

C.2 Kruising 2 HDD's met de Nieuwe Roosendaalsche Vliet

Kruising 2 HDD's met de Nieuwe Roosendaalsche Vliet

Vergunningsrapport waterschap Brabantse Delta



Verantwoording

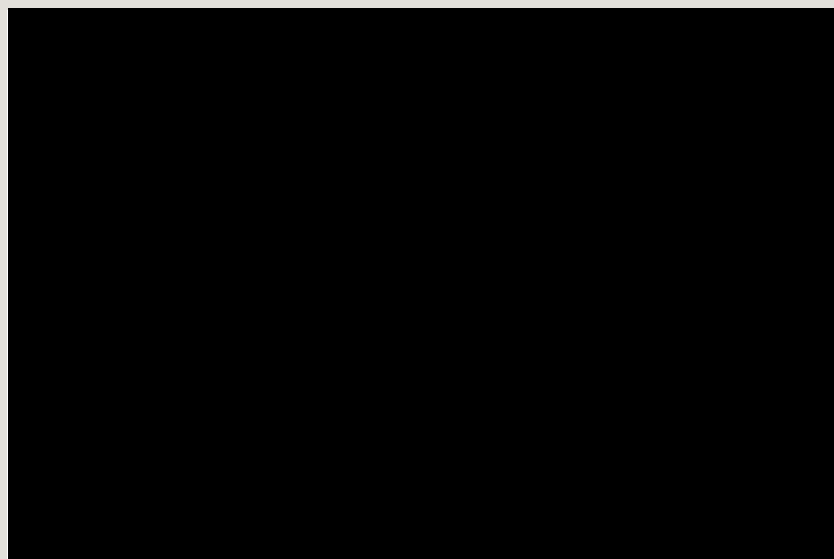
Titel: Kruising 2 HDD's met de Nieuwe Roosendaalsche Vliet
Onderwerp: Vergunningsrapport waterschap Brabantse Delta
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22723
Versie: D1

Datum: 26-04-2022

Auteurs:
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	8
2.4	Horizontale ligging en tussenafstand	8
2.5	Diepteligging	8
2.6	Inwendige overdruk	9
2.7	Grondwaterstand	9
2.8	Belasting- en ondersteuningshoek	10
2.9	Importatiefactor	10
2.10	Geotechnische parameters	10
2.11	Boortechnische gegevens	11
2.12	Verkeersbelasting	11
2.13	Boogstralen	11
3.	Ontwerp	13
3.1	Gegevens HDD	13
3.2	Boorparameters	14
3.3	Intredepunt	14
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook	14
4.	Berekeningsresultaten	16
4.1	Trekkrachtberekening	17
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase	17
4.3	Muddrukberekening	17
4.4	Implosie	17
4.5	Kwelweg	18
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	18
4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden	19
5.	Risico's en aandachtspunten	21
6.	Conclusie	22
6.1	Algemeen	22
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening	22
	Bijlage 1 – Ontwerptekening	23
	Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek	24

Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline25

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 Nieuwe Roosendaalsche Vliet. De kruising (met codering BW HDD8.1) is vergunningsplichtig bij waterschap Brabantse Delta. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en de Richtlijn Boortechnieken.

1.1 Situatie

Het tracé start aan de westzijde van Rijksweg A17. Het tracé kruist van oost naar west de Nieuwe Roosendaalsche Vliet, een hoofdwaterloop en vaarweg in het beheer van waterschap Brabantse Delta, een slibopvang van Suez en kruist nabij het uittredepunt een persleiding Ø1.500 mm van waterschap Brabantse Delta. Verder kruist de HDD een aantal kabels en leidingen waaronder tweemaal een leiding van DOW Benelux. Kruisend met het tracé is een toekomstige mastenroute van TenneT geprojecteerd. De HDD's hebben een lengte van circa 826 m.

Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. In drie van de mantelbuizen wordt een hoogspanningskabel ingetrokken en één mantelbuis is beschikbaar als reserve.



Figuur 1 Overzicht situatie BW HDD8.1

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 BW HDD8.1, tekeningnummer BW-HDD8.1 versie E, d.d. 11-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket en uit de Sweco-database met historisch grondonderzoek (bijlage 2);
- Grondwaterstand, opgevraagd 25-03-2022, website: <https://embed.hydronet.com>;
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 21O045920 en 21O045921 opgevraagd d.d. 04-04-2022;
- Wegbeheerders, opgevraagd d.d. 24-03-2022, website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/wegbeheerders>;
- Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, Provincie Noord Brabant 2013, website: https://www.brabant.nl/actueel/regelingen/cvdr93041_2.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van Waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50);
- Algemene regels waterschap Brabantse Delta, <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR358593/5>;
- VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019;
- Voorschriften behorende bij de overeenkomst tot gebruik van de Buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen – januari 2017 van LSNed.

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. De eerste circa 10 m -mv bestaat uit klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa 90% in de pleistocene zandlaag liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

2.4 Horizontale ligging en tussenafstand

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de horizontale afstand van de HDD's tot hoogspanningsmast is aan maaiveld een minimale dagmaat afstand van 10 meter uit de teen van de mast aangehouden.

2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen een dagmaat van 10 meter onder de waterbodem van de waterloop/vaarweg te liggen (NEN 3651:2020 paragraaf 9.6.2).
 - o De bodemdieptes zijn ontleend aan de legger van waterschap Brabantse Delta. Het Nieuwe Roosendaalsche Vliet heeft een bodemdiepte van NAP -3,50 m. Het hart van de HDD's liggen hier op een diepte van circa NAP -19,00 m en de bovenkant van de HDD's liggen hier op een diepte van circa NAP -18,5 m. De diepteligging voldoet hiermee aan de eis.
- De Algemene Regels van het waterschap Brabantse Delta vereisen een minimale dekking van 2,5 m onder de waterbodem van een vaarweg. De maatgevende richtlijn uit NEN 3651 is in dit geval aangehouden als uitgangspunt voor het ontwerp.

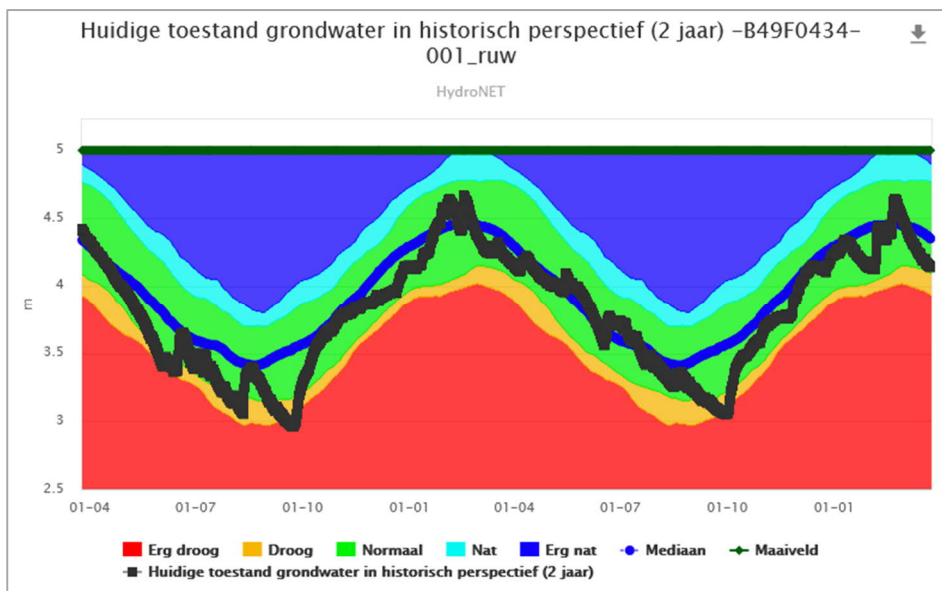
- De HDD's dienen een minimale afstand tot gesloten verhardingen van Provincie Brabant te hebben van 3 meter (Regeling veranderen en gebruiken van wegen Noord-Brabant, 2013)
 - Bij de Westelijke Havendijk en de Vlietweg liggen de HDD's dieper dan 10 m ten opzichte van het maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen conform VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019 minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden.
 - De HDD's lopen op een minimale afstand van 9 m langs een buisleiding voor het transport van gevaarlijke stoffen van DOW. Dit voldoet aan de VELIN richtlijn.
- Voor kruising met overige kabels en leidingen waaronder de persleiding van waterschap Brabantse Delta wordt een dagmaat van 5 meter aangehouden.

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

In dit gebied zijn grondwaterstandmetingen schaars. Via HydroNet zijn grondwaterstandmetingen uit de omgeving gevonden, op circa 2 km afstand. De grondwaterstand fluctueert door het jaar heen, maar heeft een gemiddelde van circa 1 m-mv (zie figuur 2). Dit nemen wij als uitgangspunt voor BW HDD8.1.



Figuur 2 Grondwaterstand nabij BW HDD8.1

2.8 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

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

2.9 Importantiefactor

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

2.10 Geotechnische parameters

De gebruikte geotechnische gegevens en parameters 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]
B49E1003	Boring	-2	100
B49E0015	Boring	-25	100
1174.S03	Sondering	-19	220
1174.S04	Sondering	-19	220
1174.S05	Sondering	-24	220

De sonderingen, uitsluitend ruim 200 m ten westen van het tracé genomen, geven de aanwezigheid van zand in de toplagen aan. Echter, uit de boringen op kleinere afstand van het tracé blijkt dat de bovenste lagen tot circa -8,5 m NAP bestaan uit zandige klei- en veenlagen. De enkele beschikbare sonderingen laten deze zandige klei- en veenlagen echter niet zien. 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 relatief slappe klei- en veenlagen over het gehele boortracé aangehouden. Tabel 2.2 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]
1,3	-0,0	Zand, sterk siltig, kleiig	18	20	0,0	25,0	0,0	15000
-0,0	-2,0	Veen, slap	11	11	1,5	15,0	25,0	200
-2,0	-8,5	Zand, sterk siltig, kleiig	18	20	0,0	25,0	0,0	15000
-8,5	-14,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-14,0	-29,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	75000

2.11 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberoeeningen 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 muddrukberoeeningen in bijlage 3.

2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de Westelijke Havendijk en de Vlietweg is verkeersklasse II gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020.

2.13 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 horizontale bochten van 1750 en 1755 m en verticale bochten van 227 en 250 m. De boogstraal voldoet 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 tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken.

Tabel 2-1 afwijkingstoleranties HDD

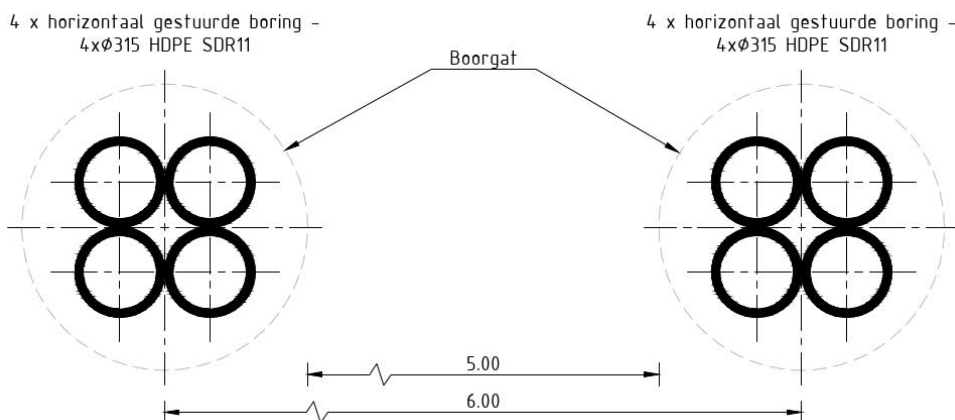
RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGSAFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: PE100 4x Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 826 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -19 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 17° en 18°;
- verticale boogstralen: 227 en 250 m;
- horizontale boogstralen: 1750 en 1755 m.



Figuur 3 Doorsnede van de 2 HDD's

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

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

3.2 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : maxi-rig, minimaal 50 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m³;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø500 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt in het bouwland tussen de A17 en de Nieuwe Roosendaalsche Vliet (zie figuur 4). De locatie is bereikbaar vanaf de Vlietweg aan de westzijde van het intredepunt. Op circa 9 m vanaf het intredepunt ligt een buisleiding voor het transport van gevaarlijke stoffen van DOW. Het werkterrein ligt buiten deze leiding. Om het werkterrein te betreden dient met DOW afgestemd te worden welke maatregelen nodig zijn.

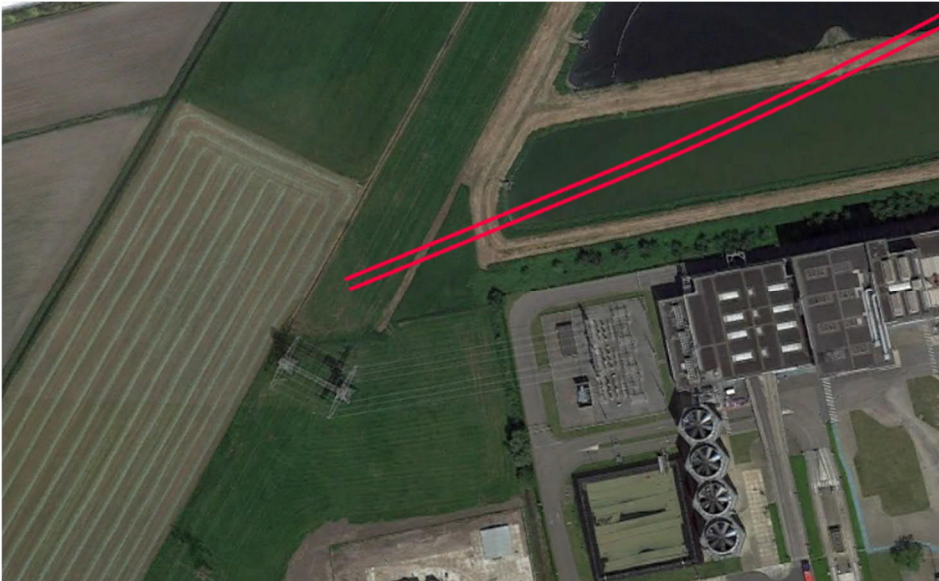


Figuur 4 Intredepunt BW HDD8.1

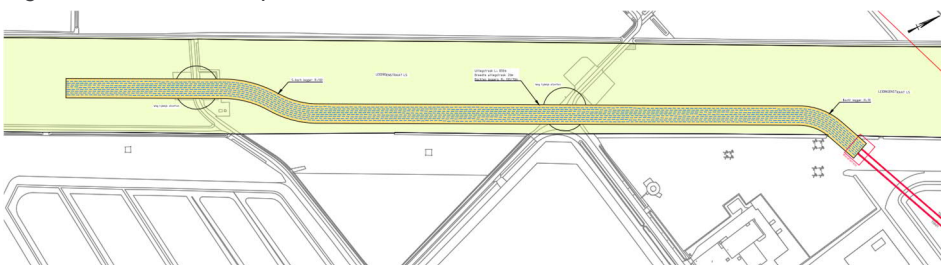
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de westzijde van het boortracé naast een mast van TenneT (mast 19A, RSD-WDT 150kV) en onder bovengrondse hoogspanningskabels (zie figuur 5). Het uittredepunt ligt voorbij de persleiding Ø1.500 mm van waterschap Brabantse Delta (minimale afstand 30 m) en net voor de leidingenstraat van LSNed. De locatie is bereikbaar via de Potendreef.

De uitlegstrook ligt in de leidingenstraat van LSNed (zie figuur 6). De uitlegstrook kruist twee keer een weg: de T-splitsing tussen de Noordstraat en de Potendreef en de Hogeweg. De T-splitsing dient tijdelijk afgesloten te worden voor verkeer. De Hogeweg betreft een doodlopende straat. Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 5 Uittredepunt BW HDD8.1



Figuur 6 Uitlegstrook BW HDD8.1 in de leidingenstraat van LSned

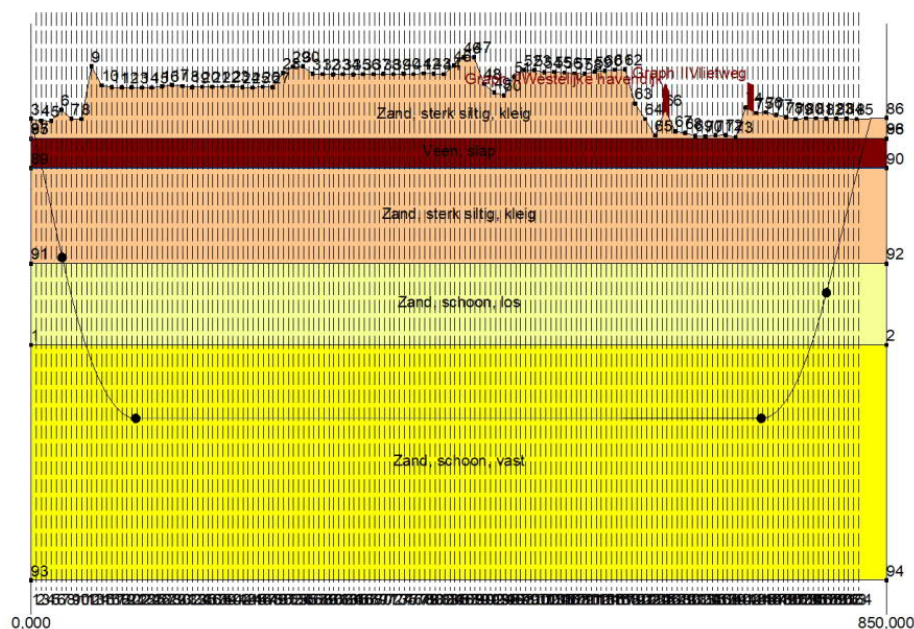
4. Berekeningsresultaten

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.

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 $270 \times 1,8 = 486$ kN bij volledig met water gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $4,87$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

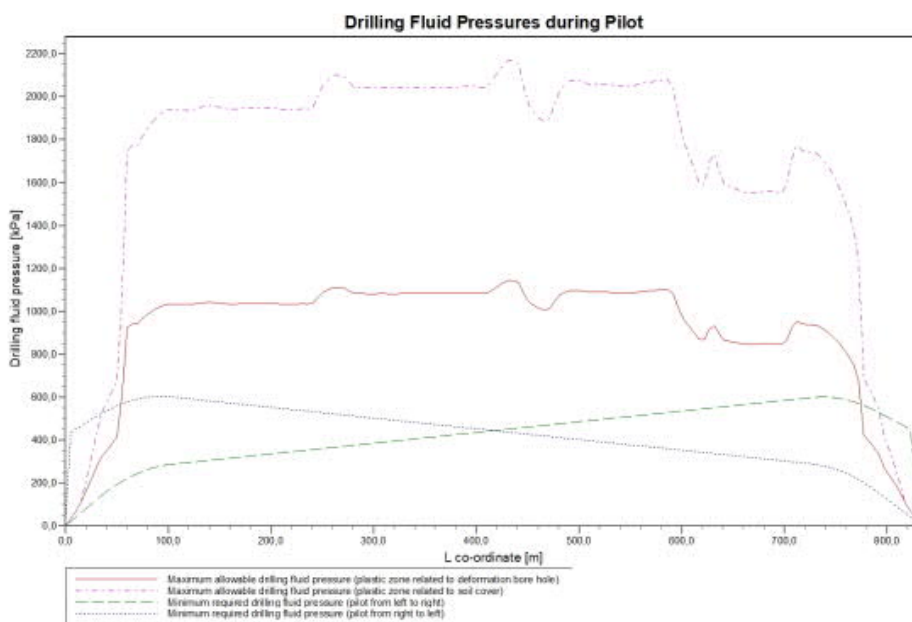
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de volledig met water gevulde mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $3,25$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $6,7$ mm ($1,80\% \times D_0$) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van $15,80$ mm (5%).

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 40 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 fase

4.4 Implosie

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 190 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

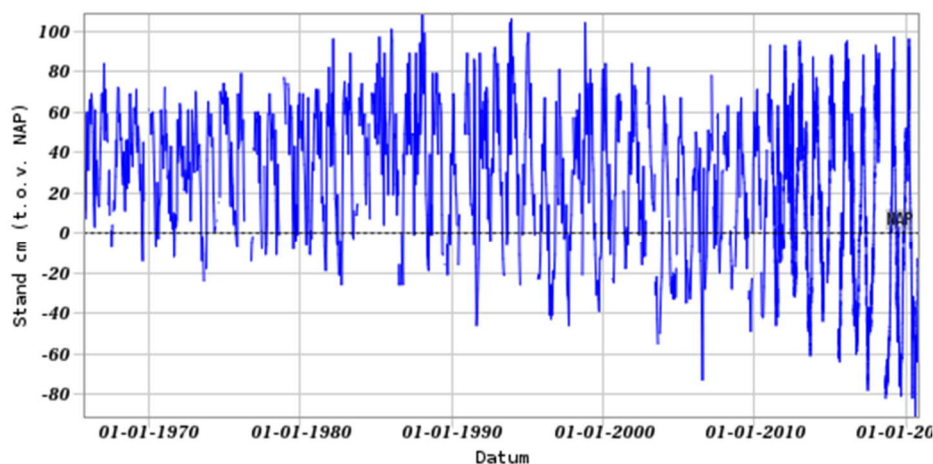
4.5 Kwelweg

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.

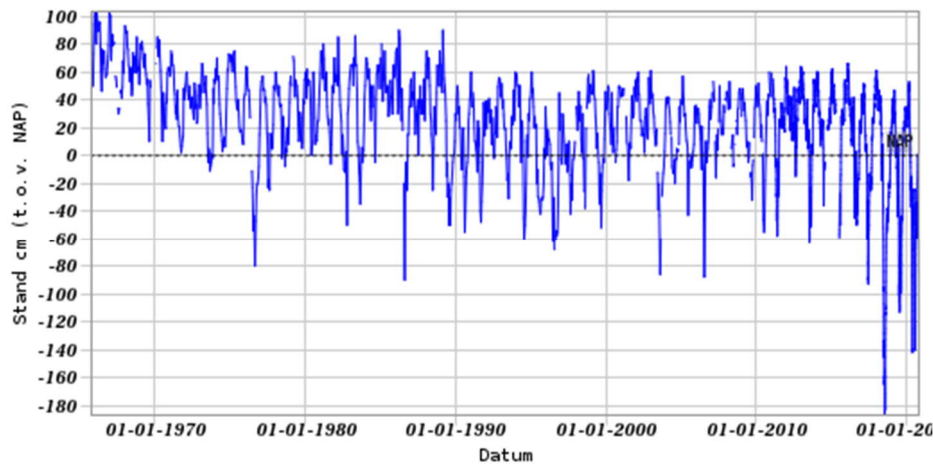
4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49E0068 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 2 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49E0068-001 gemiddeld hoger of gelijk ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49E0068-002.

Op basis van deze peilbuis verwachten we geen kwel. Echter ligt de peilbuis op 2 km afstand tot het boortracé en kan niet met zekerheid zeggen dat er geen sprake is van kwel. We adviseren om nader onderzoek te doen naar kwel in het vervolgtraject van deze boring.



Figuur 9 *Freatische grondwaterstand B49E0068-001 uit Dinoloket, filter op NAP 0,09 m*



Figuur 10 Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B49E0068-002 uit Dinoloket, filter op NAP -27,73 m

4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

Het waterschap Brabantse Delta heeft in dit gebied geen peilbesluit vastgesteld. Dit komt omdat dit gebied is gedefinieerd als 'vrij afwaterende gebieden'. In die gebieden kan het waterschap geen extra water aanvoeren, waardoor het meest optimale peil kan zakken. Een gegarandeerd waterpeil is dus in principe niet mogelijk in deze gebieden.

Het waterpeil van de Nieuwe Roosendaalsche vliet is niet bekend. We gaan ervan uit dat deze hoger ligt dan het peil aan de oostzijde en westzijde van de HDD's. Het mogelijk dat kwel optreedt bij een verkorting van de natuurlijke kwelweg door de HDD. Op circa 50 m ten westen van de Nieuwe Roosendaalsche vliet kruisen de HDD's een categorie B waterloop (OWL27751). 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 weefactoren 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 geen kwel tussen de peilgebieden via de HDD's kan optreden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
Nieuwe Roosendaalsche vliet	Waterloop links van OWL27751	$24,1/3 = 8,0$	$10,5+35/6+10,5 = 26,8$

5. Risico's en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- Werken in de leidingenstraat van LSNed. De aannemer dient bij zijn werkzaamheden rekening te houden met de voorschriften van LSNed. Dit betekent dat de werkzaamheden plaatsvinden in de buurt van buisleidingen uit categorie 1: buisleidingen met gevaarlijke inhoud;
- Werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten. De afstand tot de fundering van hoogspanningsmast 19A bedraagt circa 35 meter;
- Op basis van een peilbuis op 2 km afstand valt geen kwel te verwachten. Het advies is om vanwege de grote afstand van de peilbuis tot de HDD's, in het vervolgtraject te controleren of kwel optreedt;
- De boring en het materieel worden opgesteld aan de oostzijde van de Vlietweg;
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de noordzijde van de HDD in de leidingenstraat van LSNed;
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn. 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.

