dan de vereiste veiligheidsfactor van 1,10

4.3 Boorvloeistofdruk Grafieken

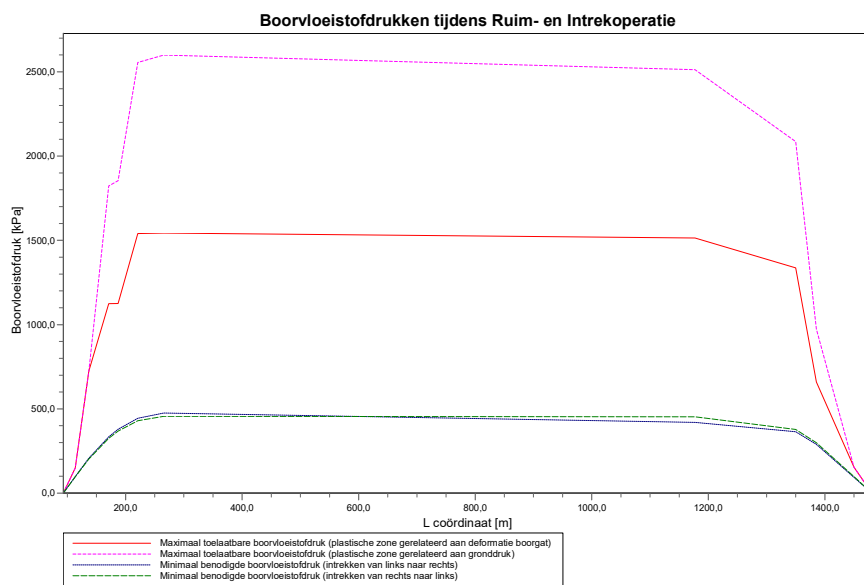
4.3.1 Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring



4.3.2 Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen



4.3.3 Boorvloeiستofdrücken tijdens Ruim- en Intrekoperatie



5 Spanning Overzicht

5.1 Spanning overzicht per pijp and verticaal

Leiding	Verticaal	Resultaat
1	1	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	2	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	3	In fase 3/4 zijn de spanningen NIET toelaatbaar.
1	4	In fase 3/4 zijn de spanningen NIET toelaatbaar.
1	5	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	6	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	7	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	8	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	9	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	10	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

6 Grondmechanische Data

6.1 Grondmechanische Parameters (Leiding: intake pipe (SDR 11))

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q _{v;p}	Passieve grondspanning	kN/m ²
q _{v;n}	Neutrale grondspanning	kN/m ²
q _{h;n}	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m ²
q _{v;r;n}	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m ²
q _{verkeer}	Verkeersbelasting	kN/m ²
q _{v;e}	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m ²
q _{h;e}	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m ²
k _{v;bot}	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m ³
k _{v;top}	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m ³
k _h	Horizontaal beddinggetal	kN/m ³
t _{max}	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m ²
d _{max}	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q _{v;p} [kN/m ²]	q _{v;n} [kN/m ²]	q _{h;n} [kN/m ²]	q _{v;r;n} [kN/m ²]	q _{verkeer} [kN/m ²]	q _{v;e} [kN/m ²]
1	312	111	82	111	0	894
2	1667	232	98	132	0	10915
3	3077	482	141	190	0	12909
4	3143	494	132	178	0	43084
5	4675	375	71	96	2	32812
6	4595	367	45	61	0	32072
7	4550	360	38	51	0	31530
8	3606	316	65	88	0	27669
9	1708	240	93	125	0	10289
10	179	59	44	59	0	909

Verticaal nr.	q _{h;e} [kN/m ²]	k _{v;bot} [kN/m ³]	k _{v;top} [kN/m ³]	k _h [kN/m ³]	t _{max} [kN/m ²]	d _{max} [mm]
1	312	18908	26056	13236	0,05	7,5
2	2451	62014	81898	43410	0,05	7,5
3	3077	79860	81257	55902	0,05	7,5
4	3143	212232	46831	148562	0,05	7,5
5	5116	184381	167582	129067	0,05	7,5
6	5023	182220	165249	127554	0,05	7,5
7	4956	180632	163531	126443	0,05	7,5
8	4410	169033	147703	118323	0,05	7,5
9	1708	116446	30389	81513	0,05	7,5
10	179	15717	387	11002	0,05	7,5

Maximale grondspanning	: q _{v;n;max} = 494 kN/m ²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen)	: q _{verkeer;max} = 190 kN/m ²
Maximale gereduceerde grondspanning	: q _{v;r;n;max} = 190 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor) alleen voor verticalen in diepe situatie	: k _{v;max} = 212232 kN/m ³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast) alleen voor verticalen in diepe situatie	: k _{v;max} = 424463 kN/m ³

6.2 Young's Modulus per Laag per Verticaal

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingstype
12	1 Zand los	Berekend met E100
11	2 Klei, slap	Berekend met E100
10	3 Veen, matig	Berekend met E100
9	3 Veen, matig	Berekend met E100
8	2 Klei, slap	Berekend met E100

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingstype
7	4 Zand, matig	Berekend met E100
6	6 Zand, kleilig	Berekend met E100
5	6 Zand, kleilig	Berekend met E100
4	5 Klei, matig	Berekend met E100
3	4 Zand, matig	Berekend met E100
2	6 Zand, kleilig	Berekend met E100
1	7 Zand, vast	Berekend met E100

Laag nummer	Verticaal 1 (L=113,453 m)		Verticaal 2 (L=136,994 m)		Verticaal 3 (L=171,05 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	46,222	0,000	48,621	0,000	71,924
11	2,088	2,803	2,264	2,961	4,235	4,800
10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	2,400	2,456
9	1,401	1,470	1,480	1,547	n.v.t.	n.v.t.
8	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	4,912	4,923
7	95,429	119,859	98,527	122,339	131,684	150,007
6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	60,003	60,095
5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	60,095	60,271
4	8,469	8,825	8,751	9,105	12,214	12,497
3	122,986	131,496	125,404	133,761	152,854	159,781
2	52,598	58,818	53,504	59,630	63,912	69,102
1	215,667	266,826	218,642	269,237	253,372	298,198

Laag nummer	Verticaal 4 (L=187,18 m)		Verticaal 5 (L=220,858 m)		Verticaal 6 (L=265,5 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	68,204	0,000	35,644	0,000	25,630
11	3,890	4,422	1,377	1,847	0,813	1,278
10	2,211	2,263	0,923	0,961	0,639	0,675
9	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
8	4,526	4,544	1,922	1,951	1,350	1,397
7	125,256	144,137	73,855	101,903	59,940	91,185
6	57,655	57,824	40,761	41,215	36,474	37,297
5	57,824	58,147	41,215	42,073	37,297	38,826
4	11,532	11,787	6,872	7,083	6,043	6,154
3	147,364	154,537	107,188	116,854	98,171	108,642
2	61,815	67,151	46,742	53,558	43,457	50,659
1	246,219	292,197	196,380	251,765	185,749	243,740

Laag nummer	Verticaal 7 (L=1177,28 m)		Verticaal 8 (L=1350 m)		Verticaal 9 (L=1385,528 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	22,639	0,000	22,450	0,000	22,537
11	0,666	0,915	0,657	0,881	0,662	0,884
10	0,458	0,533	0,440	0,520	0,442	0,522
9	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
8	1,066	1,484	1,040	1,500	1,044	1,503
7	62,231	65,960	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6	26,384	35,156	25,062	34,959	25,097	34,984
5	35,156	47,656	34,959	48,586	34,984	48,604
4	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
3	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
2	47,656	48,776	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1	178,846	242,178	178,149	242,072	178,215	242,121

Laag nummer	Verticaal 10 (L=1450 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
12	0,000	22,695
11	0,669	0,891
10	0,446	0,525
9	n.v.t.	n.v.t.
8	1,050	1,509
7	n.v.t.	n.v.t.

