

Aanvraagstukken – 9 Ontheffing provincie Zeeland

Inhoudsopgave

002.678.20 1081993 Aanvraagbrief ontheffing omgevingsverordening Zeeland

A.0 bijlagenoverzicht provincie Zeeland

A.1 Overzichtskaart ZW380kV Oost

A.2 Detailkaarten werkwegen en werkterreinen Kruisen A58 N289 150 kV boring

B.1 Vergunningsrapportage HDD N289 Provincie Zeeland

002.678.20 1081993 Aanvraagbrief ontheffing omgevingsverordening Zeeland

Postbus 718, 6800 AS Arnhem, Nederland

Provincie Zeeland
t.a.v. vergunningen
Postbus 6001
4330 LA Middelburg

CLASSIFICATIE	C1 - Publieke Informatie
DATUM	15 NOVEMBER 2022
ONZE REFERENTIE	9
BEHANDELD DOOR	
TELEFOON DIRECT	
E-MAIL	

BETREFT Aanvraag ontheffing omgevingsverordening - realisatie en instandhouding 380 kV
hoogspanningsverbinding Rilland - Tilburg (Zuid-West 380 kV Oost)

Geachte heer/mevrouw,

Hierbij vraagt TenneT een ontheffing aan, op het verbod zoals opgenomen in artikel 5.7 van de Omgevingsverordening Zeeland 2018, voor de realisatie en instandhouding van de 380kV hoogspanningsverbinding Rilland – Tilburg (Zuid-West 380kV Oost). Voor het verlenen van de ontheffing doen wij een beroep op artikel 5.13 van de Omgevingsverordening Zeeland 2018.

Achtergrond

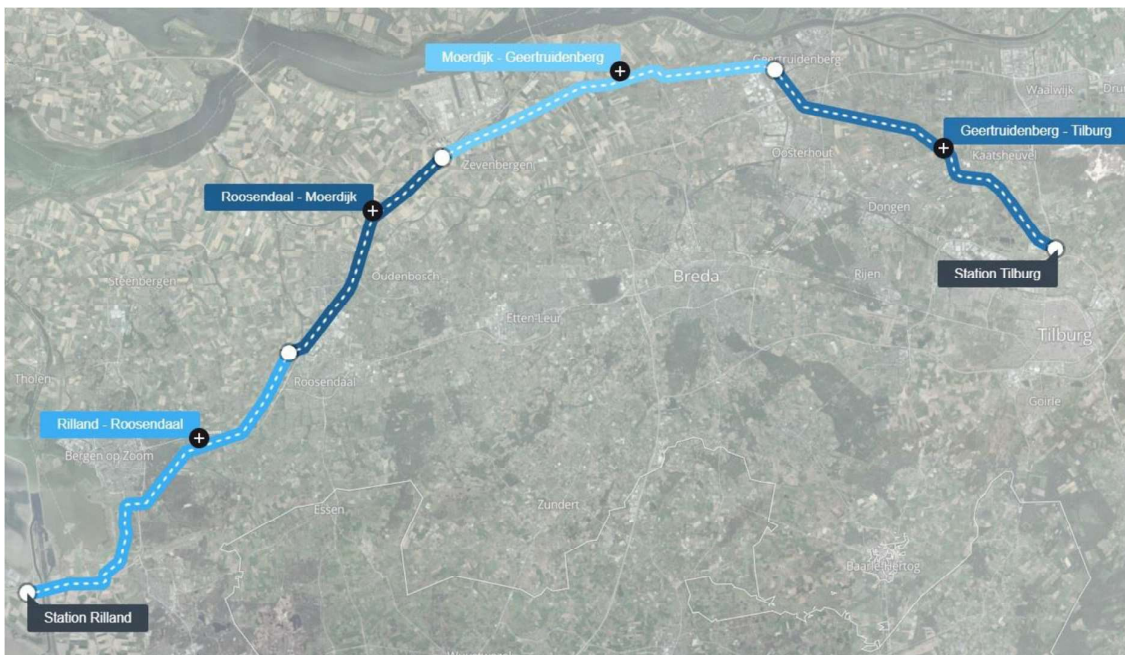
Om de levering van stroom in de toekomst te kunnen garanderen, is er behoefte aan uitbreiding van het bestaande elektriciteitsnet. Een van de projecten die hier aan bij moet dragen is de realisatie van een nieuwe 380 kV-verbinding tussen Borssele en de landelijke ring bij Tilburg: Zuid-West 380 kV (ZW380). Deze verbinding transporteert elektriciteit van de productielocaties in Zeeland en op zee naar Tilburg, waar verder transport via de landelijke 380 kV-ring plaatsvindt. De aanleg van de nieuwe hoogspanningsverbinding is nodig om nu en in de toekomst te kunnen voldoen aan de wettelijke eisen voor leveringszekerheid van elektriciteit.

De nieuwe verbinding loopt van Borssele via Rilland naar Tilburg. In eerste instantie was dit één groot project. De bouw van het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation bij Rilland bracht hier verandering in. Over het westelijke deel van de verbinding, tussen Borssele en Rilland, heeft al besluitvorming plaatsgevonden. Dit gedeelte van de verbinding (Zuid-West 380 kV West of ZW380 West) wordt momenteel gebouwd. De besluitvorming over het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation ten noorden van Tilburg en de realisatie hiervan is in een aparte procedure ondergebracht.

Om de hoogspanningsverbinding tussen het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation bij Rilland en het nieuwe 380 kV-hoogspanningsstation bij Tilburg mogelijk te maken, is een Rijksinpassingsplan vastgesteld door de minister voor Klimaat en Energie en de minister voor Volkshuisvesting en Ruimtelijke ordening voor het oostelijk gedeelte van de verbinding (Zuid-West 380 kV-Oost of ZW380 Oost).

Tracé Zuid-West 380 kV Oost

De aanvraag voor een deze ontheffing heeft betrekking op het nieuwe 380 kV-hoogspanningstracé tussen Rilland en Tilburg. Dit tracé loopt in hoofdlijnen van Rilland via Bergen op Zoom, Rosendaal, Oud Gastel, Standdaarbuiten, Zevenbergen, Zevenbergschen Hoek, Hooge Zwaluwe, Geertruidenberg, Oosterhout en 's Gravenmoer naar Tilburg. In figuur 1 is de ligging van het nieuwe 380 kV-hoogspanningstracé weergegeven.



Figuur 1 Ligging tracé (bron: TenneT - <https://ten.projectatlas.app/zuid-west-380kv-oost/visualisatie/visualisatie?map=51.609695,5.072646,12.78,0,0>)

Het tracé loopt over het grondgebied van de gemeenten Reimerswaal, Woensdrecht, Bergen op Zoom, Rosendaal, Halderberge, Moerdijk, Drimmelen, Geertruidenberg, Oosterhout, Dongen, Waalwijk, Loon op Zand en Tilburg en de provincies Zeeland en Noord-Brabant.

Naast het tracé van de nieuwe 380 kV-hoogspanningsverbinding omvat het project:

- de reconstructie van de bestaande 380 kV-hoogspanningsverbinding Geertruidenberg-Rilland nabij Oud Gastel en Standdaarbuiten, alsmede nabij Hooge Zwaluwe;
- de reconstructie van de bestaande 380 kV-hoogspanningsverbinding Geertruidenberg-Eindhoven in de gemeente Loon op Zand;
- de aansluiting van de 150 kV-hoogspanningsverbindingen op de 150 kV-stations;
- de aanpassing van de bestaande 150 kV-stations Zevenbergschen Hoek, Oosteind en 380 kV-station Rilland;
- amoveren van delen van de bestaande tracés van de 150 kV- en 380 kV-verbindingen;
- de aanleg van tijdelijke hoogspanningsverbindingen.

Vergunningplichtige werkzaamheden

Op basis van artikel 5.7 van de Omgevingsverordening is het verboden om op of in provinciale wegen kabels of leidingen te hebben. De activiteit die plaatsvindt en op basis van de Omgevingsverordening vergunningplichtig is betreft het kruisen van de N289 door middel van een dubbele boring voor de 150 kV verbinding Woensdrecht-Rilland. Voor de uit te voeren boring zijn de benodigde rapportages opgesteld en als bijlage bij de aanvraag gevoegd. Het uitvoeren van de werkzaamheden leidt naar verwachting niet tot een stremming op de N289. Daarnaast is ook voor het aanleggen van de werkwegen en werkterreinen ten behoeve van de boring geen uitweg nodig op de N289.

Voor de behandeling van de aanvraag zijn verschillende bijlagen aan de aanvraag toegevoegd. Het betreft enkele algemene documenten ter informatie en ook rapportages specifiek gericht op de kruising met de N289. Het volledige overzicht van de bijlagen van deze aanvraag vindt u in het 'Bijlagenoverzicht ontheffing provincie Zeeland'.

Planning

Onderhavige vergunning wordt aangevraagd voor zowel de aanlegfase als de gebruiksfase van de hoogspanningsverbinding. De aanlegfase is voorzien voor de periode vanaf het derde kwartaal van 2024 tot eind 2030.

Vooralsnog betreft het een planning op hoofdlijnen. De planning wordt in detail uitgewerkt door de aannemer en door TenneT gecommuniceerd.

Rijkscoördinatierегeling procedure

Ten aanzien van uw besluit op deze aanvraag ingevolge artikel 2.50, lid 1 Interim Omgevingsverordening Noord-Brabant, is op grond van artikel 20c Elektriciteitswet juncto, artikel 2 lid 1 onder a Uitvoeringsbesluit rijkscoördinatierегeling energie-infrastructuurprojecten de rijkscoördinatierегeling uit de Wet ruimtelijke ordening van toepassing (artikel 3.35).

De rijkscoördinatierегeling voorziet in een gecoördineerde en parallelle besluitvorming over alle voor de uitvoering van de activiteit vereiste besluiten. Dit betekent dat de ontwerp-uitvoeringsbesluiten (vergunningen) gelijktijdig ter inzage worden gelegd. Ditzelfde geldt voor de definitieve uitvoeringsbesluiten (vergunningen). Hierbij is de minister voor Klimaat en Energie de aangewezen minister voor de coördinatie.

In verband daarmee heeft de minister voor Klimaat en Energie ons gevraagd het volgende op te nemen in deze aanvraag:

1. Ingevolge de rijkscoördinatierегeling dient u een kopie van onderhavige aanvraag te verzenden aan de minister voor Klimaat en Energie. TenneT zal er echter voor zorgen dat de minister voor Klimaat en Energie een exemplaar van deze aanvraag ontvangt. U hoeft dus geen exemplaar door te sturen.
2. In reactie op deze kopie van de aanvraag zal de minister u per brief melden wanneer van u verwacht wordt een ontwerp-besluit gereed te hebben.
3. Het ontwerp-besluit, en later ook het besluit, stuurt u niet aan TenneT, maar aan de minister voor Klimaat en Energie, t.a.v. Bureau Energieprojecten, Postbus 93144, 2509 AC Den Haag. De minister stuurt de besluiten gebundeld door aan de initiatiefnemer; dit is juridisch gezien de bekendmaking.

Deze vergunning valt onder de rijkscoördinatieregeling voor energieprojecten (artikel 3.35 Wro). Daarom wordt op grond van art. 3.35 lid 4 van de Wet ruimtelijke ordening de uitgebreide voorbereidingsprocedure gevolgd. U bent hierover reeds geïnformeerd door de projectleider voor de rijkscoördinatieregeling bij EZK en/of Bureau Energieprojecten. U kunt bij hem of haar nadere informatie over de voorbereidingsprocedure verkrijgen.

Correspondentie

Wij verzoeken u alle correspondentie met betrekking tot deze aanvraag te richten aan:

TenneT TSO B.V.

T.a.v. 

Postbus 718

6800 AS Arnhem

Wij verzoeken u het ontwerpbesluit en het besluit te richten aan:

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat / Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Bureau Energieprojecten

Postbus 93144

2509 AC Den Haag

Wij verzoeken u de legesfactuur onder vermelding van projectnummer 002.678.20 te richten aan:

TenneT TSO B.V.

T.a.v. Crediteuren

Postbus 428

6800 AK Arnhem

Een volledig overzicht van de bij de aanvraag behorende bijlagen vindt u op het bij de aanvraag gevoegde bijlagenoverzicht.

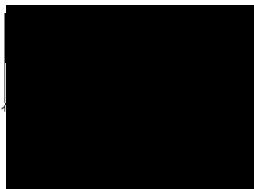
Voor procedure vragen verzoeken wij u contact op te nemen met Bureau Energieprojecten, telefoon 070 379 8979.

Graag ontvangen wij een ontvangstbevestiging van deze aanvraag.

Uw nader bericht zien wij met belangstelling tegemoet.

Hoogachtend,

TenneT TSO B.V.



A.0 bijlagenoverzicht provincie Zeeland

Bijlagenoverzicht provincie Zeeland**9 Ontheffing**

		Documentnaam	Datum	Versie / revisie	Meridiannummer
A	Bijlagen algemeen				
A.0	Bijlagenoverzicht provincie Zeeland	Bijlagenoverzicht provincie Zeeland	28/10/2022	n.v.t.	002.678.20 1071339
A.1	Overzichtskaart ZW380kV Oost	Overzicht VKA 2.0	22/04/2022	1.1	002.678.20 1030658
A.2	Detailkaarten werkwegen en werkerreinen	Kruisen A58 / N289 150 kV boring	28/10/2022	VKA 2.0.1	002.678.20 1071846
B	Rapportages kabelverbinding (o.a. boorprofiel, uitlegstrook)				
B.1	Vergunningsrapportage VKPD HDD2	Kruising 2 HDD's met A58, Spoor en N289	26/04/2022	D1	002.678.20 1030740

A.1 Overzichtskaart ZW380kV Oost



Legenda

VKA 2.0

- Combi 380 kV / 150 kV
- Solo 380 kV
- - - 380kV kabel
- Reconstructie bestaande 380 kV
- × × Te amoveren verbinding

150kV ondergronds

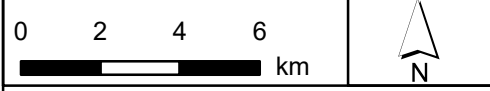
- - - boring
- - - open ontgraving

Bestaande bovengrondse verbinding

- 380 Kv
- 150 Kv
- Gemeentegrenzen
- Provinciegrenzen



Versie	1.1	Datum	22-4-2022
Status	Definitief	Schaal	1:190.000
Auteur	EM	Formaat	A3
Kenmerk	201021_zw380_Overzichtskaart_vergunning.mxd		



Aan deze tekening kunnen geen rechten worden ontleend. © TenneT TSO B.V.

A.2 Detailkaarten werkwegen en werkterreinen Kruisen A58 N289 150 kV boring



Legenda

VKA2.0.1

- Solo 380 kV
- × × Te amoveren verbinding
- Fundaties
- ▨ Ontgravingsvlak
- Indicatieve mastpunten
- ▲ Te amoveren masten
- Traversen - symbool
- Werkterreinen en werkwegen

Bestaande verbinding

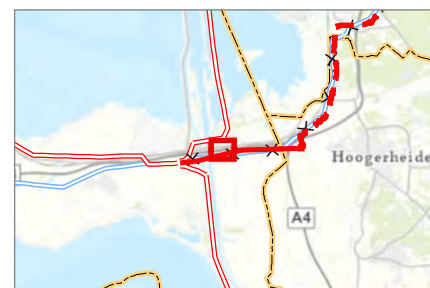
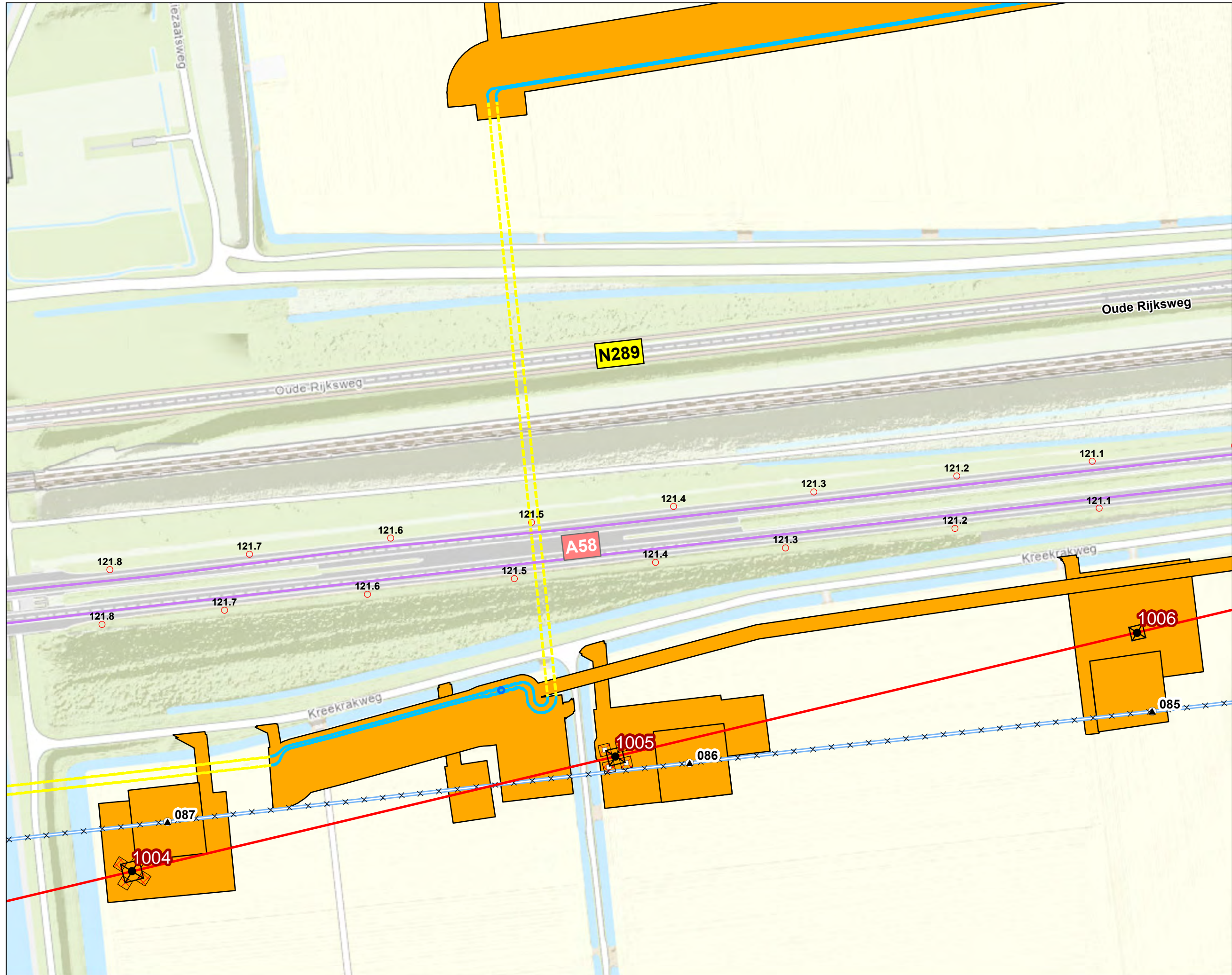
- 150 kV bovengronds
- Masten

Nieuwe 150kV kabeltracés

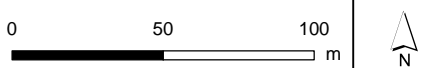
- - - boring
- - - open ontgraving
- moflocatie
- ▭ Gemeentegrenzen

Rijkwaterstaat

- hectometerpaal/bord



Versie	VKA 2.0.1	Datum	28-10-2022
Schaal	1:2.500	Formaat	A3
Kenmerk	<small> 20220_wgk_boringen.mxd http://gis.tennet.nl/arcgis/arcgis/rest/info?layers=20220_wgk_boringen </small>		