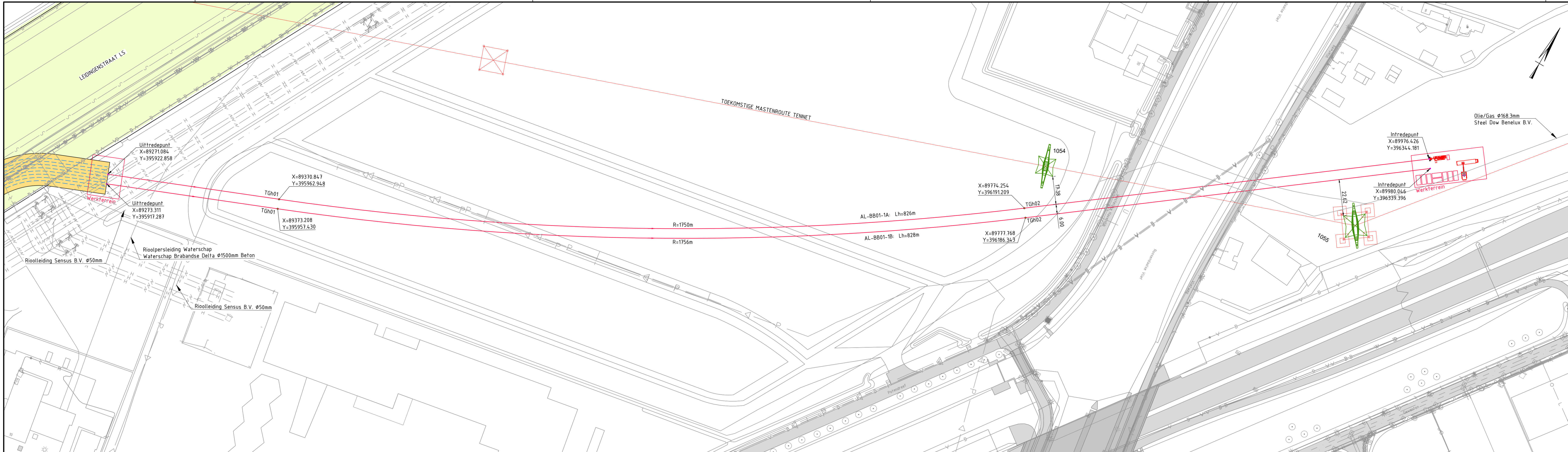
Dit rapport betreft de kruising met de Nieuwe Roosendaalsche Vliet. De kruising (met codering BW HDD8.1) is vergunningsplichtig bij waterschap Brabantse Delta, het ontwerp en berekeningen dienen te voldoen aan de eisen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en de Richtlijn Boortechnieken.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

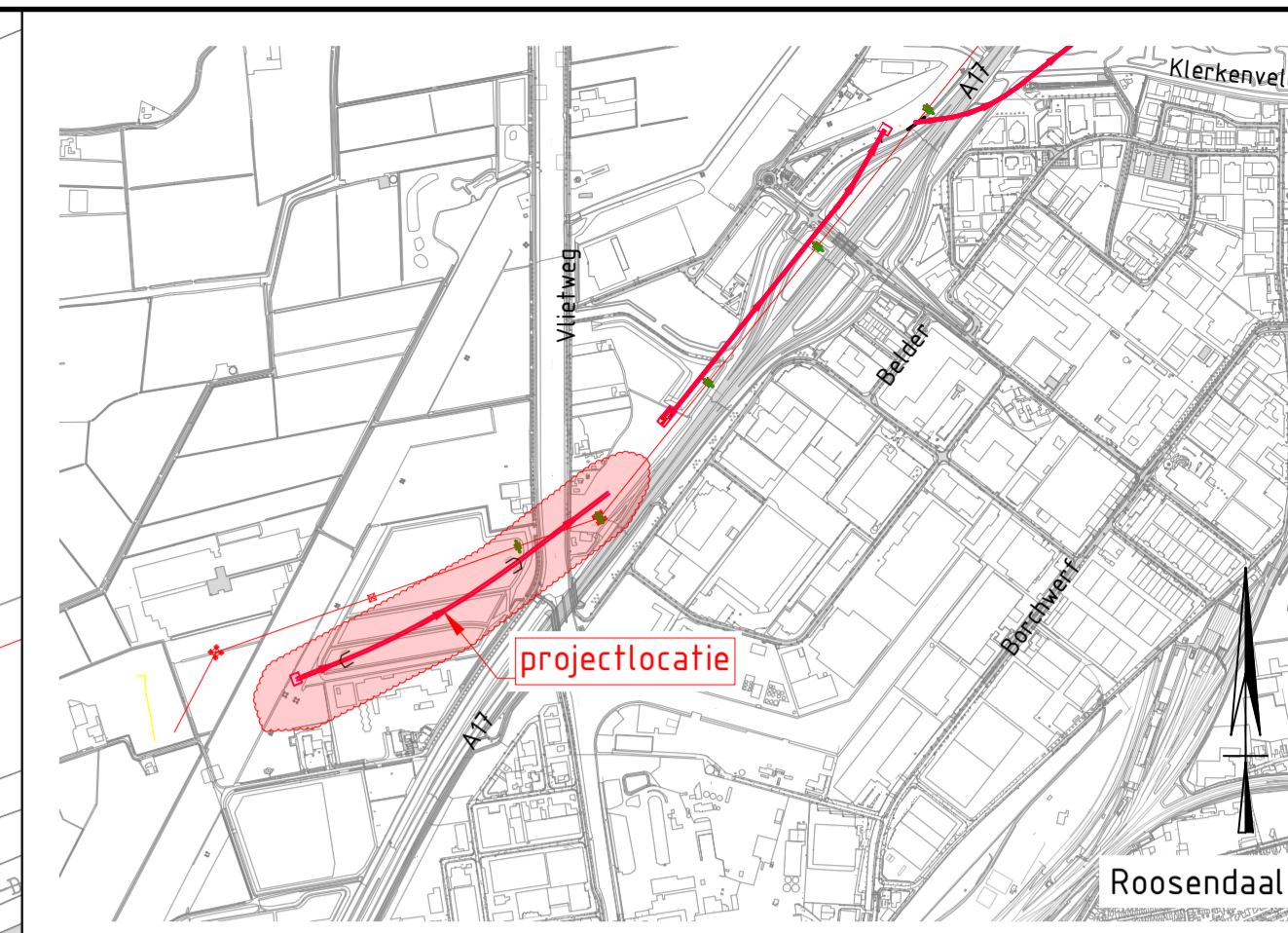
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met PE 100 4x Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

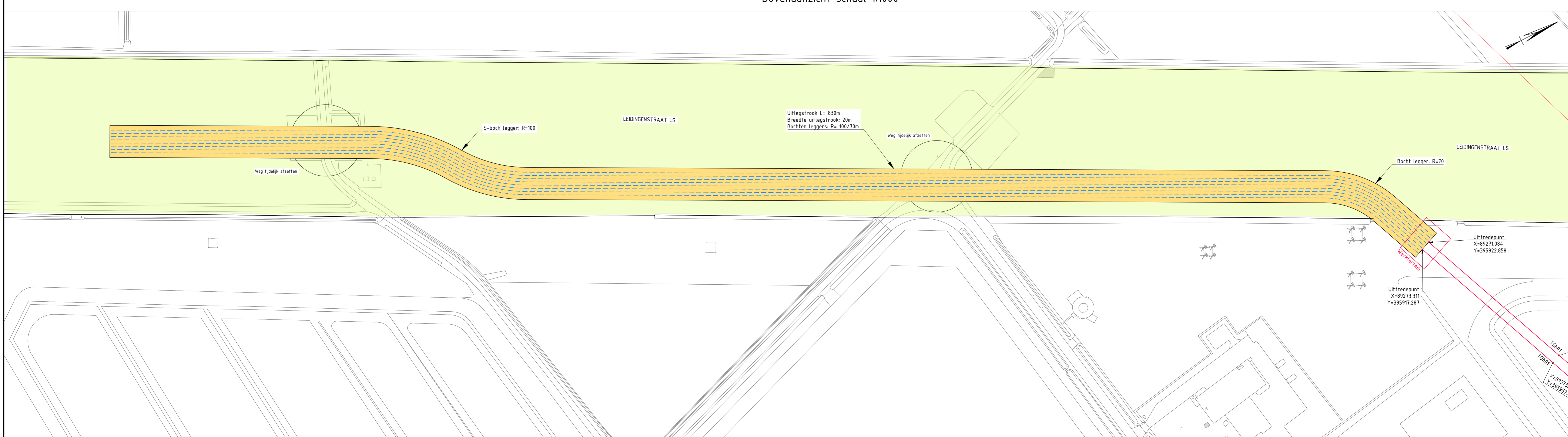
Bijlage 1 – Ontwerptekening



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal n.v.t.



Bovenaanzicht uitlegstrook Schaal 1:1000

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)
- - - - - Open ontgraving
- - - - - PVC Open ontgraving
- - - - - Uitlegstrook
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- 16 Locatie sondering met nummer
- Leidingstrook
- Verharding/wegen

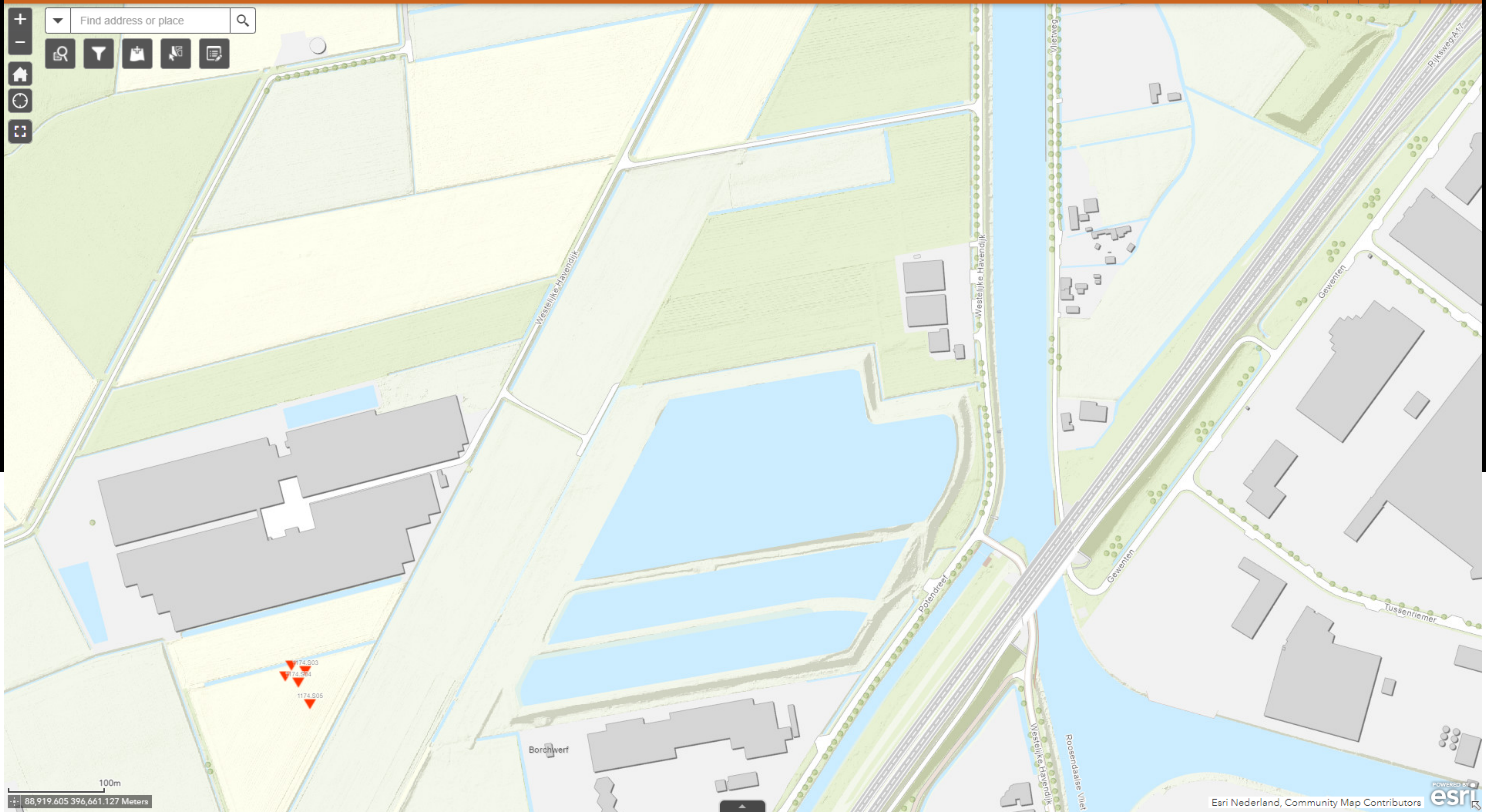
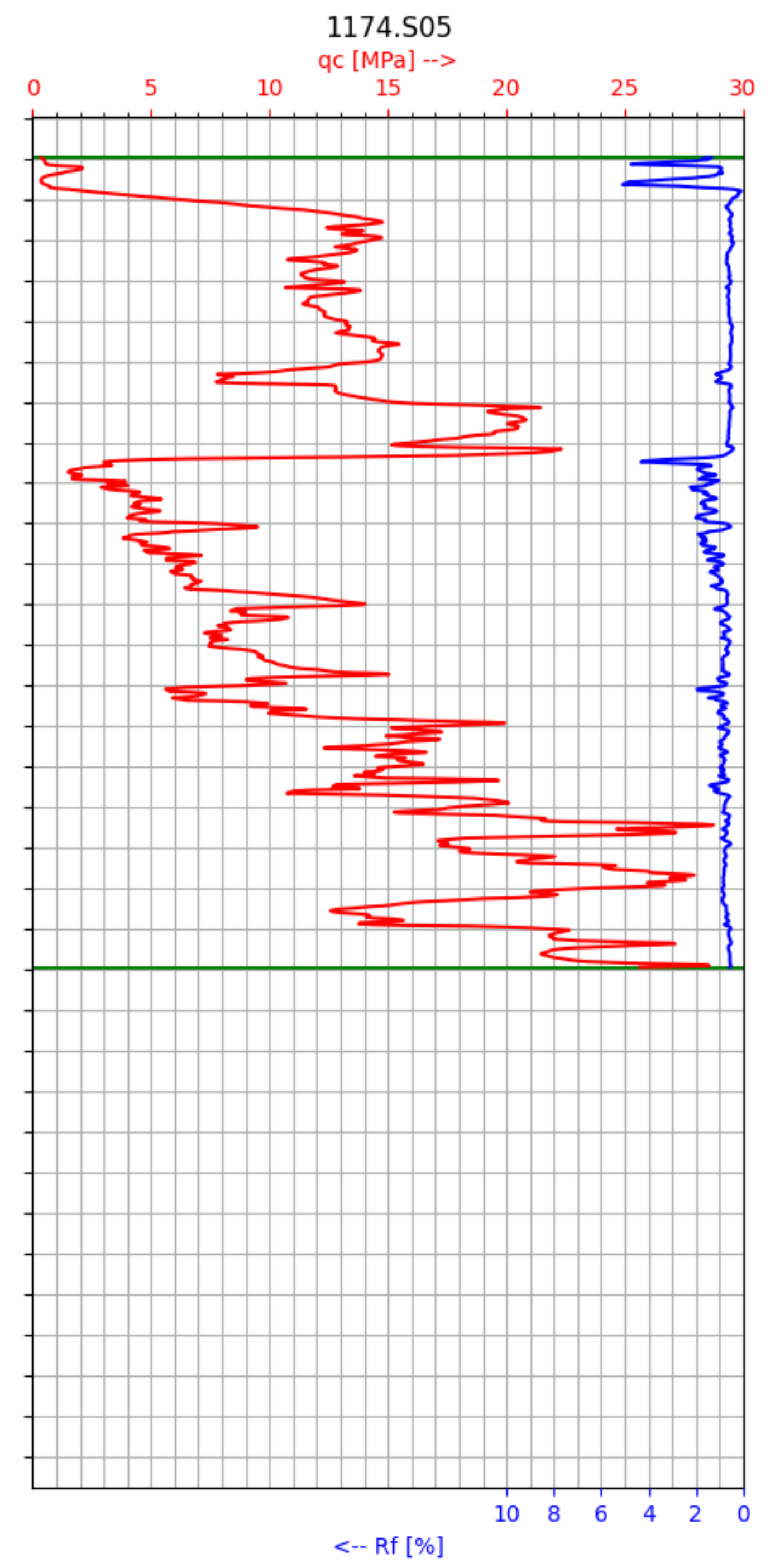
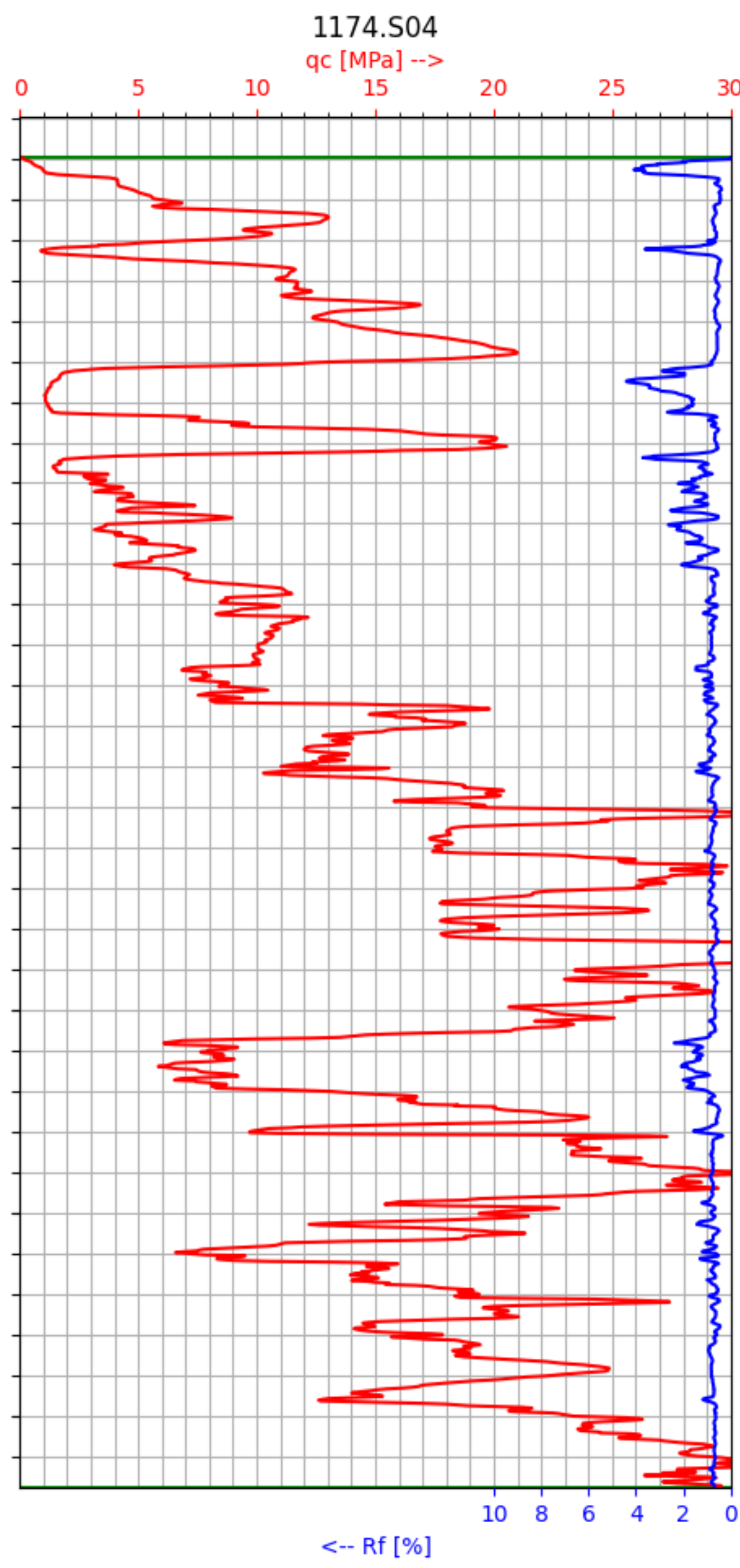
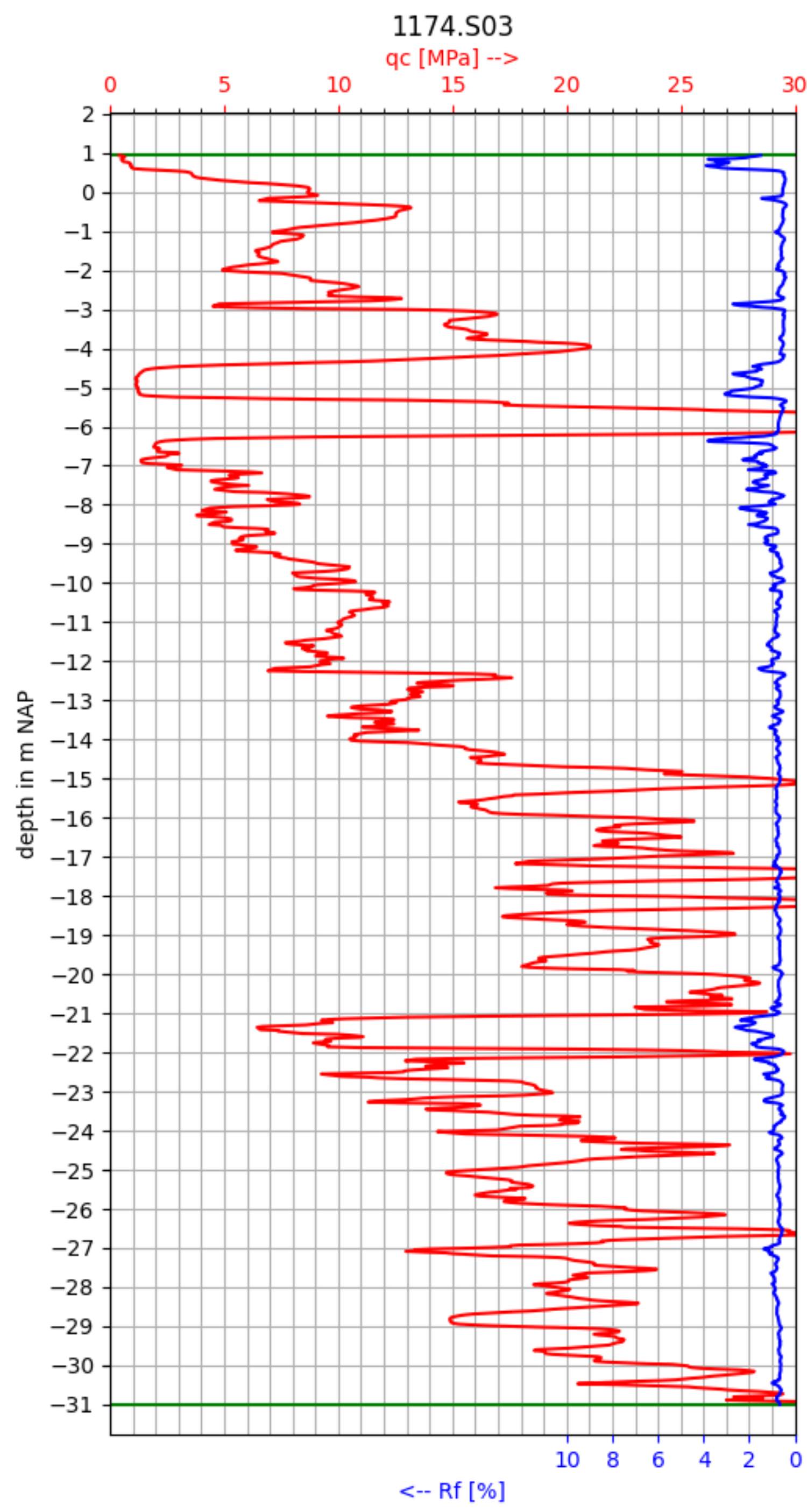
Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningaanvraag	05-04-2022	JPR	MJ	JD
C	Trace versie 8	11-08-2021	BB	MJ	JD
B	Locatie HDD's	15-07-2021	NJ	MJ	JD
A	Eerste uitgave	05-07-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

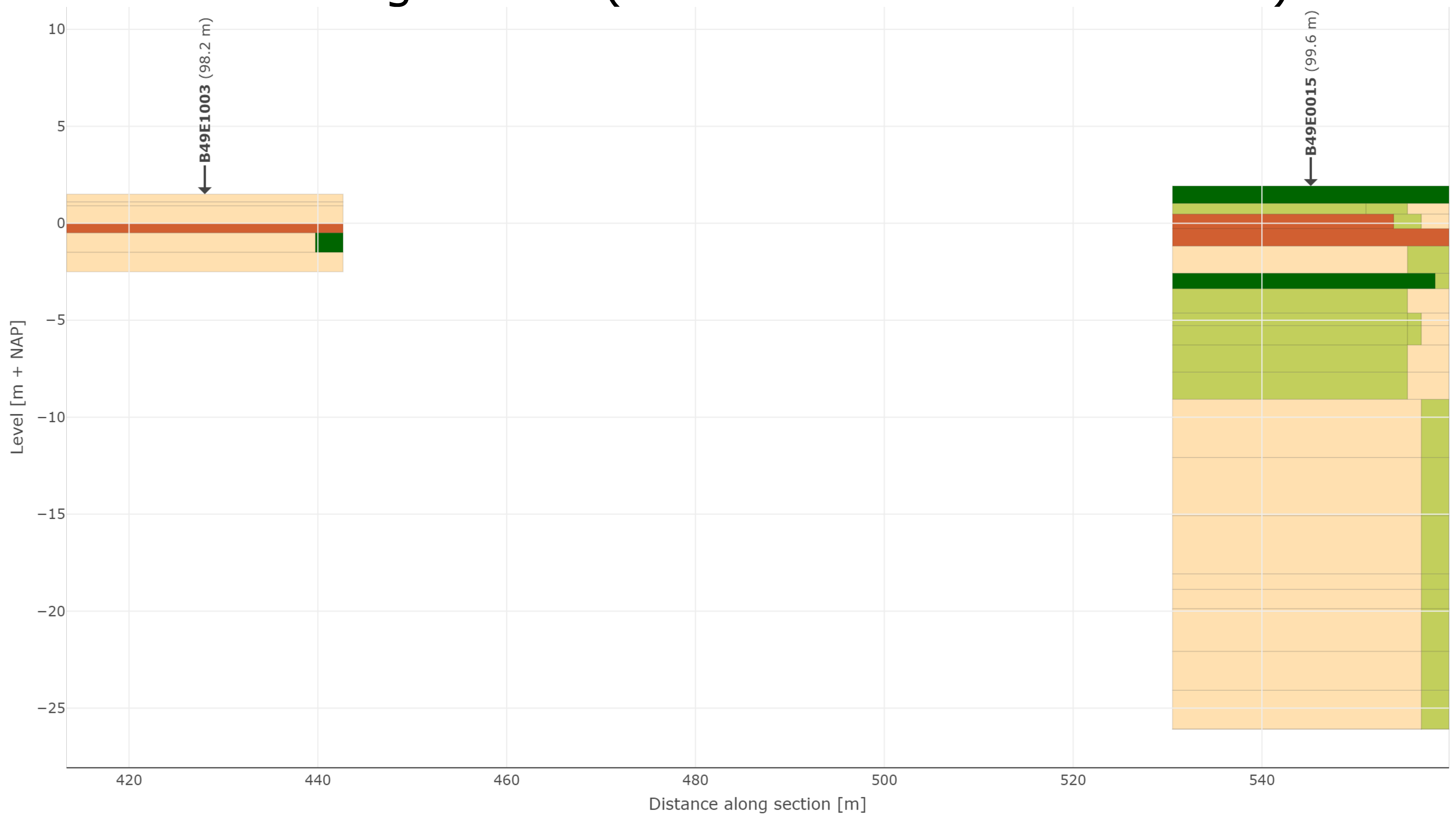
Opdrachtgever TenneT TSO B.V.					
Project HDD's 150 kv ZWO					
Onderwerp BW-HDD8.1 Kruising Roosendaalse Vliet uitlegstrook					
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerplocatie	Contractnummer
368722	BW-HDD8.1	D	05-04-2022	Definitief ontwerp	
Rijl	Van	Schaal	Formaat	Keurmerk	Get.
2	2	Zie tekening	A1L-1189	De Bilt	BB MJ JD

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

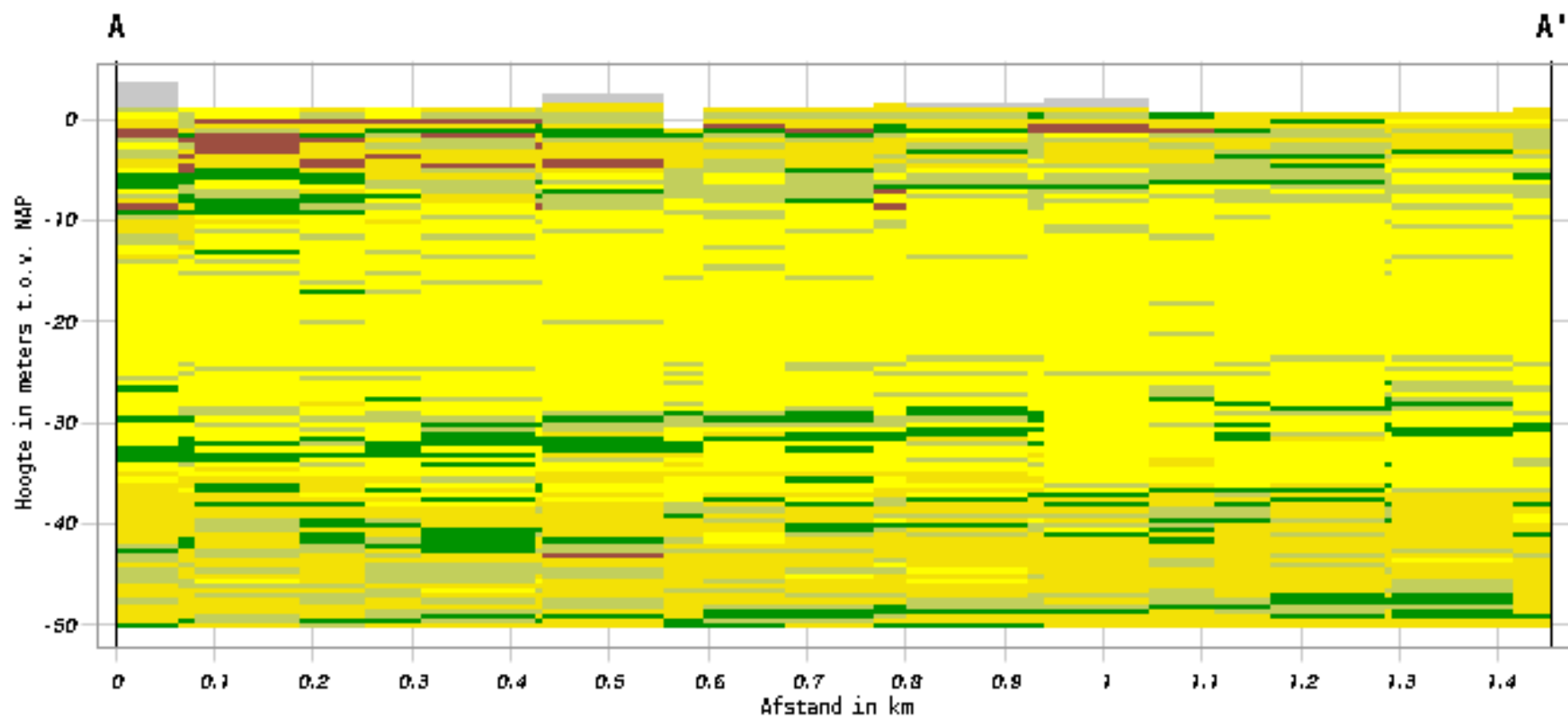
HDD8.1



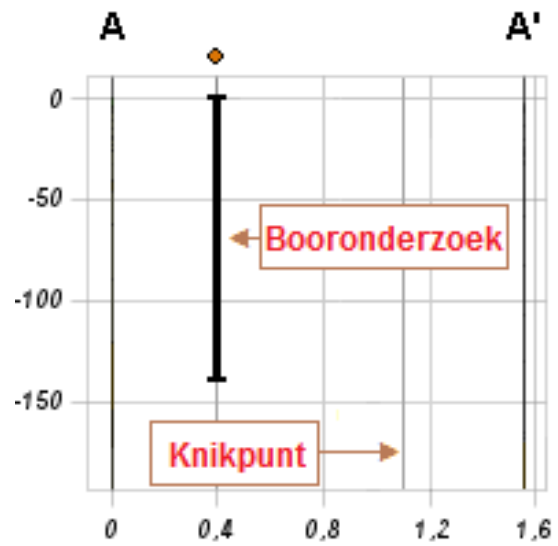
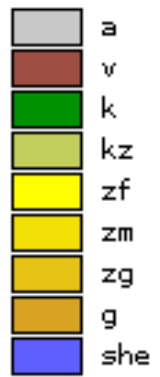
Boringen BRO (tot 100 m afstand van trace)



Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4



Lithoklasse



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report: 11-4-2022
Time of report: 14:38:28
Report with version: 20.1.2.31161
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: BW HDD8.1 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	6
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	10
3.11	Configuration of the Pipeline	10
3.12	Product Pipe Material Data	11
3.13	Pipe Engineering Data	12
3.14	Drilling Fluid Data	12
3.15	Factors	12
3.16	Calculation Options	13
4	Drilling Fluid Pressures	14
4.1	Drilling Fluid Data	14
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	22
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	25
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	25
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	25
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	26
5	Soil Mechanical Data	27
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	27
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	32
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	38
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	43
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	49
6	Data for Stress Analysis	58
6.1	General Data	58
6.2	Buoyancy Control	58
6.3	Calculation Pulling Force	58
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	60
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	60
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	60
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	60
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	61
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	61
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	61
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	61
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	62
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	62
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	64
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	64
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	64
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	64
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	65
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	65
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	65
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	65
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	66
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	66
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	68
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	68
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	68
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	68
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	69

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	69
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	69
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	69
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	70
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	70
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	72
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	72
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	72
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	72
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	73
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	73
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	73
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	73
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	74
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	74

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

One or more layers above the border between the top undrained and underlying drained layers have a Su-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	10,000	20,000	30,000	40,000
5 - Z -	1,340	1,221	1,199	1,961	1,345
5 - L -	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
5 - Z -	1,337	4,905	3,629	3,482	3,482
5 - L -	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000
5 - Z -	3,486	3,467	3,454	3,546	3,656
5 - L -	150,000	160,000	170,000	180,000	190,000
5 - Z -	3,572	3,484	3,523	3,524	3,530
5 - L -	200,000	210,000	220,000	230,000	240,000
5 - Z -	3,562	3,484	3,472	3,523	3,486
5 - L -	250,000	260,000	270,000	280,000	290,000
5 - Z -	4,452	4,897	4,906	4,400	4,378
5 - L -	300,000	310,000	320,000	330,000	340,000
5 - Z -	4,360	4,374	4,358	4,386	4,371
5 - L -	350,000	360,000	370,000	380,000	390,000
5 - Z -	4,395	4,381	4,410	4,389	4,431
5 - L -	400,000	410,000	420,000	430,000	440,000
5 - Z -	4,415	4,372	4,959	5,526	5,538
5 - L -	450,000	460,000	470,000	480,000	490,000
5 - Z -	3,717	3,129	2,933	4,208	4,662
5 - L -	500,000	510,000	520,000	530,000	540,000
5 - Z -	4,657	4,503	4,530	4,491	4,432
5 - L -	550,000	560,000	570,000	580,000	590,000
5 - Z -	4,394	4,554	4,619	4,692	4,717
5 - L -	600,000	610,000	620,000	630,000	640,000
5 - Z -	2,388	1,333	0,226	1,948	0,504
5 - L -	650,000	660,000	670,000	680,000	690,000
5 - Z -	0,381	0,193	0,163	0,237	0,254
5 - L -	700,000	710,000	720,000	730,000	740,000
5 - Z -	0,096	2,117	1,740	1,787	1,619
5 - L -	750,000	760,000	770,000	780,000	790,000
5 - Z -	1,458	1,333	1,386	1,385	1,360
5 - L -	800,000	810,000	820,000	850,000	
5 - Z -	1,374	1,369	1,334	1,402	
4 - L -	0,000	850,000			
4 - Z -	0,000	0,000			
3 - L -	0,000	850,000			
3 - Z -	-2,000	-2,000			
2 - L -	0,000	850,000			
2 - Z -	-8,500	-8,500			
1 - L -	0,000	850,000			
1 - Z -	-14,000	-14,000			
0 - L -	0,000	850,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	850,000			
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, sterk siltig, kleig	1	1
4	Veen, slap	1	1
3	Zand, sterk siltig, kleig	1	1
2	Zand, schoon, los	1	1
1	Zand, schoon, vast	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 3: Zand, sterk siltig, kleig

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 3: Zand, sterk siltig, kleig

3.7 Soil Material Data

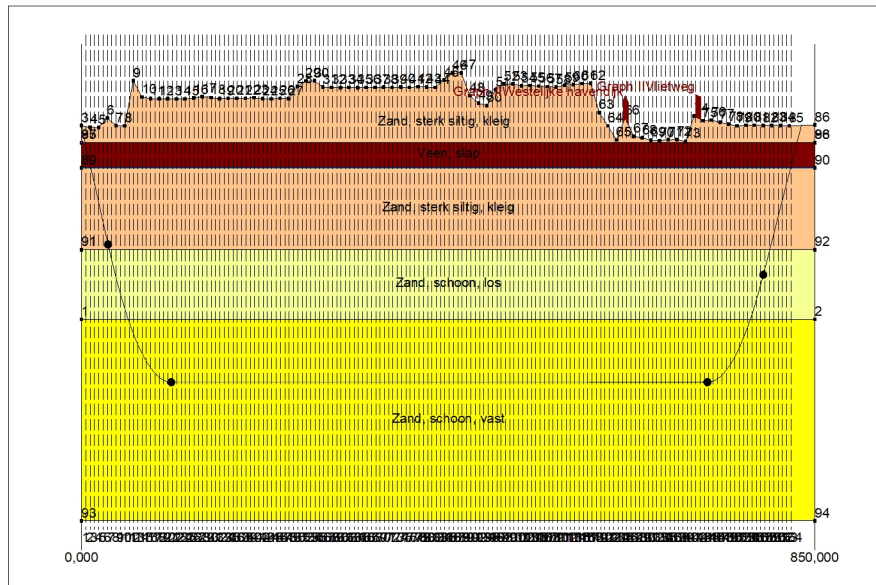
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	25,00	0,00	0,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m ²]	Emod top [kN/m ²]	Emod bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	15000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	75000,00	-	-

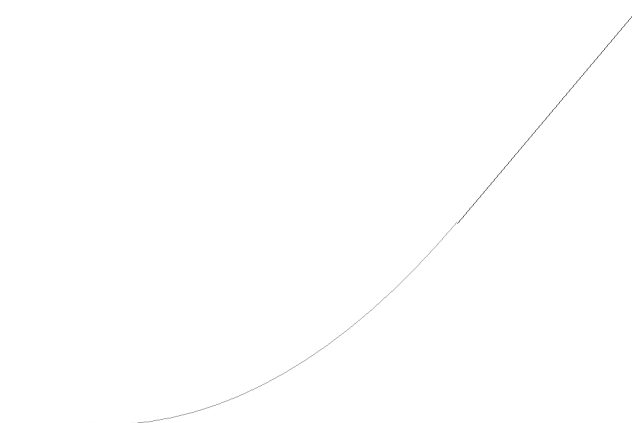
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,40
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

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	5,014	-0,193
2	10,028	-1,726
3	15,042	-3,259
4	20,056	-4,792
5	25,070	-6,325
6	30,084	-7,858
7	35,098	-9,348
8	40,112	-10,727
9	45,126	-11,995
10	50,140	-13,153
11	55,154	-14,203
12	60,168	-15,147
13	65,182	-15,985
14	70,196	-16,719
15	75,210	-17,349
16	80,224	-17,877
17	85,238	-18,303
18	90,252	-18,628
19	95,266	-18,851
20	100,280	-18,974
21	105,294	-19,000
22	110,308	-19,000
23	115,322	-19,000
24	120,336	-19,000
25	125,350	-19,000
26	130,364	-19,000
27	135,378	-19,000
28	140,392	-19,000
29	145,406	-19,000
30	150,420	-19,000
31	155,434	-19,000
32	160,448	-19,000
33	165,462	-19,000
34	170,476	-19,000
35	175,490	-19,000
36	180,504	-19,000
37	185,518	-19,000
38	190,532	-19,000
39	195,546	-19,000
40	200,560	-19,000
41	205,574	-19,000
42	210,588	-19,000
43	215,602	-19,000
44	220,616	-19,000
45	225,630	-19,000
46	230,644	-19,000
47	235,658	-19,000
48	240,672	-19,000
49	245,686	-19,000
50	250,700	-19,000
51	255,714	-19,000
52	260,728	-19,000
53	265,742	-19,000
54	270,756	-19,000
55	275,770	-19,000
56	280,784	-19,000
57	285,798	-19,000
58	290,812	-19,000
59	295,826	-19,000
60	300,840	-19,000
61	305,854	-19,000
62	310,868	-19,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,882	-19,000
64	320,896	-19,000
65	325,910	-19,000
66	330,924	-19,000
67	335,938	-19,000
68	340,952	-19,000
69	345,966	-19,000
70	350,980	-19,000
71	355,994	-19,000
72	361,008	-19,000
73	366,022	-19,000
74	371,036	-19,000
75	376,050	-19,000
76	381,064	-19,000
77	386,078	-19,000
78	391,092	-19,000
79	396,106	-19,000
80	401,120	-19,000
81	406,134	-19,000
82	411,148	-19,000
83	416,162	-19,000
84	421,176	-19,000
85	426,190	-19,000
86	431,204	-19,000
87	436,218	-19,000
88	441,232	-19,000
89	446,246	-19,000
90	451,260	-19,000
91	456,274	-19,000
92	461,288	-19,000
93	466,302	-19,000
94	471,316	-19,000
95	476,330	-19,000
96	481,344	-19,000
97	486,358	-19,000
98	491,372	-19,000
99	496,386	-19,000
100	501,400	-19,000
101	506,414	-19,000
102	511,428	-19,000
103	516,442	-19,000
104	521,456	-19,000
105	526,470	-19,000
106	531,484	-19,000
107	536,498	-19,000
108	541,512	-19,000
109	546,526	-19,000
110	551,540	-19,000
111	556,554	-19,000
112	561,568	-19,000
113	566,582	-19,000
114	571,596	-19,000
115	576,610	-19,000
116	581,624	-19,000
117	586,638	-19,000
118	591,652	-19,000
119	596,666	-19,000
120	601,680	-19,000
121	606,694	-19,000
122	611,708	-19,000
123	616,722	-19,000
124	621,736	-19,000
125	626,750	-19,000
126	631,764	-19,000
127	636,778	-19,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
128	641,792	-19,000
129	646,806	-19,000
130	651,820	-19,000
131	656,834	-19,000
132	661,848	-19,000
133	666,862	-19,000
134	671,876	-19,000
135	676,890	-19,000
136	681,904	-19,000
137	686,918	-19,000
138	691,932	-19,000
139	696,946	-19,000
140	701,960	-19,000
141	706,974	-19,000
142	711,988	-19,000
143	717,002	-19,000
144	722,016	-19,000
145	727,030	-18,995
146	732,044	-18,912
147	737,058	-18,729
148	742,072	-18,445
149	747,086	-18,060
150	752,100	-17,573
151	757,114	-16,983
152	762,128	-16,291
153	767,142	-15,494
154	772,156	-14,593
155	777,170	-13,586
156	782,184	-12,471
157	787,198	-11,247
158	792,212	-9,923
159	797,226	-8,579
160	802,240	-7,236
161	807,254	-5,892
162	812,268	-4,549
163	817,282	-3,205
164	822,296	-1,862

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

Westelijke havendijk		
L start	628,00	[m]
L end	634,00	[m]
Load model (graph type)	Graph II	
Vlietweg		
L start	712,00	[m]
L end	718,00	[m]
Load model (graph type)	Graph II	

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	1,340	[m]
X co-ordinate right point	819,900	[m]
Y co-ordinate right point	127,260	[m]
Z co-ordinate right point	1,367	[m]
Angle left	17,0000	[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)	-19,000	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	1	

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

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	107,320	0,000	584,000	61,600	1756,000	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	Yes	
Part of cross section filled with fluid	100	[%]
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	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[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	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[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	35	35	20	435
2	67	67	40	450
3	108	108	61	465
4	161	204	81	480
5	216	315	101	495
6	270	416	121	510
7	322	527	141	524
8	350	572	160	537
9	382	623	177	549
10	412	671	193	560
11	607	1056	207	570
12	924	1744	221	578
13	941	1775	233	585
14	942	1773	244	591
15	967	1818	254	596
16	986	1853	262	599
17	1004	1886	270	602
18	1017	1912	276	603
19	1027	1929	281	603
20	1032	1938	285	602
21	1033	1939	288	600
22	1032	1938	290	597
23	1032	1937	293	595
24	1032	1937	295	592
25	1034	1942	298	590
26	1037	1948	300	587
27	1040	1954	303	585
28	1042	1960	305	582
29	1040	1955	308	580
30	1038	1950	310	577
31	1035	1945	313	575
32	1033	1940	315	572
33	1034	1943	318	570
34	1035	1945	320	567
35	1035	1945	323	565
36	1035	1945	325	562
37	1035	1945	328	560
38	1036	1946	330	557
39	1037	1948	333	555
40	1037	1949	335	552
41	1035	1944	338	550
42	1033	1940	340	547
43	1033	1939	343	545
44	1033	1939	345	542
45	1034	1942	348	540
46	1035	1944	350	537
47	1034	1942	353	534
48	1037	1948	355	532
49	1063	2003	358	529
50	1088	2054	360	527
51	1100	2079	363	524
52	1110	2100	365	522
53	1110	2101	368	519
54	1109	2097	370	517
55	1095	2069	373	514
56	1083	2044	375	512
57	1083	2043	378	509

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	1082	2042	380	507
59	1081	2041	383	504
60	1081	2040	385	502
61	1082	2041	388	499
62	1082	2041	390	497
63	1081	2040	393	494
64	1081	2040	395	492
65	1082	2042	398	489
66	1082	2043	400	487
67	1082	2042	403	484
68	1082	2041	406	482
69	1082	2043	408	479
70	1083	2044	411	477
71	1083	2043	413	474
72	1082	2043	416	472
73	1083	2044	418	469
74	1084	2045	421	467
75	1083	2044	423	464
76	1083	2044	426	462
77	1084	2046	428	459
78	1085	2048	431	457
79	1084	2047	433	454
80	1084	2046	436	452
81	1083	2043	438	449
82	1085	2049	441	447
83	1101	2082	443	444
84	1117	2115	446	442
85	1133	2147	448	439
86	1144	2171	451	437
87	1145	2172	453	434
88	1133	2147	456	432
89	1083	2044	458	429
90	1042	1958	461	427
91	1026	1925	463	424
92	1012	1897	466	422
93	1007	1885	468	419
94	1012	1896	471	417
95	1047	1969	473	414
96	1076	2030	476	412
97	1089	2055	478	409
98	1097	2074	481	407
99	1097	2074	483	404
100	1096	2071	486	402
101	1092	2062	488	399
102	1089	2056	491	397
103	1090	2058	493	394
104	1090	2058	496	392
105	1089	2056	498	389
106	1088	2054	501	387
107	1086	2050	503	384
108	1085	2047	506	382
109	1084	2045	508	379
110	1084	2047	511	377
111	1089	2056	513	374
112	1092	2063	516	372
113	1094	2067	518	369
114	1096	2070	521	367
115	1098	2075	523	364
116	1099	2078	526	362
117	1100	2079	528	359
118	1080	2037	531	357
119	1015	1904	533	354
120	962	1793	536	352
121	932	1731	538	349

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
122	902	1667	541	347
123	870	1601	543	344
124	866	1593	546	342
125	916	1696	548	339
126	933	1732	551	337
127	892	1647	553	334
128	864	1588	556	332
129	860	1581	558	329
130	856	1572	561	327
131	850	1561	563	324
132	846	1553	566	322
133	846	1551	568	319
134	846	1551	571	317
135	848	1556	573	314
136	849	1559	576	312
137	850	1560	578	309
138	849	1557	581	307
139	844	1548	583	304
140	864	1590	586	302
141	922	1710	588	299
142	953	1773	591	297
143	942	1751	593	294
144	936	1739	596	291
145	937	1741	598	289
146	933	1733	600	285
147	920	1709	600	281
148	903	1677	600	275
149	882	1637	598	268
150	857	1589	595	260
151	827	1532	590	251
152	793	1468	585	240
153	753	1390	578	229
154	679	1234	570	216
155	423	688	561	201
156	395	644	551	186
157	364	595	540	169
158	329	538	527	152
159	269	409	514	134
160	233	351	501	116
161	197	278	488	97
162	160	197	476	79
163	110	110	463	61
164	70	70	450	43

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	17	17	19	20
2	73	73	37	40
3	90	90	56	61
4	161	172	74	81
5	216	276	93	101
6	270	381	112	121
7	318	497	130	141
8	348	565	146	160
9	381	621	162	177
10	412	670	176	193
11	500	832	189	207
12	897	1618	201	221
13	926	1686	212	233
14	932	1709	221	244
15	958	1773	229	254
16	979	1823	236	262
17	998	1868	242	270

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
18	1012	1897	247	276
19	1021	1915	250	281
20	1027	1925	252	285
21	1027	1926	254	288
22	1027	1925	254	290
23	1026	1924	255	293
24	1026	1924	256	295
25	1029	1929	257	298
26	1031	1935	258	300
27	1034	1941	259	303
28	1037	1946	260	305
29	1035	1941	261	308
30	1032	1937	262	310
31	1030	1932	263	313
32	1028	1927	264	315
33	1029	1929	265	318
34	1030	1931	265	320
35	1030	1932	266	323
36	1030	1932	267	325
37	1030	1932	268	328
38	1030	1932	269	330
39	1031	1934	270	333
40	1032	1935	271	335
41	1030	1931	272	338
42	1028	1927	273	340
43	1027	1926	274	343
44	1027	1926	275	345
45	1029	1929	275	346
46	1030	1931	276	345
47	1029	1929	277	344
48	1031	1935	278	343
49	1058	1989	279	342
50	1082	2040	280	341
51	1094	2065	281	340
52	1105	2086	282	339
53	1105	2087	283	338
54	1103	2083	284	337
55	1089	2055	285	336
56	1078	2030	286	336
57	1077	2029	286	335
58	1076	2028	287	334
59	1076	2027	288	333
60	1076	2026	289	332
61	1076	2027	290	331
62	1076	2027	291	330
63	1076	2027	292	329
64	1076	2026	293	328
65	1076	2028	294	327
66	1077	2029	295	326
67	1076	2028	296	325
68	1076	2028	297	325
69	1077	2029	297	324
70	1077	2030	298	323
71	1077	2029	299	322
72	1077	2029	300	321
73	1078	2030	301	320
74	1078	2031	302	319
75	1078	2030	303	318
76	1077	2030	304	317
77	1078	2032	305	316
78	1079	2034	306	315
79	1079	2033	307	315
80	1078	2032	307	314
81	1077	2029	308	313

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
82	1080	2035	309	312
83	1096	2068	310	311
84	1111	2100	311	310
85	1127	2132	312	309
86	1138	2156	313	308
87	1139	2157	314	307
88	1127	2132	315	306
89	1078	2031	316	305
90	1037	1945	317	304
91	1020	1912	318	304
92	1007	1884	318	303
93	1001	1872	319	302
94	1007	1883	320	301
95	1042	1956	321	300
96	1071	2016	322	299
97	1083	2041	323	298
98	1092	2060	324	297
99	1092	2060	325	296
100	1090	2057	326	295
101	1086	2048	327	294
102	1083	2042	328	293
103	1084	2044	329	293
104	1084	2044	329	292
105	1083	2042	330	291
106	1082	2040	331	290
107	1081	2036	332	289
108	1079	2033	333	288
109	1078	2031	334	287
110	1079	2033	335	286
111	1083	2042	336	285
112	1087	2049	337	284
113	1088	2053	338	283
114	1090	2056	339	283
115	1092	2060	339	282
116	1094	2064	340	281
117	1094	2065	341	280
118	1074	2023	342	279
119	1010	1891	343	278
120	957	1781	344	277
121	928	1719	345	276
122	897	1656	346	275
123	865	1587	344	274
124	862	1579	342	273
125	911	1685	339	272
126	928	1721	337	272
127	887	1634	334	271
128	859	1574	332	270
129	856	1566	329	269
130	851	1557	327	268
131	846	1546	324	267
132	842	1537	322	266
133	841	1536	319	265
134	842	1536	317	264
135	844	1541	314	263
136	845	1544	312	262
137	846	1545	309	262
138	844	1542	307	261
139	840	1532	304	260
140	860	1575	302	259
141	918	1699	299	258
142	948	1761	297	257
143	937	1739	294	256
144	931	1727	291	255
145	933	1730	289	254

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
146	928	1721	285	252
147	915	1693	281	249
148	898	1654	275	245
149	877	1604	268	240
150	850	1544	260	233
151	819	1471	251	226
152	783	1388	240	217
153	737	1285	229	207
154	637	1090	216	195
155	422	686	201	183
156	394	642	186	169
157	363	592	169	154
158	327	519	152	138
159	269	387	134	121
160	233	316	116	105
161	197	241	97	89
162	160	165	79	72
163	91	91	61	56
164	75	75	43	39

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	17	17	18	19
2	70	70	37	37
3	76	76	55	56
4	134	134	74	74
5	216	218	92	93
6	270	310	111	112
7	309	394	129	130
8	345	475	145	146
9	379	548	161	162
10	410	614	175	176
11	499	787	188	189
12	824	1226	199	201
13	887	1319	210	212
14	906	1361	219	221
15	938	1432	227	229
16	961	1487	234	236
17	982	1536	240	242
18	997	1573	244	247
19	1008	1598	248	250
20	1013	1612	250	252
21	1014	1614	251	254
22	1013	1613	252	254
23	1013	1612	253	255
24	1013	1612	253	256
25	1015	1616	254	257
26	1018	1621	255	258
27	1021	1627	256	259
28	1023	1632	256	260
29	1021	1627	257	261
30	1019	1623	258	262
31	1017	1619	259	263
32	1014	1615	260	264
33	1016	1617	260	265
34	1016	1619	261	265
35	1017	1619	262	266
36	1017	1619	263	267
37	1017	1619	264	268
38	1017	1619	264	269
39	1018	1621	265	270
40	1018	1622	266	271
41	1016	1618	267	272

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
42	1014	1614	268	273
43	1014	1614	268	274
44	1014	1614	269	275
45	1015	1616	270	275
46	1016	1618	271	276
47	1015	1616	271	277
48	1018	1621	272	278
49	1044	1671	273	279
50	1068	1716	274	280
51	1080	1739	275	281
52	1090	1759	275	282
53	1090	1759	276	283
54	1088	1755	277	284
55	1075	1730	278	285
56	1063	1708	279	286
57	1063	1707	279	286
58	1062	1706	280	287
59	1062	1705	281	288
60	1061	1704	282	289
61	1062	1705	283	290
62	1062	1705	283	291
63	1062	1704	284	292
64	1061	1704	285	293
65	1062	1705	286	294
66	1063	1706	287	295
67	1062	1706	287	296
68	1062	1705	288	297
69	1063	1707	289	297
70	1063	1707	290	298
71	1063	1707	290	299
72	1063	1706	291	300
73	1063	1708	292	301
74	1064	1709	293	302
75	1063	1708	294	303
76	1063	1707	294	304
77	1064	1709	295	305
78	1065	1711	296	305
79	1065	1710	297	304
80	1064	1709	298	303
81	1063	1707	298	302
82	1066	1712	299	301
83	1081	1742	300	301
84	1097	1771	301	300
85	1112	1800	302	299
86	1123	1822	302	298
87	1124	1823	303	297
88	1112	1801	304	297
89	1064	1708	305	296
90	1023	1631	304	295
91	1007	1601	304	294
92	994	1576	303	293
93	988	1565	302	293
94	994	1575	301	292
95	1028	1641	300	291
96	1057	1695	299	290
97	1069	1718	298	289
98	1077	1735	297	289
99	1077	1734	296	288
100	1076	1732	295	287
101	1072	1724	294	286
102	1069	1719	293	286
103	1070	1720	293	285
104	1070	1721	292	284
105	1069	1719	291	283

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
106	1068	1716	290	282
107	1066	1713	289	282
108	1065	1711	288	281
109	1064	1709	287	280
110	1065	1710	286	279
111	1069	1718	285	278
112	1072	1725	284	278
113	1074	1728	283	277
114	1076	1731	283	276
115	1078	1735	282	275
116	1079	1738	281	274
117	1080	1739	280	274
118	1060	1701	279	273
119	997	1582	278	272
120	945	1484	277	271
121	916	1429	276	271
122	886	1373	275	270
123	854	1315	274	269
124	851	1308	273	268
125	899	1398	272	267
126	916	1430	272	267
127	876	1354	271	266
128	848	1303	270	265
129	845	1297	269	264
130	841	1289	268	263
131	835	1279	267	263
132	831	1272	266	262
133	831	1271	265	261
134	831	1271	264	260
135	833	1275	263	259
136	834	1278	262	259
137	835	1279	262	258
138	834	1276	261	257
139	829	1268	260	256
140	849	1305	259	255
141	906	1410	258	255
142	936	1466	257	254
143	925	1446	256	253
144	919	1436	255	252
145	920	1438	254	251
146	916	1427	252	250
147	902	1398	249	247
148	885	1359	245	243
149	862	1308	240	238
150	834	1247	233	231
151	799	1174	226	224
152	756	1089	217	215
153	695	985	207	205
154	511	764	195	194
155	421	637	183	181
156	393	577	169	168
157	360	507	154	153
158	321	424	138	137
159	269	322	121	120
160	233	254	105	104
161	189	189	89	88
162	128	128	72	72
163	78	78	56	55
164	75	75	39	39

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
1	18	2	9,14	sufficient
2	35	17	2,04	sufficient
3	53	33	1,62	sufficient
4	71	48	1,47	sufficient
5	88	63	1,39	sufficient
6	106	79	1,35	sufficient
7	123	93	1,31	sufficient
8	139	107	1,29	sufficient
9	153	120	1,28	sufficient
10	167	132	1,27	sufficient
11	179	142	1,26	sufficient
12	190	151	1,25	sufficient
13	199	160	1,25	sufficient
14	208	167	1,24	sufficient
15	215	173	1,24	sufficient
16	221	179	1,24	sufficient
17	226	183	1,23	sufficient
18	230	186	1,23	sufficient
19	232	189	1,23	sufficient
20	234	190	1,23	sufficient
21	234	190	1,23	sufficient
22	234	190	1,23	sufficient
23	234	190	1,23	sufficient
24	234	190	1,23	sufficient
25	234	190	1,23	sufficient
26	234	190	1,23	sufficient
27	234	190	1,23	sufficient
28	234	190	1,23	sufficient
29	234	190	1,23	sufficient
30	234	190	1,23	sufficient
31	234	190	1,23	sufficient
32	234	190	1,23	sufficient
33	234	190	1,23	sufficient
34	234	190	1,23	sufficient
35	234	190	1,23	sufficient
36	234	190	1,23	sufficient
37	234	190	1,23	sufficient
38	234	190	1,23	sufficient
39	234	190	1,23	sufficient
40	234	190	1,23	sufficient
41	234	190	1,23	sufficient
42	234	190	1,23	sufficient
43	234	190	1,23	sufficient
44	234	190	1,23	sufficient
45	234	190	1,23	sufficient
46	234	190	1,23	sufficient
47	234	190	1,23	sufficient
48	234	190	1,23	sufficient
49	234	190	1,23	sufficient
50	234	190	1,23	sufficient
51	234	190	1,23	sufficient
52	234	190	1,23	sufficient
53	234	190	1,23	sufficient
54	234	190	1,23	sufficient
55	234	190	1,23	sufficient
56	234	190	1,23	sufficient
57	234	190	1,23	sufficient
58	234	190	1,23	sufficient
59	234	190	1,23	sufficient
60	234	190	1,23	sufficient
61	234	190	1,23	sufficient