Laag nummer	Verticaal 10 (L=1450 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
6	25,160	35,029
5	35,029	48,637
4	n.v.t.	n.v.t.
3	n.v.t.	n.v.t.
2	n.v.t.	n.v.t.
1	178,334	242,209

7 Gegevens voor Sterkteberekening

7.1 Algemene Gegevens

Equivalente diameter leiding	:	Do = 900,00 mm
Equivalente nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Equivalente volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 212232 kN/m ³
Volumegewicht boorvloeistof	:	gamma_b = 11,10 kN/m ³
Kromtestraal op rollenbaan (intrekboog)	:	Rrol = 400,000 m
Wrijvingscoëfficiënt leiding/rollenbaan	:	f1 = 0,10
Wrijving tussen leiding en boorvloeistof	:	f2 = 0,000050 N/mm ²
Wrijvingscoëfficiënt leiding/grond	:	f3 = 0,20

7.2 Ballasten Leiding

Het opdrijvend vermogen van de productbuis in de boorvloeistof heeft invloed op de wrijving tussen de grond en de leiding. Door het ballasten van de leiding neemt de opwaartse kracht van de leiding in de boorvloeistof af. Bij een optimaal vullingpercentage is de wrijvingskracht tussen de leiding en de wand van het boorgat minimaal

Bij een vulling percentage van 100% ontstaat het volgende resulterende gewicht.

Opwaartse kracht	:	720	[kg/m]
Gewicht productbuis (inclusief vulling)	:	639	[kg/m]
Resultaat	:	81	[kg/m] (Leiding beweegt opwaarts)

7.3 Trekkraftberekening

Tijdens het intrekken van de leiding door het boorgat ondervindt de buis een wrijving die is opgebouwd uit:

- wrijving tussen buis en rollenbaan (f1 = 0,10)
- wrijving tussen buis en boorvloeistof (f2 = 0,000050 [N/mm²])
- wrijving tussen buis en grond (f3 = 0,20)

Door het optreden van wrijving tijdens het intrekken ontstaat een trekkraft in de leiding. De pijpleiding wordt van links naar rechts ingetrokken.

Bij het berekenen van de trekkraften wordt rekening gehouden met het feit dat de lengte van de buis op de rollenbaan afneemt naarmate de doortrekeoperatie vordert. Bij het berekenen van de trekkraft wordt uitgegaan van een stabiel boorgat.

Karakteristieke punten	Lengte leiding in gat (m)	Karakteristieke waarde voor de trekkraft (kN)
T1	0	280
T2	34	284
T3	172	379
T4	1209	497
T5	1314	559
T6	1398	567

De berekende waarden van de trekkraft zijn karakteristieke waarden waarop nog een totaal factor voor stochastische variatie en modelonzekerheid (f) van tenminste 1.4 moet worden toegepast in de sterkte berekening, volgens art. E.1.2.1 van NEN 3650-1:2012. In de sterkteberekening (volgend hoofdstuk) is een factor van 1,40 gebruikt en een belasting factor van 1,00.

De maximale representatieve trekkraft is 2103 kN, exclusief rekenfactor. Bij deze trekkraft zijn de spanningen in de leiding gelijk aan de toelaatbare spanning.

8 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1

8.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 111 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 26056 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

8.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

8.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

8.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,78	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	9,1E-4	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

8.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,58	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	4,93	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,31	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,58	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,29	N/mm ²

8.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,78	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,00	2,31
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	4,93	5,29

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 17,6 mm (1,96% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

8.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 1

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 98 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 55 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

9 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2

9.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 132 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 81898 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

9.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

9.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

9.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,92	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,2E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0284	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,78	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,51	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

9.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,47	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	9,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	6,15	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,72	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,47	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	9,00	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$	=		
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,37	N/mm ²

9.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,92	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,72
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,51	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	6,15	6,37

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 24,1 mm (2,68% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

9.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 2

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 208 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 126 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

10 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3

10.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 190 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 81257 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

10.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet niet

10.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

10.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,92	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,2E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0283	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,78	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,50	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

10.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,46	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	13,00	N/mm ²
---	---	-------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	8,75	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \alpha_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,72	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,46	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	13,00	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	8,62	N/mm ²

10.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

In fase 3/4 zijn de spanningen NIET toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,92	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,72
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,50	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	8,75	8,62

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 33,4 mm (3,71% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

10.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 3

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 334 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 233 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

11 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4

11.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 178 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 212232 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

11.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet niet

11.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

11.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,92	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,5E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0457	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	1,25	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

11.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

11.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,75	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	12,17	N/mm ²
---	---	-------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	8,40	N/mm ²
---	---	------	-------------------

11.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,72	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,75	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	12,17	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$	=		
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	8,32	N/mm ²

11.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

In fase 3/4 zijn de spanningen NIET toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,92	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,72
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,81	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	8,40	8,32

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 33,4 mm (3,71% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

11.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 4

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 379 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 270 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

12 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5

12.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 96 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 2 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 184381 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 350,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

12.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

12.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

12.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,92	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,5E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0426	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	1,17	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

12.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

12.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,41	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,70	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	4,76	N/mm ²
---	---	------	-------------------

12.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,72	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,70	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,63	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,17	N/mm ²

12.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,92	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,41	2,72
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,76	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	4,76	5,17

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 20,7 mm (2,30% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

12.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 5

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 444 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 323 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

13 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6

13.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 61 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 182220 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 1000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

13.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

13.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 2,87 N/mm²

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

13.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,61 N/mm²

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$ = 3,78 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 4,18 N/mm²

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$ = 1,5E-3 1/mm

qr = 0,0148 N/mm²

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,41 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 0,26 N/mm²

13.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 1,01 N/mm²

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$ = 0,50 N/mm²

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 2,02 N/mm²

13.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,22 N/mm²

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$ = 0,14 N/mm²

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 0,24 N/mm²

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$ = 4,17 N/mm²

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$ = 2,87 N/mm²

13.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$ = 0,22 N/mm²

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$ = 1,01 N/mm²

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,45	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,24	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,17	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,51	N/mm ²

13.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,18	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,14	2,45
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,26	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	2,87	3,51

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 11,3 mm (1,26% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

13.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 6

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 475 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 344 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

14 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7

14.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 51 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 180632 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

14.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

14.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

14.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{t,max} = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,78	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting q_r op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,5E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0000	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	2,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	3,46	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,25	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,31	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	3,46	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,96	N/mm ²

14.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,78	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,00	2,31
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	2,25	2,96

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 8,0 mm (0,89% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

14.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 7

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 420 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 344 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

15 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8

15.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 169033 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 400,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

15.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

15.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{\text{install}} \cdot T1/A = f \cdot f_{\text{install}} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

15.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,54	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{t} = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,77	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,4E-3	1/mm
--	---	--------	------

qr	=	0,0357	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,98	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,64	N/mm ²
---	---	------	-------------------

15.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

15.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,36	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,59	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	6,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	4,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

15.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,67	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,59	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,00	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,75	N/mm ²

15.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,77	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,36	2,67
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,64	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	4,28	4,75

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 17,9 mm (1,99% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

15.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 8

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 364 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 307 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

16 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9

16.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 125 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 116446 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 400,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

16.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

16.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

16.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	1,54	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,77	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting q_r op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,3E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0296	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,53	N/mm ²
---	---	------	-------------------

16.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	2,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

16.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,36	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,49	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	8,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	5,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