B.1 Vergunningsrapportage HDD N289 Provincie Zeeland

Kruising 2 HDD's met A58, Spoor en N289

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat, provincie
Zeeland en ProRail



Verantwoording

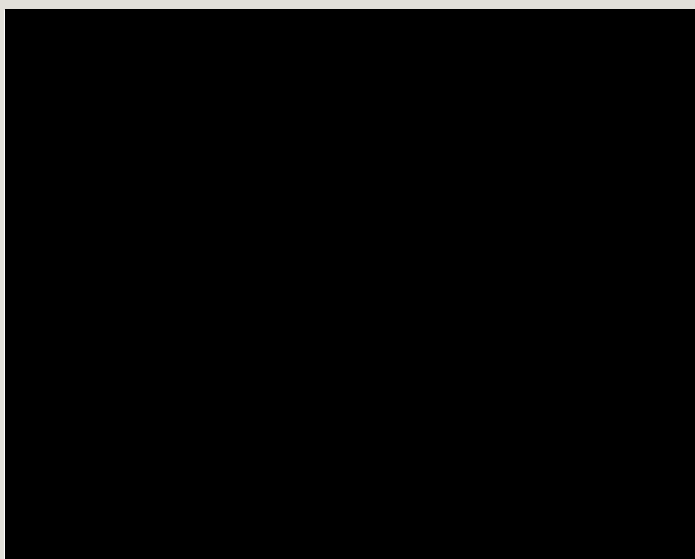
Titel: Kruising 2 HDD's met A58, Spoor en N289
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en Provincie Zeeland
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22733
Versie: D1

Datum: 26-04-2022

Auteur:
E-mailadres:

Gecontroleerd door:
Paraaf gecontroleerd:

Vrijgegeven door:
Paraaf vrijgegeven:



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
1.1	Situatie	5
1.2	Leeswijzer	6
2.	Uitgangspunten	7
2.1	Gebruikte documenten	7
2.2	Vigerende normen en richtlijnen	7
2.3	Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen	7
2.4	Diepteligging	8
2.5	Inwendige overdruk	8
2.6	Grondwaterstand	8
2.7	Belasting- en ondersteuningshoek	8
2.8	Importatiefactor	9
2.9	Geotechnische parameters	9
2.10	Boortechnische gegevens	10
2.11	Verkeersbelasting	10
2.12	Boogstralen	11
3.	Ontwerp	12
3.1	Gegevens HDD	12
3.2	Berekening horizontaal gestuurde boring	13
3.3	Boorparameters	13
3.4	Intredepunt	13
3.5	Uittredepunt en uitlegstrook	14
4.	Berekeningsresultaten	15
4.1	Trekkrachtberekening	16
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase	16
4.3	Muddrukberekening	16
4.4	Implosie	16
4.5	Kwelwegbeschouwing	17
4.5.1	Zoute ondergrond	17
4.5.2	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	18
4.5.3	Kwel tussen de peilgebieden	19
4.5.4	Kwelmaatregelen	21
5.	Risico's	22
6.	Conclusie	24
6.1	Algemeen	24
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening HDD	24

Bijlage 1 – Ontwerptekening.....	25
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek.....	26
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline	27

1. Inleiding

TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen sleufloos worden uitgevoerd door middel van horizontaal gestuurde boringen (HDD's) en persingen.

Dit rapport betreft de kruising met de Rijksweg A58, de spoorlijn en de provinciale weg N289. De HDD's (met codering VKDP HDD02) zijn vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat, provincie Zeeland en ProRail met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten zuiden van de A58 en ten oosten van de brug over het Schelde-Rijnkanaal en bestaat uit twee 150kV-circuits. Hierdoor moeten twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. Per bundel wordt in drie van de mantelbuizen een hoogspanningskabel ingetrokken, één mantelbuis is beschikbaar als reserve.

De twee HDD's liggen naast elkaar, met een dagmaat van 5 meter tussen de boorgaten. De HDD's hebben een lengte van circa 420 m en een maximale diepte van NAP -13,5 m (hart van de boring). De HDD's kruisen vanuit het zuiden gezien achtereenvolgens de Rijksweg A58, de spoorlijn Roosendaal – Vlissingen (Geocode 127, km 22,5) en de provinciale weg N289 en komen boven net voor de leidingenstraat van LSNed.

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde van de A58 in het akkerland waar ook de bestaande mastenroute loopt. Het intredepunt ligt niet onder de mastenroute. Het uitredepunt ligt aan de noordzijde van de N289, zodat de mantelbuizen in de leidingenstraat van LSNed zijn uit te leggen.



Figuur 1 Overzicht situatie VKDP HDD02

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de uitgangspunten, hoofdstuk 3 het ontwerp en de berekeningen, hoofdstuk 4 bevat de berekeningsresultaten, hoofdstuk 5 de risico's en aandachtspunten en hoofdstuk 6 de conclusies. Als bijlagen zijn toegevoegd de ontwerptekening, grondgegevens en de berekeningen.

2. Uitgangspunten

2.1 Gebruikte documenten

Bij het opstellen van de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Ontwerptekening van VKDP HDD2, tekeningnummer VKDP HDD2 versie A (d.d. 20-4-2022, de ProRail vergunningstekening) en E (d.d. 17-03-2022) opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 21O094476 en 21O094477 opgevraagd d.d. 21-09-2021;
- Peilbesluiten waterschap Scheldestromen, geraadpleegd d.d. 14-03-2022, website: <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/CVDR/CVDR333586/1/xml/i241828.pdf>.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019 van Rijkswaterstaat;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50);
- ProRail Spoorkruising derden, RLN 00427-2 (Sleufloze Techniek);
- Indieningvereisten: Ten behoeve van het aanvragen van een vergunning op grond van artikel 19 Spoorwegwet en het aanvragen van een ontheffing op grond van artikel 13 lid 3 van de Regeling omgevingsregime hoofdspoorwegen, ProRail, 01-07-2021-versie-18 (zie bijlage 1).

2.3 Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen

- NEN 3650-1: 2020, bijlage F.4.3 stelt: De afstand (dagmaat) tussen een parallelleiding of -boring moet minimaal 5 m bedragen, tenzij wordt aangetoond dat een kleinere afstand toelaatbaar is.
- De minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen conform de Richtlijn Boortechnieken is:
 - o De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;

- o De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter;
- o De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter;
- o Bij gelijktijdige uitvoering van meerdere HDD-boringen is het risico op schade minder groot omdat de ligging onderling beter bekend is en omdat kabels en leidingen nog niet in bedrijf zijn. In deze situatie kan de onderlinge dagmaat verkleind worden, zodanig dat stuurcorrecties onbelemmerd kunnen plaatsvinden. De vergunningaanvrager dient een afwijkende dagmaat te onderbouwen, waarbij aantoonbaar wordt gemaakt dat er geen risico ontstaat voor het rijkswaterstaatswerk.

De Richtlijn is specifiekier dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechnieken aan.

2.4 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen minimaal 12 m beneden het laagst gelegen maaiveld binnen de druklijn 1:1,5 te liggen (paragraaf 7.1 van RLN0047-2 Spookruising derden).
 - o De bovenkant van de leiding is op een diepte van 16,90 m geprojecteerd ten opzichte van het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van minimaal 1,5 meter (in cohesieve grond) (Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019, NEN3650-1 par. F4.2 en NEN 3651 par. 8.1.5).
 - o Bij zowel de provinciale weg als de rijksweg liggen de HDD's dieper dan 17 m ten opzichte van maaiveld.

Het ontwerp voldoet aan de eisen voor de diepteligging.

2.5 Inwendige overdruk

Het betreft mantelbuizen. Er is dus niet gerekend met inwendige overdruk.

2.6 Grondwaterstand

De grondwaterstand is ontleend uit de data van DINO-loket (B49D0400-001). De grondwaterstand fluctueert gedurende het jaar maar bedraagt gemiddeld circa NAP 0,35 m.

2.7 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN 3650 (C.4.1.3 van NEN3650-1) en NEN 3651 bedraagt voor een HDD de:

- belastingfactor voor trekkracht : 1,8;
- belastinghoek : 30°;
- ondersteuningshoek : 30°.

2.8 Importantiefactor

Voor de HDD is conform paragraaf 6.5 van NEN 3651 een importantiefactor van 1,0 gehanteerd.

2.9 Geotechnische parameters

De geotechnische gegevens en parameters gebruikt zijn gebaseerd op grondonderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek. De ID-nummers, dieptes en de afstanden tot het boortracé van de gebruikte boringen en sonderingen staan in Tabel 2-1. De volledige boringen en sonderingen staan in bijlage 2 van deze rapportage. Op basis van dit grondonderzoek heeft Sweco een maatgevend bodemprofiel langs het geplande boortracé opgesteld. Dit bodemprofiel is gecontroleerd met behulp van het 3-D ondergrondmodel GeoTOP. Dit is een model van de grondlagen in de Nederlandse ondiepe ondergrond, opgesteld door de Geologische Dienst Nederland, onderdeel van TNO.

Tabel 2-1 *Overzicht van het gebruikte grondonderzoek.*

ID-nummer	Type	Diepte [NAP m]	Afstand tot boortrace [m]
B49D2247	Boring	-25	50
B49D1111	Boring	-13	20
1108.S07	Sondering	-18	80

De twee beschikbare boringen en de sondering langs het geplande boortracé geven de bovenkant van de vaste zandlaag weer op -13 m NAP. Deze boringen en sondering laten zien dat boven deze zandlaag de grond bestaat uit relatief slappe klei- en veenlagen. Gezien het zeer kleine aantal boringen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe lagen over het gehele tracé voorkomen. Hieruit kunnen we concluderen dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om een grondprofiel met grotere nauwkeurigheid vast te stellen. Om veiligheidsmarge in de berekening in te bouwen, zijn de slappe klei- en veenlagen over het gehele boortracé aangehouden. Tabel 2.1 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs het profiel zien.

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening.

Niveau bovenkant [m t.o.v. NAP]	Niveau onderkant [m t.o.v. NAP]	Lithologie	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	Su top/bottom [kN/m ²]	E [kN/m ²]
2,0	-3,5	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	7500
-3,5	-6,0	Klei, organisch, slap	13	13	0,0	15,0	35,0	500
-6,0	-11,0	Veen, slap	11	11	1,0	15,0	35,0	200
-11,0	-13,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-13,0	30,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	45000

2.10 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberendingen zijn betrokken uit het Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50), NEN 3650:2020 en NEN 3651:2020. De voor de berekeningen gehanteerde waarden zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberendingen in bijlage 3.

2.11 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de A58 is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor de overige wegen is verkeersklasse II conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020 gehanteerd.

2.12 Boogstralen

Het beleid van TenneT is dat HDD's met een gyroscoop geboord worden. De minimaal mogelijke boogstraal van een gyroscoop bedraagt volgens leverancier Brownline 180 m.

In dit ontwerp is sprake van verticale bochten van 250 m. De boogstralen voldoen hiermee aan de minimaal vereiste straal van 180 m voor de gyroscoop.

Met de toepassing van een gyroscoop kan tijdens de pilotboring worden bijgestuurd om afwijkingen te compenseren. Het boren met gyroscoop zorgt er daarom voor dat de afwijkingstolerantie bij de uitvoering van de HDD's binnen de afwijkingstolerantie blijven zoals benoemd in de Richtlijn Boortechnieken.

Tabel 2-1 afwijkingstoleranties HDD

RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

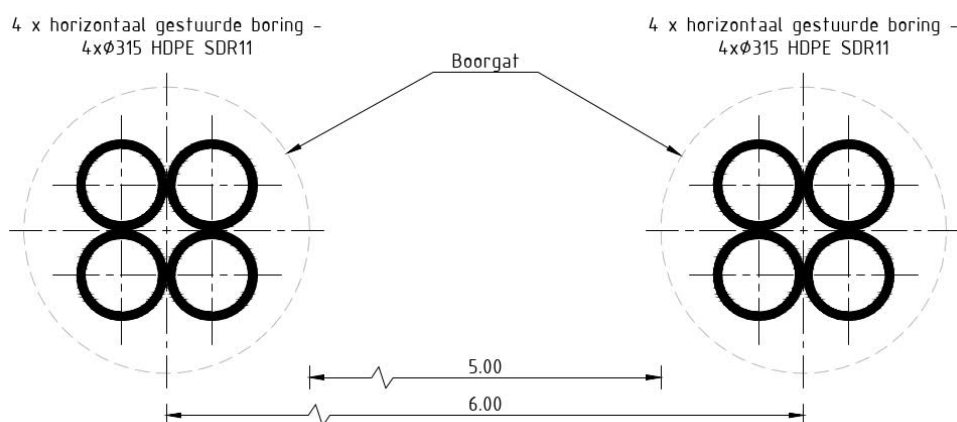
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

Het ontwerp van de twee HDD's heeft de volgende kenmerkende parameters:

- materiaal: PE 100 4xØ315 mm SDR 11;
- lengte: 420 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -13.83 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: n.v.t.



Figuur 3 Doorsnede van de 2 HDD's

Aan de hand van NEN 3650 en NEN 3651 en de Richtlijn Boortechiek is een ontwerp gemaakt voor de HDD's. De voornaamste randvoorwaarden voor het ontwerp zijn:

- De HDD's dienen een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen;
- De HDD's dient de snelweg loodrecht te kruisen;
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Berekening horizontaal gestuurde boring

De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- een trekkrachtberekening;
- een sterkteberekening voor de bedrijfsfase;
- een muddrukberekening;
- een implosieberekening;
- kwelwegbeschouwing.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd in bijlage 3.

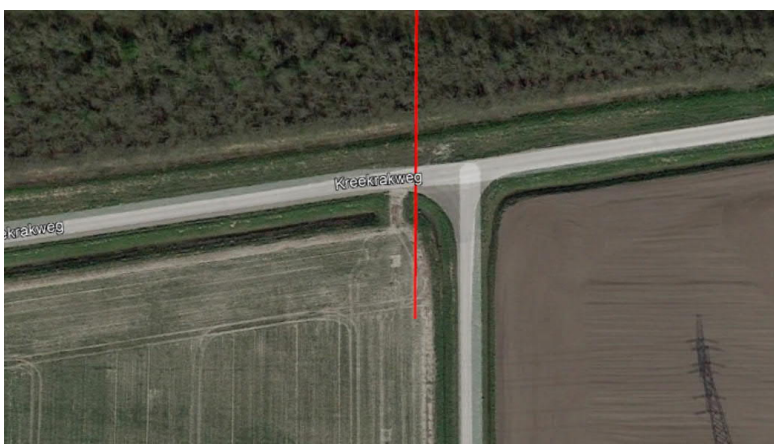
3.3 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : mini-rig;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m³;
- Gewicht drillrig : circa 18.000 kg (18 ton);
- Diameter pilothole : Ø300 mm;
- Ruimerdiameter : Ø500 mm;
- Ruimgat : Ø1000 mm.

3.4 Intredepunt

Het intredepunt ligt aan de zuidzijde van het tracé in het bouwland (zie *Figuur 4*). De locatie is bereikbaar via de Kreekrakweg. Indien het werkverkeer de locatie vanuit het noorden benadert, dient rekening te worden gehouden met de doorrijhoogte onderdoor de brug over het kanaal.



Figuur 4 Intredepunt VKDP HDD02

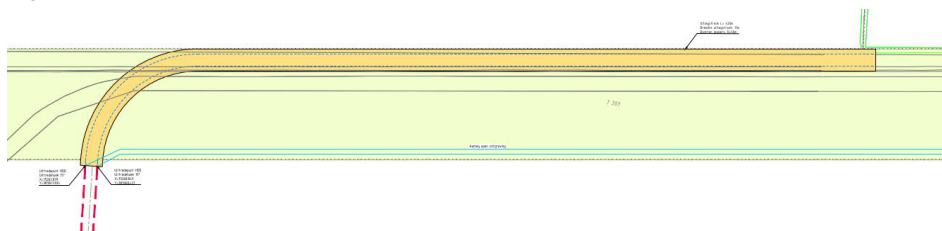
3.5 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de noordzijde van het boortracé (zie *Figuur 5*). De locatie is bereikbaar via de Markiezaatsweg vanuit de oostzijde van het uittredepunt.

De uitlegstrook ligt in het bouwland en een haakse bocht naar het oosten (zie *Figuur 6*). Met LSNed is afgestemd om gebruik te maken van de leidingstraat voor de uitlegstrook. Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 5 Uittredepunt VKDP HDD02



Figuur 6 Uitlegstrook VKDP HDD02

4. Berekeningsresultaten

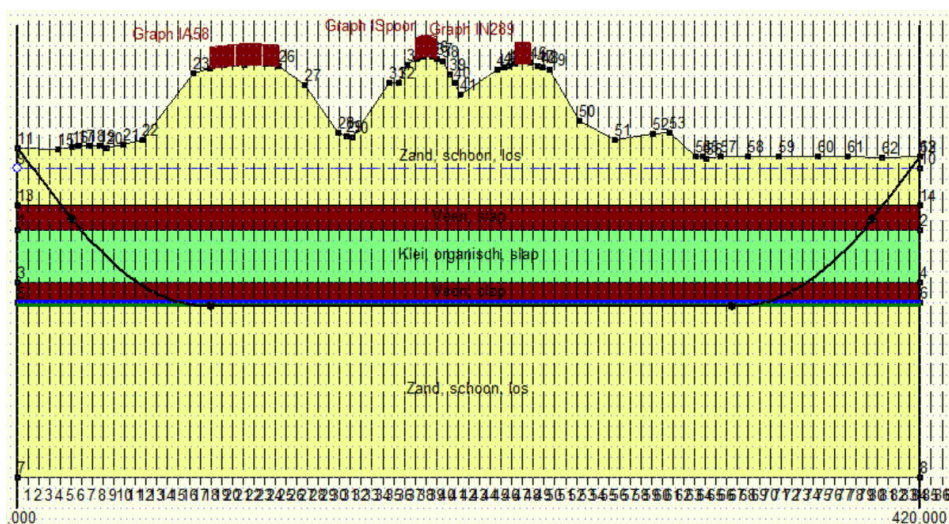
De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- een trekkrachtberekening;
- een sterkteberekening voor de bedrijfsfase;
- een muddrukberekening;
- een implosieberekening;
- een kwelwegbeschouwing.

Er is één berekening, dus maar één profiel, opgesteld voor beide HDD's. Uitgangspunt is dat de verschillen tussen de profielen van de twee HDD's verwaarloosbaar klein zijn.

Bij de berekeningen is het profiel van de huidige situatie gebruikt, aangezien deze ten tijde van de uitvoering van de HDD nog aanwezig is en maatgevend is voor de muddruk en trekkracht.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma D-Geo Pipeline versie 20.1 en zijn toegevoegd als bijlage 3. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.