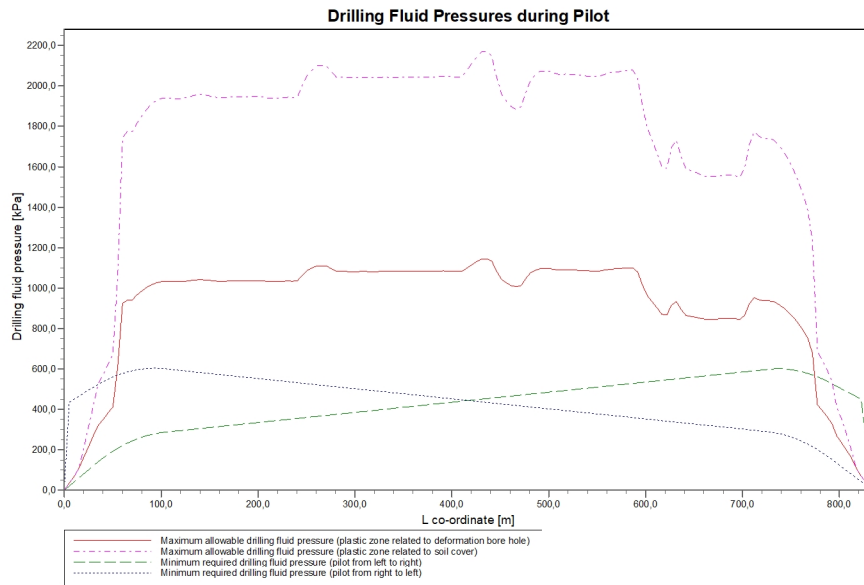
Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
62	234	190	1,23	sufficient
63	234	190	1,23	sufficient
64	234	190	1,23	sufficient
65	234	190	1,23	sufficient
66	234	190	1,23	sufficient
67	234	190	1,23	sufficient
68	234	190	1,23	sufficient
69	234	190	1,23	sufficient
70	234	190	1,23	sufficient
71	234	190	1,23	sufficient
72	234	190	1,23	sufficient
73	234	190	1,23	sufficient
74	234	190	1,23	sufficient
75	234	190	1,23	sufficient
76	234	190	1,23	sufficient
77	234	190	1,23	sufficient
78	234	190	1,23	sufficient
79	234	190	1,23	sufficient
80	234	190	1,23	sufficient
81	234	190	1,23	sufficient
82	234	190	1,23	sufficient
83	234	190	1,23	sufficient
84	234	190	1,23	sufficient
85	234	190	1,23	sufficient
86	234	190	1,23	sufficient
87	234	190	1,23	sufficient
88	234	190	1,23	sufficient
89	234	190	1,23	sufficient
90	234	190	1,23	sufficient
91	234	190	1,23	sufficient
92	234	190	1,23	sufficient
93	234	190	1,23	sufficient
94	234	190	1,23	sufficient
95	234	190	1,23	sufficient
96	234	190	1,23	sufficient
97	234	190	1,23	sufficient
98	234	190	1,23	sufficient
99	234	190	1,23	sufficient
100	234	190	1,23	sufficient
101	234	190	1,23	sufficient
102	234	190	1,23	sufficient
103	234	190	1,23	sufficient
104	234	190	1,23	sufficient
105	234	190	1,23	sufficient
106	234	190	1,23	sufficient
107	234	190	1,23	sufficient
108	234	190	1,23	sufficient
109	234	190	1,23	sufficient
110	234	190	1,23	sufficient
111	234	190	1,23	sufficient
112	234	190	1,23	sufficient
113	234	190	1,23	sufficient
114	234	190	1,23	sufficient
115	234	190	1,23	sufficient
116	234	190	1,23	sufficient
117	234	190	1,23	sufficient
118	234	190	1,23	sufficient
119	234	190	1,23	sufficient
120	234	190	1,23	sufficient
121	234	190	1,23	sufficient
122	234	190	1,23	sufficient
123	234	190	1,23	sufficient
124	234	190	1,23	sufficient
125	234	190	1,23	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
126	234	190	1,23	sufficient
127	234	190	1,23	sufficient
128	234	190	1,23	sufficient
129	234	190	1,23	sufficient
130	234	190	1,23	sufficient
131	234	190	1,23	sufficient
132	234	190	1,23	sufficient
133	234	190	1,23	sufficient
134	234	190	1,23	sufficient
135	234	190	1,23	sufficient
136	234	190	1,23	sufficient
137	234	190	1,23	sufficient
138	234	190	1,23	sufficient
139	234	190	1,23	sufficient
140	234	190	1,23	sufficient
141	234	190	1,23	sufficient
142	234	190	1,23	sufficient
143	234	190	1,23	sufficient
144	234	190	1,23	sufficient
145	234	190	1,23	sufficient
146	233	189	1,23	sufficient
147	231	187	1,23	sufficient
148	228	184	1,24	sufficient
149	223	181	1,24	sufficient
150	218	176	1,24	sufficient
151	211	170	1,24	sufficient
152	203	163	1,25	sufficient
153	194	155	1,25	sufficient
154	184	146	1,26	sufficient
155	172	136	1,27	sufficient
156	159	125	1,28	sufficient
157	145	112	1,29	sufficient
158	130	99	1,31	sufficient
159	114	86	1,33	sufficient
160	99	72	1,37	sufficient
161	83	59	1,42	sufficient
162	68	45	1,50	sufficient
163	53	32	1,64	sufficient
164	37	19	1,99	sufficient

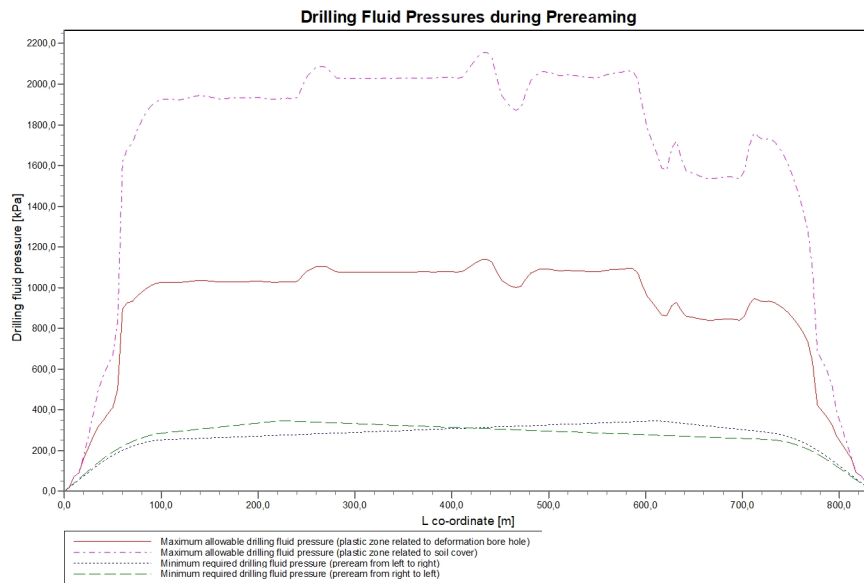
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

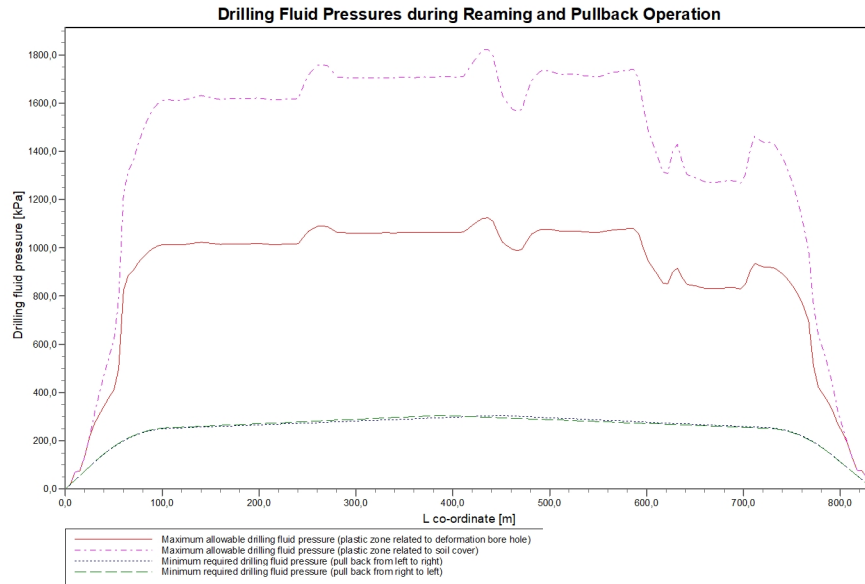
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



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	36	23	17	23	0	149
2	37	24	17	24	0	299
3	179	35	26	35	0	553
4	288	50	15	20	0	791
5	400	72	15	20	0	1139
6	505	94	15	20	0	1484
7	618	103	14	19	0	2755
8	653	110	13	18	0	2942
9	710	121	13	17	0	3244
10	765	133	13	17	0	3545
11	1915	175	13	17	0	8198
12	2285	216	13	17	0	10122
13	2265	213	13	17	0	10015
14	2239	210	13	17	0	9873
15	2289	216	13	17	0	10136
16	2329	220	13	17	0	10349
17	2371	225	13	17	0	10568
18	2402	229	13	17	0	10735
19	2424	231	13	17	0	10852
20	2436	233	13	17	0	10917
21	2437	233	13	17	0	10922
22	2435	233	13	17	0	10914
23	2434	232	13	17	0	10909
24	2434	232	13	17	0	10906
25	2441	233	13	17	0	10945
26	2448	234	13	17	0	10984
27	2457	235	13	17	0	11031
28	2464	236	13	17	0	11071
29	2458	235	13	17	0	11035
30	2451	234	13	17	0	11000
31	2444	234	13	17	0	10963
32	2438	233	13	17	0	10930
33	2441	233	13	17	0	10947
34	2444	234	13	17	0	10962
35	2444	234	13	17	0	10962
36	2444	234	13	17	0	10963
37	2445	234	13	17	0	10965
38	2445	234	13	17	0	10969
39	2448	234	13	17	0	10982
40	2449	234	13	17	0	10991
41	2443	233	13	17	0	10958
42	2438	233	13	17	0	10928
43	2437	233	13	17	0	10923

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	2437	233	13	17	0	10921
45	2441	233	13	17	0	10943
46	2444	234	13	17	0	10960
47	2441	233	13	17	0	10944
48	2448	234	13	17	0	10985
49	2523	243	13	17	0	11393
50	2592	251	13	17	0	11770
51	2627	255	13	17	0	11958
52	2656	258	13	17	0	12119
53	2657	258	13	17	0	12123
54	2651	258	13	17	0	12094
55	2613	253	13	17	0	11880
56	2579	249	13	17	0	11699
57	2578	249	13	17	0	11689
58	2576	249	13	17	0	11680
59	2575	249	13	17	0	11673
60	2574	249	13	17	0	11667
61	2575	249	13	17	0	11673
62	2575	249	13	17	0	11677
63	2574	249	13	17	0	11670
64	2574	249	13	17	0	11667
65	2576	249	13	17	0	11679
66	2577	249	13	17	0	11687
67	2576	249	13	17	0	11681
68	2576	249	13	17	0	11678
69	2577	249	13	17	0	11688
70	2579	249	13	17	0	11695
71	2578	249	13	17	0	11689
72	2577	249	13	17	0	11686
73	2579	249	13	17	0	11699
74	2581	249	13	17	0	11707
75	2579	249	13	17	0	11698
76	2579	249	13	17	0	11695
77	2582	250	13	17	0	11712
78	2584	250	13	17	0	11725
79	2583	250	13	17	0	11718
80	2581	250	13	17	0	11709
81	2578	249	13	17	0	11690
82	2586	250	13	17	0	11733
83	2631	255	13	17	0	11981
84	2675	261	13	17	0	12227
85	2719	266	13	17	0	12466
86	2752	270	13	17	0	12649
87	2753	270	13	17	0	12654
88	2719	266	13	17	0	12469
89	2580	249	13	17	0	11701
90	2463	236	13	17	0	11063
91	2417	230	13	17	0	10814
92	2379	226	13	17	0	10609
93	2363	224	13	17	0	10526
94	2378	226	13	17	0	10606
95	2478	237	13	17	0	11144
96	2560	247	13	17	0	11590
97	2595	251	13	17	0	11781
98	2620	254	13	17	0	11920
99	2619	254	13	17	0	11918
100	2616	254	13	17	0	11898
101	2604	252	13	17	0	11833
102	2596	251	13	17	0	11790
103	2598	252	13	17	0	11801
104	2599	252	13	17	0	11805
105	2596	251	13	17	0	11788
106	2592	251	13	17	0	11769
107	2588	250	13	17	0	11744
108	2584	250	13	17	0	11722

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]
109	2581	249	13	17	0	11706
110	2583	250	13	17	0	11716
111	2595	251	13	17	0	11783
112	2605	252	13	17	0	11838
113	2610	253	13	17	0	11866
114	2615	253	13	17	0	11894
115	2621	254	13	17	0	11925
116	2625	255	13	17	0	11949
117	2627	255	13	17	0	11960
118	2569	248	13	17	0	11643
119	2388	227	13	17	0	10660
120	2238	210	13	17	0	9857
121	2153	200	13	17	0	9412
122	2067	191	13	17	0	8959
123	1977	181	13	17	0	8492
124	1966	180	13	17	0	8438
125	2106	195	13	17	0	9165
126	2155	201	13	17	0	9421
127	2039	188	13	17	0	8812
128	1959	179	13	17	0	8402
129	1949	178	13	17	0	8350
130	1937	176	13	17	0	8288
131	1922	175	13	17	0	8209
132	1911	174	13	17	0	8154
133	1908	173	13	17	0	8141
134	1909	173	13	17	0	8145
135	1915	174	13	17	0	8176
136	1920	174	13	17	0	8198
137	1921	175	13	17	0	8205
138	1917	174	13	17	0	8184
139	1904	173	13	17	0	8118
140	1961	179	13	17	0	8410
141	2125	197	13	17	0	9263
142	2211	207	13	17	0	9715
143	2181	203	13	17	0	9556
144	2164	202	13	17	0	9469
145	2168	202	13	17	0	9486
146	2156	201	13	17	0	9426
147	2124	197	13	17	0	9261
148	2083	193	13	17	0	9045
149	2031	187	13	17	0	8778
150	1970	180	13	17	0	8466
151	1900	173	13	17	0	8110
152	1825	165	13	17	0	7732
153	1747	156	13	17	0	7344
154	1655	147	13	17	0	6893
155	783	137	13	17	0	5222
156	734	126	13	17	0	3377
157	679	115	13	18	0	3077
158	619	103	13	18	0	2757
159	557	91	14	19	0	2437
160	426	78	14	19	0	1223
161	360	64	15	20	0	1011
162	289	51	16	21	0	798
163	191	37	19	26	0	582
164	40	26	19	26	0	407

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	71	3391	2145	2373	0,05	7,5
2	37	13646	135	9552	0,05	7,5
3	204	18191	10008	12734	0,05	7,5
4	288	21306	17365	14915	0,05	7,5
5	400	25266	21934	17686	0,05	7,5
6	505	29789	25778	20852	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]
7	618	31649	27880	22155	0,05	7,5
8	653	32707	30073	22895	0,05	7,5
9	710	34370	31849	24059	0,05	7,5
10	765	132964	33534	93075	0,05	7,5
11	1915	245902	44376	172131	0,05	7,5
12	2285	274696	177237	192287	0,05	7,5
13	2265	273152	258843	191207	0,05	7,5
14	2239	271094	256694	189766	0,05	7,5
15	2289	274875	260641	192413	0,05	7,5
16	2329	277905	263801	194534	0,05	7,5
17	2371	281006	267032	196704	0,05	7,5
18	2402	283351	269473	198346	0,05	7,5
19	2424	284980	271169	199486	0,05	7,5
20	2436	285875	272099	200112	0,05	7,5
21	2437	285950	272177	200165	0,05	7,5
22	2435	285840	272064	200088	0,05	7,5
23	2434	285764	271984	200035	0,05	7,5
24	2434	285729	271948	200010	0,05	7,5
25	2441	286268	272509	200388	0,05	7,5
26	2448	286815	273077	200770	0,05	7,5
27	2457	287458	273745	201220	0,05	7,5
28	2464	288011	274321	201608	0,05	7,5
29	2458	287521	273811	201265	0,05	7,5
30	2451	287028	273299	200920	0,05	7,5
31	2444	286513	272764	200559	0,05	7,5
32	2438	286064	272296	200245	0,05	7,5
33	2441	286293	272534	200405	0,05	7,5
34	2444	286500	272750	200550	0,05	7,5
35	2444	286506	272756	200554	0,05	7,5
36	2444	286515	272765	200560	0,05	7,5
37	2445	286550	272802	200585	0,05	7,5
38	2445	286601	272855	200621	0,05	7,5
39	2448	286788	273050	200752	0,05	7,5
40	2449	286904	273169	200833	0,05	7,5
41	2443	286447	272695	200513	0,05	7,5
42	2438	286036	272267	200225	0,05	7,5
43	2437	285965	272193	200176	0,05	7,5
44	2437	285940	272168	200158	0,05	7,5
45	2441	286239	272478	200367	0,05	7,5
46	2444	286472	272720	200530	0,05	7,5
47	2441	286255	272495	200378	0,05	7,5
48	2448	286825	273088	200778	0,05	7,5
49	2523	292432	278914	204703	0,05	7,5
50	2592	297542	284217	208279	0,05	7,5
51	2627	300061	286829	210043	0,05	7,5
52	2656	302209	289055	211546	0,05	7,5
53	2657	302259	289108	211582	0,05	7,5
54	2651	301874	288708	211312	0,05	7,5
55	2613	299022	285752	209315	0,05	7,5
56	2579	296579	283218	207605	0,05	7,5
57	2578	296453	283088	207517	0,05	7,5
58	2576	296332	282962	207432	0,05	7,5
59	2575	296229	282856	207360	0,05	7,5
60	2574	296157	282781	207310	0,05	7,5
61	2575	296237	282864	207366	0,05	7,5
62	2575	296287	282916	207401	0,05	7,5
63	2574	296196	282821	207337	0,05	7,5
64	2574	296150	282773	207305	0,05	7,5
65	2576	296309	282939	207416	0,05	7,5
66	2577	296424	283057	207497	0,05	7,5
67	2576	296338	282969	207437	0,05	7,5
68	2576	296295	282924	207406	0,05	7,5
69	2577	296432	283066	207502	0,05	7,5
70	2579	296526	283164	207568	0,05	7,5
71	2578	296446	283081	207512	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]
72	2577	296416	283049	207491	0,05	7,5
73	2579	296581	283221	207607	0,05	7,5
74	2581	296687	283331	207681	0,05	7,5
75	2579	296568	283207	207597	0,05	7,5
76	2579	296524	283162	207567	0,05	7,5
77	2582	296763	283410	207734	0,05	7,5
78	2584	296931	283583	207851	0,05	7,5
79	2583	296839	283489	207788	0,05	7,5
80	2581	296714	283359	207700	0,05	7,5
81	2578	296469	283105	207528	0,05	7,5
82	2586	297046	283702	207932	0,05	7,5
83	2631	300370	287149	210259	0,05	7,5
84	2675	303639	290537	212547	0,05	7,5
85	2719	306795	293805	214757	0,05	7,5
86	2752	309192	296285	216435	0,05	7,5
87	2753	309259	296354	216481	0,05	7,5
88	2719	306836	293847	214785	0,05	7,5
89	2580	296605	283246	207624	0,05	7,5
90	2463	287897	274202	201528	0,05	7,5
91	2417	284451	270618	199116	0,05	7,5
92	2379	281570	267620	197099	0,05	7,5
93	2363	280405	266406	196283	0,05	7,5
94	2378	281535	267583	197075	0,05	7,5
95	2478	289025	275375	202318	0,05	7,5
96	2560	295108	281692	206575	0,05	7,5
97	2595	297695	284376	208386	0,05	7,5
98	2620	299555	286305	209688	0,05	7,5
99	2619	299527	286275	209669	0,05	7,5
100	2616	299263	286002	209484	0,05	7,5
101	2604	298391	285098	208874	0,05	7,5
102	2596	297810	284496	208467	0,05	7,5
103	2598	297963	284654	208574	0,05	7,5
104	2599	298008	284701	208606	0,05	7,5
105	2596	297787	284471	208451	0,05	7,5
106	2592	297531	284206	208272	0,05	7,5
107	2588	297196	283859	208037	0,05	7,5
108	2584	296897	283548	207828	0,05	7,5
109	2581	296680	283323	207676	0,05	7,5
110	2583	296810	283458	207767	0,05	7,5
111	2595	297720	284402	208404	0,05	7,5
112	2605	298459	285168	208921	0,05	7,5
113	2610	298827	285550	209179	0,05	7,5
114	2615	299209	285946	209446	0,05	7,5
115	2621	299622	286374	209735	0,05	7,5
116	2625	299946	286710	209962	0,05	7,5
117	2627	300087	286857	210061	0,05	7,5
118	2569	295828	282439	207080	0,05	7,5
119	2388	282289	268367	197602	0,05	7,5
120	2238	270834	256422	189584	0,05	7,5
121	2153	264312	249602	185018	0,05	7,5
122	2067	257545	242511	180282	0,05	7,5
123	1977	250410	235014	175287	0,05	7,5
124	1966	249578	234139	174704	0,05	7,5
125	2106	260638	245753	182446	0,05	7,5
126	2155	264455	249752	185118	0,05	7,5
127	2039	255317	240172	178722	0,05	7,5
128	1959	249017	233548	174312	0,05	7,5
129	1949	248211	232700	173747	0,05	7,5
130	1937	247247	231684	173073	0,05	7,5
131	1922	246006	230377	172204	0,05	7,5
132	1911	245147	229472	171603	0,05	7,5
133	1908	244948	229262	171464	0,05	7,5
134	1909	245007	229324	171505	0,05	7,5
135	1915	245498	229841	171848	0,05	7,5
136	1920	245844	230207	172091	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]
137	1921	245957	230325	172170	0,05	7,5
138	1917	245623	229973	171936	0,05	7,5
139	1904	244575	228869	171203	0,05	7,5
140	1961	249150	233688	174405	0,05	7,5
141	2125	262109	247295	183476	0,05	7,5
142	2211	268768	254263	188137	0,05	7,5
143	2181	266437	251826	186506	0,05	7,5
144	2164	265154	250483	185608	0,05	7,5
145	2168	265407	250748	185785	0,05	7,5
146	2156	264527	249827	185169	0,05	7,5
147	2124	262076	247261	183453	0,05	7,5
148	2083	258846	243875	181192	0,05	7,5
149	2031	254817	239647	178372	0,05	7,5
150	1970	250027	234611	175019	0,05	7,5
151	1900	244473	228761	171131	0,05	7,5
152	1825	238478	222431	166935	0,05	7,5
153	1747	232192	187797	162535	0,05	7,5
154	1655	224695	81161	157286	0,05	7,5
155	783	185653	34097	129957	0,05	7,5
156	734	55890	32603	39123	0,05	7,5
157	679	33460	30879	23422	0,05	7,5
158	619	31659	28556	22161	0,05	7,5
159	557	29772	25228	20840	0,05	7,5
160	426	26521	22907	18564	0,05	7,5
161	360	23869	20350	16709	0,05	7,5
162	289	21385	17459	14970	0,05	7,5
163	214	18598	9910	13019	0,05	7,5
164	40	15456	97	10819	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 270 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 35 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 35 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 309259 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 618517 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	36	23	17	23	0	149
2	37	24	17	24	0	299
3	179	35	26	35	0	553
4	288	50	15	20	0	791
5	400	72	15	20	0	1139
6	505	94	15	20	0	1484
7	618	103	14	19	0	2755

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]
8	653	110	13	18	0	2942
9	710	121	13	17	0	3244
10	765	133	13	17	0	3545
11	1915	175	13	17	0	8198
12	2285	216	13	17	0	10122
13	2265	213	13	17	0	10015
14	2239	210	13	17	0	9873
15	2289	216	13	17	0	10136
16	2329	220	13	17	0	10349
17	2371	225	13	17	0	10568
18	2402	229	13	17	0	10735
19	2424	231	13	17	0	10852
20	2436	233	13	17	0	10917
21	2437	233	13	17	0	10922
22	2435	233	13	17	0	10914
23	2434	232	13	17	0	10909
24	2434	232	13	17	0	10906
25	2441	233	13	17	0	10945
26	2448	234	13	17	0	10984
27	2457	235	13	17	0	11031
28	2464	236	13	17	0	11071
29	2458	235	13	17	0	11035
30	2451	234	13	17	0	11000
31	2444	234	13	17	0	10963
32	2438	233	13	17	0	10930
33	2441	233	13	17	0	10947
34	2444	234	13	17	0	10962
35	2444	234	13	17	0	10962
36	2444	234	13	17	0	10963
37	2445	234	13	17	0	10965
38	2445	234	13	17	0	10969
39	2448	234	13	17	0	10982
40	2449	234	13	17	0	10991
41	2443	233	13	17	0	10958
42	2438	233	13	17	0	10928
43	2437	233	13	17	0	10923
44	2437	233	13	17	0	10921
45	2441	233	13	17	0	10943
46	2444	234	13	17	0	10960
47	2441	233	13	17	0	10944
48	2448	234	13	17	0	10985
49	2523	243	13	17	0	11393
50	2592	251	13	17	0	11770
51	2627	255	13	17	0	11958
52	2656	258	13	17	0	12119
53	2657	258	13	17	0	12123
54	2651	258	13	17	0	12094
55	2613	253	13	17	0	11880
56	2579	249	13	17	0	11699
57	2578	249	13	17	0	11689
58	2576	249	13	17	0	11680
59	2575	249	13	17	0	11673
60	2574	249	13	17	0	11667
61	2575	249	13	17	0	11673
62	2575	249	13	17	0	11677
63	2574	249	13	17	0	11670
64	2574	249	13	17	0	11667
65	2576	249	13	17	0	11679
66	2577	249	13	17	0	11687
67	2576	249	13	17	0	11681
68	2576	249	13	17	0	11678
69	2577	249	13	17	0	11688
70	2579	249	13	17	0	11695
71	2578	249	13	17	0	11689
72	2577	249	13	17	0	11686