16.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,67	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,49	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,55	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,12	N/mm ²

16.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	4,77	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,36	2,67
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,53	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	5,87	6,12

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 23,2 mm (2,58% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

16.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 9

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 289 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 242 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

17 Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10

17.1 Materiaalgegevens van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 900,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 81,82 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 26,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1398 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 975 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 350 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 10 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 8 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 59 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 15717 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

17.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 81,8 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

17.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,87	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

17.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,78	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,78	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	8,0E-4	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

17.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,50	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

17.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,03	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,62	N/mm ²
---	---	------	-------------------

17.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,50	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,80	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	2,31	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,03	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,868	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,924	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,28	N/mm ²

17.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	10,00 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	8,00 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	10,00 (kort)	2,87	3,78	-	-	-
Sigma_{axiaal}	8,00 (lang)	-	-	-	0,00	2,31
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (lang)	-	-	-	2,62	3,28

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 9,4 mm (1,04% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 72,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 72,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

17.4 Toetsing op Implosie van Leiding: intake pipe (SDR 11) Verticaal 10

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 94 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 1548 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1902 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 72 kN/m^2 , dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 278 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 354 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 632 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

Einde Rapport

Rapport voor D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontaal Gestuurde Boring
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: ARCADIS
Infrastructure

Datum van rapport: 4-2-2022
Tijd van rapport: 12:04:42
Rapport met versie: 20.1.2.31161
Berekend met versie: 20.1.2.31161

Bestandsnaam: outfall SDR 11

Projectbeschrijving: Pallas
outfall pipeline

1 Inhoudsopgave

1	Inhoudsopgave	2
2	Berichten	4
2.1	Berekeningswaarschuwingen	4
3	Invoergegevens	5
3.1	Gebruikt Model	5
3.2	Laagscheidingen	5
3.3	PN-Lijnen	5
3.4	Freatische Lijn	5
3.5	Grondprofielen	5
3.6	Grenslagen	6
3.7	Grondeigenschappen	6
3.8	Geometrie	7
3.8.1	Geometrie Sectie, Detail	7
3.8.2	Geometrie Bovenaanzicht	8
3.9	Berekenings Verticalen	8
3.10	Configuratie van de Pijpleiding	8
3.11	Materiaalgegevens van de Leiding	9
3.12	Gegevens voor Leidingberekening	9
3.13	Boorvloeistof Gegevens	9
3.14	Factoren	9
3.15	Rekenopties	10
4	Boorvloeistofdrukken	11
4.1	Boorvloeistof Gegevens	11
4.2	Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk	11
4.3	Boorvloeistofdruk Grafieken	12
4.3.1	Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring	12
4.3.2	Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen	12
4.3.3	Boorvloeistofdrukken tijdens Ruim- en Intrekoperatie	13
5	Spanning Overzicht	14
5.1	Spanning overzicht per pijp and verticaal	14
6	Grondmechanische Data	15
6.1	Grondmechanische Parameters (Leiding: outfall pipe)	15
6.2	Young's Modulus per Laag per Verticaal	15
7	Gegevens voor Sterkteberekening	17
7.1	Algemene Gegevens	17
7.2	Ballasten Leiding	17
7.3	Trekkrachtberekening	17
8	Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 1	18
8.1	Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 1	18
8.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 1	18
8.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	18
8.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	19
8.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	19
8.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	19
8.2.5	Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	19
8.3	Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 1	20
8.4	Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 1	20
9	Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 2	22
9.1	Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 2	22
9.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 2	22
9.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	22
9.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	23
9.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	23
9.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	23
9.2.5	Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	23
9.3	Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 2	24
9.4	Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 2	24
10	Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 3	26
10.1	Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 3	26
10.2	Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 3	26
10.2.1	Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	26
10.2.2	Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	27
10.2.3	Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	27
10.2.4	Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	27

10.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	27
10.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 3	28
10.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 3	28
11 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 4	30
11.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 4	30
11.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 4	30
11.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	30
11.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	31
11.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	31
11.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	31
11.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	31
11.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 4	32
11.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 4	32
12 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 5	34
12.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 5	34
12.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 5	34
12.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	34
12.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	35
12.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	35
12.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	35
12.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	35
12.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 5	36
12.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 5	36
13 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 6	38
13.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 6	38
13.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 6	38
13.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	38
13.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	39
13.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	39
13.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	39
13.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	39
13.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 6	40
13.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 6	40
14 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 7	42
14.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 7	42
14.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 7	42
14.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	42
14.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	43
14.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	43
14.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	43
14.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	43
14.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 7	44
14.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 7	44
15 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 8	46
15.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 8	46
15.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 8	46
15.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	46
15.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	47
15.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	47
15.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	47
15.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	47
15.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 8	48
15.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 8	48
16 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 9	50
16.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 9	50
16.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 9	50
16.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie	50
16.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie	51
16.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen	51
16.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie	51
16.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk	51
16.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 9	52
16.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 9	52

2 Berichten

2.1 Berekeningswaarschuwingen

Een of meer lagen boven de grens tussen de ongedraineerde toplagen en de onderliggende gedraineerde lagen hebben een Su-waarde van 0.

3 Invoergegevens

3.1 Gebruikt Model

Gebruikt Model : Horizontaal Gestuurde Boring

3.2 Laagscheidingen

Laagscheidingnummer	Coördinaten [m]				
9 - L -	0,000	37,297	68,756	82,740	126,441
9 - Z -	3,853	3,659	4,732	7,730	13,941
9 - L -	142,387	207,349	408,901	431,602	443,156
9 - Z -	13,314	8,050	7,785	8,671	10,100
9 - L -	597,021	669,226	683,564	758,693	885,973
9 - Z -	2,883	12,241	12,268	1,370	-1,066
9 - L -	971,122	1250,000	1503,157	1503,724	1575,000
9 - Z -	-1,364	-2,809	-8,137	1,470	1,461
8 - L -	0,000	760,000	1250,000	1575,000	
8 - Z -	-3,000	-3,000	-14,000	-14,000	
7 - L -	0,000	760,000	1250,000	1575,000	
7 - Z -	-7,000	-7,000	-14,000	-14,000	
6 - L -	0,000	1250,000	1575,000		
6 - Z -	-16,000	-14,000	-14,000		
5 - L -	0,000	1250,000	1575,000		
5 - Z -	-17,000	-14,000	-14,000		
4 - L -	0,000	1250,000	1575,000		
4 - Z -	-21,000	-14,000	-14,000		
3 - L -	0,000	1250,000	1575,000		
3 - Z -	-26,000	-17,500	-17,500		
2 - L -	0,000	1250,000	1575,000		
2 - Z -	-46,000	-46,000	-46,000		
1 - L -	0,000	1250,000	1575,000		
1 - Z -	-49,000	-49,000	-49,000		
0 - L -	0,000	1575,000			
0 - Z -	-65,000	-65,000			

3.3 PN-Lijnen

PN-lijnnummer	Coördinaten [m]				
1 - L -	0,000	54,845	209,886	457,706	620,949
1 - Z -	1,470	1,304	3,246	3,242	0,939
1 - L -	698,527	1575,000			
1 - Z -	0,617	0,397			
2 - L -	0,000	1575,000			
2 - Z -	0,000	0,000			

3.4 Freatische Lijn

Piezo lijn 1 is gebruikt als freatische lijn (grondwater).