Figuur 7 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt $304 \cdot 1,8 = 547$ kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $5,9$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

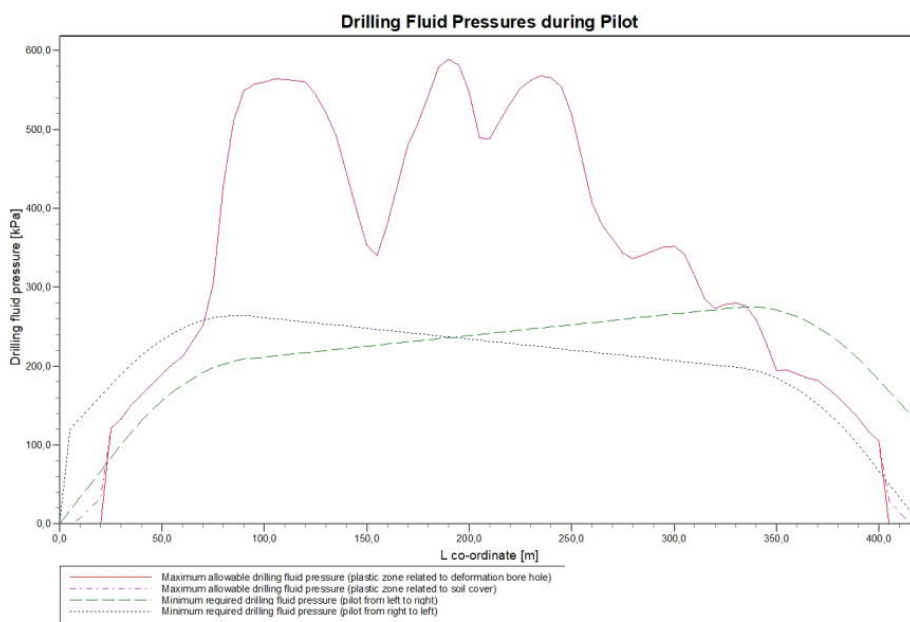
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $7,8$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $15,8$ mm ($5,03\% \times D_0$) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van $25,2$ mm ($8,00\% \times S \times D_0$).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 80 m van het tracé. Geadviseerd wordt bij nadering van het uittredepunt, bij met name de voor muduitbraak maatgevende pilotboring, de druk op de boorspoeling te verminderen. Bij het ruimen en de intrekoperatie wordt geen blow-out berekend.



Figuur 8 Muddrukberekening tijdens pilot boring

4.4 Implosie

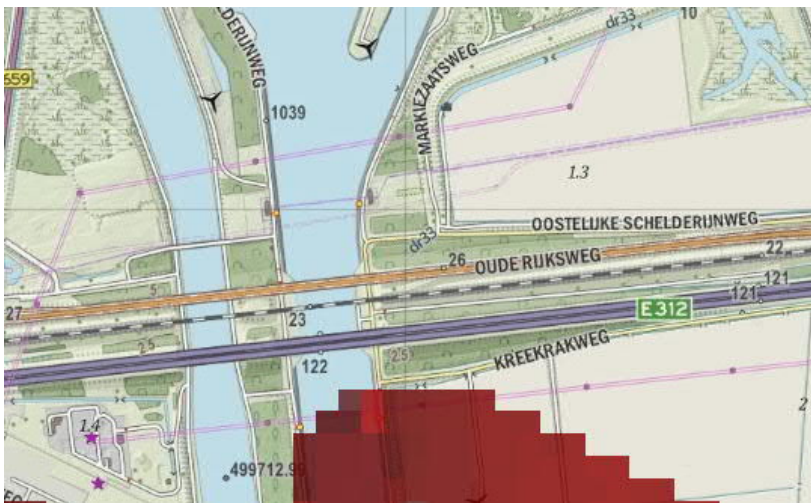
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op de leiding bedraagt circa 140 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelwegbeschouwing

Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende peilgebieden verbindt. Hierdoor kan een kortsluitstroom langs de HDD ontstaan. In onderstaande paragraaf zijn beide situaties beschouwd.

4.5.1 Zoute ondergrond

Door de nabije aanwezigheid van de zee is de ondergrond van Zeeland op veel plekken verzadigd met zout water. Er treedt infiltratie op van zoet regenwater. Het regenwater zorgt voor een zoete bovenlaag van de bodem, maar veel dieper komt de zoete invloed niet. In de omgeving van de HDD komt in diepere grondlagen een hoog chloride-gehalte voor. Voor de locatie van HDD VKDP 2 zijn geen metingen beschikbaar (zie *Figuur 9*). De kans op zout grondwater is aanwezig.



Figuur 9 Grensvlak met chloridegehalte nabij HDD-kruising

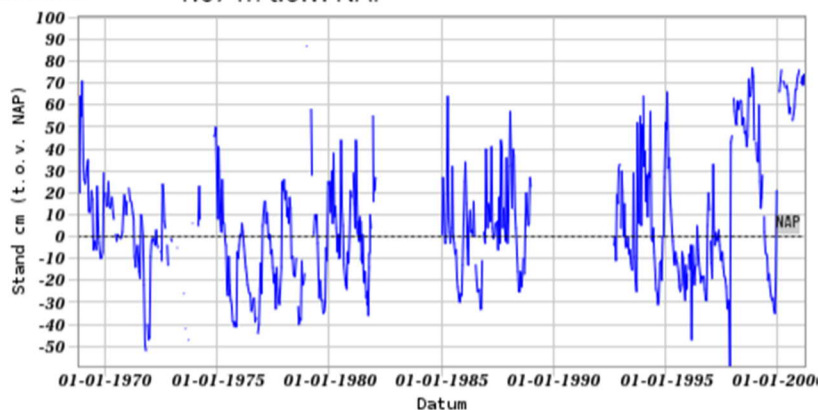
4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

De HDD's liggen in het deelgebied Zuid-Beveland-Oost waar waterschap Scheldestromen het peilbeheer voert.

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49D0097 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 1 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49D0097-001 in periodes lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49D0097-002. De bovenliggende kleilagen sluiten het eerste watervoerende pakket af. Doordat de HDD's de afsluitende kleilagen doorkruisen bestaat het risico dat langs de boorgang van de HDD's kwel uit de diepere grondlagen ontstaat. Het is daarom noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen.

Grondwaterstanden

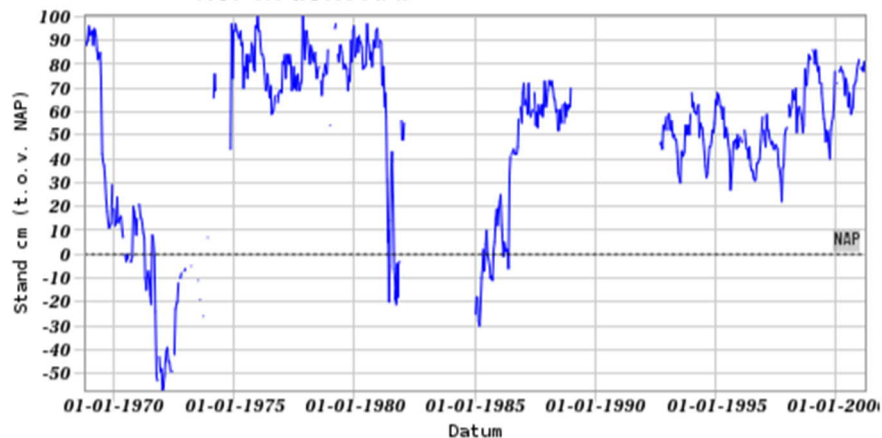
Identificatie: B49D0097
 Identificatie buis: B49D0097-001
 Coördinaten: 76960, 382580 (RD)
 Maaiveld: 1.67 m t.o.v. NAP



Figuur 10 Freatische grondwaterstand B30H0125-001 uit Dinoloket, filter op NAP -6,5 m

Grondwaterstanden

Identificatie: B49D0097
 Identificatie buis: B49D0097-002
 Coördinaten: 76960, 382580 (RD)
 Maaiveld: 1.67 m t.o.v. NAP



Figuur 11 Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B30H0125-002 uit Dinoloket, filter op NAP -11,9 – 13,96 m

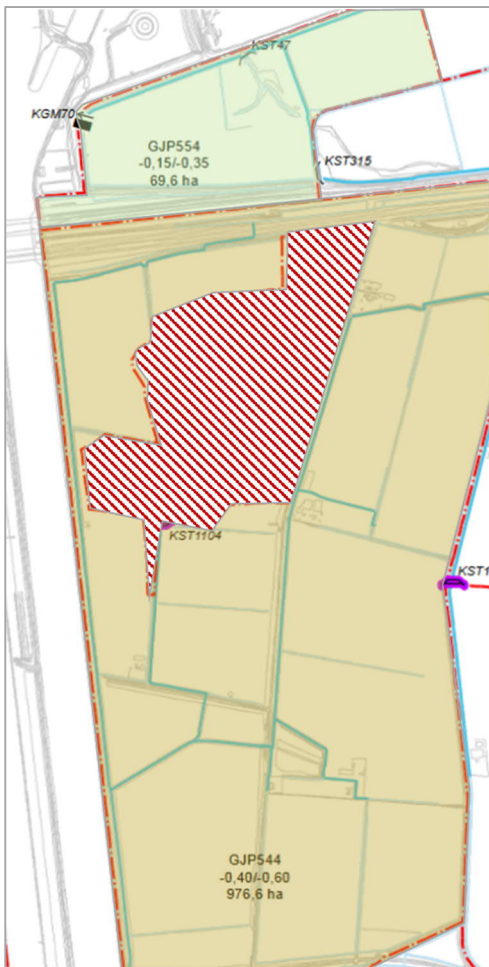
4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

Uit de peilbesluitenkaart van waterschap Scheldestromen blijkt dat de noord- en zuidzijde van de HDD's niet tot dezelfde peilgebieden behoren. De noordzijde van de A58 ligt in het peilgebied GJP545 en zuidzijde behoort tot gebied GJP544.

Gezien de waterstandsverschillen tussen de peilgebieden is het mogelijk dat kwel optreedt bij een verkorting van de natuurlijke kwelweg door de HDD.

Tabel 4-1 Peilgebieden

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
GJP554	-0,15	-0,35
GJP544	-0,40	-0,60



Figuur 12 Overzicht peilbesluit

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

Natuurlijke kwelweg < kwelweg via HDD

$$L_0 \times \frac{1}{3} < L_{vert} + L_{hor} \times \frac{1}{6}$$

Waarin:

L_0 : kortste natuurlijke kwelweg

L_{vert} : kwelweg in verticale richting

L_{hor} : kwelweg in horizontale richting (< 45°)

De factoren 1/3 en 1/6 zijn weegfactoren conform Bligh-Lane voor stroming langs een contactvlak van twee grondlagen, respectievelijk het contactvlak tussen grond en boorgang.

In tabel 4-2 zijn de kortste natuurlijke kwelwegen en kortste kwelwegen langs de HDD weergegeven. Voor de kortste natuurlijke kwelweg is de minimale afstand tussen twee watergangen uit een peilgebied gehanteerd die door de HDD gekruist wordt. Hieruit blijkt dat kwel tussen de peilgebieden via de HDD's op kan treden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
GJP554	GJP544	$197/3 = 65,6$	$9+197/6+18 = 60$

4.5.4 Kwelmaatregelen

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op deze locatie hoger dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. De bovenliggende kleilagen sluiten het eerste watervoerende pakket af. Doordat de HDD's de afsluitende kleilagen doorkruisen bestaat het risico dat langs de boorgang van de HDD's kwel uit de diepere grondlagen ontstaat. Het is daarom noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen.

Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en mantelbuis dient afgesloten te worden met een sleeve aan de uiteinden van de mantelbuizen.

5. Risico's

- Veilig werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten. Deze lijn is in bedrijf ten tijde van de werkzaamheden. Het heeft de voorkeur om de HDD die het meest dichtbij de masten ligt als eerste uit te voeren, zodat deze in ieder geval voldoende afstand heeft tot de fundering van de mast.
- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalingssysteem tijdens de pilotboring voor.
- Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD's. De aannemer dient daarom na iedere pilotboring te controleren of de volgende HDD's nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels.
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door waterschap Scheldestromen.
- De uitlegstrook ligt in de leidingenstraat van LSNed.
- De aanwezigheid van brak grondwater in de ondergrond. De aannemer dient hier bij de samenstelling van het bentoniet rekening mee te houden.
- De mantelbuizen dienen met een sleeve afgesloten te worden om een kwelstroom door de buis onderdoor de waterkering te voorkomen.
- De boring en het materieel worden opgesteld aan de westzijde van de boring bij het 150 kV-station Rilland.
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de oostzijde van de HDD in bouwland. De uitlegstrook ligt parallel en kruist de 150 kV mastenroute.
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken.
- Spiegellassen aanbrengen conform NEN7200.
- Bij het spiegellassen van de leidingdelen dienen alle inwendige lasrillen verwijderd te worden; in overleg met de toezichthouder moeten de verwijderde lasrillen aangetoond kunnen worden.
- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalingssysteem tijdens de pilotboring voor.

- Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD. De aannemer dient daarom na de pilotboring te controleren of de volgende HDD nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels, zoals hoogspanningsmasten.

6. Conclusie

6.1 Algemeen

TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuidwest-Oost ondergronds te verkabelen.

Deze rapportage betreft de kruising met de A58, het treinspoor en de N289. Dit document betreft de vergunningsrapportage voor Rijkswaterstaat en de provincie Zeeland met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken, de eisen van ProRail en de beleidsregels van Rijkswaterstaat

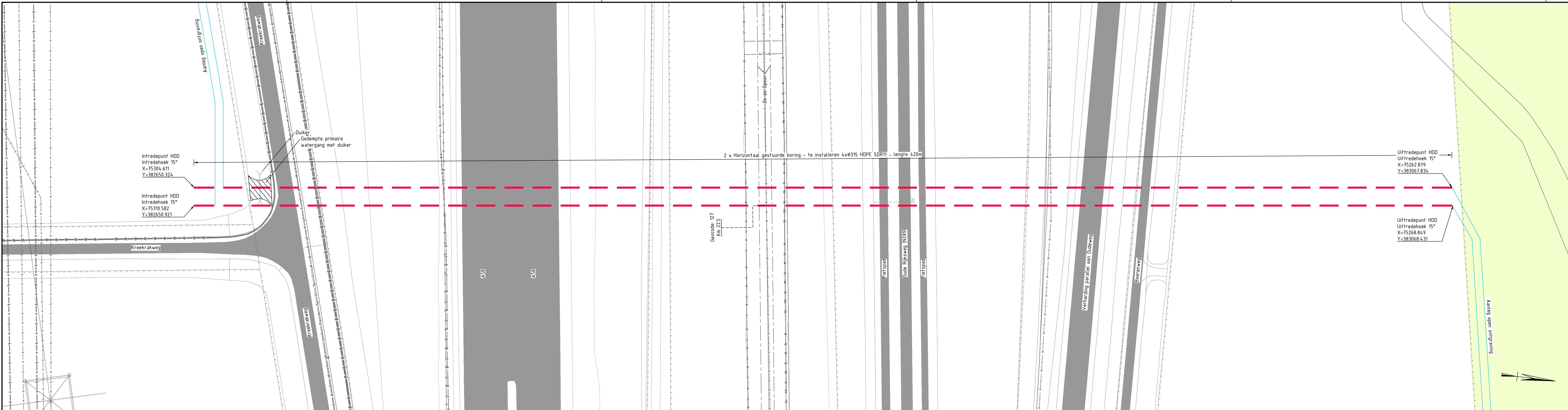
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening HDD

De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

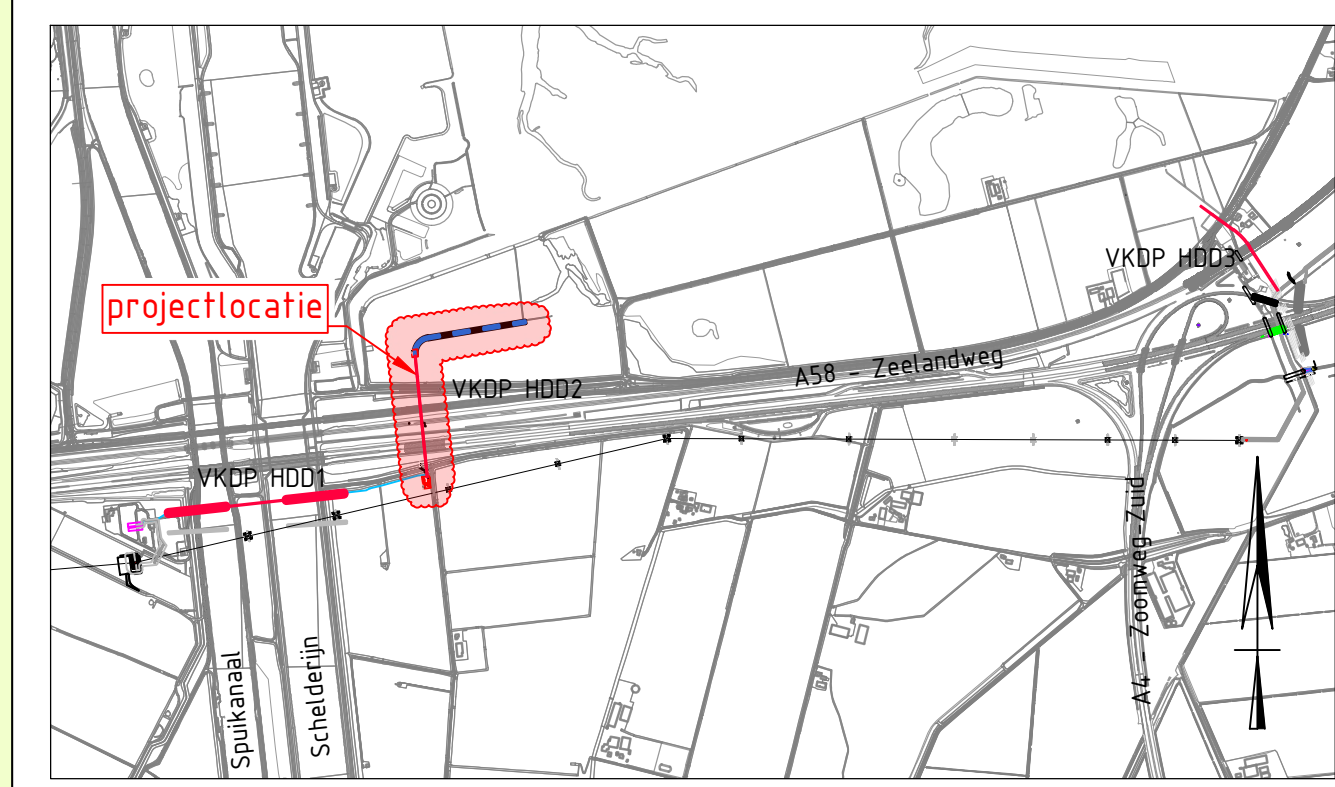
Het is noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen. Als kwelmaatregel stellen wij voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen door middel van het nagrouten van de boorgang met mantelbuizen vanaf het maaiveld tot 2 à 3 m in het watervoerende pakket. De ruimte tussen de kabel en mantelbuis dient afgesloten te worden met een sleeve aan de uiteinden van de mantelbuizen.