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]
73	2579	249	13	17	0	11699
74	2581	249	13	17	0	11707
75	2579	249	13	17	0	11698
76	2579	249	13	17	0	11695
77	2582	250	13	17	0	11712
78	2584	250	13	17	0	11725
79	2583	250	13	17	0	11718
80	2581	250	13	17	0	11709
81	2578	249	13	17	0	11690
82	2586	250	13	17	0	11733
83	2631	255	13	17	0	11981
84	2675	261	13	17	0	12227
85	2719	266	13	17	0	12466
86	2752	270	13	17	0	12649
87	2753	270	13	17	0	12654
88	2719	266	13	17	0	12469
89	2580	249	13	17	0	11701
90	2463	236	13	17	0	11063
91	2417	230	13	17	0	10814
92	2379	226	13	17	0	10609
93	2363	224	13	17	0	10526
94	2378	226	13	17	0	10606
95	2478	237	13	17	0	11144
96	2560	247	13	17	0	11590
97	2595	251	13	17	0	11781
98	2620	254	13	17	0	11920
99	2619	254	13	17	0	11918
100	2616	254	13	17	0	11898
101	2604	252	13	17	0	11833
102	2596	251	13	17	0	11790
103	2598	252	13	17	0	11801
104	2599	252	13	17	0	11805
105	2596	251	13	17	0	11788
106	2592	251	13	17	0	11769
107	2588	250	13	17	0	11744
108	2584	250	13	17	0	11722
109	2581	249	13	17	0	11706
110	2583	250	13	17	0	11716
111	2595	251	13	17	0	11783
112	2605	252	13	17	0	11838
113	2610	253	13	17	0	11866
114	2615	253	13	17	0	11894
115	2621	254	13	17	0	11925
116	2625	255	13	17	0	11949
117	2627	255	13	17	0	11960
118	2569	248	13	17	0	11643
119	2388	227	13	17	0	10660
120	2238	210	13	17	0	9857
121	2153	200	13	17	0	9412
122	2067	191	13	17	0	8959
123	1977	181	13	17	0	8492
124	1966	180	13	17	0	8438
125	2106	195	13	17	0	9165
126	2155	201	13	17	0	9421
127	2039	188	13	17	0	8812
128	1959	179	13	17	0	8402
129	1949	178	13	17	0	8350
130	1937	176	13	17	0	8288
131	1922	175	13	17	0	8209
132	1911	174	13	17	0	8154
133	1908	173	13	17	0	8141
134	1909	173	13	17	0	8145
135	1915	174	13	17	0	8176
136	1920	174	13	17	0	8198
137	1921	175	13	17	0	8205

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]
138	1917	174	13	17	0	8184
139	1904	173	13	17	0	8118
140	1961	179	13	17	0	8410
141	2125	197	13	17	0	9263
142	2211	207	13	17	0	9715
143	2181	203	13	17	0	9556
144	2164	202	13	17	0	9469
145	2168	202	13	17	0	9486
146	2156	201	13	17	0	9426
147	2124	197	13	17	0	9261
148	2083	193	13	17	0	9045
149	2031	187	13	17	0	8778
150	1970	180	13	17	0	8466
151	1900	173	13	17	0	8110
152	1825	165	13	17	0	7732
153	1747	156	13	17	0	7344
154	1655	147	13	17	0	6893
155	783	137	13	17	0	5222
156	734	126	13	17	0	3377
157	679	115	13	18	0	3077
158	619	103	13	18	0	2757
159	557	91	14	19	0	2437
160	426	78	14	19	0	1223
161	360	64	15	20	0	1011
162	289	51	16	21	0	798
163	191	37	19	26	0	582
164	40	26	19	26	0	407

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	71	3391	2145	2373	0,05	7,5
2	37	13646	135	9552	0,05	7,5
3	204	18191	10008	12734	0,05	7,5
4	288	21306	17365	14915	0,05	7,5
5	400	25266	21934	17686	0,05	7,5
6	505	29789	25778	20852	0,05	7,5
7	618	31649	27880	22155	0,05	7,5
8	653	32707	30073	22895	0,05	7,5
9	710	34370	31849	24059	0,05	7,5
10	765	132964	33534	93075	0,05	7,5
11	1915	245902	44376	172131	0,05	7,5
12	2285	274696	177237	192287	0,05	7,5
13	2265	273152	258843	191207	0,05	7,5
14	2239	271094	256694	189766	0,05	7,5
15	2289	274875	260641	192413	0,05	7,5
16	2329	277905	263801	194534	0,05	7,5
17	2371	281006	267032	196704	0,05	7,5
18	2402	283351	269473	198346	0,05	7,5
19	2424	284980	271169	199486	0,05	7,5
20	2436	285875	272099	200112	0,05	7,5
21	2437	285950	272177	200165	0,05	7,5
22	2435	285840	272064	200088	0,05	7,5
23	2434	285764	271984	200035	0,05	7,5
24	2434	285729	271948	200010	0,05	7,5
25	2441	286268	272509	200388	0,05	7,5
26	2448	286815	273077	200770	0,05	7,5
27	2457	287458	273745	201220	0,05	7,5
28	2464	288011	274321	201608	0,05	7,5
29	2458	287521	273811	201265	0,05	7,5
30	2451	287028	273299	200920	0,05	7,5
31	2444	286513	272764	200559	0,05	7,5
32	2438	286064	272296	200245	0,05	7,5
33	2441	286293	272534	200405	0,05	7,5
34	2444	286500	272750	200550	0,05	7,5
35	2444	286506	272756	200554	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]
36	2444	286515	272765	200560	0,05	7,5
37	2445	286550	272802	200585	0,05	7,5
38	2445	286601	272855	200621	0,05	7,5
39	2448	286788	273050	200752	0,05	7,5
40	2449	286904	273169	200833	0,05	7,5
41	2443	286447	272695	200513	0,05	7,5
42	2438	286036	272267	200225	0,05	7,5
43	2437	285965	272193	200176	0,05	7,5
44	2437	285940	272168	200158	0,05	7,5
45	2441	286239	272478	200367	0,05	7,5
46	2444	286472	272720	200530	0,05	7,5
47	2441	286255	272495	200378	0,05	7,5
48	2448	286825	273088	200778	0,05	7,5
49	2523	292432	278914	204703	0,05	7,5
50	2592	297542	284217	208279	0,05	7,5
51	2627	300061	286829	210043	0,05	7,5
52	2656	302209	289055	211546	0,05	7,5
53	2657	302259	289108	211582	0,05	7,5
54	2651	301874	288708	211312	0,05	7,5
55	2613	299022	285752	209315	0,05	7,5
56	2579	296579	283218	207605	0,05	7,5
57	2578	296453	283088	207517	0,05	7,5
58	2576	296332	282962	207432	0,05	7,5
59	2575	296229	282856	207360	0,05	7,5
60	2574	296157	282781	207310	0,05	7,5
61	2575	296237	282864	207366	0,05	7,5
62	2575	296287	282916	207401	0,05	7,5
63	2574	296196	282821	207337	0,05	7,5
64	2574	296150	282773	207305	0,05	7,5
65	2576	296309	282939	207416	0,05	7,5
66	2577	296424	283057	207497	0,05	7,5
67	2576	296338	282969	207437	0,05	7,5
68	2576	296295	282924	207406	0,05	7,5
69	2577	296432	283066	207502	0,05	7,5
70	2579	296526	283164	207568	0,05	7,5
71	2578	296446	283081	207512	0,05	7,5
72	2577	296416	283049	207491	0,05	7,5
73	2579	296581	283221	207607	0,05	7,5
74	2581	296687	283331	207681	0,05	7,5
75	2579	296568	283207	207597	0,05	7,5
76	2579	296524	283162	207567	0,05	7,5
77	2582	296763	283410	207734	0,05	7,5
78	2584	296931	283583	207851	0,05	7,5
79	2583	296839	283489	207788	0,05	7,5
80	2581	296714	283359	207700	0,05	7,5
81	2578	296469	283105	207528	0,05	7,5
82	2586	297046	283702	207932	0,05	7,5
83	2631	300370	287149	210259	0,05	7,5
84	2675	303639	290537	212547	0,05	7,5
85	2719	306795	293805	214757	0,05	7,5
86	2752	309192	296285	216435	0,05	7,5
87	2753	309259	296354	216481	0,05	7,5
88	2719	306836	293847	214785	0,05	7,5
89	2580	296605	283246	207624	0,05	7,5
90	2463	287897	274202	201528	0,05	7,5
91	2417	284451	270618	199116	0,05	7,5
92	2379	281570	267620	197099	0,05	7,5
93	2363	280405	266406	196283	0,05	7,5
94	2378	281535	267583	197075	0,05	7,5
95	2478	289025	275375	202318	0,05	7,5
96	2560	295108	281692	206575	0,05	7,5
97	2595	297695	284376	208386	0,05	7,5
98	2620	299555	286305	209688	0,05	7,5
99	2619	299527	286275	209669	0,05	7,5
100	2616	299263	286002	209484	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]
101	2604	298391	285098	208874	0,05	7,5
102	2596	297810	284496	208467	0,05	7,5
103	2598	297963	284654	208574	0,05	7,5
104	2599	298008	284701	208606	0,05	7,5
105	2596	297787	284471	208451	0,05	7,5
106	2592	297531	284206	208272	0,05	7,5
107	2588	297196	283859	208037	0,05	7,5
108	2584	296897	283548	207828	0,05	7,5
109	2581	296680	283323	207676	0,05	7,5
110	2583	296810	283458	207767	0,05	7,5
111	2595	297720	284402	208404	0,05	7,5
112	2605	298459	285168	208921	0,05	7,5
113	2610	298827	285550	209179	0,05	7,5
114	2615	299209	285946	209446	0,05	7,5
115	2621	299622	286374	209735	0,05	7,5
116	2625	299946	286710	209962	0,05	7,5
117	2627	300087	286857	210061	0,05	7,5
118	2569	295828	282439	207080	0,05	7,5
119	2388	282289	268367	197602	0,05	7,5
120	2238	270834	256422	189584	0,05	7,5
121	2153	264312	249602	185018	0,05	7,5
122	2067	257545	242511	180282	0,05	7,5
123	1977	250410	235014	175287	0,05	7,5
124	1966	249578	234139	174704	0,05	7,5
125	2106	260638	245753	182446	0,05	7,5
126	2155	264455	249752	185118	0,05	7,5
127	2039	255317	240172	178722	0,05	7,5
128	1959	249017	233548	174312	0,05	7,5
129	1949	248211	232700	173747	0,05	7,5
130	1937	247247	231684	173073	0,05	7,5
131	1922	246006	230377	172204	0,05	7,5
132	1911	245147	229472	171603	0,05	7,5
133	1908	244948	229262	171464	0,05	7,5
134	1909	245007	229324	171505	0,05	7,5
135	1915	245498	229841	171848	0,05	7,5
136	1920	245844	230207	172091	0,05	7,5
137	1921	245957	230325	172170	0,05	7,5
138	1917	245623	229973	171936	0,05	7,5
139	1904	244575	228869	171203	0,05	7,5
140	1961	249150	233688	174405	0,05	7,5
141	2125	262109	247295	183476	0,05	7,5
142	2211	268768	254263	188137	0,05	7,5
143	2181	266437	251826	186506	0,05	7,5
144	2164	265154	250483	185608	0,05	7,5
145	2168	265407	250748	185785	0,05	7,5
146	2156	264527	249827	185169	0,05	7,5
147	2124	262076	247261	183453	0,05	7,5
148	2083	258846	243875	181192	0,05	7,5
149	2031	254817	239647	178372	0,05	7,5
150	1970	250027	234611	175019	0,05	7,5
151	1900	244473	228761	171131	0,05	7,5
152	1825	238478	222431	166935	0,05	7,5
153	1747	232192	187797	162535	0,05	7,5
154	1655	224695	81161	157286	0,05	7,5
155	783	185653	34097	129957	0,05	7,5
156	734	55890	32603	39123	0,05	7,5
157	679	33460	30879	23422	0,05	7,5
158	619	31659	28556	22161	0,05	7,5
159	557	29772	25228	20840	0,05	7,5
160	426	26521	22907	18564	0,05	7,5
161	360	23869	20350	16709	0,05	7,5
162	289	21385	17459	14970	0,05	7,5
163	214	18598	9910	13019	0,05	7,5
164	40	15456	97	10819	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n} ;max = 270 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 35 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n} ;max = 35 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 309259 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 618517 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	36	23	17	23	0	149
2	37	24	17	24	0	299
3	179	35	26	35	0	553
4	288	50	15	20	0	791
5	400	72	15	20	0	1139
6	505	94	15	20	0	1484
7	618	103	14	19	0	2755
8	653	110	13	18	0	2942
9	710	121	13	17	0	3244
10	765	133	13	17	0	3545
11	1915	175	13	17	0	8198
12	2285	216	13	17	0	10122
13	2265	213	13	17	0	10015
14	2239	210	13	17	0	9873
15	2289	216	13	17	0	10136
16	2329	220	13	17	0	10349
17	2371	225	13	17	0	10568
18	2402	229	13	17	0	10735
19	2424	231	13	17	0	10852
20	2436	233	13	17	0	10917
21	2437	233	13	17	0	10922
22	2435	233	13	17	0	10914
23	2434	232	13	17	0	10909
24	2434	232	13	17	0	10906
25	2441	233	13	17	0	10945
26	2448	234	13	17	0	10984
27	2457	235	13	17	0	11031
28	2464	236	13	17	0	11071
29	2458	235	13	17	0	11035
30	2451	234	13	17	0	11000
31	2444	234	13	17	0	10963
32	2438	233	13	17	0	10930
33	2441	233	13	17	0	10947
34	2444	234	13	17	0	10962
35	2444	234	13	17	0	10962
36	2444	234	13	17	0	10963
37	2445	234	13	17	0	10965

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	2445	234	13	17	0	10969
39	2448	234	13	17	0	10982
40	2449	234	13	17	0	10991
41	2443	233	13	17	0	10958
42	2438	233	13	17	0	10928
43	2437	233	13	17	0	10923
44	2437	233	13	17	0	10921
45	2441	233	13	17	0	10943
46	2444	234	13	17	0	10960
47	2441	233	13	17	0	10944
48	2448	234	13	17	0	10985
49	2523	243	13	17	0	11393
50	2592	251	13	17	0	11770
51	2627	255	13	17	0	11958
52	2656	258	13	17	0	12119
53	2657	258	13	17	0	12123
54	2651	258	13	17	0	12094
55	2613	253	13	17	0	11880
56	2579	249	13	17	0	11699
57	2578	249	13	17	0	11689
58	2576	249	13	17	0	11680
59	2575	249	13	17	0	11673
60	2574	249	13	17	0	11667
61	2575	249	13	17	0	11673
62	2575	249	13	17	0	11677
63	2574	249	13	17	0	11670
64	2574	249	13	17	0	11667
65	2576	249	13	17	0	11679
66	2577	249	13	17	0	11687
67	2576	249	13	17	0	11681
68	2576	249	13	17	0	11678
69	2577	249	13	17	0	11688
70	2579	249	13	17	0	11695
71	2578	249	13	17	0	11689
72	2577	249	13	17	0	11686
73	2579	249	13	17	0	11699
74	2581	249	13	17	0	11707
75	2579	249	13	17	0	11698
76	2579	249	13	17	0	11695
77	2582	250	13	17	0	11712
78	2584	250	13	17	0	11725
79	2583	250	13	17	0	11718
80	2581	250	13	17	0	11709
81	2578	249	13	17	0	11690
82	2586	250	13	17	0	11733
83	2631	255	13	17	0	11981
84	2675	261	13	17	0	12227
85	2719	266	13	17	0	12466
86	2752	270	13	17	0	12649
87	2753	270	13	17	0	12654
88	2719	266	13	17	0	12469
89	2580	249	13	17	0	11701
90	2463	236	13	17	0	11063
91	2417	230	13	17	0	10814
92	2379	226	13	17	0	10609
93	2363	224	13	17	0	10526
94	2378	226	13	17	0	10606
95	2478	237	13	17	0	11144
96	2560	247	13	17	0	11590
97	2595	251	13	17	0	11781
98	2620	254	13	17	0	11920
99	2619	254	13	17	0	11918
100	2616	254	13	17	0	11898
101	2604	252	13	17	0	11833
102	2596	251	13	17	0	11790

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]
103	2598	252	13	17	0	11801
104	2599	252	13	17	0	11805
105	2596	251	13	17	0	11788
106	2592	251	13	17	0	11769
107	2588	250	13	17	0	11744
108	2584	250	13	17	0	11722
109	2581	249	13	17	0	11706
110	2583	250	13	17	0	11716
111	2595	251	13	17	0	11783
112	2605	252	13	17	0	11838
113	2610	253	13	17	0	11866
114	2615	253	13	17	0	11894
115	2621	254	13	17	0	11925
116	2625	255	13	17	0	11949
117	2627	255	13	17	0	11960
118	2569	248	13	17	0	11643
119	2388	227	13	17	0	10660
120	2238	210	13	17	0	9857
121	2153	200	13	17	0	9412
122	2067	191	13	17	0	8959
123	1977	181	13	17	0	8492
124	1966	180	13	17	0	8438
125	2106	195	13	17	0	9165
126	2155	201	13	17	0	9421
127	2039	188	13	17	0	8812
128	1959	179	13	17	0	8402
129	1949	178	13	17	0	8350
130	1937	176	13	17	0	8288
131	1922	175	13	17	0	8209
132	1911	174	13	17	0	8154
133	1908	173	13	17	0	8141
134	1909	173	13	17	0	8145
135	1915	174	13	17	0	8176
136	1920	174	13	17	0	8198
137	1921	175	13	17	0	8205
138	1917	174	13	17	0	8184
139	1904	173	13	17	0	8118
140	1961	179	13	17	0	8410
141	2125	197	13	17	0	9263
142	2211	207	13	17	0	9715
143	2181	203	13	17	0	9556
144	2164	202	13	17	0	9469
145	2168	202	13	17	0	9486
146	2156	201	13	17	0	9426
147	2124	197	13	17	0	9261
148	2083	193	13	17	0	9045
149	2031	187	13	17	0	8778
150	1970	180	13	17	0	8466
151	1900	173	13	17	0	8110
152	1825	165	13	17	0	7732
153	1747	156	13	17	0	7344
154	1655	147	13	17	0	6893
155	783	137	13	17	0	5222
156	734	126	13	17	0	3377
157	679	115	13	18	0	3077
158	619	103	13	18	0	2757
159	557	91	14	19	0	2437
160	426	78	14	19	0	1223
161	360	64	15	20	0	1011
162	289	51	16	21	0	798
163	191	37	19	26	0	582
164	40	26	19	26	0	407

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	71	3391	2145	2373	0,05	7,5
2	37	13646	135	9552	0,05	7,5
3	204	18191	10008	12734	0,05	7,5
4	288	21306	17365	14915	0,05	7,5
5	400	25266	21934	17686	0,05	7,5
6	505	29789	25778	20852	0,05	7,5
7	618	31649	27880	22155	0,05	7,5
8	653	32707	30073	22895	0,05	7,5
9	710	34370	31849	24059	0,05	7,5
10	765	132964	33534	93075	0,05	7,5
11	1915	245902	44376	172131	0,05	7,5
12	2285	274696	177237	192287	0,05	7,5
13	2265	273152	258843	191207	0,05	7,5
14	2239	271094	256694	189766	0,05	7,5
15	2289	274875	260641	192413	0,05	7,5
16	2329	277905	263801	194534	0,05	7,5
17	2371	281006	267032	196704	0,05	7,5
18	2402	283351	269473	198346	0,05	7,5
19	2424	284980	271169	199486	0,05	7,5
20	2436	285875	272099	200112	0,05	7,5
21	2437	285950	272177	200165	0,05	7,5
22	2435	285840	272064	200088	0,05	7,5
23	2434	285764	271984	200035	0,05	7,5
24	2434	285729	271948	200010	0,05	7,5
25	2441	286268	272509	200388	0,05	7,5
26	2448	286815	273077	200770	0,05	7,5
27	2457	287458	273745	201220	0,05	7,5
28	2464	288011	274321	201608	0,05	7,5
29	2458	287521	273811	201265	0,05	7,5
30	2451	287028	273299	200920	0,05	7,5
31	2444	286513	272764	200559	0,05	7,5
32	2438	286064	272296	200245	0,05	7,5
33	2441	286293	272534	200405	0,05	7,5
34	2444	286500	272750	200550	0,05	7,5
35	2444	286506	272756	200554	0,05	7,5
36	2444	286515	272765	200560	0,05	7,5
37	2445	286550	272802	200585	0,05	7,5
38	2445	286601	272855	200621	0,05	7,5
39	2448	286788	273050	200752	0,05	7,5
40	2449	286904	273169	200833	0,05	7,5
41	2443	286447	272695	200513	0,05	7,5
42	2438	286036	272267	200225	0,05	7,5
43	2437	285965	272193	200176	0,05	7,5
44	2437	285940	272168	200158	0,05	7,5
45	2441	286239	272478	200367	0,05	7,5
46	2444	286472	272720	200530	0,05	7,5
47	2441	286255	272495	200378	0,05	7,5
48	2448	286825	273088	200778	0,05	7,5
49	2523	292432	278914	204703	0,05	7,5
50	2592	297542	284217	208279	0,05	7,5
51	2627	300061	286829	210043	0,05	7,5
52	2656	302209	289055	211546	0,05	7,5
53	2657	302259	289108	211582	0,05	7,5
54	2651	301874	288708	211312	0,05	7,5
55	2613	299022	285752	209315	0,05	7,5
56	2579	296579	283218	207605	0,05	7,5
57	2578	296453	283088	207517	0,05	7,5
58	2576	296332	282962	207432	0,05	7,5
59	2575	296229	282856	207360	0,05	7,5
60	2574	296157	282781	207310	0,05	7,5
61	2575	296237	282864	207366	0,05	7,5
62	2575	296287	282916	207401	0,05	7,5
63	2574	296196	282821	207337	0,05	7,5
64	2574	296150	282773	207305	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]
65	2576	296309	282939	207416	0,05	7,5
66	2577	296424	283057	207497	0,05	7,5
67	2576	296338	282969	207437	0,05	7,5
68	2576	296295	282924	207406	0,05	7,5
69	2577	296432	283066	207502	0,05	7,5
70	2579	296526	283164	207568	0,05	7,5
71	2578	296446	283081	207512	0,05	7,5
72	2577	296416	283049	207491	0,05	7,5
73	2579	296581	283221	207607	0,05	7,5
74	2581	296687	283331	207681	0,05	7,5
75	2579	296568	283207	207597	0,05	7,5
76	2579	296524	283162	207567	0,05	7,5
77	2582	296763	283410	207734	0,05	7,5
78	2584	296931	283583	207851	0,05	7,5
79	2583	296839	283489	207788	0,05	7,5
80	2581	296714	283359	207700	0,05	7,5
81	2578	296469	283105	207528	0,05	7,5
82	2586	297046	283702	207932	0,05	7,5
83	2631	300370	287149	210259	0,05	7,5
84	2675	303639	290537	212547	0,05	7,5
85	2719	306795	293805	214757	0,05	7,5
86	2752	309192	296285	216435	0,05	7,5
87	2753	309259	296354	216481	0,05	7,5
88	2719	306836	293847	214785	0,05	7,5
89	2580	296605	283246	207624	0,05	7,5
90	2463	287897	274202	201528	0,05	7,5
91	2417	284451	270618	199116	0,05	7,5
92	2379	281570	267620	197099	0,05	7,5
93	2363	280405	266406	196283	0,05	7,5
94	2378	281535	267583	197075	0,05	7,5
95	2478	289025	275375	202318	0,05	7,5
96	2560	295108	281692	206575	0,05	7,5
97	2595	297695	284376	208386	0,05	7,5
98	2620	299555	286305	209688	0,05	7,5
99	2619	299527	286275	209669	0,05	7,5
100	2616	299263	286002	209484	0,05	7,5
101	2604	298391	285098	208874	0,05	7,5
102	2596	297810	284496	208467	0,05	7,5
103	2598	297963	284654	208574	0,05	7,5
104	2599	298008	284701	208606	0,05	7,5
105	2596	297787	284471	208451	0,05	7,5
106	2592	297531	284206	208272	0,05	7,5
107	2588	297196	283859	208037	0,05	7,5
108	2584	296897	283548	207828	0,05	7,5
109	2581	296680	283323	207676	0,05	7,5
110	2583	296810	283458	207767	0,05	7,5
111	2595	297720	284402	208404	0,05	7,5
112	2605	298459	285168	208921	0,05	7,5
113	2610	298827	285550	209179	0,05	7,5
114	2615	299209	285946	209446	0,05	7,5
115	2621	299622	286374	209735	0,05	7,5
116	2625	299946	286710	209962	0,05	7,5
117	2627	300087	286857	210061	0,05	7,5
118	2569	295828	282439	207080	0,05	7,5
119	2388	282289	268367	197602	0,05	7,5
120	2238	270834	256422	189584	0,05	7,5
121	2153	264312	249602	185018	0,05	7,5
122	2067	257545	242511	180282	0,05	7,5
123	1977	250410	235014	175287	0,05	7,5
124	1966	249578	234139	174704	0,05	7,5
125	2106	260638	245753	182446	0,05	7,5
126	2155	264455	249752	185118	0,05	7,5
127	2039	255317	240172	178722	0,05	7,5
128	1959	249017	233548	174312	0,05	7,5
129	1949	248211	232700	173747	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]
130	1937	247247	231684	173073	0,05	7,5
131	1922	246006	230377	172204	0,05	7,5
132	1911	245147	229472	171603	0,05	7,5
133	1908	244948	229262	171464	0,05	7,5
134	1909	245007	229324	171505	0,05	7,5
135	1915	245498	229841	171848	0,05	7,5
136	1920	245844	230207	172091	0,05	7,5
137	1921	245957	230325	172170	0,05	7,5
138	1917	245623	229973	171936	0,05	7,5
139	1904	244575	228869	171203	0,05	7,5
140	1961	249150	233688	174405	0,05	7,5
141	2125	262109	247295	183476	0,05	7,5
142	2211	268768	254263	188137	0,05	7,5
143	2181	266437	251826	186506	0,05	7,5
144	2164	265154	250483	185608	0,05	7,5
145	2168	265407	250748	185785	0,05	7,5
146	2156	264527	249827	185169	0,05	7,5
147	2124	262076	247261	183453	0,05	7,5
148	2083	258846	243875	181192	0,05	7,5
149	2031	254817	239647	178372	0,05	7,5
150	1970	250027	234611	175019	0,05	7,5
151	1900	244473	228761	171131	0,05	7,5
152	1825	238478	222431	166935	0,05	7,5
153	1747	232192	187797	162535	0,05	7,5
154	1655	224695	81161	157286	0,05	7,5
155	783	185653	34097	129957	0,05	7,5
156	734	55890	32603	39123	0,05	7,5
157	679	33460	30879	23422	0,05	7,5
158	619	31659	28556	22161	0,05	7,5
159	557	29772	25228	20840	0,05	7,5
160	426	26521	22907	18564	0,05	7,5
161	360	23869	20350	16709	0,05	7,5
162	289	21385	17459	14970	0,05	7,5
163	214	18598	9910	13019	0,05	7,5
164	40	15456	97	10819	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _v ;n;max = 270 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 35 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _v ;r;n;max = 35 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 309259 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 618517 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	36	23	17	23	0	149
2	37	24	17	24	0	299
3	179	35	26	35	0	553
4	288	50	15	20	0	791
5	400	72	15	20	0	1139
6	505	94	15	20	0	1484
7	618	103	14	19	0	2755
8	653	110	13	18	0	2942
9	710	121	13	17	0	3244
10	765	133	13	17	0	3545
11	1915	175	13	17	0	8198
12	2285	216	13	17	0	10122
13	2265	213	13	17	0	10015
14	2239	210	13	17	0	9873
15	2289	216	13	17	0	10136
16	2329	220	13	17	0	10349
17	2371	225	13	17	0	10568
18	2402	229	13	17	0	10735
19	2424	231	13	17	0	10852
20	2436	233	13	17	0	10917
21	2437	233	13	17	0	10922
22	2435	233	13	17	0	10914
23	2434	232	13	17	0	10909
24	2434	232	13	17	0	10906
25	2441	233	13	17	0	10945
26	2448	234	13	17	0	10984
27	2457	235	13	17	0	11031
28	2464	236	13	17	0	11071
29	2458	235	13	17	0	11035
30	2451	234	13	17	0	11000
31	2444	234	13	17	0	10963
32	2438	233	13	17	0	10930
33	2441	233	13	17	0	10947
34	2444	234	13	17	0	10962
35	2444	234	13	17	0	10962
36	2444	234	13	17	0	10963
37	2445	234	13	17	0	10965
38	2445	234	13	17	0	10969
39	2448	234	13	17	0	10982
40	2449	234	13	17	0	10991
41	2443	233	13	17	0	10958
42	2438	233	13	17	0	10928
43	2437	233	13	17	0	10923
44	2437	233	13	17	0	10921
45	2441	233	13	17	0	10943
46	2444	234	13	17	0	10960
47	2441	233	13	17	0	10944
48	2448	234	13	17	0	10985
49	2523	243	13	17	0	11393
50	2592	251	13	17	0	11770
51	2627	255	13	17	0	11958
52	2656	258	13	17	0	12119
53	2657	258	13	17	0	12123
54	2651	258	13	17	0	12094
55	2613	253	13	17	0	11880
56	2579	249	13	17	0	11699
57	2578	249	13	17	0	11689
58	2576	249	13	17	0	11680
59	2575	249	13	17	0	11673
60	2574	249	13	17	0	11667
61	2575	249	13	17	0	11673
62	2575	249	13	17	0	11677
63	2574	249	13	17	0	11670
64	2574	249	13	17	0	11667