3.5 Grondprofielen

Laag nummer	Materiaalnaam	Piezo lijn op boven	Piezo lijn op onder
9	1 Zand matig	1	1
8	2 Klei slap	1	99
7	3 Zand kleiig	99	99
6	4 Klei, matig	99	99
5	6 Zand vast	99	99
4	5 Klei, vast zandig	99	2
3	6 Zand vast	2	2
2	5 Klei, vast zandig	2	2
1	6 Zand vast	2	2

3.6 Grenslagen

De grens tussen (cohesieve) ongedraineerde toplagen en onderliggende (niet-cohesieve) gedraineerde lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 3: 6 Zand vast

De grens tussen compressibele toplagen en de onderliggende niet-compressibele lagen, ligt aan de bovenzijde van laag nummer 3: 6 Zand vast

3.7 Grondeigenschappen

Naam	Gamma-onverz			Gamma-verz		
	Uniek [kN/m ³]	Laag [kN/m ³]	Hoog [kN/m ³]	Uniek [kN/m ³]	Laag [kN/m ³]	Hoog [kN/m ³]
1 Zand matig	-	18,00	19,00	-	20,00	21,00
2 Klei slap	-	14,00	17,00	-	14,00	17,00
3 Zand kleiig	-	18,00	19,00	-	20,00	21,00
4 Klei, matig	-	17,00	19,00	-	17,00	19,00
5 Klei, vast zandig	-	20,00	21,00	-	20,00	21,00
6 Zand vast	-	19,00	20,00	-	21,00	22,00

Naam	Cohesie			Phi		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [grad]	Laag [grad]	Hoog [grad]
1 Zand matig	-	0,00	0,00	-	32,50	35,00
2 Klei slap	-	0,00	5,00	-	17,50	17,50
3 Zand kleiig	-	0,00	1,00	-	25,00	30,00
4 Klei, matig	-	5,00	13,00	-	17,50	17,50
5 Klei, vast zandig	-	13,00	15,00	-	22,50	27,50
6 Zand vast	-	0,00	0,00	-	35,00	40,00

Naam	Su-top			Su-onder		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand matig	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
2 Klei slap	-	25,00	50,00	-	25,00	50,00
3 Zand kleiig	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
4 Klei, matig	-	50,00	100,00	-	50,00	100,00
5 Klei, vast zandig	-	120,00	170,00	-	120,00	170,00
6 Zand vast	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00

Naam	Emod-top			Emod-onder		
	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]	Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand matig	-	-	-	-	-	-
2 Klei slap	-	-	-	-	-	-
3 Zand kleiig	-	-	-	-	-	-
4 Klei, matig	-	-	-	-	-	-
5 Klei, vast zandig	-	-	-	-	-	-
6 Zand vast	-	-	-	-	-	-

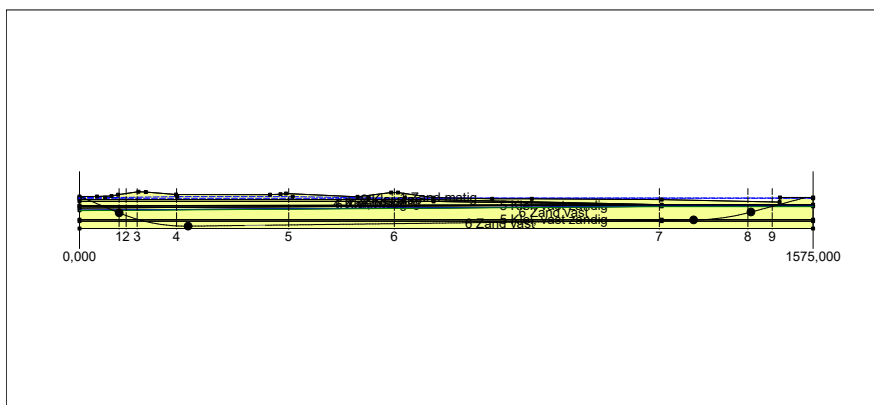
Naam	Grondtype	Emod 100		
		Uniek [kN/m ²]	Laag [kN/m ²]	Hoog [kN/m ²]
1 Zand matig	Sand	-	45000,00	75000,00
2 Klei slap	Clay	-	1000,00	2000,00
3 Zand kleiig	Sand	-	15000,00	30000,00
4 Klei, matig	Clay	-	2000,00	4000,00
5 Klei, vast zandig	Clay	-	5000,00	10000,00
6 Zand vast	Sand	-	75000,00	110000,00

Naam	Adhesie A [kN/m ²]	Delta D [grad]	Nu [-]
1 Zand matig	-	-	0,00
2 Klei slap	-	-	0,00
3 Zand kleiig	-	-	0,00
4 Klei, matig	-	-	0,00

Naam	Adhesie A [kN/m ²]	Delta D [grad]	Nu [-]
5 Klei, vast zandig	-	-	0,00
6 Zand vast	-	-	0,00

3.8 Geometrie

3.8.1 Geometrie Sectie, Detail



3.8.2 Geometrie Boveraanzicht



3.9 Berekenings Verticalen

Verticaal nr.	L-coörd. [m]	Z-coörd. [m]
1	85,000	-31,355
2	100,001	-37,210
3	123,666	-44,985
4	208,316	-59,467
5	449,320	-57,362
6	675,942	-54,593
7	1244,851	-47,642
8	1435,084	-31,508
9	1487,144	-17,609

Locaties berekenings verticalen; L is de horizontale coördinaat langs de leiding geprojecteerd op het horizontale vlak, opgehoogd met de intrede coördinaat.

3.10 Configuratie van de Pijpleiding

X coördinaat linker punt	0,000	[m]
Y coördinaat linker punt	0,000	[m]
Z coördinaat linker punt	3,853	[m]
X coördinaat rechter punt	1557,000	[m]
Y coördinaat rechter punt	56,000	[m]
Z coördinaat rechter punt	1,463	[m]
Hoek links	22,5000	[grd]
Hoek rechts	15,0000	[grd]
Kromtestraal links, verticaal in/uit	375,000	[m]
Kromtestraal rechts, verticaal in/uit	500,000	[m]
Kromtestraal rollenbaan (intrekboog)	1000,000	[m]
Diepste punt van de pijpleiding (hart boortracé)	-60,000	[m]
Hoek van de pijpleiding (tussen de stralen)	0,7000	[grd]
Aantal horizontale bochten:	1	
De pijpleiding wordt van rechts naar links ingetrokken.		

Bocht nr.	X1-coörd. [m]	Y1-coörd. [m]	X2-coörd. [m]	Y2-coörd. [m]	Kromtestraal [m]	Richting
1	356,500	0,000	405,000	1,200	1000,000	rechts

3.11 Materiaalgegevens van de Leiding

Materiaal	Polyetheen	
Kwaliteit	PE100	
Elasticiteitsmodulus (kort)	396,00	[N/mm ²]
Elasticiteitsmodulus (lang)	139,00	[N/mm ²]
Toelaatbare spanning (kort)	7,11	[N/mm ²]
Toelaatbare spanning (lang)	5,69	[N/mm ²]
Tensile factor (alfa)	0,65	[-]
Lineaire uitzettingscoëff. (alfa_g)	0,0001800	[mm/mmK]
Uitwendige diameter leiding	1000,00	[mm]
Wanddikte (Nominaal)	90,90	[mm]
Volumegewicht leidingmateriaal	9,54	[kN/m ³]
Ontwerpdruk	2,00	[bar]
Incidentele druk	4,00	[bar]
Temperatuur variatie	40,00	[gr C]