Uit de berekeningen blijkt dat de gekozen tracés van de twee parallelle HDD's met PE 100 4xØ315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

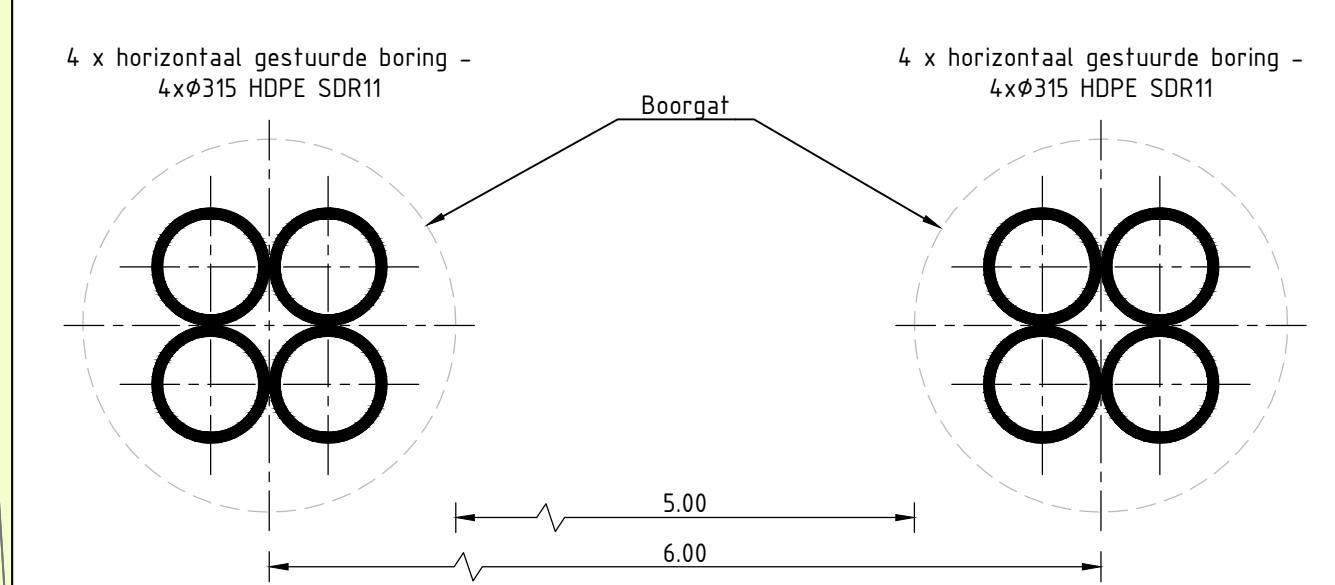
Bijlage 1 – Ontwerptekening



Bovenaanzicht HDD schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.



Principe doorsnede
Schaal 1:20

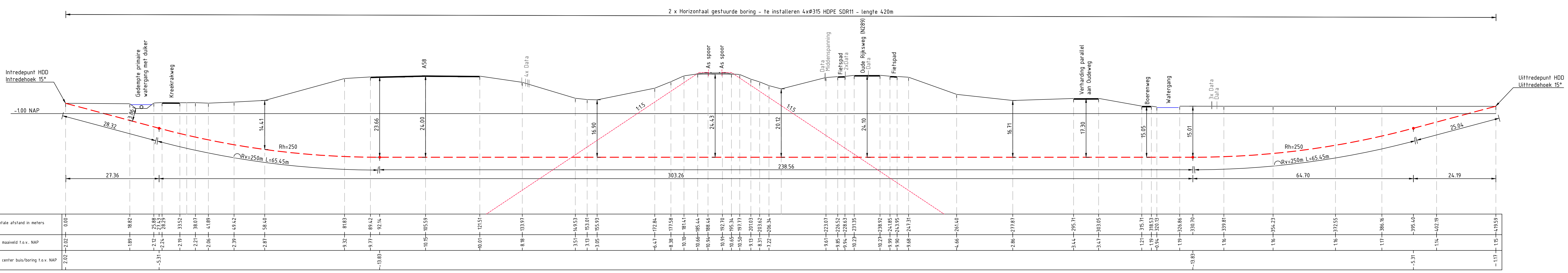
- Legenda**
- Kadastrale grens
 - Leiding gevaarlijke inhoud
 - Datatransport
 - Landelijk hoogspanningsnet
 - Laagspanning
 - Middenspanning
 - Gasleiding hoge druk
 - Gasleiding lage druk
 - Waterleiding
 - Drukriolering
 - Riolering vrijverval
 - Horizontaal gestuurde boring (HDD)
 - Verharding (asfalt)
 - Bestaande topo
 - Bebouwing
 - Primaire waterkering
 - Leidingsstrook LSned
 - Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

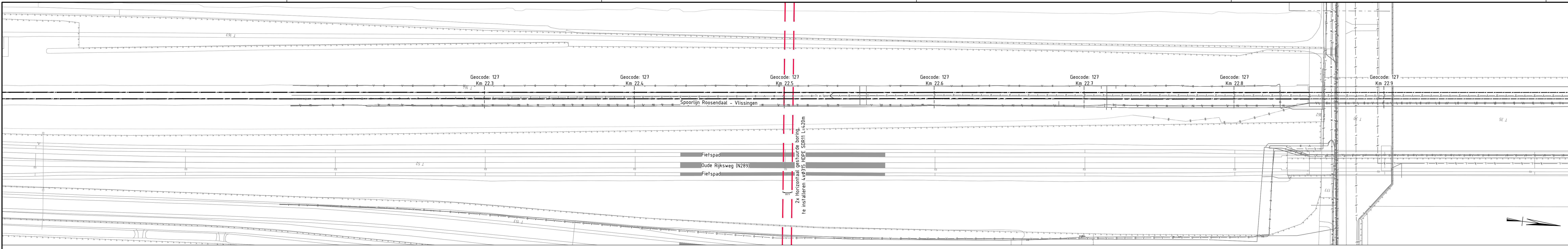
Definitief		17-03-2022	JPR	MJ	JD
E	T.b.v. vergoedingsaanvraag	17-08-2020	BB	MJ	JD
D	Definitief ontwerp	03-07-2020	BB	MJ	JD
C	Diverse kleine wijzigingen - Definitief gemaakt	03-06-2020	BB	MJ	JD
B	Variant 2	03-05-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	08-05-2020	BB	MJ	JD
Rev	Bevestiging	Salmu rev.	Get.	Sec.	Goedg.

Opdrachtgever:
TenneT TSO B.V.
Project:
HDD's 150 kv ZWO
Onderdeel:
VKDP-HDD2, Riltand-Volkerdorp-Markiezzaat

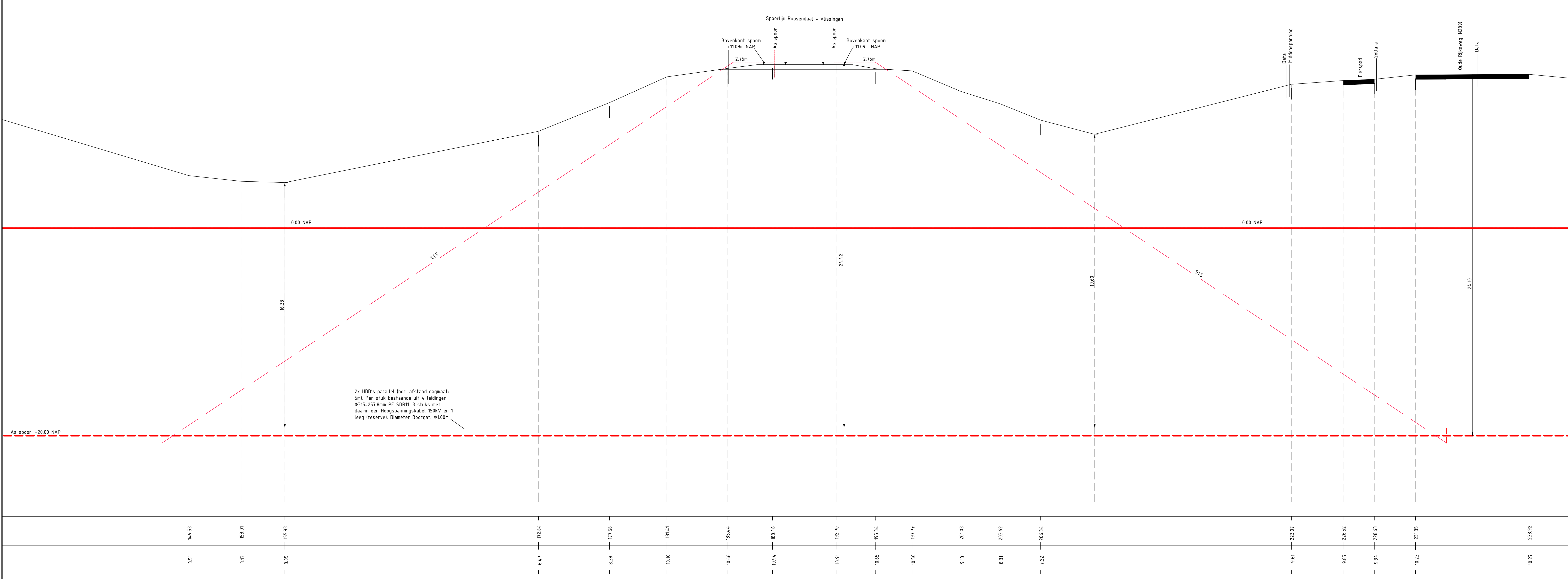
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
368722	VKDP HDD2	E	17-03-2022	Definitief ontwerp			
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kanbaar	Get.	Sec.	Sleeds
1	2	1:500/1:20	A1 L (1260x594)	De Bikt	BB	MJ	JD



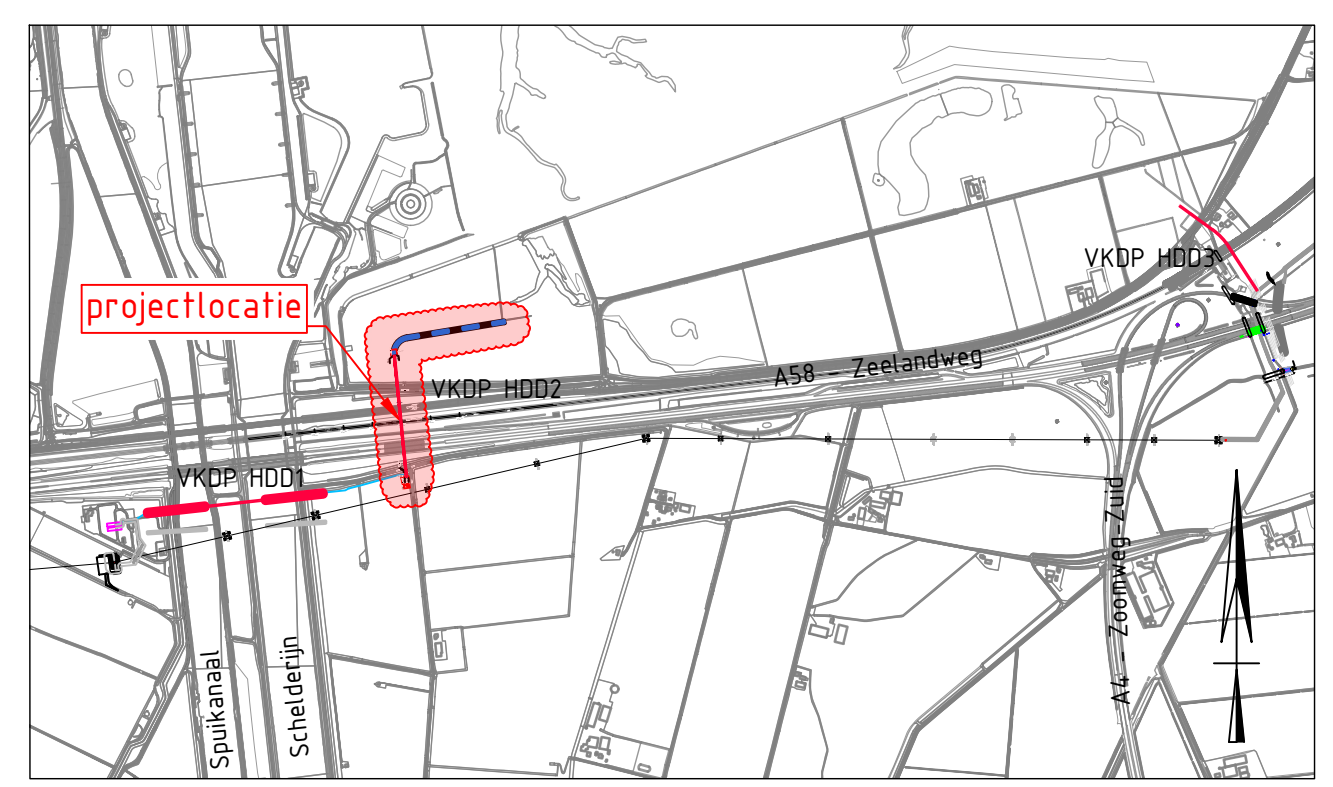
Lengteprofiel schaal 1:500



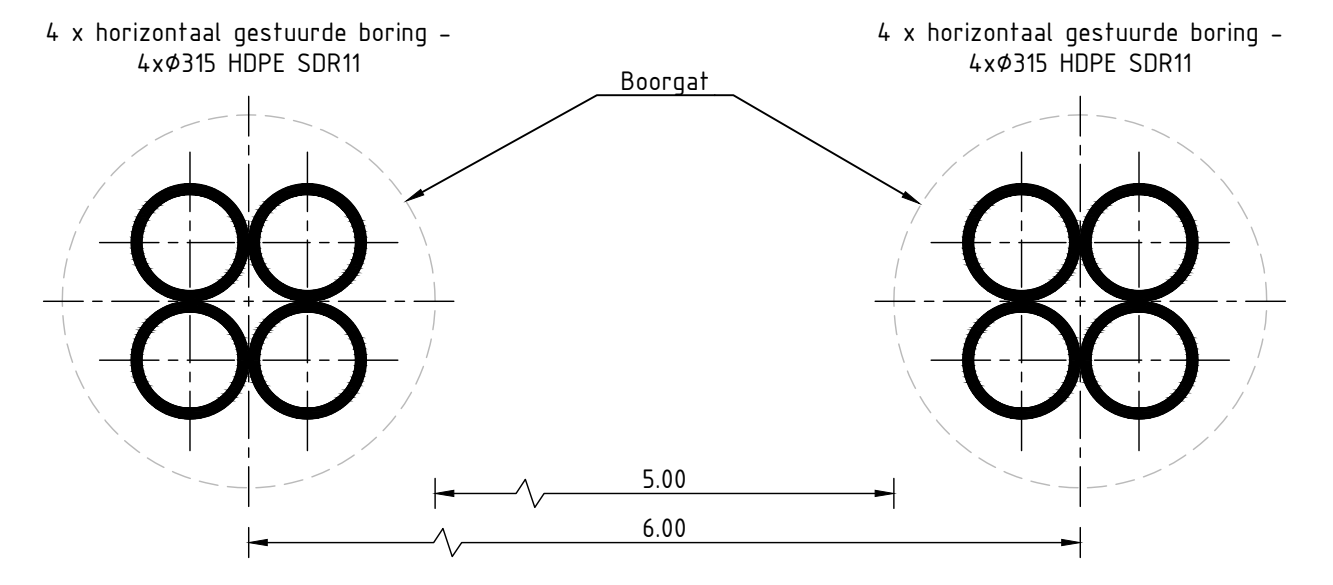
Bovenaanzicht HDD schaal 1:1000



Lengteprofiel schaal 1:100



Overzicht
Schaal n.v.t.

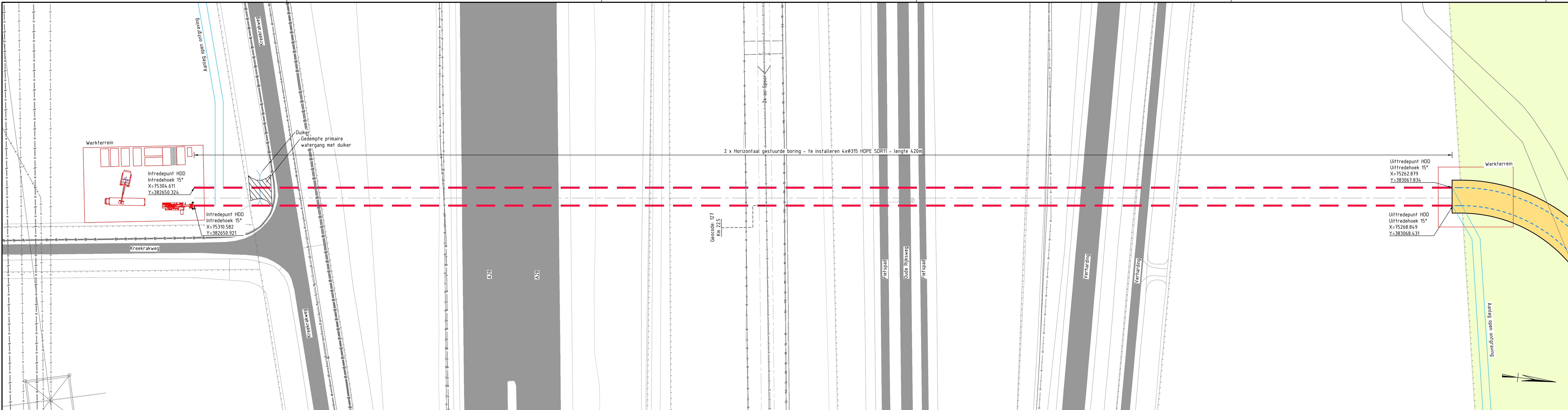


Principe doorsnede
Schaal 1:20

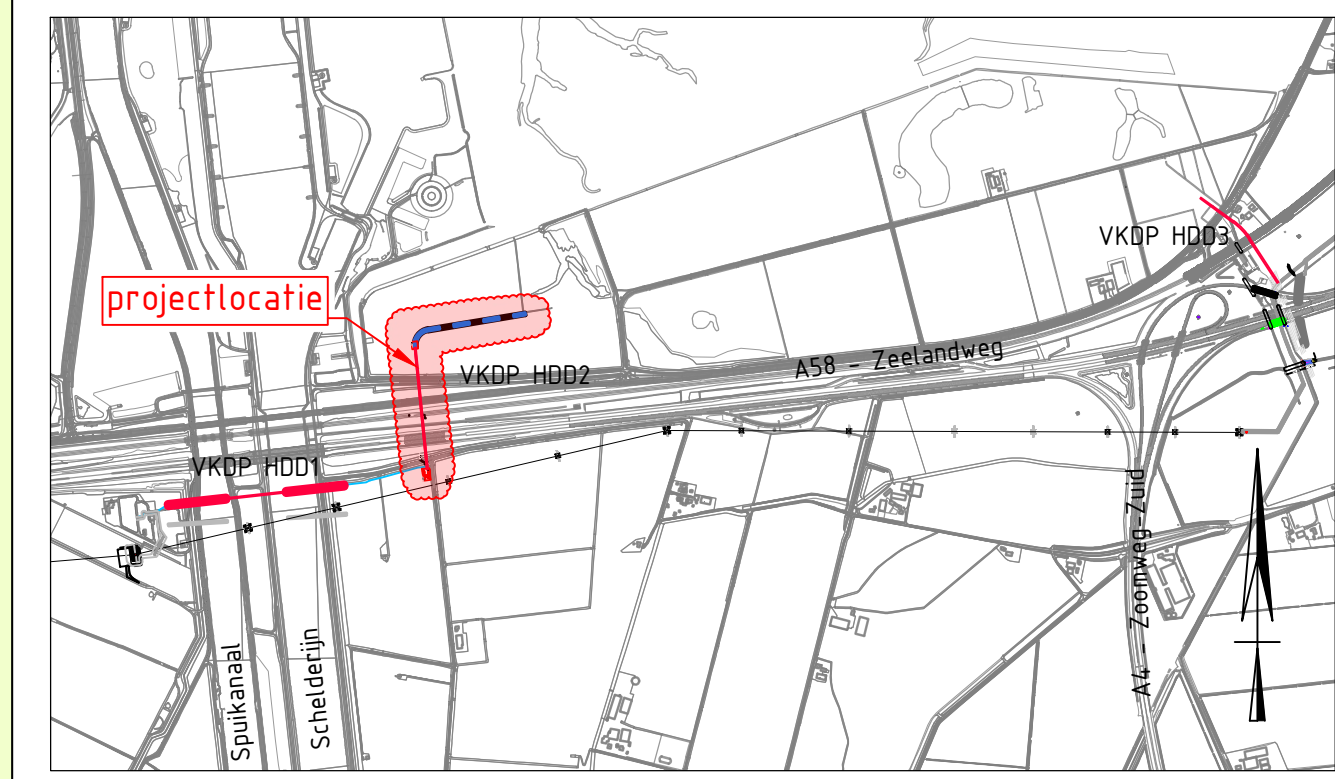
- Legenda**
- - - - - Kadastrale grens
 - - - - - Leiding gevaarlijke inhoud
 - - - - - Datatransport
 - - - - - Landelijk hoogspanningsnet
 - - - - - Laagspanning
 - - - - - Middenspanning
 - - - - - Gasleiding hoge druk
 - - - - - Gasleiding lage druk
 - - - - - Waterleiding
 - - - - - Drukiolering
 - - - - - Riolering vrijverval
 - - - - - Horizontaal gestuurde boring (HDD)
 - - - - - Verharding (asfalt)
 - - - - - Bestaande topo
 - - - - - Bebouwing
 - - - - - Primaire waterkering
 - Leidingsstrook LSned
 - Verharding/wegen
 - 16 Locatie sondering met nummer