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]
65	2576	249	13	17	0	11679
66	2577	249	13	17	0	11687
67	2576	249	13	17	0	11681
68	2576	249	13	17	0	11678
69	2577	249	13	17	0	11688
70	2579	249	13	17	0	11695
71	2578	249	13	17	0	11689
72	2577	249	13	17	0	11686
73	2579	249	13	17	0	11699
74	2581	249	13	17	0	11707
75	2579	249	13	17	0	11698
76	2579	249	13	17	0	11695
77	2582	250	13	17	0	11712
78	2584	250	13	17	0	11725
79	2583	250	13	17	0	11718
80	2581	250	13	17	0	11709
81	2578	249	13	17	0	11690
82	2586	250	13	17	0	11733
83	2631	255	13	17	0	11981
84	2675	261	13	17	0	12227
85	2719	266	13	17	0	12466
86	2752	270	13	17	0	12649
87	2753	270	13	17	0	12654
88	2719	266	13	17	0	12469
89	2580	249	13	17	0	11701
90	2463	236	13	17	0	11063
91	2417	230	13	17	0	10814
92	2379	226	13	17	0	10609
93	2363	224	13	17	0	10526
94	2378	226	13	17	0	10606
95	2478	237	13	17	0	11144
96	2560	247	13	17	0	11590
97	2595	251	13	17	0	11781
98	2620	254	13	17	0	11920
99	2619	254	13	17	0	11918
100	2616	254	13	17	0	11898
101	2604	252	13	17	0	11833
102	2596	251	13	17	0	11790
103	2598	252	13	17	0	11801
104	2599	252	13	17	0	11805
105	2596	251	13	17	0	11788
106	2592	251	13	17	0	11769
107	2588	250	13	17	0	11744
108	2584	250	13	17	0	11722
109	2581	249	13	17	0	11706
110	2583	250	13	17	0	11716
111	2595	251	13	17	0	11783
112	2605	252	13	17	0	11838
113	2610	253	13	17	0	11866
114	2615	253	13	17	0	11894
115	2621	254	13	17	0	11925
116	2625	255	13	17	0	11949
117	2627	255	13	17	0	11960
118	2569	248	13	17	0	11643
119	2388	227	13	17	0	10660
120	2238	210	13	17	0	9857
121	2153	200	13	17	0	9412
122	2067	191	13	17	0	8959
123	1977	181	13	17	0	8492
124	1966	180	13	17	0	8438
125	2106	195	13	17	0	9165
126	2155	201	13	17	0	9421
127	2039	188	13	17	0	8812
128	1959	179	13	17	0	8402
129	1949	178	13	17	0	8350

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]
130	1937	176	13	17	0	8288
131	1922	175	13	17	0	8209
132	1911	174	13	17	0	8154
133	1908	173	13	17	0	8141
134	1909	173	13	17	0	8145
135	1915	174	13	17	0	8176
136	1920	174	13	17	0	8198
137	1921	175	13	17	0	8205
138	1917	174	13	17	0	8184
139	1904	173	13	17	0	8118
140	1961	179	13	17	0	8410
141	2125	197	13	17	0	9263
142	2211	207	13	17	0	9715
143	2181	203	13	17	0	9556
144	2164	202	13	17	0	9469
145	2168	202	13	17	0	9486
146	2156	201	13	17	0	9426
147	2124	197	13	17	0	9261
148	2083	193	13	17	0	9045
149	2031	187	13	17	0	8778
150	1970	180	13	17	0	8466
151	1900	173	13	17	0	8110
152	1825	165	13	17	0	7732
153	1747	156	13	17	0	7344
154	1655	147	13	17	0	6893
155	783	137	13	17	0	5222
156	734	126	13	17	0	3377
157	679	115	13	18	0	3077
158	619	103	13	18	0	2757
159	557	91	14	19	0	2437
160	426	78	14	19	0	1223
161	360	64	15	20	0	1011
162	289	51	16	21	0	798
163	191	37	19	26	0	582
164	40	26	19	26	0	407

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	71	3391	2145	2373	0,05	7,5
2	37	13646	135	9552	0,05	7,5
3	204	18191	10008	12734	0,05	7,5
4	288	21306	17365	14915	0,05	7,5
5	400	25266	21934	17686	0,05	7,5
6	505	29789	25778	20852	0,05	7,5
7	618	31649	27880	22155	0,05	7,5
8	653	32707	30073	22895	0,05	7,5
9	710	34370	31849	24059	0,05	7,5
10	765	132964	33534	93075	0,05	7,5
11	1915	245902	44376	172131	0,05	7,5
12	2285	274696	177237	192287	0,05	7,5
13	2265	273152	258843	191207	0,05	7,5
14	2239	271094	256694	189766	0,05	7,5
15	2289	274875	260641	192413	0,05	7,5
16	2329	277905	263801	194534	0,05	7,5
17	2371	281006	267032	196704	0,05	7,5
18	2402	283351	269473	198346	0,05	7,5
19	2424	284980	271169	199486	0,05	7,5
20	2436	285875	272099	200112	0,05	7,5
21	2437	285950	272177	200165	0,05	7,5
22	2435	285840	272064	200088	0,05	7,5
23	2434	285764	271984	200035	0,05	7,5
24	2434	285729	271948	200010	0,05	7,5
25	2441	286268	272509	200388	0,05	7,5
26	2448	286815	273077	200770	0,05	7,5
27	2457	287458	273745	201220	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]
28	2464	288011	274321	201608	0,05	7,5
29	2458	287521	273811	201265	0,05	7,5
30	2451	287028	273299	200920	0,05	7,5
31	2444	286513	272764	200559	0,05	7,5
32	2438	286064	272296	200245	0,05	7,5
33	2441	286293	272534	200405	0,05	7,5
34	2444	286500	272750	200550	0,05	7,5
35	2444	286506	272756	200554	0,05	7,5
36	2444	286515	272765	200560	0,05	7,5
37	2445	286550	272802	200585	0,05	7,5
38	2445	286601	272855	200621	0,05	7,5
39	2448	286788	273050	200752	0,05	7,5
40	2449	286904	273169	200833	0,05	7,5
41	2443	286447	272695	200513	0,05	7,5
42	2438	286036	272267	200225	0,05	7,5
43	2437	285965	272193	200176	0,05	7,5
44	2437	285940	272168	200158	0,05	7,5
45	2441	286239	272478	200367	0,05	7,5
46	2444	286472	272720	200530	0,05	7,5
47	2441	286255	272495	200378	0,05	7,5
48	2448	286825	273088	200778	0,05	7,5
49	2523	292432	278914	204703	0,05	7,5
50	2592	297542	284217	208279	0,05	7,5
51	2627	300061	286829	210043	0,05	7,5
52	2656	302209	289055	211546	0,05	7,5
53	2657	302259	289108	211582	0,05	7,5
54	2651	301874	288708	211312	0,05	7,5
55	2613	299022	285752	209315	0,05	7,5
56	2579	296579	283218	207605	0,05	7,5
57	2578	296453	283088	207517	0,05	7,5
58	2576	296332	282962	207432	0,05	7,5
59	2575	296229	282856	207360	0,05	7,5
60	2574	296157	282781	207310	0,05	7,5
61	2575	296237	282864	207366	0,05	7,5
62	2575	296287	282916	207401	0,05	7,5
63	2574	296196	282821	207337	0,05	7,5
64	2574	296150	282773	207305	0,05	7,5
65	2576	296309	282939	207416	0,05	7,5
66	2577	296424	283057	207497	0,05	7,5
67	2576	296338	282969	207437	0,05	7,5
68	2576	296295	282924	207406	0,05	7,5
69	2577	296432	283066	207502	0,05	7,5
70	2579	296526	283164	207568	0,05	7,5
71	2578	296446	283081	207512	0,05	7,5
72	2577	296416	283049	207491	0,05	7,5
73	2579	296581	283221	207607	0,05	7,5
74	2581	296687	283331	207681	0,05	7,5
75	2579	296568	283207	207597	0,05	7,5
76	2579	296524	283162	207567	0,05	7,5
77	2582	296763	283410	207734	0,05	7,5
78	2584	296931	283583	207851	0,05	7,5
79	2583	296839	283489	207788	0,05	7,5
80	2581	296714	283359	207700	0,05	7,5
81	2578	296469	283105	207528	0,05	7,5
82	2586	297046	283702	207932	0,05	7,5
83	2631	300370	287149	210259	0,05	7,5
84	2675	303639	290537	212547	0,05	7,5
85	2719	306795	293805	214757	0,05	7,5
86	2752	309192	296285	216435	0,05	7,5
87	2753	309259	296354	216481	0,05	7,5
88	2719	306836	293847	214785	0,05	7,5
89	2580	296605	283246	207624	0,05	7,5
90	2463	287897	274202	201528	0,05	7,5
91	2417	284451	270618	199116	0,05	7,5
92	2379	281570	267620	197099	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]
93	2363	280405	266406	196283	0,05	7,5
94	2378	281535	267583	197075	0,05	7,5
95	2478	289025	275375	202318	0,05	7,5
96	2560	295108	281692	206575	0,05	7,5
97	2595	297695	284376	208386	0,05	7,5
98	2620	299555	286305	209688	0,05	7,5
99	2619	299527	286275	209669	0,05	7,5
100	2616	299263	286002	209484	0,05	7,5
101	2604	298391	285098	208874	0,05	7,5
102	2596	297810	284496	208467	0,05	7,5
103	2598	297963	284654	208574	0,05	7,5
104	2599	298008	284701	208606	0,05	7,5
105	2596	297787	284471	208451	0,05	7,5
106	2592	297531	284206	208272	0,05	7,5
107	2588	297196	283859	208037	0,05	7,5
108	2584	296897	283548	207828	0,05	7,5
109	2581	296680	283323	207676	0,05	7,5
110	2583	296810	283458	207767	0,05	7,5
111	2595	297720	284402	208404	0,05	7,5
112	2605	298459	285168	208921	0,05	7,5
113	2610	298827	285550	209179	0,05	7,5
114	2615	299209	285946	209446	0,05	7,5
115	2621	299622	286374	209735	0,05	7,5
116	2625	299946	286710	209962	0,05	7,5
117	2627	300087	286857	210061	0,05	7,5
118	2569	295828	282439	207080	0,05	7,5
119	2388	282289	268367	197602	0,05	7,5
120	2238	270834	256422	189584	0,05	7,5
121	2153	264312	249602	185018	0,05	7,5
122	2067	257545	242511	180282	0,05	7,5
123	1977	250410	235014	175287	0,05	7,5
124	1966	249578	234139	174704	0,05	7,5
125	2106	260638	245753	182446	0,05	7,5
126	2155	264455	249752	185118	0,05	7,5
127	2039	255317	240172	178722	0,05	7,5
128	1959	249017	233548	174312	0,05	7,5
129	1949	248211	232700	173747	0,05	7,5
130	1937	247247	231684	173073	0,05	7,5
131	1922	246006	230377	172204	0,05	7,5
132	1911	245147	229472	171603	0,05	7,5
133	1908	244948	229262	171464	0,05	7,5
134	1909	245007	229324	171505	0,05	7,5
135	1915	245498	229841	171848	0,05	7,5
136	1920	245844	230207	172091	0,05	7,5
137	1921	245957	230325	172170	0,05	7,5
138	1917	245623	229973	171936	0,05	7,5
139	1904	244575	228869	171203	0,05	7,5
140	1961	249150	233688	174405	0,05	7,5
141	2125	262109	247295	183476	0,05	7,5
142	2211	268768	254263	188137	0,05	7,5
143	2181	266437	251826	186506	0,05	7,5
144	2164	265154	250483	185608	0,05	7,5
145	2168	265407	250748	185785	0,05	7,5
146	2156	264527	249827	185169	0,05	7,5
147	2124	262076	247261	183453	0,05	7,5
148	2083	258846	243875	181192	0,05	7,5
149	2031	254817	239647	178372	0,05	7,5
150	1970	250027	234611	175019	0,05	7,5
151	1900	244473	228761	171131	0,05	7,5
152	1825	238478	222431	166935	0,05	7,5
153	1747	232192	187797	162535	0,05	7,5
154	1655	224695	81161	157286	0,05	7,5
155	783	185653	34097	129957	0,05	7,5
156	734	55890	32603	39123	0,05	7,5
157	679	33460	30879	23422	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]
158	619	31659	28556	22161	0,05	7,5
159	557	29772	25228	20840	0,05	7,5
160	426	26521	22907	18564	0,05	7,5
161	360	23869	20350	16709	0,05	7,5
162	289	21385	17459	14970	0,05	7,5
163	214	18598	9910	13019	0,05	7,5
164	40	15456	97	10819	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 270 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 35 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 35 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 309259 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 618517 kN/m ³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Zand, sterk siltig, kleig	Calculated with E100
4	Veen, slap	Calculated with E100
3	Zand, sterk siltig, kleig	Calculated with E100
2	Zand, schoon, los	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5,014 m)		Vertical 2 (L=10,028 m)		Vertical 3 (L=15,042 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,201	0,000	7,032	0,000	7,000
4	0,062	0,066	0,060	0,064	0,059	0,063
3	7,507	14,234	7,345	14,149	7,314	14,133
2	14,234	17,719	14,149	17,651	14,133	17,639
1	88,597	133,227	88,257	133,001	88,194	132,959

Layer number	Vertical 4 (L=20,056 m)		Vertical 5 (L=25,07 m)		Vertical 6 (L=30,084 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	6,981	0,000	8,013	0,000	8,900
4	0,059	0,063	0,073	0,077	0,087	0,091
3	7,296	14,124	8,289	14,661	9,149	15,164
2	14,124	17,631	14,661	18,065	15,164	18,475
1	88,156	132,934	90,323	134,381	92,376	135,770

Layer number	Vertical 7 (L=35,098 m)		Vertical 8 (L=40,112 m)		Vertical 9 (L=45,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	8,167	0,000	7,380	0,000	7,369
4	0,076	0,080	0,064	0,069	0,064	0,068
3	8,438	14,746	7,679	14,325	7,669	14,320
2	14,746	18,134	14,325	17,793	14,320	17,789
1	90,668	134,613	88,965	133,472	88,943	133,457

Layer number	Vertical 10 (L=50,14 m)		Vertical 11 (L=55,154 m)		Vertical 12 (L=60,168 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,495	0,000	11,341	0,000	14,064
4	0,066	0,070	0,128	0,131	0,180	0,184
3	7,789	14,385	11,538	16,715	14,223	18,669
2	14,385	17,841	16,715	19,767	18,669	21,445
1	89,204	133,632	98,837	140,245	107,227	146,280

Layer number	Vertical 13 (L=65,182 m)		Vertical 14 (L=70,196 m)		Vertical 15 (L=75,21 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,110	0,000	12,118	0,000	11,995
4	0,161	0,165	0,142	0,146	0,140	0,143
3	13,281	17,962	12,303	17,251	12,181	17,165
2	17,962	20,833	17,251	20,223	17,165	20,149
1	104,163	144,048	101,117	141,861	100,747	141,598

Layer number	Vertical 16 (L=80,224 m)		Vertical 17 (L=85,238 m)		Vertical 18 (L=90,252 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,875	0,000	11,875	0,000	11,875
4	0,138	0,141	0,138	0,141	0,138	0,141
3	12,063	17,081	12,063	17,081	12,063	17,081
2	17,081	20,078	17,081	20,078	17,081	20,079
1	100,392	141,346	100,392	141,346	100,393	141,346

Layer number	Vertical 19 (L=95,266 m)		Vertical 20 (L=100,28 m)		Vertical 21 (L=105,294 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,879	0,000	11,881	0,000	11,865
4	0,138	0,141	0,138	0,141	0,137	0,141
3	12,067	17,084	12,069	17,085	12,053	17,074
2	17,084	20,081	17,085	20,082	17,074	20,072
1	100,403	141,353	100,410	141,358	100,362	141,324

Layer number	Vertical 22 (L=110,308 m)		Vertical 23 (L=115,322 m)		Vertical 24 (L=120,336 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,849	0,000	11,838	0,000	11,833
4	0,137	0,141	0,137	0,140	0,137	0,140
3	12,037	17,063	12,026	17,055	12,021	17,052
2	17,063	20,063	17,055	20,056	17,052	20,053
1	100,315	141,291	100,282	141,267	100,267	141,257

Layer number	Vertical 25 (L=125,35 m)		Vertical 26 (L=130,364 m)		Vertical 27 (L=135,378 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,911	0,000	11,991	0,000	12,083
4	0,138	0,142	0,140	0,143	0,142	0,145
3	12,099	17,106	12,177	17,162	12,268	17,227
2	17,106	20,100	17,162	20,147	17,227	20,202
1	100,499	141,422	100,735	141,589	101,012	141,786

Layer number	Vertical 28 (L=140,392 m)		Vertical 29 (L=145,406 m)		Vertical 30 (L=150,42 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	12,163	0,000	12,093	0,000	12,021
4	0,143	0,146	0,142	0,145	0,140	0,144
3	12,346	17,282	12,277	17,233	12,207	17,183
2	17,282	20,250	17,233	20,208	17,183	20,165
1	101,250	141,956	101,039	141,806	100,827	141,655

Layer number	Vertical 31 (L=155,434 m)		Vertical 32 (L=160,448 m)		Vertical 33 (L=165,462 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,947	0,000	11,882	0,000	11,915
4	0,139	0,142	0,138	0,141	0,138	0,142
3	12,134	17,131	12,069	17,086	12,102	17,109
2	17,131	20,121	17,086	20,082	17,109	20,102
1	100,605	141,497	100,411	141,359	100,510	141,429

Layer number	Vertical 34 (L=170,476 m)		Vertical 35 (L=175,49 m)		Vertical 36 (L=180,504 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,945	0,000	11,946	0,000	11,947
4	0,139	0,142	0,139	0,142	0,139	0,142
3	12,132	17,130	12,133	17,130	12,134	17,131
2	17,130	20,120	17,130	20,120	17,131	20,121
1	100,599	141,493	100,602	141,495	100,606	141,497

Layer number	Vertical 37 (L=185,518 m)		Vertical 38 (L=190,532 m)		Vertical 39 (L=195,546 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,952	0,000	11,960	0,000	11,987
4	0,139	0,143	0,139	0,143	0,140	0,143
3	12,139	17,135	12,146	17,140	12,173	17,159
2	17,135	20,124	17,140	20,129	17,159	20,145
1	100,621	141,508	100,643	141,524	100,723	141,581

Layer number	Vertical 40 (L=200,56 m)		Vertical 41 (L=205,574 m)		Vertical 42 (L=210,588 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	12,004	0,000	11,937	0,000	11,877
4	0,140	0,144	0,139	0,142	0,138	0,141
3	12,190	17,171	12,124	17,125	12,065	17,083
2	17,171	20,155	17,125	20,115	17,083	20,080
1	100,773	141,616	100,576	141,477	100,399	141,350

Layer number	Vertical 43 (L=215,602 m)		Vertical 44 (L=220,616 m)		Vertical 45 (L=225,63 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,867	0,000	11,864	0,000	11,907
4	0,137	0,141	0,137	0,141	0,138	0,142
3	12,055	17,076	12,052	17,073	12,095	17,103
2	17,076	20,074	17,073	20,072	17,103	20,097
1	100,369	141,329	100,358	141,321	100,487	141,413

Layer number	Vertical 46 (L=230,644 m)		Vertical 47 (L=235,658 m)		Vertical 48 (L=240,672 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,941	0,000	11,909	0,000	11,992
4	0,139	0,142	0,138	0,142	0,140	0,143
3	12,128	17,127	12,097	17,105	12,178	17,163
2	17,127	20,117	17,105	20,099	17,163	20,148
1	100,587	141,484	100,494	141,418	100,739	141,592

Layer number	Vertical 49 (L=245,686 m)		Vertical 50 (L=250,7 m)		Vertical 51 (L=255,714 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	12,784	0,000	13,475	0,000	13,806
4	0,155	0,158	0,168	0,172	0,175	0,178
3	12,959	17,725	13,641	18,230	13,968	18,476
2	17,725	20,629	18,230	21,064	18,476	21,277
1	103,145	143,314	105,320	144,887	106,387	145,665

Layer number	Vertical 52 (L=260,728 m)		Vertical 53 (L=265,742 m)		Vertical 54 (L=270,756 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	14,084	0,000	14,090	0,000	14,041
4	0,181	0,184	0,181	0,184	0,180	0,183
3	14,243	18,684	14,249	18,689	14,200	18,652
2	18,684	21,459	18,689	21,463	18,652	21,431
1	107,294	146,328	107,315	146,344	107,153	146,225

Layer number	Vertical 55 (L=275,77 m)		Vertical 56 (L=280,784 m)		Vertical 57 (L=285,798 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,670	0,000	13,347	0,000	13,330
4	0,172	0,176	0,166	0,169	0,166	0,169
3	13,834	18,374	13,514	18,135	13,498	18,123
2	18,374	21,189	18,135	20,982	18,123	20,972
1	105,947	145,344	104,911	144,590	104,858	144,552

Layer number	Vertical 58 (L=290,812 m)		Vertical 59 (L=295,826 m)		Vertical 60 (L=300,84 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,314	0,000	13,300	0,000	13,290
4	0,165	0,169	0,165	0,168	0,165	0,168
3	13,481	18,111	13,468	18,101	13,458	18,094
2	18,111	20,961	18,101	20,953	18,094	20,946
1	104,806	144,514	104,763	144,483	104,732	144,460

Layer number	Vertical 61 (L=305,854 m)		Vertical 62 (L=310,868 m)		Vertical 63 (L=315,882 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,301	0,000	13,308	0,000	13,295
4	0,165	0,168	0,165	0,168	0,165	0,168
3	13,469	18,101	13,476	18,106	13,464	18,097
2	18,101	20,953	18,106	20,957	18,097	20,950
1	104,766	144,485	104,787	144,500	104,749	144,472

Layer number	Vertical 64 (L=320,896 m)		Vertical 65 (L=325,91 m)		Vertical 66 (L=330,924 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,289	0,000	13,310	0,000	13,326
4	0,165	0,168	0,165	0,169	0,165	0,169
3	13,457	18,093	13,478	18,109	13,494	18,120
2	18,093	20,946	18,109	20,959	18,120	20,969
1	104,729	144,458	104,797	144,507	104,845	144,543

Layer number	Vertical 67 (L=335,938 m)		Vertical 68 (L=340,952 m)		Vertical 69 (L=345,966 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,314	0,000	13,309	0,000	13,327
4	0,165	0,169	0,165	0,169	0,166	0,169
3	13,482	18,111	13,477	18,107	13,495	18,121
2	18,111	20,962	18,107	20,958	18,121	20,970
1	104,809	144,516	104,791	144,503	104,849	144,545

Layer number	Vertical 70 (L=350,98 m)		Vertical 71 (L=355,994 m)		Vertical 72 (L=361,008 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,339	0,000	13,329	0,000	13,325
4	0,166	0,169	0,166	0,169	0,165	0,169
3	13,507	18,130	13,497	18,122	13,493	18,119
2	18,130	20,978	18,122	20,971	18,119	20,968
1	104,889	144,574	104,855	144,550	104,842	144,540

Layer number	Vertical 73 (L=366,022 m)		Vertical 74 (L=371,036 m)		Vertical 75 (L=376,05 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,347	0,000	13,361	0,000	13,345
4	0,166	0,169	0,166	0,170	0,166	0,169
3	13,514	18,135	13,528	18,146	13,513	18,134
2	18,135	20,982	18,146	20,991	18,134	20,981
1	104,912	144,591	104,957	144,624	104,907	144,587

Layer number	Vertical 76 (L=381,064 m)		Vertical 77 (L=386,078 m)		Vertical 78 (L=391,092 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,339	0,000	13,371	0,000	13,393
4	0,166	0,169	0,166	0,170	0,167	0,170
3	13,507	18,130	13,538	18,153	13,560	18,170
2	18,130	20,978	18,153	20,998	18,170	21,012
1	104,888	144,574	104,990	144,647	105,061	144,699

Layer number	Vertical 79 (L=396,106 m)		Vertical 80 (L=401,12 m)		Vertical 81 (L=406,134 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,381	0,000	13,365	0,000	13,332
4	0,167	0,170	0,166	0,170	0,166	0,169
3	13,548	18,161	13,532	18,148	13,500	18,124
2	18,161	21,004	18,148	20,994	18,124	20,973
1	105,022	144,671	104,969	144,632	104,865	144,557

Layer number	Vertical 82 (L=411,148 m)		Vertical 83 (L=416,162 m)		Vertical 84 (L=421,176 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,409	0,000	13,846	0,000	14,267
4	0,167	0,170	0,176	0,179	0,185	0,188
3	13,576	18,181	14,008	18,506	14,424	18,823
2	18,181	21,022	18,506	21,304	18,823	21,579
1	105,109	144,734	106,518	145,760	107,896	146,771

Layer number	Vertical 85 (L=426,19 m)		Vertical 86 (L=431,204 m)		Vertical 87 (L=436,218 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	14,665	0,000	14,962	0,000	14,970
4	0,193	0,196	0,199	0,202	0,199	0,203
3	14,817	19,126	15,112	19,355	15,120	19,361
2	19,126	21,844	19,355	22,045	19,361	22,051
1	109,222	147,748	110,226	148,491	110,253	148,512

Layer number	Vertical 88 (L=441,232 m)		Vertical 89 (L=446,246 m)		Vertical 90 (L=451,26 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	14,670	0,000	13,350	0,000	12,147
4	0,193	0,196	0,166	0,169	0,143	0,146
3	14,822	19,130	13,518	18,138	12,330	17,271
2	19,130	21,848	18,138	20,985	17,271	20,240
1	109,239	147,761	104,923	144,599	101,201	141,921

Layer number	Vertical 91 (L=456,274 m)		Vertical 92 (L=461,288 m)		Vertical 93 (L=466,302 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,645	0,000	11,212	0,000	11,033
4	0,133	0,137	0,126	0,129	0,122	0,126
3	11,836	16,922	11,411	16,627	11,235	16,507
2	16,922	19,943	16,627	19,693	16,507	19,592
1	99,715	140,865	98,467	139,985	97,960	139,629

Layer number	Vertical 94 (L=471,316 m)		Vertical 95 (L=476,33 m)		Vertical 96 (L=481,344 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,206	0,000	12,307	0,000	13,149
4	0,125	0,129	0,146	0,149	0,162	0,165
3	11,405	16,623	12,489	17,385	13,319	17,990
2	16,623	19,690	17,385	20,337	17,990	20,857
1	98,451	139,974	101,686	142,267	104,286	144,137

Layer number	Vertical 97 (L=486,358 m)		Vertical 98 (L=491,372 m)		Vertical 99 (L=496,386 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,495	0,000	13,740	0,000	13,736
4	0,169	0,172	0,174	0,177	0,174	0,177
3	13,661	18,245	13,903	18,426	13,899	18,424
2	18,245	21,077	18,426	21,235	18,424	21,232
1	105,385	144,934	106,173	145,508	106,161	145,500

Layer number	Vertical 100 (L=501,4 m)		Vertical 101 (L=506,414 m)		Vertical 102 (L=511,428 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,702	0,000	13,587	0,000	13,510
4	0,173	0,176	0,171	0,174	0,169	0,173
3	13,865	18,398	13,752	18,313	13,676	18,256
2	18,398	21,210	18,313	21,136	18,256	21,087
1	106,050	145,418	105,680	145,149	105,434	144,970

Layer number	Vertical 103 (L=516,442 m)		Vertical 104 (L=521,456 m)		Vertical 105 (L=526,47 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,531	0,000	13,536	0,000	13,507
4	0,170	0,173	0,170	0,173	0,169	0,172
3	13,696	18,271	13,702	18,275	13,673	18,254
2	18,271	21,100	18,275	21,104	18,254	21,085
1	105,499	145,017	105,518	145,031	105,424	144,963

Layer number	Vertical 106 (L=531,484 m)		Vertical 107 (L=536,498 m)		Vertical 108 (L=541,512 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,473	0,000	13,429	0,000	13,389
4	0,168	0,172	0,168	0,171	0,167	0,170
3	13,639	18,229	13,595	18,196	13,556	18,166
2	18,229	21,063	18,196	21,035	18,166	21,009
1	105,316	144,884	105,173	144,781	105,046	144,688