3.12 Gegevens voor Leidingberekening

Leiding gevuld met water op rollen	Nee	
Percentage leiding gevuld met vloeistof	100	[%]
Volume gewicht vloeistof	10,00	[kN/m ³]
Opleghoek	120	[grd]
Belastingshoek	180	[grd]
Relatieve verplaatsing	10,00	[mm]
Samendrukkingsconstante	6,00	[-]
Beddingsconstante boorvloeistof (Kv)	500,00	[kN/m ³]
Hoek van inwendige wrijving boorvloeistof	15,00	[grd]
Cohesie boorvloeistof	5,00	[kN/m ²]
Wrijvingsfactor leiding-rollenbaan (f1)	0,10	[-]
Wrijvingscoëfficiënt leiding-boorvloeistof (f2)	0,000050	[N/mm ²]
Wrijvingsfactor leiding-grond (f3)	0,20	[-]

3.13 Boorvloeistof Gegevens

Uitwendige diameter boorgat pilotboring	0,250	[m]
Uitwendige diameter pilotbuis	0,080	[m]
Uitwendige diameter boorgat voorruimen	0,800	[m]
Uitwendige diameter buis voorruimen	0,150	[m]
Uitwendige diameter uiteindelijke boorgat	1,300	[m]
Uitwendige diameter leiding	1,000	[m]
Debiet tijdens pilotboring	100,2000	[liter/minuut]
Debiet tijdens voorruimen	600,0000	[liter/minuut]
Debiet tijdens intrekken	799,8000	[liter/minuut]
Factor debietverlies tijdens pilotboring	0,30	[-]
Factor debietverlies tijdens voorruimen	0,20	[-]
Factor debietverlies tijdens intrekken	0,20	[-]
Volumegewicht boorvloeistof	11,1	[kN/m ³]
Zwichtspanning boorvloeistof	0,014	[kN/m ²]
Viscositeit boorvloeistof	0,000040	[kN.s/m ²]

3.14 Factoren

(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Lang)	3,0	[-]
(Polyetheen)Veiligheidsfactor implosie (Kort)	1,5	[-]
Onzekerheidsfactor volumegewicht		
van materiaaltypen onder en boven freatische lijn	1,10	[-]
Onzekerheidsfactor (gedraineerde) cohesie C	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor ongedraineerde schuifsterkte Su	1,40	[-]
Onzekerheidsfactor Phi	1,10	[-]

Onzekerheidsfactor E-modulus	1,25	[-]
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	2,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie) (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor testdruk (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor aanlegbelasting (Polyetheen)	1,00	[-]
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. $q_{n;r}$ (Polyetheen)	1,50	[-]
Belastingsfactor temperatuur (Polyetheen)	1,10	[-]
Belastingsfactor verkeersbelasting (Polyetheen)	1,35	[-]
Importantie factor (S)	1,00	[-]
Toelaatbare deflectie stalen leiding	15,00	[%]
Toelaatb. deflectie stalen leiding bij inspectie ('piggability')	5,00	[%]
Toelaatbare deflectie polyetheen leiding	8,00	[%]
Toelaat. deflectie polyetheen leiding bij inspectie ('piggability')	8,00	[%]
Volumegewicht water	10,00	[kN/m ³]
Veiligheidsfactor dekking (gedraineerde lagen)	0,50	[-]
Veiligheidsfactor dekking (ongedraineerde lagen)	0,50	[-]
Verhouding H/Do voor grens tussen ondiepe en diepe situatie	7,50	[-]

3.15 Rekenopties

Stress analyse optie : Per verticaal

4 Boorvloeistofdrukken

4.1 Boorvloeistof Gegevens

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken pilot [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	1911	3404	423	882
2	2252	4282	494	941
3	2717	5167	589	1019
4	3060	5721	779	1150
5	3072	5767	840	1042
6	3075	5799	889	932
7	1266	1845	1010	656
8	1307	2378	898	411
9	352	352	762	237

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken voorruimen [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	1911	2115	399	423
2	2252	3534	465	494
3	2717	5039	554	589
4	3051	5695	722	779
5	3058	5729	720	751
6	3048	5727	709	700
7	1422	2172	656	573
8	1307	2015	411	377
9	352	352	237	218

Verticaal nr.	Boorvloeistofdrukken intrekken [kN/m ²]			
	Max, deformatie	Max, gronddruk	Min, links	Min, rechts
1	1635	1635	409	399
2	2252	2862	477	465
3	2717	4415	568	554
4	3041	5621	745	722
5	3045	5633	751	720
6	3023	5569	700	709
7	1550	2462	573	607
8	1307	1663	377	391
9	352	352	218	226

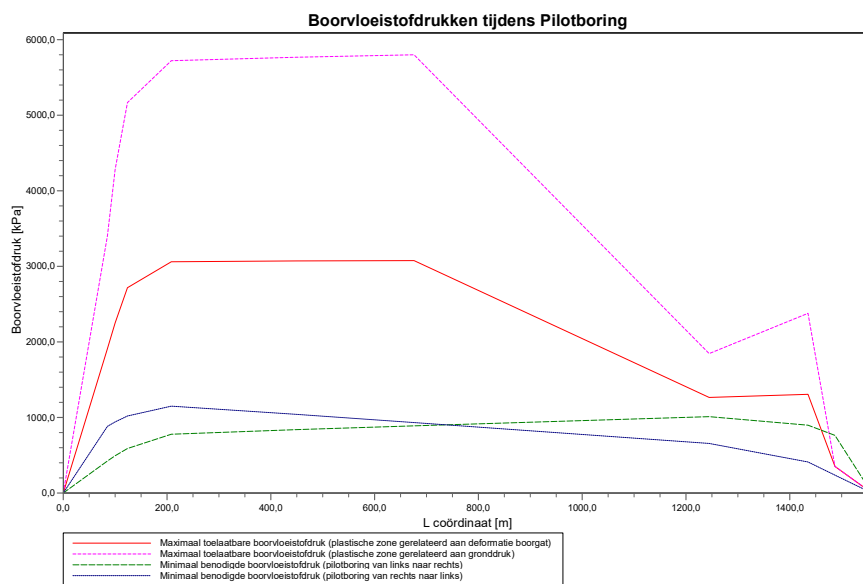
4.2 Evenwicht tussen Waterdruk en Boorvloeistofdruk

Verticaal nr.	Hydrostatische kolomdruk			Resultaat
	Boorvloeistof [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Veiligheidsfactor [-]	
1	391	314	1,25	voldoet
2	456	372	1,22	voldoet
3	541	450	1,20	voldoet
4	700	595	1,18	voldoet
5	672	574	1,17	voldoet
6	637	546	1,17	voldoet
7	549	476	1,15	voldoet
8	366	315	1,16	voldoet
9	212	176	1,20	voldoet

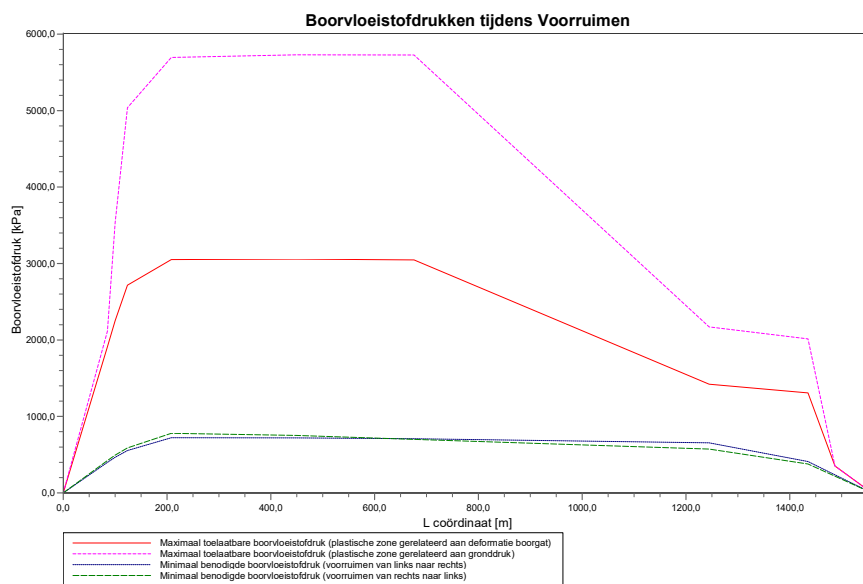
De statische boorvloeistofdruk is berekend en kan worden vergeleken met de berekende grondwater druk. De veiligheids factor wordt bepaald door de verhouding van boorvloeistofdruk en grondwater druk. Deze moet hoger zijn dan de vereiste veiligheidsfactor van 1,10