Vergunningstekening

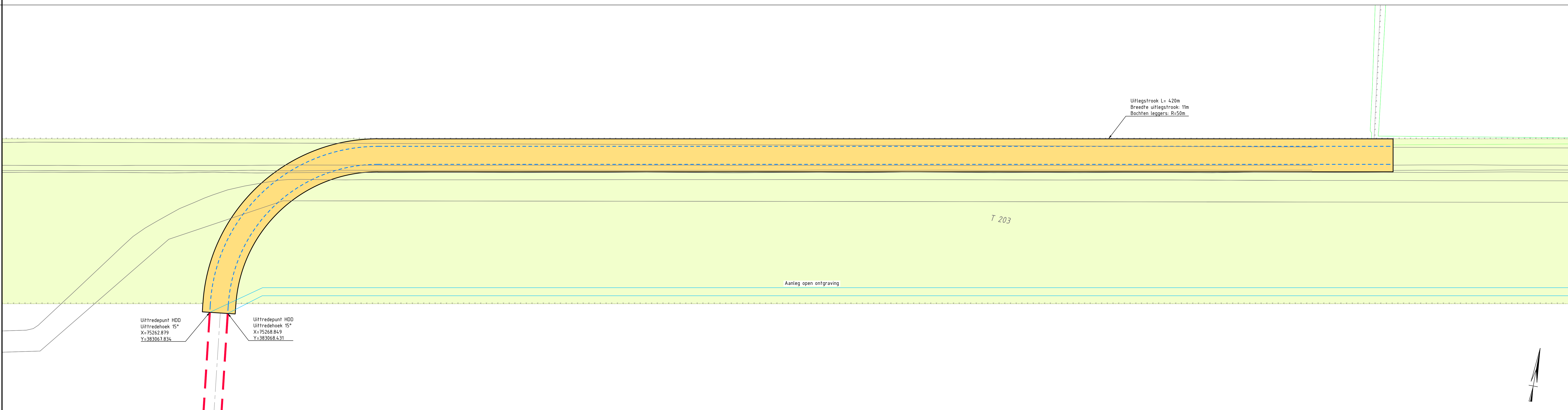
A	Tbx vergunningaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
Rev	Directievring	Salut rev	Set	Set	Goud
Opsteller: TenneT TSO B.V.					
Project: HDD's 150 kV ZWO					
Onderwerp: VKDP-HDD2, Riltand-Volkerdorp-Markiezzaat					
Kruising HDD met spoorlijn Roosendaal - Vlissingen; Geocode 127 - 22.5km					
Projectnummer	Tekeningnummer	Revisie	Datum van uitgave	Dringingsfase	Contractnummer
368722	VKDP HDD2-ProRail	A	20-04-2022	Definitief ontwerp	
Blaad	Van	Schaal	Formaat	Kanbaar	Get
1	Zie tekening	ATL (1260x594)	de Bilt	BB	MJ
				Set	JD



Bovenaanzicht schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500

Legenda

	Kadastrale grens		16 Localie sondering met nummer
	Leiding gevaarlijke inhoud		
	Datatransport		
	Landelijk hoogspanningsnet		
	Laagspanning		
	Middenspanning		
	Gasleiding hoge druk		
	Gasleiding lage druk		
	Waterleiding		
	Drukiolering		
	Riolering vrijverval		
	Horizontaal gestuurde boring (HDD)		
	Verharding (asfalt)		
	Bestaande topo		
	Bebouwing		
	Primaire waterkering		
	Uitlegstrook		
	Leidingsstrook LSned		
	Verharding/wegen		

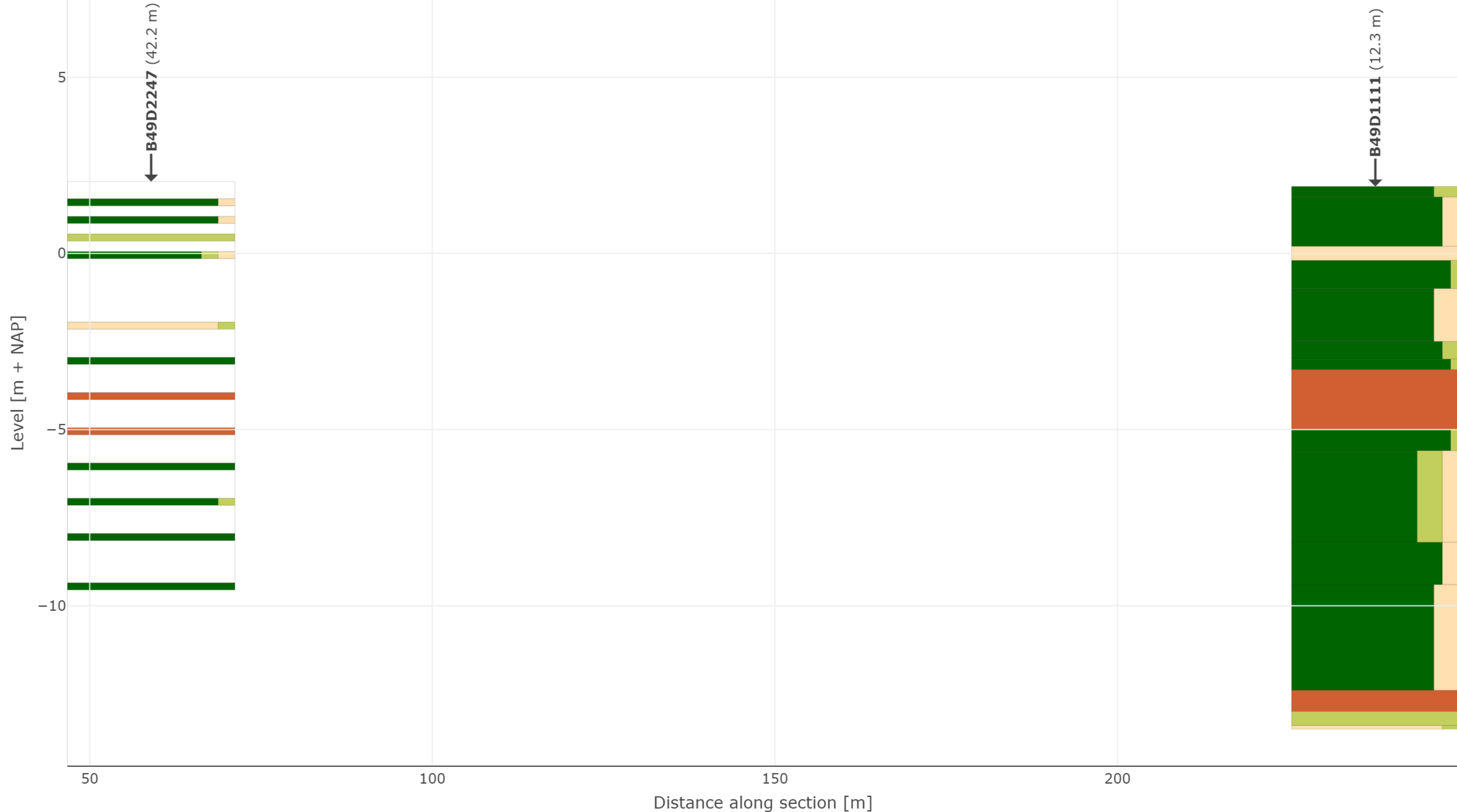
Maten in meters, tenzij anders aangegeven
 Materialen in millimeters
 Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Rev.	Definitief	Verwijst naar	Datum van uitgave	Definitief	Contractnummer
E	T.b.v. vergoedingsaanvraag		17-03-2022	JPR	
D	Definitief ontwerp		19-08-2020	BB	
C	Definitief gemaakt		03-07-2020	BB	
B	Variant 2		25-06-2020	BB	
A	Voorlopig ontwerp		07-05-2020	BB	
Rev.	Bevestiging		Schakel rev.	Get.	Sec. Goud.

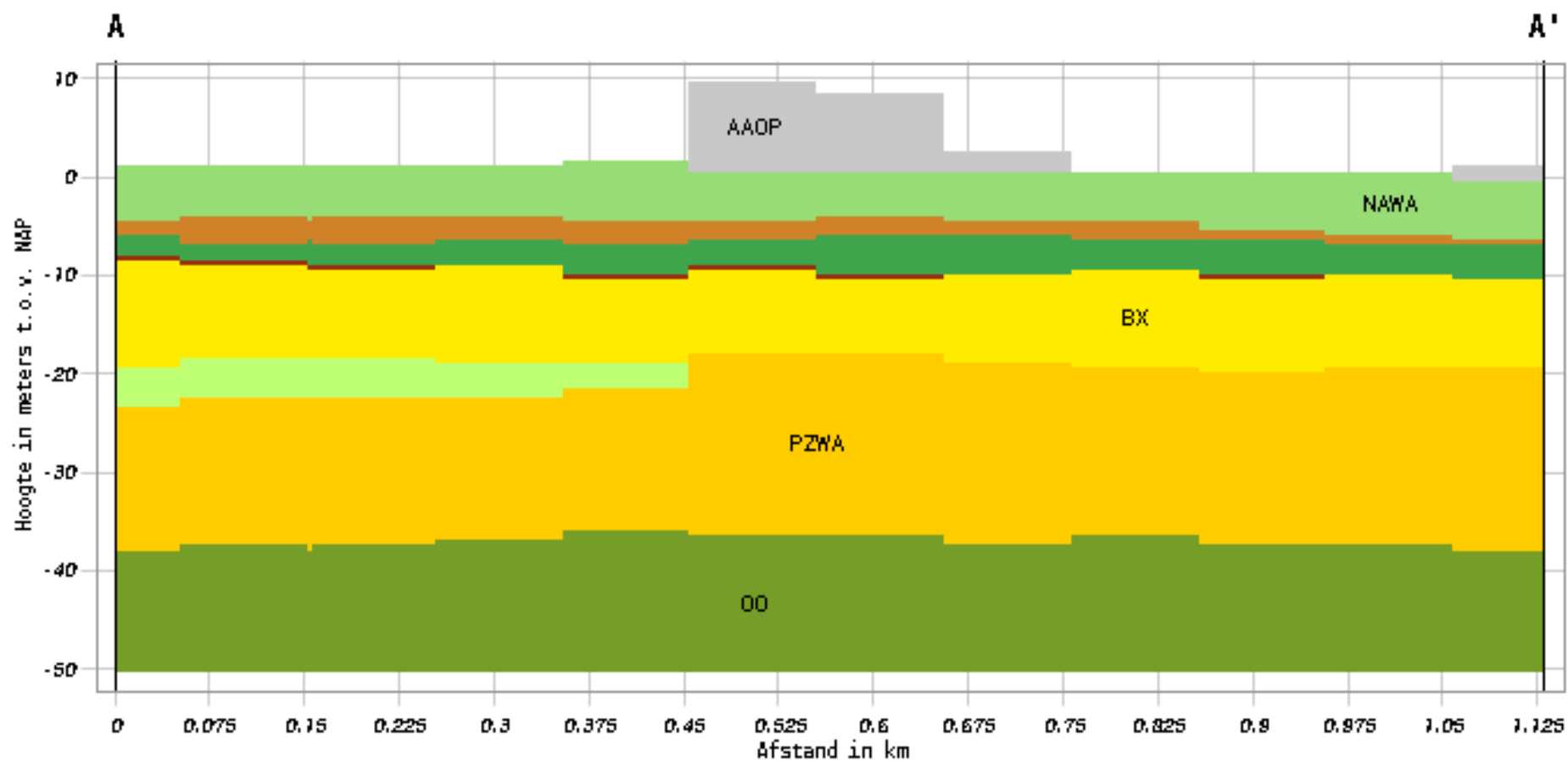
Opdrachtgever:
TenneT TSO B.V.
 Project:
HDD's 150 kv ZWO
 Onderdeel:
VKDP-HDD2, Rilland-Volkerdorp-Markiezaat Uitlegstrook

Projectnummer	Takennummer	Revisie	Datum van uitgave	Definitief	Contractnummer
368722	VKDP-HDD2-U	E	17-03-2022	Definitief	
Blad	Van	Schaal	Formaat	Aanbieder	Get.
2	1	1:500	A1 L (1260x594)	De Bkl	BB MJ JD

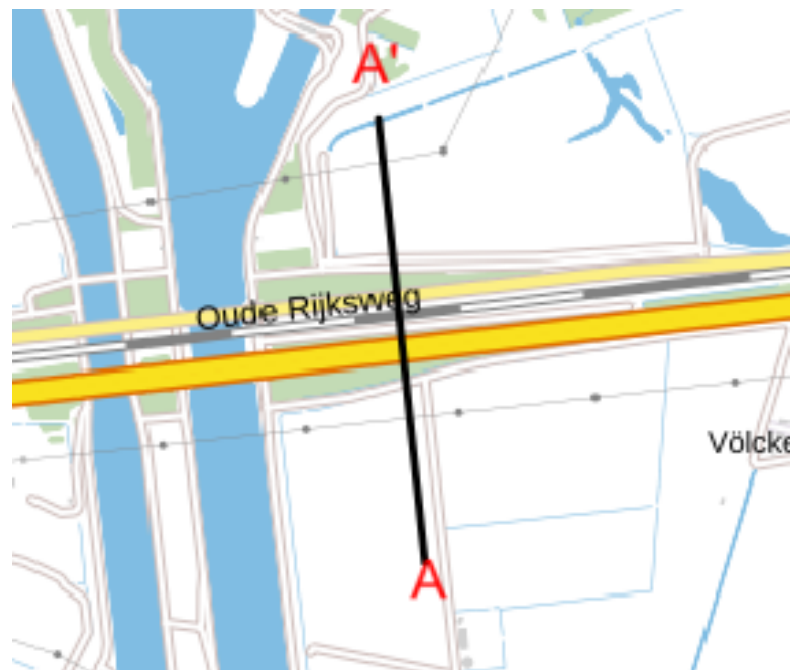
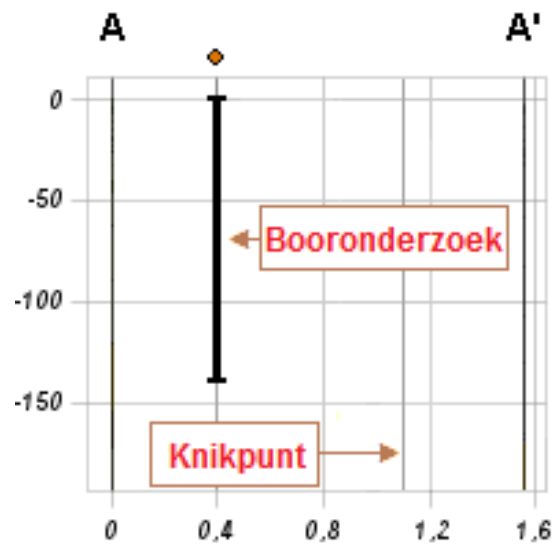
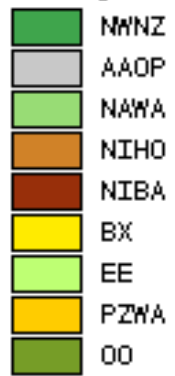
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek



Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4

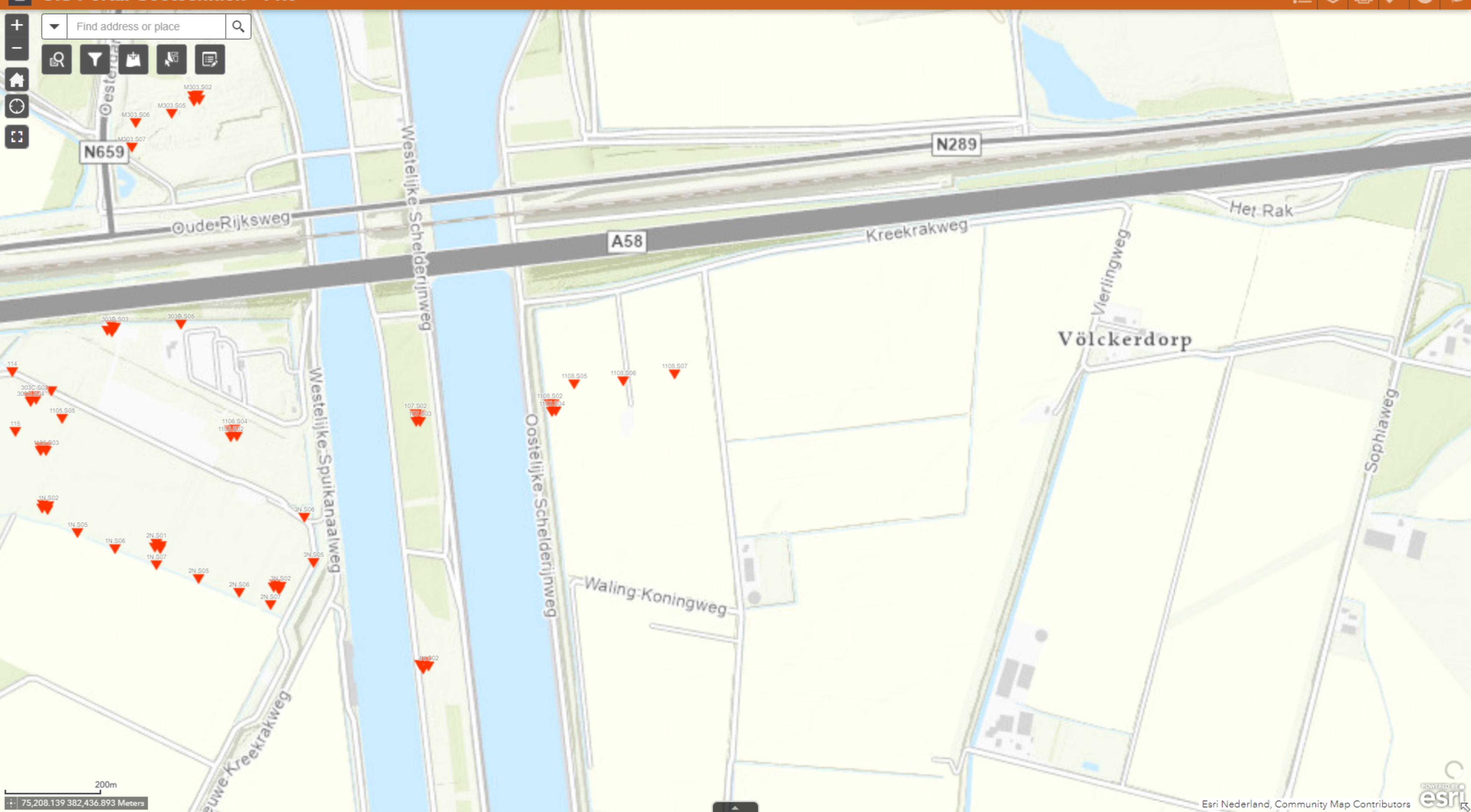


Geologische eenheid



Find address or place

Map navigation icons: Home, Back, Forward, Print, Refresh, Info, Full Screen



200m
75,208.139 382,436.893 Meters



● borehole ● not shown on sectionplot — section

Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report: 21-3-2022
Time of report: 17:04:54
Report with version: 20.1.2.31161
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: HDD berekening

1 Table of Contents

1	Table of Contents	2
2	Messages	4
2.1	Calculation Warnings	4
3	Input Data	5
3.1	Model Used	5
3.2	Layer Boundaries	5
3.3	PI-lines	5
3.4	Phreatic Line	5
3.5	Soil Profiles	5
3.6	Selected Boundaries	6
3.7	Soil Material Data	6
3.8	Geometry	7
3.8.1	Geometry Section, Detailed	7
3.8.2	Geometry Top View	7
3.9	Calculation Verticals	8
3.10	Traffic Load	9
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	10
3.13	Pipe Engineering Data	11
3.14	Drilling Fluid Data	11
3.15	Factors	11
3.16	Calculation Options	12
4	Drilling Fluid Pressures	13
4.1	Drilling Fluid Data	13
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	17
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	19
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	19
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	19
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	20
5	Soil Mechanical Data	21
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	21
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	24
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	27
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	30
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	33
6	Data for Stress Analysis	38
6.1	General Data	38
6.2	Buoyancy Control	38
6.3	Calculation Pulling Force	38
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	40
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	40
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	40
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	40
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	41
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	41
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	41
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	41
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	42
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	42
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	43
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	43
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	43
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	43
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	44
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	44
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	44
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	44
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	45
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	45
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	47
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	47
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	47
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	47
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	48

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	48
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	48
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	48
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	49
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	49
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	50
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	50
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	50
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	50
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	51
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	51
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	51
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	51
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	52
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	52

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a S_u -value of 0.