Layer number	Vertical 109 (L=546,526 m)		Vertical 110 (L=551,54 m)		Vertical 111 (L=556,554 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,360	0,000	13,377	0,000	13,498
4	0,166	0,170	0,167	0,170	0,169	0,172
3	13,527	18,145	13,545	18,158	13,664	18,247
2	18,145	20,991	18,158	21,002	18,247	21,079
1	104,954	144,622	105,010	144,662	105,396	144,942

Layer number	Vertical 112 (L=561,568 m)		Vertical 113 (L=566,582 m)		Vertical 114 (L=571,596 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,596	0,000	13,644	0,000	13,695
4	0,171	0,174	0,172	0,175	0,173	0,176
3	13,760	18,319	13,808	18,355	13,858	18,393
2	18,319	21,142	18,355	21,173	18,393	21,205
1	105,709	145,170	105,865	145,284	106,027	145,402

Layer number	Vertical 115 (L=576,61 m)		Vertical 116 (L=581,624 m)		Vertical 117 (L=586,638 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,749	0,000	13,791	0,000	13,809
4	0,174	0,177	0,175	0,178	0,175	0,179
3	13,911	18,433	13,953	18,465	13,971	18,478
2	18,433	21,240	18,465	21,268	18,478	21,280
1	106,201	145,529	106,339	145,629	106,398	145,673

Layer number	Vertical 118 (L=591,652 m)		Vertical 119 (L=596,666 m)		Vertical 120 (L=601,68 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,246	0,000	11,321	0,000	9,462
4	0,164	0,167	0,127	0,131	0,096	0,100
3	13,415	18,061	11,518	16,701	9,697	15,501
2	18,061	20,918	16,701	19,756	15,501	18,753
1	104,592	144,359	98,778	140,204	93,763	136,717

Layer number	Vertical 121 (L=606,694 m)		Vertical 122 (L=611,708 m)		Vertical 123 (L=616,722 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	8,253	0,000	6,807	0,000	4,884
4	0,077	0,081	0,056	0,061	0,033	0,038
3	8,521	14,794	7,129	14,038	5,324	13,214
2	14,794	18,172	14,038	17,563	13,214	16,911
1	90,862	134,744	87,814	132,708	84,554	130,573

Layer number	Vertical 124 (L=621,736 m)		Vertical 125 (L=626,75 m)		Vertical 126 (L=631,764 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,611	0,000	7,499	0,000	8,281
4	0,030	0,035	0,066	0,070	0,077	0,081
3	5,075	13,115	7,793	14,387	8,549	14,810
2	13,115	16,834	14,387	17,842	14,810	18,185
1	84,170	130,325	89,212	133,637	90,926	134,787

Layer number	Vertical 127 (L=636,778 m)		Vertical 128 (L=641,792 m)		Vertical 129 (L=646,806 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	6,265	0,000	4,418	0,000	4,126
4	0,049	0,054	0,028	0,033	0,025	0,031
3	6,615	13,784	4,901	13,049	4,639	12,953
2	13,784	17,360	13,049	16,782	12,953	16,708
1	86,801	132,040	83,911	130,158	83,538	129,918

Layer number	Vertical 130 (L=651,82 m)		Vertical 131 (L=656,834 m)		Vertical 132 (L=661,848 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	3,748	0,000	3,198	0,000	2,755
4	0,022	0,027	0,017	0,023	0,013	0,019
3	4,306	12,837	3,838	12,688	3,477	12,583
2	12,837	16,618	12,688	16,503	12,583	16,423
1	83,092	129,631	82,515	129,263	82,115	129,007

Layer number	Vertical 133 (L=666,862 m)		Vertical 134 (L=671,876 m)		Vertical 135 (L=676,89 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	2,642	0,000	2,677	0,000	2,944
4	0,012	0,019	0,013	0,019	0,015	0,021
3	3,389	12,559	3,415	12,566	3,629	12,626
2	12,559	16,405	12,566	16,410	12,626	16,456
1	82,023	128,948	82,050	128,966	82,279	129,112

Layer number	Vertical 136 (L=681,904 m)		Vertical 137 (L=686,918 m)		Vertical 138 (L=691,932 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	3,119	0,000	3,174	0,000	3,008
4	0,016	0,022	0,017	0,022	0,015	0,021
3	3,772	12,668	3,818	12,682	3,681	12,641
2	12,668	16,488	12,682	16,498	12,641	16,467
1	82,440	129,214	82,492	129,248	82,337	129,149

Layer number	Vertical 139 (L=696,946 m)		Vertical 140 (L=701,96 m)		Vertical 141 (L=706,974 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	2,417	0,000	4,464	0,000	7,808
4	0,011	0,017	0,029	0,034	0,070	0,074
3	3,216	12,514	4,943	13,064	8,091	14,551
2	12,514	16,370	13,064	16,795	14,551	17,975
1	81,849	128,838	83,973	130,198	89,874	134,080

Layer number	Vertical 142 (L=711,988 m)		Vertical 143 (L=717,002 m)		Vertical 144 (L=722,016 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,094	0,000	8,663	0,000	8,417
4	0,090	0,094	0,083	0,087	0,079	0,083
3	9,338	15,279	8,919	15,027	8,681	14,886
2	15,279	18,570	15,027	18,362	14,886	18,248
1	92,848	136,091	91,811	135,386	91,239	134,998

Layer number	Vertical 145 (L=727,03 m)		Vertical 146 (L=732,044 m)		Vertical 147 (L=737,058 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	8,474	0,000	8,425	0,000	8,220
4	0,080	0,084	0,079	0,083	0,076	0,080
3	8,735	14,918	8,688	14,891	8,489	14,776
2	14,918	18,274	14,891	18,251	14,776	18,158
1	91,369	135,086	91,256	135,010	90,788	134,694

Layer number	Vertical 148 (L=742,072 m)		Vertical 149 (L=747,086 m)		Vertical 150 (L=752,1 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	8,014	0,000	7,807	0,000	7,615
4	0,073	0,077	0,070	0,074	0,068	0,072
3	8,290	14,662	8,090	14,550	7,905	14,448
2	14,662	18,065	14,550	17,974	14,448	17,892
1	90,325	134,382	89,871	134,078	89,458	133,801

Layer number	Vertical 151 (L=757,114 m)		Vertical 152 (L=762,128 m)		Vertical 153 (L=767,142 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,446	0,000	7,379	0,000	7,451
4	0,065	0,069	0,064	0,068	0,065	0,069
3	7,743	14,360	7,677	14,325	7,747	14,362
2	14,360	17,821	14,325	17,792	14,362	17,823
1	89,103	133,564	88,962	133,470	89,113	133,571

Layer number	Vertical 154 (L=772,156 m)		Vertical 155 (L=777,17 m)		Vertical 156 (L=782,184 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,492	0,000	7,490	0,000	7,475
4	0,066	0,070	0,066	0,070	0,066	0,070
3	7,786	14,383	7,785	14,382	7,770	14,374
2	14,383	17,840	14,382	17,839	14,374	17,832
1	89,198	133,627	89,195	133,625	89,162	133,604

Layer number	Vertical 157 (L=787,198 m)		Vertical 158 (L=792,212 m)		Vertical 159 (L=797,226 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,441	0,000	7,430	0,000	7,449
4	0,065	0,069	0,065	0,069	0,065	0,069
3	7,737	14,357	7,727	14,351	7,745	14,361
2	14,357	17,818	14,351	17,814	14,361	17,822
1	89,091	133,556	89,069	133,541	89,109	133,568

Layer number	Vertical 160 (L=802,24 m)		Vertical 161 (L=807,254 m)		Vertical 162 (L=812,268 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,457	0,000	7,450	0,000	7,424
4	0,065	0,070	0,065	0,069	0,065	0,069
3	7,753	14,365	7,746	14,361	7,722	14,348
2	14,365	17,825	14,361	17,822	14,348	17,811
1	89,124	133,578	89,110	133,569	89,057	133,534

Layer number	Vertical 163 (L=817,282 m)		Vertical 164 (L=822,296 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,376	0,000	7,365
4	0,064	0,068	0,064	0,068
3	7,675	14,323	7,664	14,317
2	14,323	17,791	14,317	17,787
1	88,957	133,467	88,933	133,451

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 = 162619 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 100%

Uplift forces	:	365	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	313	[kg/m]
Result	:	52	[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	258
T2	32	255
T3	106	270

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	728	238
T5	793	251
T6	839	247

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 = 839 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 = 35 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 309259 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,49 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,77	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0160 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 4,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,25 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,56	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,44	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,25	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)	4,77	4,87	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,25	3,25

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,7 mm (2,11% 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 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 305 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

As the pipe is completely filled during the pullback operation the external pressure is decreased with the internal pressure of 203 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1762 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 190 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

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 = 839 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 = 35 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 309259 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,49 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,77	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0160 \text{ N/mm}^2$$

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

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

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

8.2.4 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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 4,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,25 \text{ N/mm}^2$$

8.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,56	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,44	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,25	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)	4,77	4,87	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,25	3,25

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,7 mm (2,11% 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 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 305 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

As the pipe is completely filled during the pullback operation the external pressure is decreased with the internal pressure of 203 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1762 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 190 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 = 839 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 = 35 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 309259 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,49 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,77	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0160 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 4,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,25 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,56	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,44	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,25	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)	4,77	4,87	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,25	3,25

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,7 mm (2,11% 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 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 305 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

As the pipe is completely filled during the pullback operation the external pressure is decreased with the internal pressure of 203 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1762 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 190 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

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 = 839 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 = 35 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 309259 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,49 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,77	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,31 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0160 \text{ N/mm}^2$$

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

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

10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

10.2.4 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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 4,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,25 \text{ N/mm}^2$$

10.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,56	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,44	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,25	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)	4,77	4,87	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,25	3,25

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 6,7 mm (2,11% 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 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 305 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 1559 kN/m².

As the pipe is completely filled during the pullback operation the external pressure is decreased with the internal pressure of 203 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1762 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 190 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

End of Report

C.3 Kruising A17 en regionale waterkering Roosendaal

Kruising A17 en regionale waterkering Roosendaal

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en waterschap
Brabantse Delta



Verantwoording

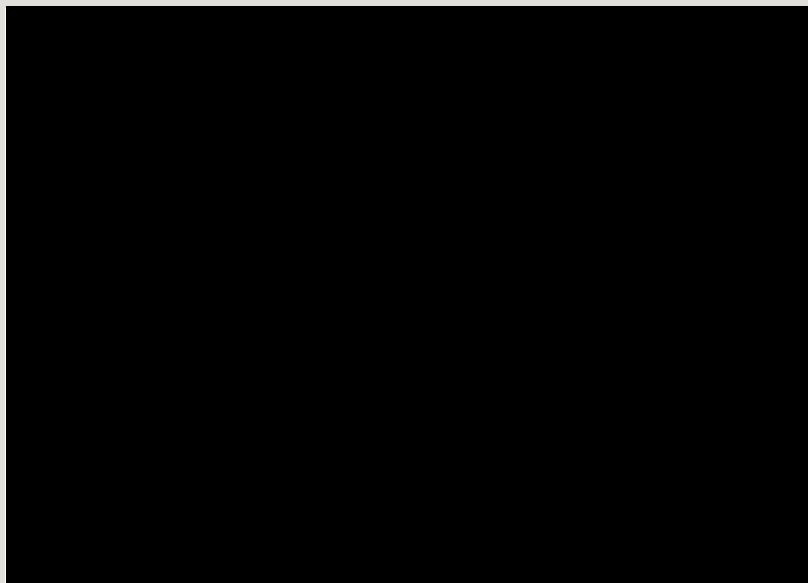
Titel: Krusing A17 en regionale waterkering Roosendaal
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22743
Versie: D1

Datum: 26-04-2022

Auteurs:
E-mailadres:

Gecontroleerd door:
Paraaf gecontroleerd:

Vrijgegeven door:
Paraaf vrijgegeven:



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
1.1	Situatie.....	4
1.2	Leeswijzer.....	5
2.	Uitgangspunten	6
2.1	Gebruikte documenten	6
2.2	Vigerende normen en richtlijnen.....	6
2.3	Minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen.....	7
2.4	Horizontale afstand tot overige objecten	7
2.5	Schuine kruising A17.....	8
2.6	Diepteligging.....	8
2.7	Inwendige overdruk	9
2.8	Grondwaterstand	9
2.9	Belasting- en ondersteuningshoek	9
2.10	Importatiefactor.....	9
2.11	Geotechnische parameters	10
2.12	Boortechnische gegevens	10
2.13	Verkeersbelasting.....	11
2.14	Boogstralen	11
3.	Ontwerp	12
3.1	Gegevens HDD	12
3.2	Boorparameters.....	14
3.3	Intredepunt	14
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook	14
4.	Berekeningsresultaten.....	16
4.1	Trekkrachtberekening.....	17
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase.....	17
4.3	Muddrukberekening.....	17
4.4	Implosie	17
4.5	Kwelweg	18
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	18
4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden.....	19
4.5.3	Kwelmaatregelen.....	19
5.	Risico's en aandachtspunten	20
6.	Conclusie	22
6.1	Algemeen	22
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening.....	22

1. Inleiding

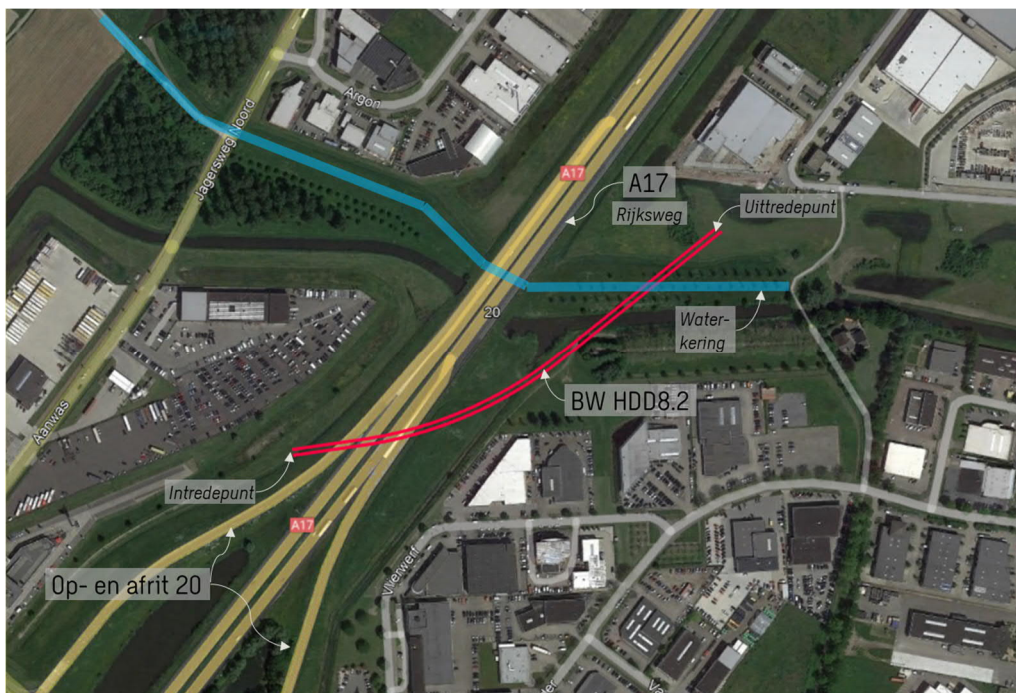
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met de snelweg A17 en de regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta nabij bedrijvenpark Borchwerf te Roosendaal. De kruising (met codering BW HDD8.3) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechneken en de keur van WBD.

1.1 Situatie

De HDD's starten ten noorden van afrit 20 van de A17 in Roosendaal (zie figuur 1). Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. In drie van de mantelbuizen wordt een hoogspanningskabel ingetrokken en 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 respectievelijk 423 m en 432 m en een maximale diepte van circa NAP -25,0 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van west naar oost: afrit 20 van Rijksweg A17, Rijksweg A17, de oprit naar de A17, tweemaal een categorie A waterloop en tenslotte een regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta. Verder kruist het tracé verschillende kabels en leidingen, waaronder twee HDD's van Enexis en een transportleiding Ø1.500 mm van WBD nabij het uittredepunt. Ook naast de in- en uittredepunten liggen diverse kabels en leidingen, waarin het ontwerp rekening mee is gehouden.



Figuur 1 Overzicht situatie BW HDD8.3

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 BW HDD8.3, tekeningnummer BW-HDD8.3 versie E, d.d. 11-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket en GIS portal van Sweco (bijlage 2);
- Grondwaterstand, opgevraagd 25-03-2022, website:
<https://embed.hydronet.com>;
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 21O082112_1 opgevraagd d.d. 13-08-2021 en KLIC-levering 21O045921 opgevraagd d.d. 04-04-'22;
- Naar aanleiding van de KLIC-levering zijn extra documenten opgevraagd bij waterschap Brabantse Delta:
 - AWP-1 Oudenbosch – Roosendaal.
- Legger waterkeringen waterschap Brabantse Delta, bekeken op 20-03-2022, website:
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fd76082880324620845b0001369d019a>;
- Algemene regels van de Keur waterschap Brabantse Delta, 2020, hoofdstuk 16. Kabels en leiding in en nabij a-wateren en b-wateren;
- As-built tekening HDD 8a en 8b TenneT, tekening nummer P00750 en P00751, opgesteld door Van Vulpen, d.d. 07-02-2014.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).

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:
 - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;
 - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter;
 - De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter;
 - 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. De eerste 10,5 m -mv bestaat uit kleiige zandlagen, maar omdat de HDD's voor circa 80% in de pleistocene zandlaag liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

2.4 Horizontale afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de horizontale afstand van de HDD's tot toekomstige mastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast gehanteerd. De funderingswijze van de toekomstige masten is onbekend en dus ook of de funderingspalen geschoord staan. Bij een afstand van 10 m is een schoring van 1:3 toelaatbaar om op niveau boorlijn een minimale afstand van 5,0 m te hebben.
 - De afstand tussen de hart boring en teen van mast 1059 bedraagt 14 m. De dagmaat afstand tussen de boring en de teen van de mast is 13,5 m. Dit voldoet aan de eisen.
- Voor de horizontale afstand van de HDD's tot het Rijksmonument de Kapelberg uit 1897 op de Deurlechtsestraat 5 in Roosendaal is horizontaal gezien een minimaal 5 meter uit de teen van de kapel aangehouden.
 - De horizontale afstand tussen de hart boring en teen van kapel bedraagt 5,5 m. De HDD's ligt hier tevens op een diepte hart boring van NAP -22 m in de vaste zandlaag.

2.5 Schuine kruising A17

In overleg met Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta wordt Rijksweg A17 en de waterkering schuin gekruist. TenneT heeft daarbij de volgende onderbouwing opgesteld:

In dit geval wordt de ondergrondse 150kV-kabelverbinding vanaf de westzijde van de A17 met twee boringen onder de A17 en een waterkering door geboord. Weliswaar is de boring niet haaks, maar de boring is (naar de omstandigheden van dit geval) zo haaks mogelijk bij zowel de A17 als bij de waterkering. De kabel aan de westzijde van de A17 door trekken tot de hoogte van mast 11 en dan daar eerst haaks onder de kering door boren en vervolgens haaks onder de A17 door boren is niet realistisch.

Ter hoogte van mast 1059 ligt er een stukje persrioleringsleiding naar het noorden toe. Deze persleiding knikt ter hoogte van mast 11 onder de A17 door. Als de 150kV-kabel aan de westzijde van de A17 wordt 'doorgetrokken', ligt deze onder / nabij deze persleiding. Vanwege de diameter van de persleiding en het risico op zettingen, is deze parallelloop niet realistisch. Daarnaast komt onder 150kV-kabel ter hoogte van mast 11 aan de westzijde uit in een wadi. Dit geeft aanvullend werkterrein in deze wadi. Ook moet dan aan de westzijde en oostzijde van de A17 een werkterrein worden ingericht voor een boring onder de A17 door. De ruimte tussen de bedrijven en de A17 (westzijde) en de A17 en mast 11 (oostzijde) is (te) beperkt.

Een tweede alternatief is ook niet realistisch. In dat tweede alternatief zou de boring opgeknipt worden in twee boringen. Eén boring haaks onder de A17 en één boring haaks onder de waterkering. De ruimte aan de westzijde van de A17 is weliswaar al beperkt. Maar omdat de boring niet 100% haaks onder de A17 door gaat, is het werkterrein (alhoewel in een niet geclassificeerde wadi) uitvoerbaar. Aan de oostzijde van de A17 krijgen we een werkterrein ten behoeve van de boring dat is ingeklemd tussen de A17, een B- en een A-watergang en de bedrijven aan de oostzijde van de A17. De ruimte hier is (te) beperkt.

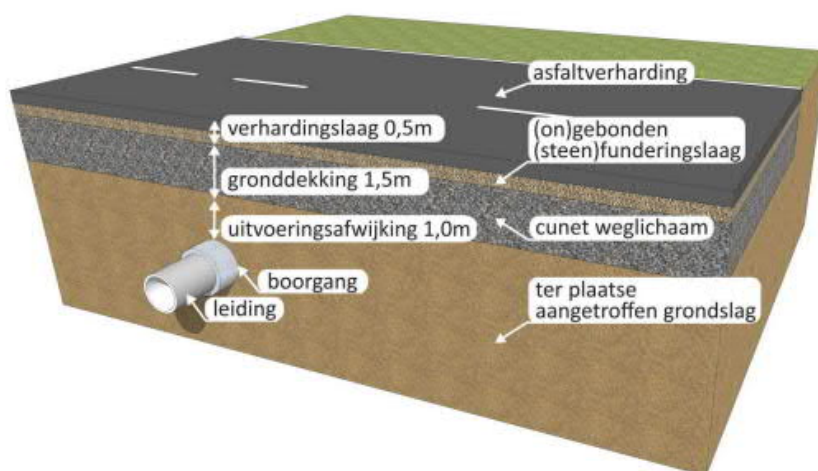
Tenslotte zou de boring onder de waterkering nabij mast 11 uitkomen bij de drukgevoelige persleiding, een andere 150kV-kabelverbinding die onder de A17 door geboord is, én een A-watergang gelegen tussen mast 11 en de A17. De beperkte ruimte maakt een uitvoering met twee haakse boringen niet realistisch.

2.6 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen de kruin van de regionale waterkering te passeren met een dekking van minimaal 10 m en de teen met een dekking van minimaal 3,0 m (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).
 - De kruinhoogte van de primaire watering in het beheer van Rijkswaterstaat is circa NAP +4,49 m. De HDD's kruisen de regionale waterkering met een minimale afstand van 24 m.
- De HDD's dienen een dagmaat van 5 meter afstand te hebben bij parallellegging tot of kruising met een bestaande HDD-boring (op basis van de Richtlijn Boortechneken, zie paragraaf 2.3)
 - Het tracé kruist drie middenspanningskabels van Enexis, uitgevoerd als HDD's. De HDD's van TenneT kruisen de HDD's van Enexis op een minimale afstand van circa 14 meter;

- Het tracé kruist een afvalwaterpersleiding Ø1.500 mm van Waterschap Brabantse Delta. De HDD's kruisen de waterleiding met een minimale afstand van 5 m.
- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van 3 meter (in cohesieve grond) tussen de bovenkant verharding en de bovenkant boorgat (verhardingslaag 0,5 m + gronddekking 1,5 m + uitvoeringsafwijking 1,0 m) (zie *figuur 2*) (Richtlijn Boortechnieken 2019, paragraaf 2.4.1)
 - De op- en afrit van Rijksweg A17 en de Rijksweg A17 liggen op een minimale afstand van 8 m ten opzichte van de HDD's. Dit voldoet aan de eisen.



Figuur 2 Schematische weergave gronddekking HDD boringen onder wegen (Richtlijn Boortechnieken, 2019)

2.7 Inwendige overdruk

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

2.8 Grondwaterstand

Uit de BRO Grondwaterspiegeldiepte 2021 van DINOloket komt een minimale grondwaterstand van 0,95 m- mv. Voor deze rapportage nemen wij daarom een gemiddelde grondwaterstand aan van 0,95 m -mv.

2.9 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

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

2.10 Importantiefactor

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

2.11 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]
B49F1150	Boring	-1	190
B49F1155	Boring	1	270

Op minder dan 0,5 km afstand van het geplande boortracé zijn alleen boringen en geen sonderingen beschikbaar. TenneT laat momenteel specifiek grondonderzoek voor de HDD's uitvoeren zodat dit beschikbaar is voor de aannemer die de HDD's realiseert. De twee beschikbare boringen geven de bovenkant van de vaste zandlaag weer op circa -8,5 m NAP van het geplande boortracé. Deze boringen laten zien dat boven deze zandlaag de grond bestaat uit zandige klei. Gezien het zeer kleine aantal boringen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe zandige klei over het gehele tracé voorkomt. 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, is de relatief slappe zandige klei over het gehele boortracé aangehouden.

Tabel 2-1 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]
1,3	8,5	Zand, sterk siltig, kleilig	18	20	0,0	25,0	0,0	15000
-8,5	-14,0	Zand, schoon, los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
-14,0	-30,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	75000

2.12 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberoeeningen 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 muddrubberekeningen in bijlage 3.

2.13 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de op- en afrit van de A17 en de A17 zelf is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020.

2.14 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 horizontale bochten van 350 en 355 m, verticale bochten van 350 en 355 m en gecombineerde bochten met een boogstraal van 203 en 204 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 tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken.

Tabel 2-2 afwijkingstoleranties HDD

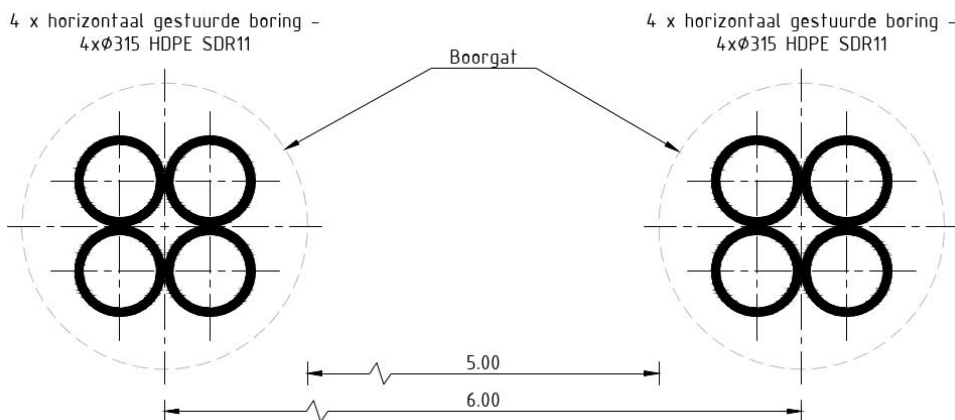
RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: 4x PE 100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 425 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -22,0 m;
- intredehoek: 18°;
- uittredehoek: 22,5°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 350 en 355 m.
- gecombineerde boogstralen: 203 en 204 m.



Figuur 3 Doorsnede van de 2 HDD's

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

- De HDD dient een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen;
- De kruising van een HDD-boring met de rijksweg dient in principe loodrecht op de lengterichting van de rijksweg uitgevoerd te worden. Deze boring is niet loodrecht en hiervoor dient toestemming te worden verkregen van Rijkswaterstaat. TenneT heeft het tracé op voorhand met Rijkswaterstaat besproken en afgestemd dat deze afwijking acceptabel is aangezien de boorlijn wel de hoofdrichting van de bestaande infrastructuur volgt;

- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase;
- De afstandseisen zoals benoemd in paragraaf 2.3, 2,4 en 2,5.