4.3 Boorvloeistofdruk Grafieken

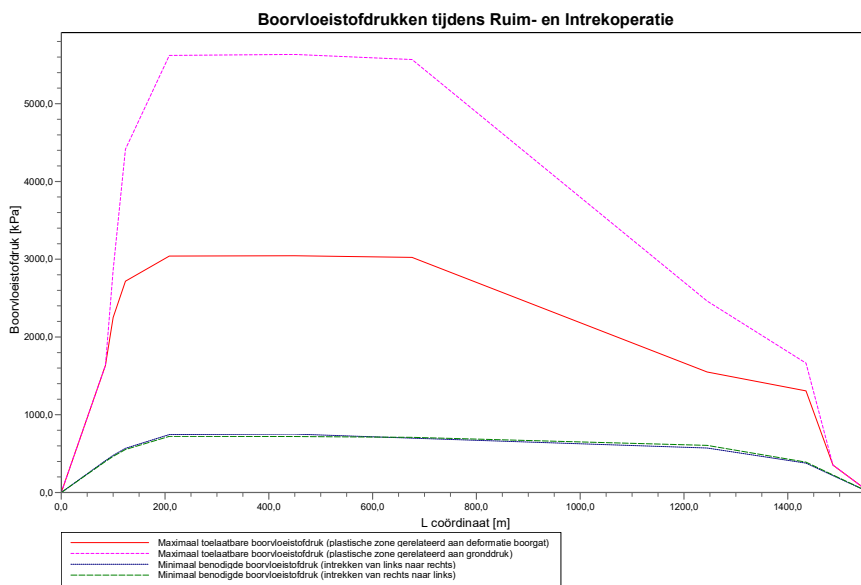
4.3.1 Boorvloeistofdrukken tijdens Pilotboring



4.3.2 Boorvloeistofdrukken tijdens Voorruimen



4.3.3 Boorvloeiستofdrücken tijdens Ruim- en Intrekoperatie



5 Spanning Overzicht

5.1 Spanning overzicht per pijp and verticaal

Leiding	Verticaal	Resultaat
1	1	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	2	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	3	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	4	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	5	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	6	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	7	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	8	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.
1	9	Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

6 Grondmechanische Data

6.1 Grondmechanische Parameters (Leiding: outfall pipe)

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Merk op: veiligheidsfactoren niet toegepast.

q _{v;p}	Passieve grondspanning	kN/m ²
q _{v;n}	Neutrale grondspanning	kN/m ²
q _{h;n}	Neutrale horizontale grondspanning	kN/m ²
q _{v;r;n}	Gereduceerde neutrale grondspanning	kN/m ²
q _{verkeer}	Verkeersbelasting	kN/m ²
q _{v;e}	Verticaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m ²
q _{h;e}	Horizontaal evenwichtsdraagvermogen	kN/m ²
k _{v;bot}	Verticaal beddingsgetal omlaag	kN/m ³
k _{v;top}	Verticaal beddingsgetal omhoog	kN/m ³
k _h	Horizontaal beddinggetal	kN/m ³
t _{max}	Maximale wrijving leiding-boorvloeistof	kN/m ²
d _{max}	Corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	mm

Verticaal nr.	q _{v;p} [kN/m ²]	q _{v;n} [kN/m ²]	q _{h;n} [kN/m ²]	q _{v;r;n} [kN/m ²]	q _{verkeer} [kN/m ²]	q _{v;e} [kN/m ²]
1	6177	488	84	113	0	42586
2	7575	599	38	52	0	52236
3	9212	757	30	40	0	22126
4	9911	826	28	38	0	71941
5	10002	836	28	38	0	72763
6	10090	845	28	38	0	73567
7	2627	522	33	44	0	27177
8	2372	286	30	40	0	25108
9	406	107	50	67	0	9588

Verticaal nr.	q _{h;e} [kN/m ²]	k _{v;bot} [kN/m ³]	k _{v;top} [kN/m ³]	k _h [kN/m ³]	t _{max} [kN/m ²]	d _{max} [mm]
1	6352	212649	195893	148854	0,05	7,5
2	7575	236673	221353	165671	0,05	7,5
3	9212	124009	253996	86807	0,05	7,5
4	9911	280564	267245	196395	0,05	7,5
5	10002	282285	269031	197599	0,05	7,5
6	10090	283961	270772	198773	0,05	7,5
7	2627	185061	159311	129543	0,05	7,5
8	3883	162374	141194	113662	0,05	7,5
9	1151	103827	17639	72679	0,05	7,5

Maximale grondspanning	: q _{v;n;max} = 845 kN/m ²
Maximale gereduceerde grondspanning (incl. verkeersbelastingen)	: q _{verkeer;max} = 113 kN/m ²
Maximale gereduceerde grondspanning	: q _{v;r;n;max} = 113 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	
alleen voor verticalen in diepe situatie	: k _{v;max} = 283961 kN/m ³
Maximale verticale beddingsconstante (veiligheidsfactor toegepast)	
alleen voor verticalen in diepe situatie	: k _{v;max} = 567923 kN/m ³

6.2 Young's Modulus per Laag per Verticaal

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingstype
9	1 Zand matig	Berekend met E100
8	2 Klei slap	Berekend met E100
7	3 Zand kleiig	Berekend met E100
6	4 Klei, matig	Berekend met E100
5	6 Zand vast	Berekend met E100
4	5 Klei, vast zandig	Berekend met E100
3	6 Zand vast	Berekend met E100

Laag nummer	Materiaalnaam	Bepalingtype
2	5 Klei, vast zandig	Berekend met E100
1	6 Zand vast	Berekend met E100

Laag nummer	Verticaal 1 (L=85 m)		Verticaal 2 (L=100,001 m)		Verticaal 3 (L=123,666 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
9	0,000	98,510	0,000	109,079	0,000	123,933
8	3,094	3,531	3,642	4,068	4,467	4,880
7	42,798	52,622	46,753	55,926	52,390	60,775
6	9,829	10,061	10,835	11,061	12,377	12,594
5	195,775	209,950	207,714	221,046	225,268	237,498
4	28,129	31,632	30,545	33,994	34,263	37,639
3	225,927	284,468	236,329	293,050	251,866	306,101
2	45,733	47,529	47,960	49,736	51,423	53,168
1	291,402	328,857	299,786	336,309	312,555	347,739

Laag nummer	Verticaal 4 (L=208,316 m)		Verticaal 5 (L=449,32 m)		Verticaal 6 (L=675,942 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
9	0,000	94,902	0,000	104,320	0,000	120,965
8	2,915	3,400	3,391	3,867	4,297	4,683
7	41,795	52,168	45,296	54,706	51,060	58,468
6	9,694	9,918	10,460	10,631	11,634	11,740
5	194,027	207,580	202,630	212,799	215,597	221,890
4	27,623	31,248	28,742	32,154	30,732	33,582
3	224,212	285,251	228,250	292,531	234,535	301,198
2	45,934	47,729	47,824	49,601	50,111	51,868
1	292,166	329,534	299,278	335,856	307,755	343,432