3 Input Data

3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
5 - L -	0,000	18,820	25,880	28,290	33,520
5 - Z -	2,020	1,890	2,120	2,240	2,190
5 - L -	38,070	41,890	49,420	58,400	81,830
5 - Z -	2,210	2,060	2,390	2,870	9,320
5 - L -	89,420	105,590	121,510	133,970	149,530
5 - Z -	9,770	10,150	10,010	8,180	3,510
5 - L -	153,010	155,930	172,840	177,580	181,410
5 - Z -	3,130	3,050	8,380	8,380	10,100
5 - L -	185,440	188,460	192,700	195,340	197,770
5 - Z -	10,660	10,940	10,910	10,650	10,500
5 - L -	201,030	203,620	206,340	223,070	226,520
5 - Z -	9,130	8,310	7,220	9,610	9,850
5 - L -	228,630	231,550	238,920	241,850	243,950
5 - Z -	9,940	10,230	10,270	9,990	9,900
5 - L -	247,310	261,400	277,870	295,710	303,050
5 - Z -	9,680	4,660	2,860	3,440	3,470
5 - L -	315,710	318,530	320,130	326,860	339,810
5 - Z -	1,210	1,190	0,940	1,190	1,160
5 - L -	354,230	372,550	386,160	402,190	419,590
5 - Z -	1,160	1,160	1,170	1,140	1,150
5 - L -	420,000				
5 - Z -	1,150				
4 - L -	0,000	420,000			
4 - Z -	-3,500	-3,500			
3 - L -	0,000	420,000			
3 - Z -	-6,000	-6,000			
2 - L -	0,000	420,000			
2 - Z -	-11,000	-11,000			
1 - L -	0,000	420,000			
1 - Z -	-13,000	-13,000			
0 - L -	0,000	420,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	420,000			
1 - Z -	0,000	0,000			

3.4 Phreatic Line

Piezo-line 1 is used as phreatic line (groundwater).

3.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
5	Zand, schoon, los	1	1
4	Veen, slap	1	1
3	Klei, organisch, slap	1	1
2	Veen, slap	1	1
1	Zand, schoon, los	1	1

3.6 Selected Boundaries

The boundary between (cohesive) undrained top layers and underlying (non-cohesive) drained layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, los

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 1: Zand, schoon, los

3.7 Soil Material Data

Name	Gamma-unsat			Gamma-sat		
	Single [kN/m ³]	Low [kN/m ³]	High [kN/m ³]	Single [kN/m ³]	Low [kN/m ³]	High [kN/m ³]
Klei, organisch, slap	-	13,00	15,00	-	13,00	15,00
Zand, schoon, los	-	17,00	18,00	-	19,00	20,00
Veen, slap	-	10,00	12,00	-	10,00	12,00

Name	Cohesion			Phi		
	Single [kN/m ²]	Low [kN/m ²]	High [kN/m ²]	Single [deg]	Low [deg]	High [deg]
Klei, organisch, slap	-	0,00	5,00	-	15,00	17,50
Zand, schoon, los	-	0,00	0,00	-	30,00	32,50
Veen, slap	-	1,00	2,50	-	15,00	15,00

Name	Su-top			Su-bottom		
	Single [kN/m ²]	Low [kN/m ²]	High [kN/m ²]	Single [kN/m ²]	Low [kN/m ²]	High [kN/m ²]
Klei, organisch, slap	-	10,00	50,00	-	10,00	50,00
Zand, schoon, los	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00
Veen, slap	-	10,00	20,00	-	10,00	20,00

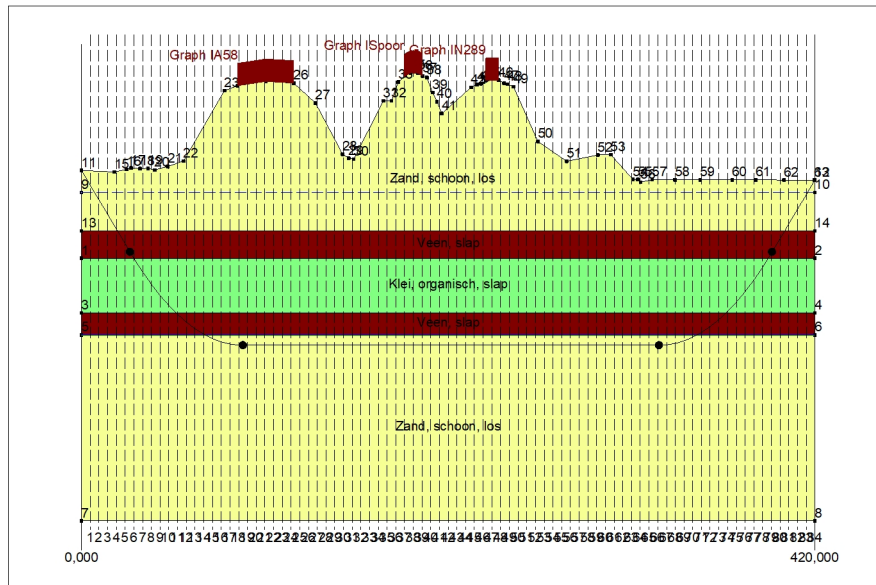
Name	Emod-top			Emod-bottom		
	Single [kN/m ²]	Low [kN/m ²]	High [kN/m ²]	Single [kN/m ²]	Low [kN/m ²]	High [kN/m ²]
Klei, organisch, slap	-	-	-	-	-	-
Zand, schoon, los	-	-	-	-	-	-
Veen, slap	-	-	-	-	-	-

Name	Soil type	Emod 100		
		Single [kN/m ²]	Low [kN/m ²]	High [kN/m ²]
Klei, organisch, slap	Clay	-	2000,00	4000,00
Zand, schoon, los	Sand	-	45000,00	75000,00
Veen, slap	Peat	-	500,00	1000,00

Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Klei, organisch, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Veen, slap	-	-	0,40

3.8 Geometry

3.8.1 Geometry Section, Detailed



3.8.2 Geometry Top View

3.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	5,000	0,680
2	10,000	-0,659
3	15,000	-1,999
4	20,000	-3,339
5	25,000	-4,679
6	30,000	-6,008
7	35,000	-7,244
8	40,000	-8,372
9	45,000	-9,393
10	50,000	-10,309
11	55,000	-11,119
12	60,000	-11,827
13	65,000	-12,431
14	70,000	-12,934
15	75,000	-13,336
16	80,000	-13,637
17	85,000	-13,837
18	90,000	-13,937
19	95,000	-13,950
20	100,000	-13,950
21	105,000	-13,950
22	110,000	-13,950
23	115,000	-13,950
24	120,000	-13,950
25	125,000	-13,950
26	130,000	-13,950
27	135,000	-13,950
28	140,000	-13,950
29	145,000	-13,950
30	150,000	-13,950
31	155,000	-13,950
32	160,000	-13,950
33	165,000	-13,950
34	170,000	-13,950
35	175,000	-13,950
36	180,000	-13,950
37	185,000	-13,950
38	190,000	-13,950
39	195,000	-13,950
40	200,000	-13,950
41	205,000	-13,950
42	210,000	-13,950
43	215,000	-13,950
44	220,000	-13,950
45	225,000	-13,950
46	230,000	-13,950
47	235,000	-13,950
48	240,000	-13,950
49	245,000	-13,950
50	250,000	-13,950
51	255,000	-13,950
52	260,000	-13,950
53	265,000	-13,950
54	270,000	-13,950
55	275,000	-13,950
56	280,000	-13,950
57	285,000	-13,950
58	290,000	-13,950
59	295,000	-13,950
60	300,000	-13,950
61	305,000	-13,950
62	310,000	-13,950

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,000	-13,950
64	320,000	-13,950
65	325,000	-13,950
66	330,000	-13,950
67	335,000	-13,914
68	340,000	-13,778
69	345,000	-13,543
70	350,000	-13,206
71	355,000	-12,769
72	360,000	-12,231
73	365,000	-11,590
74	370,000	-10,847
75	375,000	-10,000
76	380,000	-9,047
77	385,000	-7,989
78	390,000	-6,823
79	395,000	-5,548
80	400,000	-4,209
81	405,000	-2,869
82	410,000	-1,529
83	415,000	-0,190
84	420,000	1,150

Locations of the calculation verticals; L represents distance along the pipeline projection in the horizontal plane, incremented with the entry co-ordinate.

3.10 Traffic Load

A58		
L start	89,42	[m]
L end	121,51	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Spoor		
L start	185,00	[m]
L end	195,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
N289		
L start	231,50	[m]
L end	238,92	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

3.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	0,000	[m]
Y co-ordinate left point	0,000	[m]
Z co-ordinate left point	2,020	[m]
X co-ordinate right point	420,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	1,150	[m]
Angle left	15,0000	[deg]
Angle right	15,0000	[deg]
Bending radius left, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius right, vertical in/out	250,000	[m]
Bending radius pipe on rollers	500,000	[m]
Lowest level of pipe (center bore hole)	-13,950	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	0	

The pulling direction of the product pipe is from left to right.

3.12 Product Pipe Material Data

Input data pipe nr. 1		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm ²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm ²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm ²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm ²]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m ³]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 2		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm ²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm ²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm ²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm ²]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m ³]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 3		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm ²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm ²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm ²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm ²]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m ³]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]
Input data pipe nr. 4		
Material	Polyethene	
Quality	PE100	
Young's modulus (short)	975,00	[N/mm ²]
Young's modulus (long)	350,00	[N/mm ²]
Allowable strength (short)	10,00	[N/mm ²]
Allowable strength (long)	8,00	[N/mm ²]
Tensile factor (alpha)	0,65	[-]
Linear settlement coefficient (alpha_g)	0,0001600	[mm/mmK]
Outer diameter product pipe	315,00	[mm]
Wall thickness (Nominal)	28,70	[mm]
Unit weight pipe material	9,54	[kN/m ³]
Design pressure	0,00	[bar]
Test pressure	0,00	[bar]
Temperature variation	0,00	[deg C]

3.13 Pipe Engineering Data

Pipe filled with water on rollers	No	
Part of cross section filled with fluid	0	[%]
Unit weight fluid	10,00	[kN/m ³]
Bedding angle	30	[deg]
Load angle	30	[deg]
Relative displacement	10,00	[mm]
Compression index	6,00	[-]
Modulus of subgrade reaction drilling fluid (Kv)	500,00	[kN/m ³]
Phi drilling fluid	15,00	[deg]
Cohesion drilling fluid	5,00	[kN/m ²]
Factor of friction pipe-roller (f1)	0,10	[-]
Friction pipe-drilling fluid (f2)	0,000050	[N/mm ²]
Factor of friction pipe-soil (f3)	0,20	[-]

3.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,350	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,127	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,127	[m]
Outer diameter bore hole	1,000	[m]
Outer diameter product pipe	0,630	[m]
Pump flow rate pilot	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate pre-reaming	500,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	500,0000	[liter/minute]
Circulation loss factor pilot	0,30	[-]
Circulation loss factor pre-reaming	0,20	[-]
Circulation loss factor ream and pull-back	0,20	[-]
Unit weight drilling fluid (gamma)	11,5	[kN/m ³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m ²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m ²]

3.15 Factors

(Polyethene)Safety factor on implosion (Long)	3,0	[-]
(Polyethene)Safety factor on implosion (Short)	1,5	[-]
Contingency factor on unit weight		
of material types below and above phreatic level	1,10	[-]
Contingency factor on (drained) cohesion C	1,40	[-]
Contingency factor on undrained shear strength Su	1,40	[-]
Contingency factor on Phi	1,10	[-]
Contingency factor on E-modulus	1,25	[-]
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	2,00	[-]
Load factor on design pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on design pressure (combination) (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on test pressure (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on installation (Polyethene)	1,00	[-]
Load factor on reduced neutral soil stress q _{n,r} (Polyethene)	1,50	[-]
Load factor on temperature (Polyethene)	1,10	[-]
Load factor on traffic load (Polyethene)	1,35	[-]
Factor of importance (S)	1,00	[-]
Allowable deflection of steel pipe	15,00	[%]
Allowable piggability of steel pipe	5,00	[%]
Allowable deflection of polyethene pipe	8,00	[%]
Allowable piggability of polyethene pipe	5,00	[%]
Unit weight water	10,00	[kN/m ³]
Safety factor on cover (drained layer)	0,50	[-]
Safety factor on cover (undrained layer)	0,50	[-]
Ratio H/Do for boundary between shallow and deep situation	7,50	[-]

3.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

4 Drilling Fluid Pressures

4.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	17	120
2	0	7	34	134
3	0	20	50	148
4	0	33	67	162
5	121	121	84	176
6	133	133	101	189
7	151	151	116	202
8	164	164	131	214
9	177	177	144	224
10	190	190	156	233
11	202	202	167	241
12	212	212	176	248
13	232	232	184	254
14	252	252	192	258
15	304	304	198	261
16	430	430	202	263
17	511	511	206	264
18	549	549	209	264
19	557	557	210	263
20	560	560	211	261
21	564	564	213	260
22	563	563	214	259
23	562	562	216	257
24	560	560	217	256
25	544	544	218	255
26	521	521	220	253
27	492	492	221	252
28	445	445	222	251
29	397	397	224	249
30	353	353	225	248
31	340	340	226	246
32	380	380	228	245
33	430	430	229	244
34	480	480	231	242
35	508	508	232	241
36	543	543	233	240
37	579	579	235	238
38	589	589	236	237
39	581	581	237	236
40	546	546	239	234
41	489	489	240	233
42	488	488	241	231
43	511	511	243	230
44	533	533	244	229
45	552	552	246	227
46	562	562	247	226
47	568	568	248	225
48	565	565	250	223
49	554	554	251	222
50	519	519	252	220
51	463	463	254	219
52	406	406	255	218
53	378	378	256	216
54	361	361	258	215
55	343	343	259	214
56	336	336	261	212
57	341	341	262	211

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	346	346	263	210
59	351	351	265	208
60	352	352	266	207
61	342	342	267	205
62	314	314	269	204
63	285	285	270	203
64	273	273	271	201
65	278	278	273	200
66	280	280	274	199
67	276	276	275	197
68	259	259	275	194
69	229	229	274	190
70	194	194	271	185
71	195	195	267	178
72	190	190	263	171
73	185	185	257	162
74	182	182	249	152
75	172	172	241	141
76	161	161	232	129
77	148	148	221	115
78	134	134	209	100
79	117	117	196	84
80	105	105	182	67
81	0	29	168	50
82	0	15	154	34
83	0	2	140	17
84	0	0	126	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	16	17
2	0	7	32	34
3	0	20	49	50
4	0	33	65	67
5	121	121	81	84
6	135	135	97	101
7	151	151	112	116
8	164	164	126	131
9	177	177	139	144
10	190	190	150	156
11	202	202	160	167
12	213	213	169	176
13	233	233	177	184
14	253	253	183	192
15	271	271	189	198
16	371	371	193	202
17	436	436	196	206
18	467	467	198	209
19	473	473	199	210
20	476	476	200	211
21	479	479	200	213
22	479	479	201	214
23	478	478	202	216
24	477	477	203	217
25	463	463	204	218
26	445	445	204	219
27	422	422	205	219
28	384	384	206	218
29	346	346	207	217
30	310	310	207	216
31	300	300	208	216
32	332	332	209	215
33	372	372	210	214

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	412	412	211	213
35	435	435	211	212
36	462	462	212	212
37	491	491	213	211
38	499	499	214	210
39	493	493	215	209
40	465	465	215	208
41	419	419	216	208
42	419	419	217	207
43	437	437	218	206
44	455	455	218	205
45	469	469	219	205
46	478	478	220	204
47	482	482	221	203
48	480	480	222	202
49	472	472	222	201
50	443	443	220	201
51	398	398	219	200
52	353	353	218	199
53	330	330	216	198
54	317	317	215	197
55	303	303	214	197
56	296	296	212	196
57	301	301	211	195
58	305	305	210	194
59	309	309	208	194
60	310	310	207	193
61	301	301	205	192
62	279	279	204	191
63	256	256	203	190
64	246	246	201	190
65	250	250	200	189
66	252	252	199	188
67	248	248	197	187
68	234	234	194	184
69	210	210	190	181
70	194	194	185	176
71	195	195	178	171
72	191	191	171	164
73	186	186	162	155
74	182	182	152	146
75	172	172	141	136
76	161	161	129	124
77	148	148	115	111
78	134	134	100	97
79	118	118	84	81
80	103	103	67	65
81	0	29	50	49
82	0	15	34	32
83	0	2	17	16
84	0	0	0	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	16	16
2	0	7	32	32
3	0	20	49	49
4	0	33	65	65
5	113	113	81	81
6	136	136	97	97
7	151	151	112	112
8	164	164	126	126
9	177	177	138	139

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
10	191	191	150	150
11	203	203	160	160
12	215	215	169	169
13	235	235	177	177
14	255	255	183	183
15	251	251	189	189
16	291	291	193	193
17	331	331	196	196
18	351	351	198	198
19	355	355	199	199
20	357	357	200	200
21	359	359	200	200
22	359	359	201	201
23	358	358	202	202
24	357	357	203	203
25	349	349	203	204
26	337	337	204	204
27	322	322	205	205
28	297	297	206	206
29	273	273	207	207
30	249	249	207	207
31	243	243	208	208
32	264	264	209	209
33	290	290	210	210
34	316	316	210	211
35	330	330	211	211
36	348	348	212	211
37	367	367	211	211
38	372	372	210	210
39	368	368	209	209
40	350	350	208	208
41	320	320	208	207
42	320	320	207	207
43	332	332	206	206
44	343	343	205	205
45	353	353	205	204
46	358	358	204	204
47	361	361	203	203
48	360	360	202	202
49	354	354	201	201
50	336	336	201	200
51	307	307	200	200
52	277	277	199	199
53	263	263	198	198
54	254	254	197	197
55	245	245	197	197
56	241	241	196	196
57	243	243	195	195
58	246	246	194	194
59	249	249	194	193
60	249	249	193	193
61	244	244	192	192
62	229	229	191	191
63	215	215	190	190
64	208	208	190	189
65	211	211	189	189
66	212	212	188	188
67	209	209	187	187
68	205	205	184	184
69	203	203	181	181
70	194	194	176	176
71	198	198	171	170
72	193	193	164	163
73	189	189	155	155

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
74	182	182	146	146
75	172	172	136	135
76	161	161	124	124
77	149	149	111	111
78	134	134	97	97
79	116	116	81	81
80	86	86	65	65
81	0	29	49	49
82	0	15	32	32
83	0	2	16	16
84	0	0	0	0

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

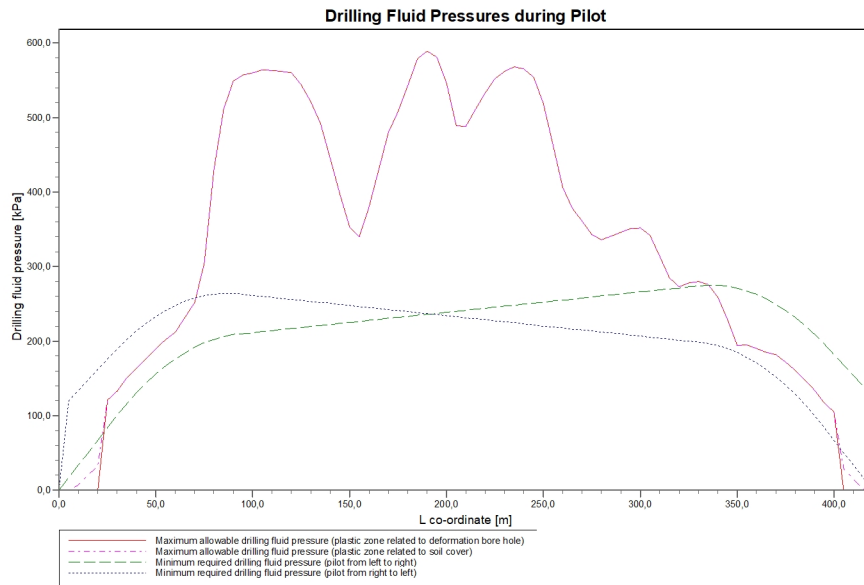
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	15	0	-	sufficient
2	31	7	4,67	sufficient
3	46	20	2,31	sufficient
4	62	33	1,85	sufficient
5	77	47	1,65	sufficient
6	92	60	1,54	sufficient
7	106	72	1,47	sufficient
8	119	84	1,42	sufficient
9	131	94	1,39	sufficient
10	141	103	1,37	sufficient
11	150	111	1,35	sufficient
12	158	118	1,34	sufficient
13	165	124	1,33	sufficient
14	171	129	1,32	sufficient
15	175	133	1,31	sufficient
16	179	136	1,31	sufficient
17	181	138	1,31	sufficient
18	182	139	1,30	sufficient
19	182	140	1,30	sufficient
20	182	140	1,30	sufficient
21	182	140	1,30	sufficient
22	181	140	1,30	sufficient
23	181	140	1,30	sufficient
24	181	140	1,30	sufficient
25	181	140	1,30	sufficient
26	181	140	1,30	sufficient
27	181	140	1,30	sufficient
28	181	140	1,29	sufficient
29	180	140	1,29	sufficient
30	180	140	1,29	sufficient
31	180	140	1,29	sufficient
32	180	140	1,29	sufficient
33	180	140	1,29	sufficient
34	180	140	1,29	sufficient
35	180	140	1,29	sufficient
36	180	140	1,29	sufficient
37	179	140	1,29	sufficient
38	179	140	1,28	sufficient
39	179	140	1,28	sufficient
40	179	140	1,28	sufficient
41	179	140	1,28	sufficient
42	179	140	1,28	sufficient
43	179	140	1,28	sufficient
44	178	140	1,28	sufficient
45	178	140	1,28	sufficient
46	178	140	1,28	sufficient
47	178	140	1,28	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
48	178	140	1,28	sufficient
49	178	140	1,27	sufficient
50	178	140	1,27	sufficient
51	177	140	1,27	sufficient
52	177	140	1,27	sufficient
53	177	140	1,27	sufficient
54	177	140	1,27	sufficient
55	177	140	1,27	sufficient
56	177	140	1,27	sufficient
57	177	140	1,27	sufficient
58	177	140	1,27	sufficient
59	176	140	1,26	sufficient
60	176	140	1,26	sufficient
61	176	140	1,26	sufficient
62	176	140	1,26	sufficient
63	176	140	1,26	sufficient
64	176	140	1,26	sufficient
65	176	140	1,26	sufficient
66	175	140	1,26	sufficient
67	175	139	1,26	sufficient
68	173	138	1,26	sufficient
69	170	135	1,26	sufficient
70	166	132	1,26	sufficient
71	161	128	1,26	sufficient
72	155	122	1,27	sufficient
73	147	116	1,27	sufficient
74	139	108	1,28	sufficient
75	129	100	1,29	sufficient
76	118	90	1,30	sufficient
77	105	80	1,32	sufficient
78	92	68	1,35	sufficient
79	77	55	1,39	sufficient
80	62	42	1,46	sufficient
81	46	29	1,61	sufficient
82	31	15	2,01	sufficient
83	15	2	8,12	sufficient
84	0	0	-	sufficient

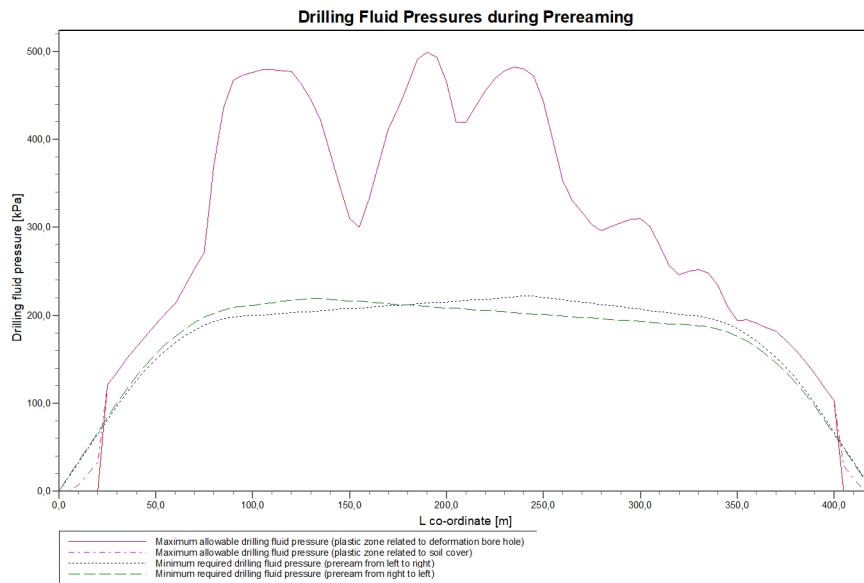
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

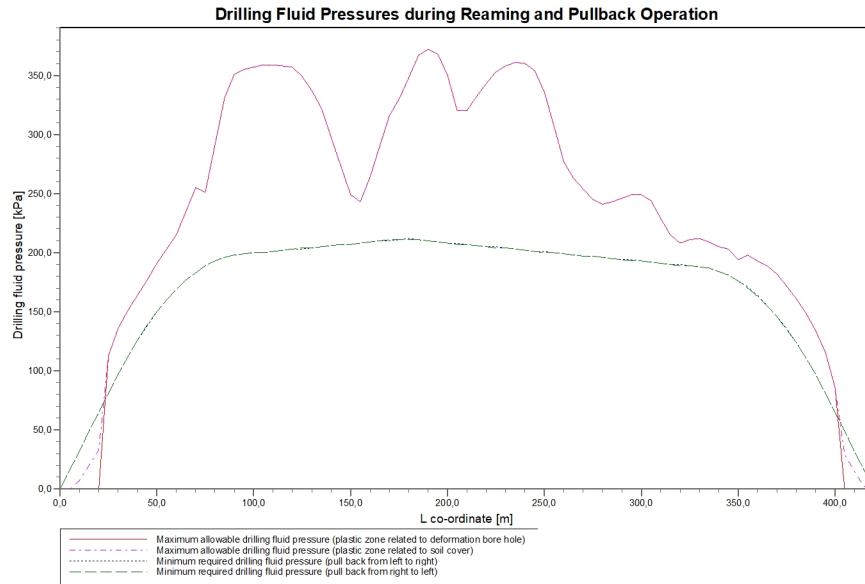
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



5 Soil Mechanical Data

5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m ²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m ²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m ²
q_v;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m ²
q_traffic	Traffic load	kN/m ²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m ²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m ²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m ³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m ³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m ³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m ²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	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_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079

Vertical no.	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_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	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	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5

Vertical no.	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]
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 274 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 90 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 311200 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 622399 kN/m ³

5.2 Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q_v;p	Passive soil stress	kN/m ²
q_v;n	Neutral soil stress	kN/m ²
q_h;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m ²
q_v;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m ²
q_traffic	Traffic load	kN/m ²
q_v;e	Vertical bearing capacity	kN/m ²
q_h;e	Horizontal bearing capacity	kN/m ²
k_v;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m ³
k_v;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m ³
k_h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m ³
t_max	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m ²
d_max	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	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_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432

Vertical no.	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_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	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	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5

Vertical no.	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]
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5

Vertical no.	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]
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _v ;n;max = 274 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 90 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _v ;r;n;max = 88 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 311200 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 622399 kN/m ³

5.3 Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q _v ;p	Passive soil stress	kN/m ²
q _v ;n	Neutral soil stress	kN/m ²
q _h ;n	Neutral horizontal soil stress	kN/m ²
q _v ;r;n	Reduced neutral soil stress	kN/m ²
q _{traffic}	Traffic load	kN/m ²
q _v ;e	Vertical bearing capacity	kN/m ²
q _h ;e	Horizontal bearing capacity	kN/m ²
k _v ;bot	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m ³
k _v ;top	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m ³
k _h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m ³
t _{max}	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m ²
d _{max}	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	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 _{traffic} [kN/m ²]	q _v ;e [kN/m ²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678

Vertical no.	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_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	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	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5

Vertical no.	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]
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5

Vertical no.	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]
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 274 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 90 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 88 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 311200 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 622399 kN/m ³

5.4 Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

q _{v;p}	Passive soil stress	kN/m ²
q _{v;n}	Neutral soil stress	kN/m ²
q _{h;n}	Neutral horizontal soil stress	kN/m ²
q _{v;r;n}	Reduced neutral soil stress	kN/m ²
q _{traffic}	Traffic load	kN/m ²
q _{v;e}	Vertical bearing capacity	kN/m ²
q _{h;e}	Horizontal bearing capacity	kN/m ²
k _{v;bot}	Vertical modulus of subgrade reaction downward	kN/m ³
k _{v;top}	Vertical modulus of subgrade reaction upward	kN/m ³
k _h	Horizontal modulus of subgrade reaction	kN/m ³
t _{max}	Maximal friction pipe-lubricant	kN/m ²
d _{max}	Displacement at maximal friction	mm

Vertical no.	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 _{traffic} [kN/m ²]	q _{v;e} [kN/m ²]
1	44	21	16	21	0	767
2	135	40	30	40	0	1421
3	243	53	39	53	0	1874
4	392	67	35	48	0	420
5	154	75	37	50	0	459
6	259	80	38	51	0	677
7	275	85	38	52	0	716
8	288	90	38	51	0	749
9	305	96	38	52	0	795
10	329	104	39	53	0	857
11	225	113	40	54	0	677
12	249	126	42	56	0	748
13	296	152	46	62	0	894
14	343	178	50	67	0	6262
15	2030	205	54	73	0	7220
16	2258	233	59	79	0	8195
17	2374	247	61	82	0	8703
18	2422	253	62	83	2	8913
19	2440	255	62	84	2	8991
20	2457	258	63	84	2	9066
21	2474	260	63	85	2	9140
22	2470	259	63	85	2	9124
23	2464	258	63	85	2	9096
24	2457	258	63	85	2	9069
25	2382	248	61	82	0	8736

Vertical no.	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_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
26	2276	235	59	79	0	8272
27	2145	219	56	75	0	7708
28	1922	192	51	69	0	6760
29	1692	165	46	62	0	5812
30	1471	140	40	54	0	4920
31	1409	133	39	52	0	4678
32	1609	155	44	59	0	5472
33	1852	184	49	67	0	6468
34	2088	212	55	74	0	7464
35	2220	228	57	78	0	8030
36	2378	248	61	82	0	8717
37	2539	268	64	87	2	9432
38	2586	274	65	88	2	9641
39	2551	270	65	87	2	9486
40	2391	249	61	83	0	8777
41	2129	217	55	75	0	7636
42	2126	217	55	75	0	7627
43	2231	229	58	78	0	8079
44	2335	242	60	81	0	8530
45	2418	253	62	83	0	8892
46	2465	259	63	85	0	9102
47	2490	262	63	85	2	9211
48	2478	260	63	85	0	9159
49	2430	254	62	84	0	8947
50	2270	234	59	79	0	8246
51	2007	202	53	71	0	7120
52	1737	170	47	63	0	5994
53	1598	154	43	59	0	5431
54	1512	144	41	56	0	5085
55	1425	134	39	53	0	4740
56	1386	130	38	52	0	4586
57	1412	133	39	52	0	4689
58	1438	136	40	53	0	4791
59	1464	139	40	54	0	4894
60	1470	140	40	54	0	4920
61	1417	133	39	53	0	4708
62	1271	117	35	48	0	4144
63	1123	101	31	42	0	3580
64	1059	95	29	40	0	3343
65	1086	97	30	41	0	3444
66	1097	99	30	41	0	3483
67	1091	98	30	41	0	3463
68	1076	96	30	41	0	3409
69	1054	94	30	41	0	3326
70	1021	91	30	41	0	3208
71	181	89	31	41	0	2545
72	179	88	31	42	0	536
73	176	87	32	43	0	529
74	273	84	32	44	0	516
75	262	80	33	44	0	682
76	249	76	32	44	0	647
77	234	70	32	43	0	609
78	217	64	31	42	0	565
79	125	60	31	41	0	404
80	120	57	30	41	0	358
81	224	48	36	48	0	1693
82	117	35	26	35	0	1222
83	45	21	16	21	0	747
84	0	0	0	0	0	58

Vertical no.	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	252	54511	2883	38158	0,05	7,5
2	310	119911	83835	83938	0,05	7,5
3	489	114335	111654	80035	0,05	7,5

Vertical no.	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]
4	670	1544	129412	1081	0,05	7,5
5	154	2465	48868	1725	0,05	7,5
6	259	5761	1399	4033	0,05	7,5
7	275	6094	4344	4266	0,05	7,5
8	288	6356	5806	4450	0,05	7,5
9	305	6316	6169	4421	0,05	7,5
10	329	3684	6667	2579	0,05	7,5
11	225	1954	7174	1368	0,05	7,5
12	249	70063	5497	49044	0,05	7,5
13	296	165445	3829	115811	0,05	7,5
14	343	246379	2807	172465	0,05	7,5
15	2030	266773	28906	186741	0,05	7,5
16	2258	285338	81973	199737	0,05	7,5
17	2374	294625	120817	206238	0,05	7,5
18	2422	298390	140825	208873	0,05	7,5
19	2440	299795	143860	209857	0,05	7,5
20	2457	301116	144536	210781	0,05	7,5
21	2474	302432	145209	211703	0,05	7,5
22	2470	302154	145066	211508	0,05	7,5
23	2464	301661	144814	211163	0,05	7,5
24	2457	301168	144562	210818	0,05	7,5
25	2382	295221	141520	206655	0,05	7,5
26	2276	286752	137184	200727	0,05	7,5
27	2145	276187	131767	193331	0,05	7,5
28	1922	257647	122240	180353	0,05	7,5
29	1692	237975	112092	166583	0,05	7,5
30	1471	218212	101844	152749	0,05	7,5
31	1409	212593	98919	148815	0,05	7,5
32	1609	230617	108284	161432	0,05	7,5
33	1852	251730	119193	176211	0,05	7,5
34	2088	271514	129369	190060	0,05	7,5
35	2220	282254	134879	197578	0,05	7,5
36	2378	294872	141341	206410	0,05	7,5
37	2539	307573	147836	215301	0,05	7,5
38	2586	311200	149689	217840	0,05	7,5
39	2551	308505	148313	215954	0,05	7,5
40	2391	295966	141901	207176	0,05	7,5
41	2129	274815	131063	192370	0,05	7,5
42	2126	274644	130976	192251	0,05	7,5
43	2231	283165	135346	198215	0,05	7,5
44	2335	291486	139608	204040	0,05	7,5
45	2418	298024	142954	208617	0,05	7,5
46	2465	301760	144865	211232	0,05	7,5
47	2490	303690	145851	212583	0,05	7,5
48	2478	302775	145384	211943	0,05	7,5
49	2430	299007	143457	209305	0,05	7,5
50	2270	286268	136936	200388	0,05	7,5
51	2007	264811	125925	185367	0,05	7,5
52	1737	241866	114103	169306	0,05	7,5
53	1598	229695	107806	160787	0,05	7,5
54	1512	221980	103803	155386	0,05	7,5
55	1425	214044	99675	149831	0,05	7,5
56	1386	210417	97784	147292	0,05	7,5
57	1412	212835	99045	148984	0,05	7,5
58	1438	215231	100293	150662	0,05	7,5
59	1464	217606	101529	152324	0,05	7,5
60	1470	218196	101836	152737	0,05	7,5
61	1417	213280	99277	149296	0,05	7,5
62	1271	199742	92202	139819	0,05	7,5
63	1123	185422	84670	129796	0,05	7,5
64	1059	179110	81330	125377	0,05	7,5
65	1086	181825	82768	127277	0,05	7,5
66	1097	182861	83316	128003	0,05	7,5
67	1091	182328	79195	127630	0,05	7,5
68	1076	180876	64302	126613	0,05	7,5

Vertical no.	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]
69	1054	178656	39158	125059	0,05	7,5
70	1021	175451	5791	122816	0,05	7,5
71	181	163462	1541	114424	0,05	7,5
72	179	102131	2922	71492	0,05	7,5
73	176	32695	4551	22887	0,05	7,5
74	273	1540	5502	1078	0,05	7,5
75	262	3807	5252	2665	0,05	7,5
76	249	5534	4972	3874	0,05	7,5
77	234	5224	4656	3657	0,05	7,5
78	217	4868	2557	3408	0,05	7,5
79	125	3901	1084	2731	0,05	7,5
80	120	1099	76724	769	0,05	7,5
81	450	35737	104152	25016	0,05	7,5
82	271	112081	80834	78457	0,05	7,5
83	244	49922	3027	34945	0,05	7,5
84	0	0	0	0	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 274 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 90 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 88 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 311200 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 622399 kN/m ³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Zand, schoon, los	Calculated with E100
4	Veen, slap	Calculated with E100
3	Klei, organisch, slap	Calculated with E100
2	Veen, slap	Calculated with E100
1	Zand, schoon, los	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5 m)		Vertical 2 (L=10 m)		Vertical 3 (L=15 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	63,080	0,000	62,802	0,000	62,523
4	0,758	0,801	0,753	0,795	0,747	0,790
3	3,203	4,024	3,182	4,004	3,161	3,984
2	1,006	1,038	1,001	1,033	0,996	1,028
1	76,756	124,314	76,528	124,174	76,299	124,033