Laag nummer	Verticaal 7 (L=1244,851 m)		Verticaal 8 (L=1435,084 m)		Verticaal 9 (L=1487,144 m)	
	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]	E-top [MPa]	E-onder [MPa]
9	0,000	82,882	0,000	67,188	0,000	61,938
8	2,347	2,352	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
7	33,200	33,336	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6	4,735	4,736	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
5	122,255	122,363	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
4	11,858	15,066	8,386	11,807	7,363	10,862
3	142,117	248,049	122,032	237,221	115,835	234,094
2	36,731	38,626	34,199	36,127	33,481	35,419
1	255,971	297,915	245,493	288,962	242,472	286,400

7 Gegevens voor Sterkteberekening

7.1 Algemene Gegevens

Equivalente diameter leiding	:	Do = 1000,00 mm
Equivalente nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Equivalente volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 283961 kN/m ³
Volumegewicht boorvloeistof	:	gamma_b = 11,10 kN/m ³
Kromtestraal op rollenbaan (intrekboog)	:	Rrol = 1000,000 m
Wrijvingscoëfficiënt leiding/rollenbaan	:	f1 = 0,10
Wrijving tussen leiding en boorvloeistof	:	f2 = 0,000050 N/mm ²
Wrijvingscoëfficiënt leiding/grond	:	f3 = 0,20

7.2 Ballasten Leiding

Het opdrijvend vermogen van de productbuis in de boorvloeistof heeft invloed op de wrijving tussen de grond en de leiding. Door het ballasten van de leiding neemt de opwaartse kracht van de leiding in de boorvloeistof af. Bij een optimaal vullingpercentage is de wrijvingskracht tussen de leiding en de wand van het boorgat minimaal

Bij een vulling percentage van 100% ontstaat het volgende resulterende gewicht.

Opwaartse kracht	:	889	[kg/m]
Gewicht productbuis (inclusief vulling)	:	788	[kg/m]
Resultaat	:	100	[kg/m] (Leiding beweegt opwaarts)

7.3 Trekkraftberekening

Tijdens het intrekken van de leiding door het boorgat ondervindt de buis een wrijving die is opgebouwd uit:

- wrijving tussen buis en rollenbaan (f1 = 0,10)
- wrijving tussen buis en boorvloeistof (f2 = 0,000050 [N/mm²])
- wrijving tussen buis en grond (f3 = 0,20)

Door het optreden van wrijving tijdens het intrekken ontstaat een trekkraft in de leiding. De pijpleiding wordt van rechts naar links ingetrokken.

Bij het berekenen van de trekkraften wordt rekening gehouden met het feit dat de lengte van de buis op de rollenbaan afneemt naarmate de doortrekeoperatie vordert. Bij het berekenen van de trekkraft wordt uitgegaan van een stabiel boorgat.

Karakteristieke punten	Lengte leiding in gat (m)	Karakteristieke waarde voor de trekkraft (kN)
T1	0	390
T2	121	403
T3	245	453
T4	1331	580
T5	1482	669
T6	1575	678

De berekende waarden van de trekkraft zijn karakteristieke waarden waarop nog een totaal factor voor stochastische variatie en modelonzekerheid (f) van tenminste 1.4 moet worden toegepast in de sterkte berekening, volgens art. E.1.2.1 van NEN 3650-1:2012. In de sterkteberekening (volgend hoofdstuk) is een factor van 1,40 gebruikt en een belasting factor van 1,00.

De maximale representatieve trekkraft is 1846 kN, exclusief rekenfactor. Bij deze trekkraft zijn de spanningen in de leiding gelijk aan de toelaatbare spanning.

8 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 1

8.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 1

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 113 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 212649 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

8.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 1

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

8.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

8.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,66	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,8E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

8.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,73	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	5,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,61	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,73	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$	=		
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,64	N/mm ²

8.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 1

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	3,66	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,00	1,61
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	5,02	4,64

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 50,3 mm (5,03% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

8.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 1

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 399 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 314 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

9 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 2

9.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 2

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 52 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 236673 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 375,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

9.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 2

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

9.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

9.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,74	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,14	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting q_r op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,8E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0337	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,92	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,60	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	2,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,17	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	3,53	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,65	N/mm ²
---	---	------	-------------------

9.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \alpha_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,77	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,55	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	3,53	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,96	N/mm ²

9.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 2

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	4,14	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,17	1,77
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,60	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	2,65	2,96

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 33,3 mm (3,33% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

9.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 2

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 465 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 372 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

10 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 3

10.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 3

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 40 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 253996 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 375,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

10.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 3

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

10.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

10.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,74	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,14	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0349	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,96	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,62	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

10.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,17	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,57	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,73	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,14	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,77	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,57	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,73	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$	=		
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,60	N/mm ²

10.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 3

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	4,14	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,17	1,77
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,62	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	2,14	2,60

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 28,5 mm (2,85% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

10.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 3

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 554 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 450 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

11 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 4

11.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 4

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 38 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 280564 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 375,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

11.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 4

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

11.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

11.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,74	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,14	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting q_r op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0366	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	1,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,65	N/mm ²
---	---	------	-------------------

11.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	2,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

11.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,17	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,59	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	2,62	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,09	N/mm ²
---	---	------	-------------------

11.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,26	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,77	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,59	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,62	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,56	N/mm ²

11.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 4

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	4,14	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,17	1,77
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,65	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	2,09	2,56

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 28,3 mm (2,83% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

11.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 4

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 722 kN/m², dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 595 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

12 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 5

12.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 5

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 38 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 282285 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

12.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 5

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

12.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

12.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,66	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

12.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

12.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,62	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	1,70	N/mm ²
---	---	------	-------------------

12.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,61	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,62	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,24	N/mm ²

12.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 5

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	3,66	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,00	1,61
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	1,70	2,24

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 17,1 mm (1,71% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

12.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 5

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 720 kN/m², dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 574 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

13 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 6

13.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 6

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 38 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 283961 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

13.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 6

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

13.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

13.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{t} = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,66	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

13.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

13.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,62	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	1,70	N/mm ²
---	---	------	-------------------

13.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,61	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,62	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$	=		
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,24	N/mm ²

13.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 6

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	3,66	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,00	1,61
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	1,70	2,24

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 17,1 mm (1,71% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

13.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 6

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 709 kN/m², dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 546 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

14 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 7

14.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 7

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 44 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 185061 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

14.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 7

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

14.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

14.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,66	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,7E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

14.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	3,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	1,96	N/mm ²
---	---	------	-------------------

14.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,61	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	3,01	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$	=		
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,43	N/mm ²

14.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 7

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	3,66	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,00	1,61
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	1,96	2,43

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 19,6 mm (1,96% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

14.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 7

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentoniedruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 607 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 476 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

15 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 8

15.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 8

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 40 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 162374 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 500,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

15.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 8

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

15.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

15.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,55	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	4,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting q_r op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,7E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0209	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,57	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,37	N/mm ²
---	---	------	-------------------

15.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	2,02	N/mm ²
---	---	------	-------------------

15.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfsstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,19	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,13	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	0,34	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o$	=	2,73	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

15.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfsstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,19	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	1,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,73	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,34	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	2,73	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	2,48	N/mm ²

15.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 8

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	4,02	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,13	1,73
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,37	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	2,00	2,48

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 24,2 mm (2,42% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

15.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 8

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 391 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 315 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

16 Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 9

16.1 Materiaalgegevens van Leiding: outfall pipe Verticaal 9

De volgende gegevens en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de sterkteberekening:

Leiding materiaal	:	Polyetheen PE100
Buiten- diameter	:	Do = 1000,00 mm
Nominale wanddikte	:	t = 90,90 mm
Ontwerpdruk	:	pd = 2,00 bar
Test druk	:	pt = 4,00 bar
Temperatuur variatie	:	dt = 40,00 deg Celcius
Lengte leiding	:	L = 1575 m
Elasticiteitsmodulus (kort)	:	E = 396 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus (lang)	:	E = 139 N/mm ²
Toelaatbare spanning (kort)	:	S = 7 N/mm ²
Toelaatbare spanning (lang)	:	S = 6 N/mm ²
Importantie factor (S)	:	S = 1,00
Volumegewicht leidingmateriaal	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Opleghoek	:	beta = 120 graden
Belastingshoek	:	alfa = 180 graden
Momentcoëfficiënt grond top (indirect)	:	kt' = 0,061
Momentcoëfficiënt grond bodem (indirect)	:	kb' = 0,083
Momentcoëfficiënt grond top (direct)	:	kt = 0,131
Momentcoëfficiënt bodem (direct)	:	kb = 0,138
Deflectiecoëfficiënt (indirect)	:	ky' = 0,048
Deflectiecoëfficiënt (direct)	:	ky = 0,089
Maximale gereduc. vert. grondbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v;r;n;max = 67 kN/m ²
Verkeersbelasting (zonder veiligheidsfactor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Maximale verticale beddingsconstante (zonder veiligheidsfactor)	:	k_v;max = 103827 kN/m ³
Gebruikte straal (exclusief veiligheidsfactoren)	:	Rmin = 100000000,000 m
Belastingsfactor aanlegbelasting	:	f_install = 1,00
Belastingsfactor gereduc. neut. grondspan. q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Belastingsfactor ontwerpdruk	:	f_pd = 1,00
Belastingsfactor ontwerpdruk (combinatie)	:	f_pd;comb = 1,00
Belastingsfactor testdruk	:	f_pt = 1,00
Belastingsfactor temperatuur	:	f_temp = 1,10
Belastingsfactor verkeersbelasting	:	f_v = 1,35
Onzekerheidsfactor kromte straal	:	f_R = 1,10
Onzekerheidsfactor beddingsconstante	:	f_kv = 2,00
Onzekerheidsfactor buigend moment	:	f_k = 1,40
Totaalfactor op trekkracht voor stoch. varia. en modelonzekerheid	:	f = 1,40
Lineaire uitzettingscoëfficiënt gemiddeld tussen t1 en t2	:	alfa_g = 0,0001800 mm/mmK

16.2 Resultaten Sterkteberekening van Leiding: outfall pipe Verticaal 9

Voor de berekening worden 5 belasting fasen onderscheiden:

- Belasting combinatie 1A: begin trekoperatie
- Belasting combinatie 1B: einde van trekoperatie
- Belasting combinatie 2: intern op druk brengen
- Belasting combinatie 3: bedrijfsfase, niet op druk
- Belasting combinatie 4: bedrijfsfase, op druk

De wanddikte is 90,9 mm. Hierna wordt door middel van een berekening conform NEN 3650 serie aangetoond dat deze wanddikte voldoet

16.2.1 Belasting Combinatie 1A: Begin Trekoperatie

Axiale spanning:

$$\sigma_b = Mb/Wb = f_k E \cdot lb / (Rrol \cdot Wb) = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (Lrol \cdot Q \cdot f1)/A = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	2,28	N/mm ²
---	---	------	-------------------

De tangentele spanning is in deze fase verwaarloosbaar.

16.2.2 Belasting Combinatie 1B: Einde Trekoperatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	3,66	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	3,66	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

Belasting qr op de leiding ten gevolge van grondreactie bij bochten (volgens NEN 3650-1 katern-5 D3.3):

$qr = kv \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (Do \cdot R / f_R)$

$\Lambda = (f_{kv} \cdot kv \cdot Do / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	1,5E-3	1/mm
---	---	--------	------

qr	=	0,0000	N/mm ²
----	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

16.2.3 Belasting Combinatie 2: Intern op Druk Brengen

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,51	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
--	---	------	-------------------

16.2.4 Belasting Combinatie 3: Bedrijfstoestand in Drukloze Situatie

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale axiale spanning $\Sigma_{a,max}$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Tangentele spanning:

$\Sigma_{qr} = k \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,58	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximale tangentele spanning $\Sigma_{t,max}$	=	2,98	N/mm ²
---	---	------	-------------------

16.2.5 Belasting Combinatie 4: Bedrijfstoestand met Inwendige Druk

Axiale spanning:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb)$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Ten gevolge van inwendige druk :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot pd \cdot ((ru^2 + ri^2) / (ru^2 - ri^2))$	=	1,01	N/mm ²
---	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,51	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	2,02	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	1,10	N/mm ²
Maximale axiale spanning $\text{Sigma}_{a,max}$	=	1,61	N/mm ²
Tangentiele spanning:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,58	N/mm ²
'Rerounding'-factor F_{rr}	=	0,722	
'Rerounding'-factor F'_{rr}	=	0,828	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximale tangentele spanning $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,16	N/mm ²

16.3 Controle van de Berekende Spanningen van Leiding: outfall pipe Verticaal 9

Belasting combinatie 1

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 2

- $\text{Sigma}_{ptest} < \text{ShortStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{py} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 3

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Belasting combinatie 4

- $\text{Sigma}_{AxMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$
- $\text{Sigma}_{TanMax} < \text{LongStrength} \cdot \text{DamageFactor}$

Voor alle spanningssituaties zijn de spanningen toelaatbaar.

	Max toelaatbare spanning [N/mm ²]	Spannings combinatie 1A	Spannings combinatie 1B	Spannings combinatie 2	Spannings combinatie 3	Spannings combinatie 4
Sigma_{ptest}	7,11 (kort)	-	-	2,02	-	-
Sigma_{py}	5,69 (lang)	-	-	1,01	-	-
Sigma_{axiaal}	7,11 (kort)	2,28	3,66	-	-	-
Sigma_{axiaal}	5,69 (lang)	-	-	-	0,00	1,61
$\text{Sigma}_{tang...}$	7,11 (kort)	-	0,00	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	5,69 (lang)	-	-	-	2,98	3,16

Spanningen in de leiding [N/mm²]

De deflectie van de leiding is 29,9 mm (2,99% x Do). De maximaal toelaatbare deflectie van de leiding is 80,0 mm (8,00% x S x Do). De deflectie is toelaatbaar.

De maximaal toelaatbare deflectie bij inspectie ('piggability') is 80,0 mm (8,00% x Do). De deflectie is toelaatbaar.

16.4 Toetsing op Implosie van Leiding: outfall pipe Verticaal 9

Tijdens het intrekken wordt de leiding belast door de heersende bentonietdruk. De hoogste minimaal benodigde druk tijdens het intrekken is gelijk aan 226 kN/m², dit is kleiner dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 628 kN/m².

Omdat de leiding tijdens dit intrekken geheel gevuld is met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m². De maximaal toelaatbare druk wordt dan 1243 kN/m².

Tijdens de bedrijfstoestand wordt de leiding belast door de heersende waterdruk. De uitwendige waterdruk op de leiding is gelijk aan 176 kN/m^2 , dit is groter dan de toelaatbare alzijdige uitwendige druk van 110 kN/m^2 .

Indien de leiding tijdens de gebruiksfase geheel gevuld blijft met vloeistof geeft dit een tegendruk van 615 kN/m^2 . De totale toelaatbare druk wordt dan 725 kN/m^2 . Hiermee rekening houden voldoet de leiding wel.

Einde Rapport