Layer number	Vertical 4 (L=20 m)		Vertical 5 (L=25 m)		Vertical 6 (L=30 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	62,620	0,000	63,924	0,000	64,963
4	0,749	0,792	0,774	0,817	0,795	0,837
3	3,168	3,991	3,267	4,084	3,347	4,160
2	0,998	1,030	1,021	1,053	1,040	1,072
1	76,379	124,082	77,451	124,745	78,312	125,280

Layer number	Vertical 7 (L=35 m)		Vertical 8 (L=40 m)		Vertical 9 (L=45 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	64,751	0,000	64,262	0,000	64,750
4	0,790	0,833	0,781	0,823	0,790	0,833
3	3,331	4,145	3,293	4,109	3,330	4,144
2	1,036	1,068	1,027	1,059	1,036	1,068
1	78,136	125,171	77,731	124,919	78,134	125,170

Layer number	Vertical 10 (L=50 m)		Vertical 11 (L=55 m)		Vertical 12 (L=60 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	66,483	0,000	68,488	0,000	72,942
4	0,825	0,866	0,865	0,906	0,956	0,997
3	3,465	4,272	3,624	4,423	3,987	4,769
2	1,068	1,099	1,106	1,137	1,192	1,223
1	79,577	126,075	81,260	127,144	85,048	129,598

Layer number	Vertical 13 (L=65 m)		Vertical 14 (L=70 m)		Vertical 15 (L=75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	81,940	0,000	90,044	0,000	97,476
4	1,152	1,191	1,340	1,377	1,521	1,557
3	4,762	5,514	5,507	6,234	6,228	6,934
2	1,378	1,408	1,559	1,587	1,734	1,761
1	92,880	134,867	100,102	139,939	106,836	144,833

Layer number	Vertical 16 (L=80 m)		Vertical 17 (L=85 m)		Vertical 18 (L=90 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	104,380	0,000	107,683	0,000	108,971
4	1,697	1,732	1,784	1,818	1,818	1,852
3	6,928	7,617	7,273	7,954	7,410	8,088
2	1,904	1,931	1,989	2,015	2,022	2,049
1	113,171	149,567	116,224	151,890	117,419	152,806

Layer number	Vertical 19 (L=95 m)		Vertical 20 (L=100 m)		Vertical 21 (L=105 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	109,516	0,000	110,057	0,000	110,597
4	1,833	1,867	1,847	1,881	1,862	1,896
3	7,468	8,144	7,525	8,201	7,583	8,258
2	2,036	2,063	2,050	2,077	2,064	2,091
1	117,924	153,195	118,428	153,583	118,929	153,969

Layer number	Vertical 22 (L=110 m)		Vertical 23 (L=115 m)		Vertical 24 (L=120 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	110,482	0,000	110,281	0,000	110,079
4	1,859	1,893	1,853	1,887	1,848	1,882
3	7,571	8,246	7,549	8,224	7,528	8,203
2	2,061	2,088	2,056	2,083	2,051	2,078
1	118,823	153,887	118,635	153,743	118,448	153,598

Layer number	Vertical 25 (L=125 m)		Vertical 26 (L=130 m)		Vertical 27 (L=135 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	107,633	0,000	104,122	0,000	99,690
4	1,782	1,817	1,690	1,725	1,577	1,612
3	7,268	7,949	6,901	7,591	6,449	7,150
2	1,987	2,014	1,898	1,925	1,787	1,815
1	116,178	151,855	112,933	149,387	108,860	146,332

Layer number	Vertical 28 (L=140 m)		Vertical 29 (L=145 m)		Vertical 30 (L=150 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	91,753	0,000	83,061	0,000	73,964
4	1,381	1,417	1,177	1,216	0,978	1,018
3	5,670	6,392	4,863	5,611	4,072	4,851
2	1,598	1,626	1,403	1,432	1,213	1,243
1	101,642	141,045	93,871	135,551	85,925	130,176

Layer number	Vertical 31 (L=155 m)		Vertical 32 (L=160 m)		Vertical 33 (L=165 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	71,293	0,000	79,723	0,000	89,171
4	0,922	0,963	1,103	1,142	1,319	1,356
3	3,851	4,639	4,566	5,325	5,425	6,154
2	1,160	1,191	1,331	1,361	1,539	1,567
1	83,637	128,677	90,930	133,532	99,317	139,379

Layer number	Vertical 34 (L=170 m)		Vertical 35 (L=175 m)		Vertical 36 (L=180 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	97,710	0,000	102,242	0,000	107,489
4	1,527	1,563	1,642	1,677	1,779	1,813
3	6,251	6,957	6,708	7,402	7,253	7,934
2	1,739	1,767	1,851	1,878	1,984	2,010
1	107,050	144,990	111,203	148,083	116,045	151,753

Layer number	Vertical 37 (L=185 m)		Vertical 38 (L=190 m)		Vertical 39 (L=195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	112,695	0,000	114,169	0,000	113,074
4	1,918	1,952	1,959	1,992	1,929	1,963
3	7,809	8,479	7,970	8,636	7,851	8,520
2	2,120	2,146	2,159	2,185	2,130	2,156
1	120,883	155,483	122,258	156,555	121,236	155,759

Layer number	Vertical 40 (L=200 m)		Vertical 41 (L=205 m)		Vertical 42 (L=210 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	107,940	0,000	99,110	0,000	99,037
4	1,791	1,825	1,562	1,598	1,560	1,596
3	7,300	7,981	6,391	7,093	6,384	7,086
2	1,995	2,022	1,773	1,801	1,771	1,799
1	116,463	152,073	108,329	145,937	108,263	145,888

Layer number	Vertical 43 (L=215 m)		Vertical 44 (L=220 m)		Vertical 45 (L=225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	102,624	0,000	106,089	0,000	108,788
4	1,652	1,687	1,742	1,776	1,813	1,848
3	6,747	7,440	7,106	7,791	7,390	8,069
2	1,860	1,887	1,948	1,975	2,017	2,044
1	111,553	148,346	114,749	150,764	117,249	152,676

Layer number	Vertical 46 (L=230 m)		Vertical 47 (L=235 m)		Vertical 48 (L=240 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	110,321	0,000	111,111	0,000	110,737
4	1,854	1,888	1,875	1,910	1,865	1,900
3	7,554	8,229	7,638	8,312	7,598	8,272
2	2,057	2,084	2,078	2,105	2,068	2,095
1	118,673	153,772	119,407	154,339	119,059	154,070

Layer number	Vertical 49 (L=245 m)		Vertical 50 (L=250 m)		Vertical 51 (L=255 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	109,192	0,000	103,920	0,000	94,846
4	1,824	1,858	1,685	1,720	1,456	1,492
3	7,433	8,111	6,880	7,571	5,969	6,682
2	2,028	2,054	1,893	1,920	1,671	1,699
1	117,624	152,964	112,747	149,246	104,442	143,076

Layer number	Vertical 52 (L=260 m)		Vertical 53 (L=265 m)		Vertical 54 (L=270 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	84,806	0,000	79,301	0,000	75,732
4	1,217	1,255	1,093	1,132	1,016	1,055
3	5,021	5,763	4,529	5,289	4,221	4,994
2	1,441	1,470	1,322	1,352	1,248	1,279
1	95,418	136,627	90,560	133,280	87,452	131,188

Layer number	Vertical 55 (L=275 m)		Vertical 56 (L=280 m)		Vertical 57 (L=285 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	71,987	0,000	70,247	0,000	71,409
4	0,936	0,977	0,901	0,941	0,924	0,965
3	3,908	4,694	3,766	4,558	3,860	4,648
2	1,173	1,204	1,139	1,170	1,162	1,193
1	84,229	129,062	82,747	128,100	83,736	128,741

Layer number	Vertical 58 (L=290 m)		Vertical 59 (L=295 m)		Vertical 60 (L=300 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	72,552	0,000	73,678	0,000	73,956
4	0,948	0,989	0,972	1,012	0,978	1,018
3	3,954	4,738	4,048	4,828	4,071	4,850
2	1,185	1,215	1,207	1,237	1,213	1,243
1	84,713	129,378	85,679	130,013	85,919	130,171

Layer number	Vertical 61 (L=305 m)		Vertical 62 (L=310 m)		Vertical 63 (L=315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	71,622	0,000	65,007	0,000	57,639
4	0,929	0,969	0,796	0,838	0,656	0,700
3	3,878	4,665	3,350	4,163	2,801	3,646
2	1,166	1,197	1,041	1,072	0,911	0,944
1	83,918	128,859	78,348	125,303	72,351	121,644

Layer number	Vertical 64 (L=320 m)		Vertical 65 (L=325 m)		Vertical 66 (L=330 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	54,232	0,000	55,711	0,000	56,270
4	0,595	0,640	0,621	0,666	0,631	0,676
3	2,562	3,422	2,664	3,518	2,704	3,555
2	0,856	0,889	0,880	0,912	0,889	0,922
1	69,668	120,067	70,825	120,742	71,265	121,001

Layer number	Vertical 67 (L=335 m)		Vertical 68 (L=340 m)		Vertical 69 (L=345 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	56,165	0,000	56,065	0,000	56,065
4	0,630	0,674	0,628	0,672	0,628	0,672
3	2,696	3,548	2,689	3,541	2,689	3,541
2	0,887	0,920	0,885	0,918	0,885	0,918
1	71,183	120,953	71,104	120,906	71,104	120,906

Layer number	Vertical 70 (L=350 m)		Vertical 71 (L=355 m)		Vertical 72 (L=360 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	56,065	0,000	56,065	0,000	56,065
4	0,628	0,672	0,628	0,672	0,628	0,672
3	2,689	3,541	2,689	3,541	2,689	3,541
2	0,885	0,918	0,885	0,918	0,885	0,918
1	71,104	120,906	71,104	120,906	71,104	120,906

Layer number	Vertical 73 (L=365 m)		Vertical 74 (L=370 m)		Vertical 75 (L=375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	56,065	0,000	56,065	0,000	56,081
4	0,628	0,672	0,628	0,672	0,628	0,673
3	2,689	3,541	2,689	3,541	2,690	3,542
2	0,885	0,918	0,885	0,918	0,886	0,918
1	71,104	120,906	71,104	120,906	71,117	120,913

Layer number	Vertical 76 (L=380 m)		Vertical 77 (L=385 m)		Vertical 78 (L=390 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	56,114	0,000	56,147	0,000	56,090
4	0,629	0,673	0,629	0,674	0,628	0,673
3	2,693	3,545	2,695	3,547	2,691	3,543
2	0,886	0,919	0,887	0,920	0,886	0,919
1	71,143	120,929	71,169	120,944	71,124	120,918

Layer number	Vertical 79 (L=395 m)		Vertical 80 (L=400 m)		Vertical 81 (L=405 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	56,006	0,000	55,921	0,000	55,898
4	0,627	0,671	0,625	0,670	0,625	0,669
3	2,685	3,538	2,679	3,532	2,678	3,530
2	0,884	0,917	0,883	0,916	0,883	0,915
1	71,057	120,879	70,990	120,839	70,973	120,829

Layer number	Vertical 82 (L=410 m)		Vertical 83 (L=415 m)		Vertical 84 (L=420 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	55,924	0,000	55,950	0,000	55,974
4	0,625	0,670	0,626	0,670	0,626	0,671
3	2,679	3,532	2,681	3,534	2,683	3,535
2	0,883	0,916	0,883	0,916	0,884	0,917
1	70,993	120,841	71,014	120,853	71,033	120,864

6 Data for Stress Analysis

6.1 General Data

Number of pipes in bundle	:	Npipes = 4 [-]
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Pipeline diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Equivalent pipeline diameter	:	Do = 831,29 mm
Equivalent wall thickness	:	t = 41,62 mm
Equivalent unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 163141 kN/m ³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,50 kN/m ³
Bending radius on rollers	:	Rrol = 500,000 m
Friction coefficient pipe/rollers	:	f1 = 0,10
Friction between pipe and drilling fluid	:	f2 = 0,000050 N/mm ²
Friction coefficient pipe / soil	:	f3 = 0,20

6.2 Buoyancy Control

The friction between soil and pipe is partially caused by buoyancy of the pipeline in the drilling fluid. Uplift forces resulting from buoyancy can be neutralized by filling the pipeline. The optimal volume of fluid placed in the pipe provides the most advantageous distribution of buoyant forces.

Buoyancy of the pipeline when filled with fluid for 0%

Uplift forces	:	365	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	265	[kg/m] (Pipeline moves upwards)

6.3 Calculation Pulling Force

During the pullback operation the pipe experiences friction which is based on:

- friction between pipe and pipe-roller (f1 = 0,10)
- friction between pipe and drilling fluid (f2 = 0,000050 [N/mm²])
- friction between pipe and soil (f3 = 0,20)

Due to the friction a pulling force is induced in the pipeline.
The pulling direction of the product pipe is from left to right.

This calculation takes into account that the length of the pipe on the rollers decreases while pulling back the pipeline. During the pull back operation the bore hole is supposed to be stable.

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T1	0	42
T2	29	58
T3	94	103

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	332	235
T5	398	290
T6	423	304

The calculated values for the pulling force are characteristic values (without safety factor). According to article E.1.2.1 of NEN 3650-1:2012 it is recommended to use a total factor for stochastic variation and model uncertainty (γ) of at least 1.4 for the stress analysis. In the pipe stress analysis (next chapter), a factor of 1,80 is used and a load factor of 1,00.

7 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

7.1 Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm ²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm ²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm ²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm ²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

7.2 Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,73 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,01	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,86 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load q_r on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0161 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

7.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

7.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,20 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 11,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,77 \text{ N/mm}^2$$

7.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm ²
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,57	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,38	N/mm ²
Rerounding factor F_{rr}	=	1,000	
Rerounding factor F'_{rr}	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,77	N/mm ²

7.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1

Load combination 1

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

Load combination 2

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

Load combination 3

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

Load combination 4

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

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm ²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_{ptest}	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{py}	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{axial}	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is not allowable.

7.4 Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

8 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

8.1 Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm ²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm ²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm ²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm ²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

8.2 Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\begin{aligned} \text{Sigma}_b &= Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) &= & 0,43 & \text{N/mm}^2 \\ \text{Sigma}_t &= f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A &= & 0,73 & \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,01	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,86	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	5,30	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,86	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

Load q_r on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,7E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0161	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,94	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,61	N/mm ²
--	---	------	-------------------

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,00	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

8.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,20	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,57	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	11,38	N/mm ²
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	7,77	N/mm ²
--	---	------	-------------------

8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm ²
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,57	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,38	N/mm ²
Rerounding factor F_{rr}	=	1,000	
Rerounding factor F'_{rr}	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,77	N/mm ²

8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2

Load combination 1

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

Load combination 2

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

Load combination 3

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

Load combination 4

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

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm ²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_{ptest}	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{py}	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{axial}	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is not allowable.

8.4 Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

9 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

9.1 Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm ²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm ²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm ²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm ²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

9.2 Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,73 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,01	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{t} = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,86 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

Load q_r on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \Lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0161 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,94 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,20 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 11,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,77 \text{ N/mm}^2$$

9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,31 \text{ N/mm}^2$$

Due to internal pressure :

$$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2)) = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm ²
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,57	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,38	N/mm ²
Rerounding factor F_{rr}	=	1,000	
Rerounding factor F'_{rr}	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,77	N/mm ²

9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3

Load combination 1

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

Load combination 2

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

Load combination 3

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

Load combination 4

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

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm ²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_{ptest}	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{py}	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{axial}	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is not allowable.

9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4

The list with data and issues is shown hereafter:

Material pipeline	:	Polyethene PE100
Outer diameter	:	Do = 315,00 mm
Wall thickness	:	t = 28,70 mm
Design pressure	:	pd = 0,00 bar
Test pressure	:	pt = 0,00 bar
Temperature variation	:	dt = 0,00 deg Celcius
Length pipeline	:	L = 423 m
Young's modulus (short)	:	E = 975 N/mm ²
Young's modulus (long)	:	E = 350 N/mm ²
Allowable stress (short)	:	S = 10 N/mm ²
Allowable stress (long)	:	S = 8 N/mm ²
Factor of importance (S)	:	S = 1,00
Unit weight pipeline material	:	gamma_s = 9,54 kN/m ³
Bedding angle	:	beta = 30 degrees
Load angle	:	alpha = 30 degrees
Moment coefficient soil top (indirect)	:	kt' = 0,078
Moment coefficient soil bottom (indirect)	:	kb' = 0,179
Moment coefficient soil top (direct)	:	kt = 0,257
Moment coefficient soil bottom (direct)	:	kb = 0,257
Deflection coefficient (indirect)	:	ky' = 0,071
Deflection coefficient (direct)	:	ky = 0,143
Maximal reduced vertical soil load (without safety factor)	:	q_v;r;n;max = 88 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 2 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 311200 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

In the calculation 5 load combinations are considered:

- Load combination 1A: start pull-back operation
- Load combination 1B: end of pull-back operation
- Load combination 2: application internal pressure
- Load combination 3: pipeline in operation, no inner pressure
- Load combination 4: pipeline in operation, pressure applied

The wall thickness is 28,7 mm. The calculation hereafter will prove that the pipeline wall thickness is sufficient. The calculations are in accordance with NEN 3650 series.

10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot W_b) = 0,43 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,73 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,01	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,86	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	5,30	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,86	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

Load q_r on pipeline due to reaction of soil in bends (according to NEN 3650-1 annex 5 D3.3):

$$q_r = k_v \cdot y = (0.322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,7E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0161	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,94	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,61	N/mm ²
--	---	------	-------------------

10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{px} = 0.5 \cdot \Sigma_{py}$	=	0,00	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

$\Sigma_{ptest} = f_{pt} \cdot p_t \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm ²
---	---	------	-------------------

10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,20	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,57	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	11,38	N/mm ²
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	7,77	N/mm ²
--	---	------	-------------------

10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,31	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Due to internal pressure :

$\Sigma_{py} = f_{pd} \cdot p_d \cdot ((r_u^2 + r_i^2) / (r_u^2 - r_i^2))$	=	0,00	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\text{Sigma}_{px} = 0.5 \cdot \text{Sigma}_{py}$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{ptest} = f_{pt} \cdot pt \cdot ((ru^2 + ri^2)/(ru^2 - ri^2))$	=	0,00	N/mm ²
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \text{gamma}_t \cdot \text{alpha}_g \cdot E$	=	0,00	N/mm ²
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,20	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,57	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	11,38	N/mm ²
Rerounding factor F_{rr}	=	1,000	
Rerounding factor F'_{rr}	=	1,000	
$\text{Sigma}_{t,max} = \text{Sigma}_{py} + ((F'_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qr}) + (F_{rr} \cdot \text{Sigma}_{qn}))$			
Maximum tangential stress $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,77	N/mm ²

10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4

Load combination 1

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

Load combination 2

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

Load combination 3

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

Load combination 4

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

All stresses in all conditions are allowable.

	Max allowable stress [N/mm ²]	Load combination 1A	Load combination 1B	Load combination 2	Load combination 3	Load combination 4
Sigma_{ptest}	10,00 (short)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{py}	8,00 (long)	-	-	0,00	-	-
Sigma_{axial}	10,00 (short)	1,01	5,86	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,77	7,77

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,03% x Do). The maximum allowable deflection of the pipeline is 25,2 mm (8,00% x S x Do). The deflection is allowable.

For piggability the maximum allowable deflection of the pipeline is 15,8 mm (5,00% x Do). The deflection is not allowable.

10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4

During the pullback operation the drilling fluid gives an external pressure. The highest minimum required drilling fluid pressure during the pullback operation is 212 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 140 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report