3.2 Boorparameters

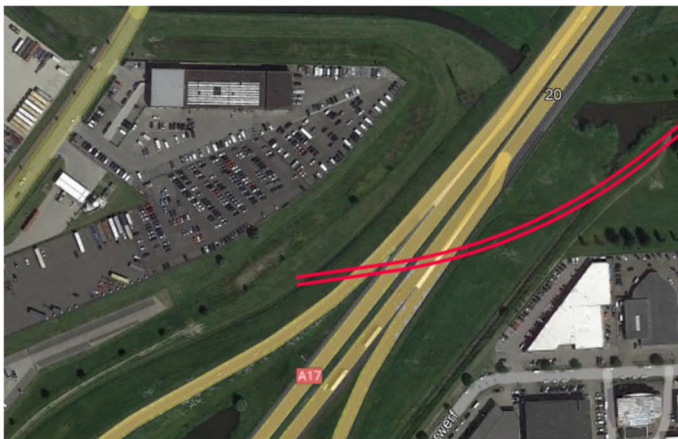
Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : maxi-rig 80 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m³;
- gewicht drillrig : circa 18.000 kg (18 ton);
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø500 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt aan zuidzijde van het tracé nabij de watergang langs de berm van de A17 (zie figuur 4). Om de boring te kunnen opstellen dient de watergang/wadi tijdelijk gedempt te worden.

Op een afstand van circa 7 m achter het intredepunt ligt een gasleiding van DOW Benelux. De boorinstallatie komt deels boven de leiding van DOW Benelux te staan. In overleg met DOW Benelux moet worden overlegd welke maatregelen nodig zijn. Het intredepunt verplaatsen voorbij de DOW-leiding is niet mogelijk omdat nog een moflocatie geplaatst moet worden tussen HDD8.2 en 8.3.



Figuur 4 Intredepunt BW HDD8.3

3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

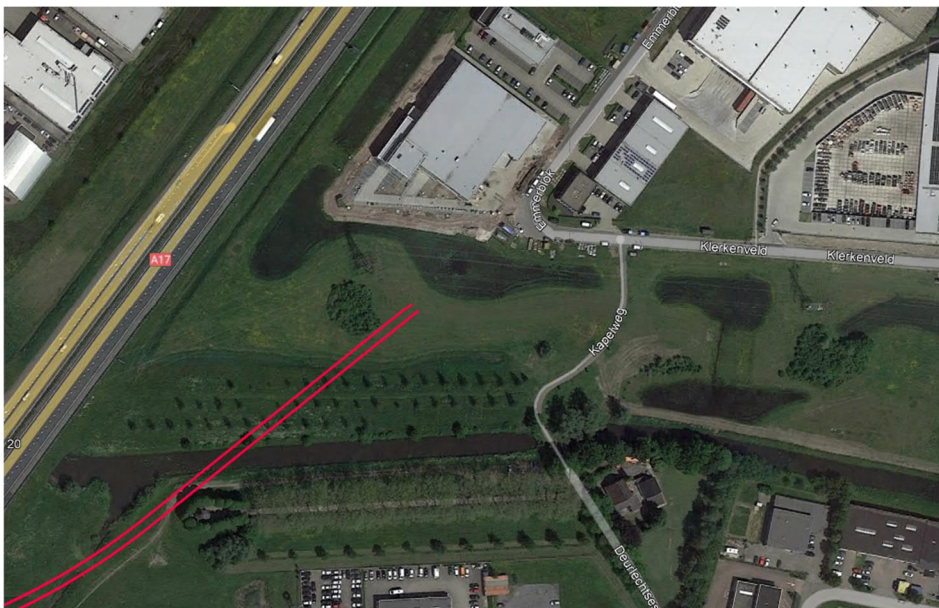
Het uittredepunt ligt aan de noordzijde van het tracé nabij hoogspanningsmast RSD-WDT-150-11 van TenneT (zie figuur 5). Hier dient rekening te worden gehouden met werken onder of nabij de hoogspanningsroute. De locatie is bereikbaar via het bedrijventerrein aan de Klerkenveld.

De HDD's hebben een uittredehoek van 22,5°, om een veilige afstand van 5,0 m te kunnen houden tot de afvalwaterpersleiding Ø1.500 mm van Waterschap Brabantse Delta. Op circa 4,6 m van het uittredepunt ligt een HDD-bundel van TenneT.

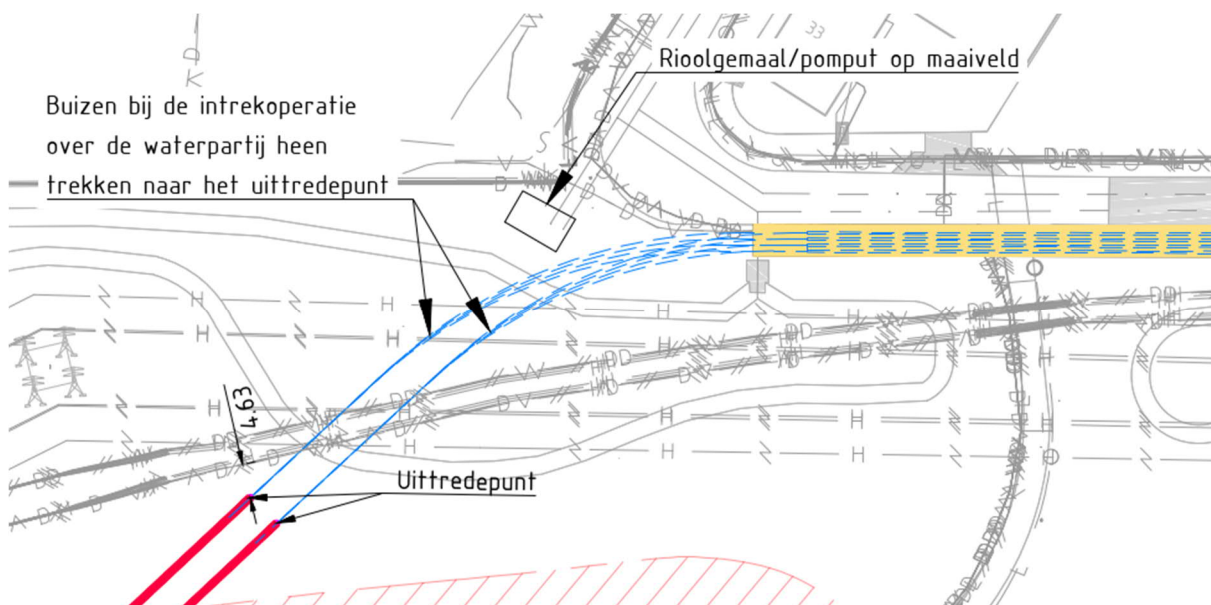
In de as-built tekening van de HDD-bundel is zichtbaar dat het intredepunt van de HDD-bundel nabij het uittredepunt van de nieuwe HDD's ligt. Hieruit maken

wij op dat de bundel hier niet diep onder de grond ligt maar circa 1-2 m onder het maaiveld.

De uitlegstrook ligt in de berm van Klerkenveld. In de berm zijn diverse bovengrondse obstakels aanwezig die gehandhaafd moeten blijven, zoals lantaarnpalen en een elektriciteitskast. Om de mantelbuizen te kunnen intrekken, dienen deze bij de intrekoperatie door de waterpartij achter het uittredepunt te worden geleid, onderdoor de mastenroute (zie figuur 6). De Kapelweg dient tijdelijk te worden afgesloten tijdens de intrekoperatie. Door ten oosten hiervan een lasopstelling te maken hoeft deze tijdens het assembleren van de mantelbuizen niet afgesloten te worden.



Figuur 5 Uittredepunt BW HDD8.3



Figuur 6 Uitlegstrook BW HDD8.3

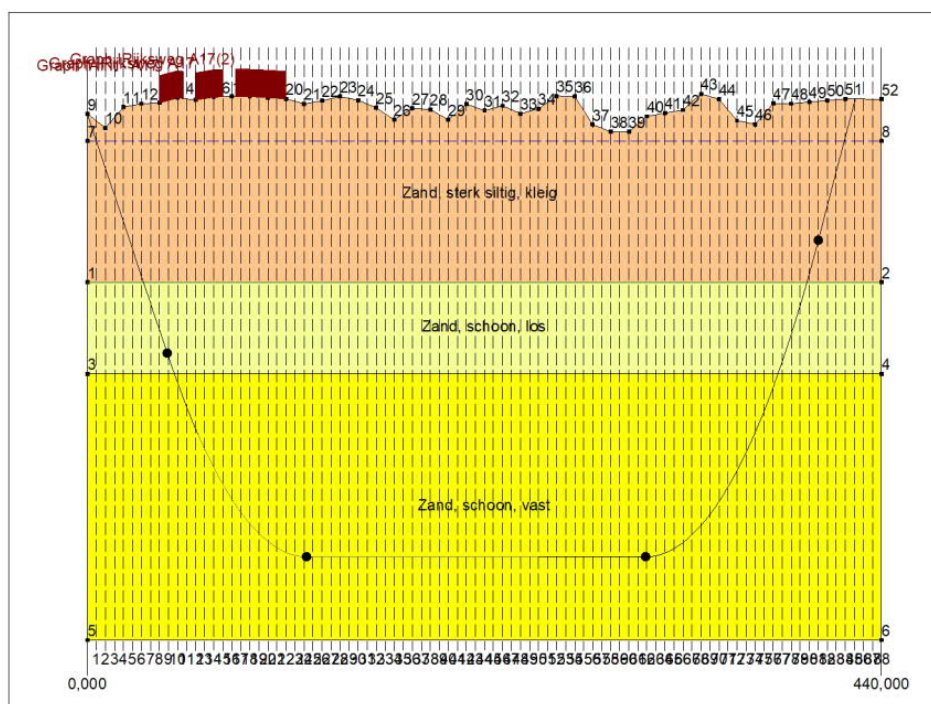
4. Berekeningsresultaten

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.

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 BW HDD8.3

4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt $336 \cdot 1,8 = 605$ kN bij niet-gevulde gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $6,54$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

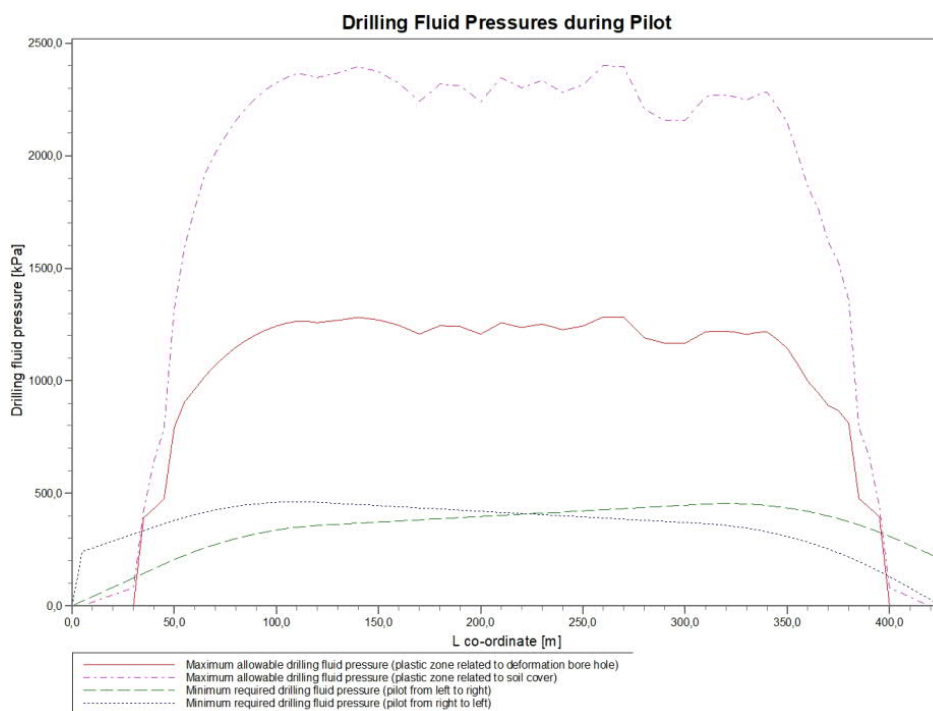
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $5,33$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $10,8$ mm ($3,59\% \times D_0$) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van $15,80$ mm (5%).

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 35 m van het tracé. Geadviseerd wordt bij nadering van het uitredpunt, 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 fase

4.4 Implosie

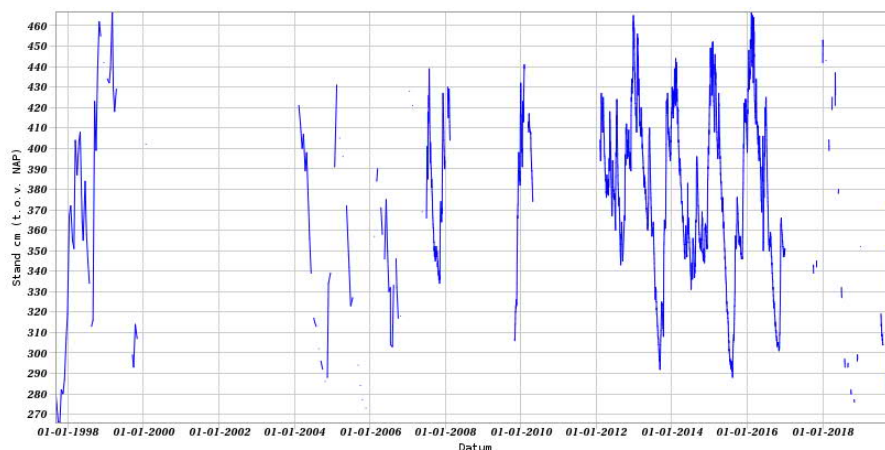
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 260 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

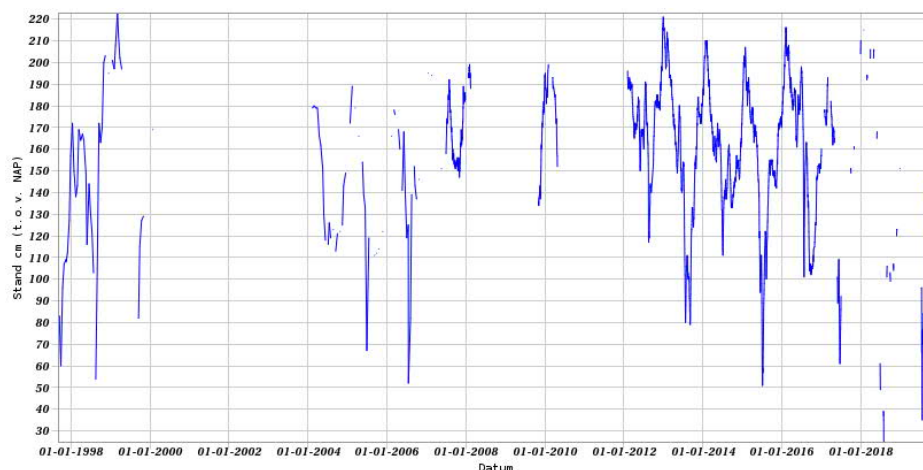
Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende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

4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

Hieronder zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B49F0434 weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 1 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B49F0434-hoger ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B49F0434-002. Hierdoor valt geen kwel uit de diepere grondlagen naar boven te verwachten.



Figuur 9 Freatische grondwaterstand B30H0125-001 uit Dinoloket, filter op NAP -0,7 m



Figuur 10 Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B30H0125-002 uit Dinoloket, filter op NAP -11,7 m

4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

Het waterschap Brabantse Delta heeft in dit gebied geen peilbesluit vastgesteld. Dit komt omdat dit gebied is gedefinieerd als 'vrij afwaterende gebieden'. In die gebieden kan het waterschap geen extra water aanvoeren, waardoor het meest optimale peil kan zakken. Een gegarandeerd waterpeil is dus in principe niet mogelijk in deze gebieden.

4.5.3 Kwelmaatregelen

De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket is op deze locatie lager dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. Op basis van deze peilbuis valt geen kwel te verwachten. Aangezien waterschap Brabantse Delta geen peilbesluit heeft vastgesteld is het niet duidelijk of kwel optreedt.

5. Risico's en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- Werken nabij hoogspanningsmasten van TenneT nabij de uitredepunten en de uitlegstrook;
- Op een afstand van circa 7 m achter het intredepunt ligt een gasleiding van DOW Benelux. De boorinstallatie komt deels boven de leiding van DOW Benelux te staan. In overleg met DOW Benelux moet worden overlegd welke maatregelen nodig zijn;
- Het boortracé ligt langs het rijksmonument De Kapelberg. Het risico bestaat dat door de HDD's zettingen optreden en het monument beschadigd raakt. Daarom dienen vooraf de eventuele zettingen in kaart gebracht te worden en met de beheerder afgestemd te worden welke beheersmaatregelen hier nodig zijn;
- Op circa 27 m voor het uitredepunt van de HDD's ligt een 1500 mm persleiding van Waterschap Brabantse Delta. De ruimte voor de uitredepunten is hier beperkt. Beheersmaatregelen zijn het organiseren van een overleg met de leidingbeheerder van het waterschap, het opvragen van de As Built tekeningen en het uitvoeren van een proefsleuf en het inmeten van de leiding voordat de HDD's worden aangebracht;
- De HDD's kruisen zowel de rijksweg en de waterkering niet loodrecht. De betreffende bevoegde gezagen dienen daarom om ontheffing gevraagd te worden;
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de noordzijde in de berm van de Klerkenveld. Hierbij dient rekening te worden gehouden met bovengrondse objecten als een gemaal, elektriciteitskast en een watergang. Om de buis te kunnen intrekken dient de Kapelweg tijdelijk afgesloten te worden en de mantelbuizen over een vijver geleid worden;
- 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 andere kabels en leidingen en het rijksmonument.

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.

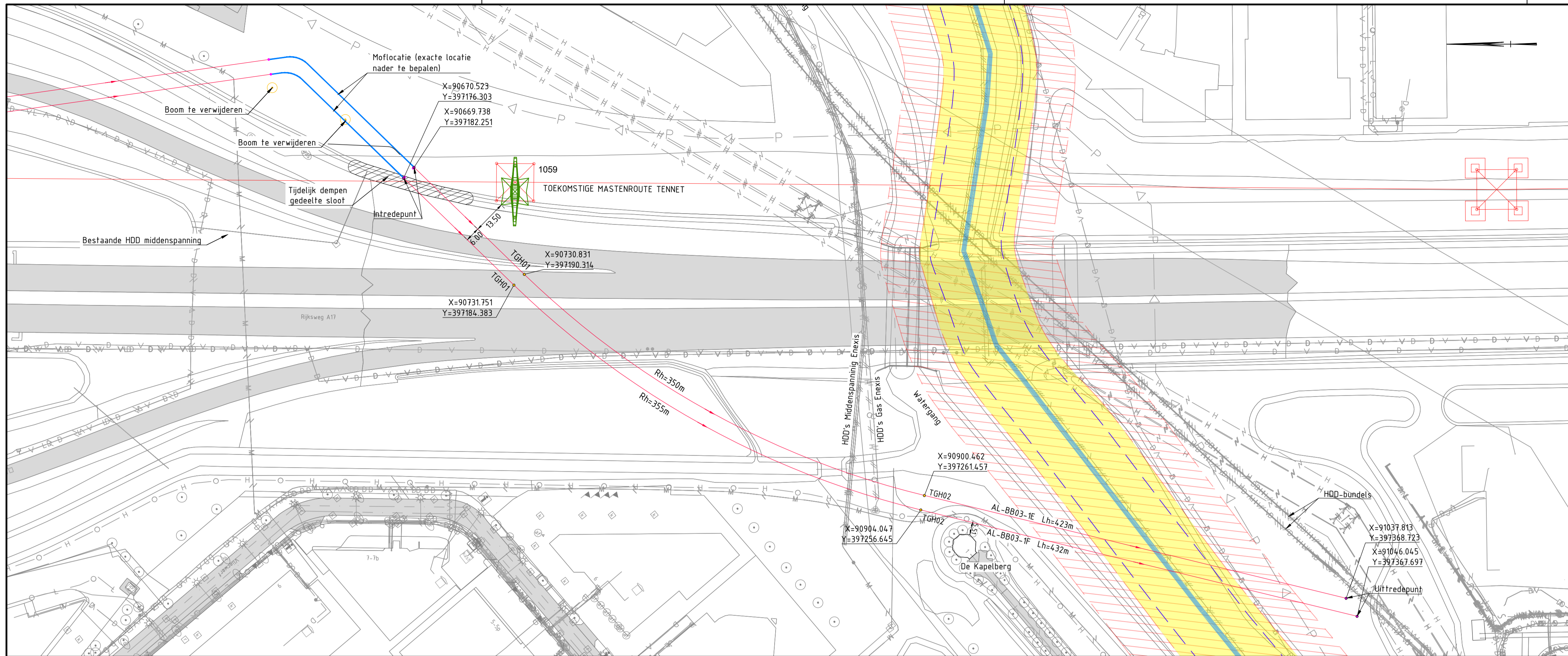
Dit rapport betreft de kruising met de snelweg A17 en de regionale waterkering in beheer bij waterschap Brabantse Delta. De kruising (met codering BW HDD8.3) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta, waarbij het ontwerp en berekeningen moeten zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken en de Keur van waterschap Brabantse Delta.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

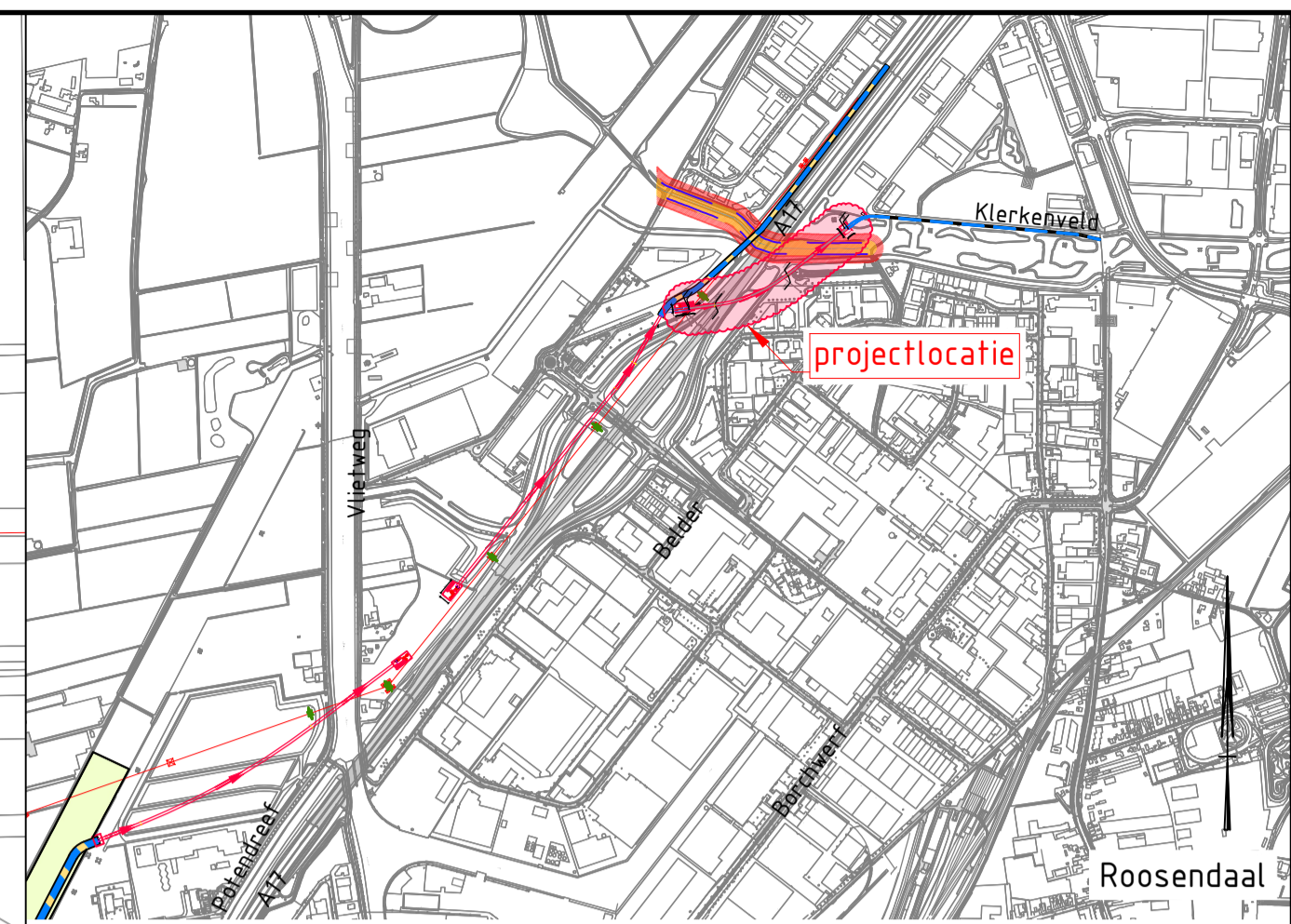
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

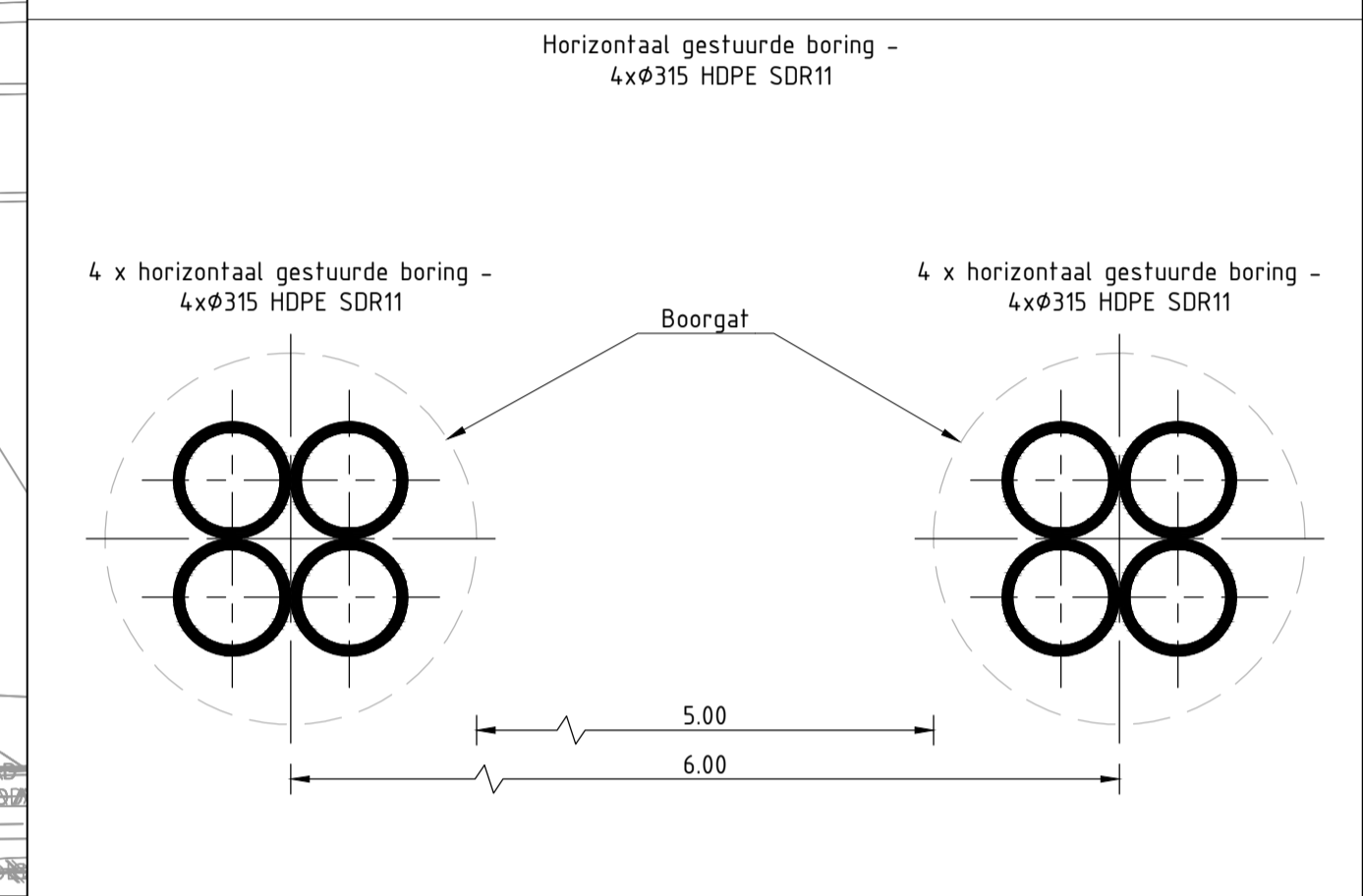
Bijlage 1 – Ontwerptekening



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht Schaal n.v.t.



Principe doorsnede Schaal 1:20

Legenda



Vergunningstekening

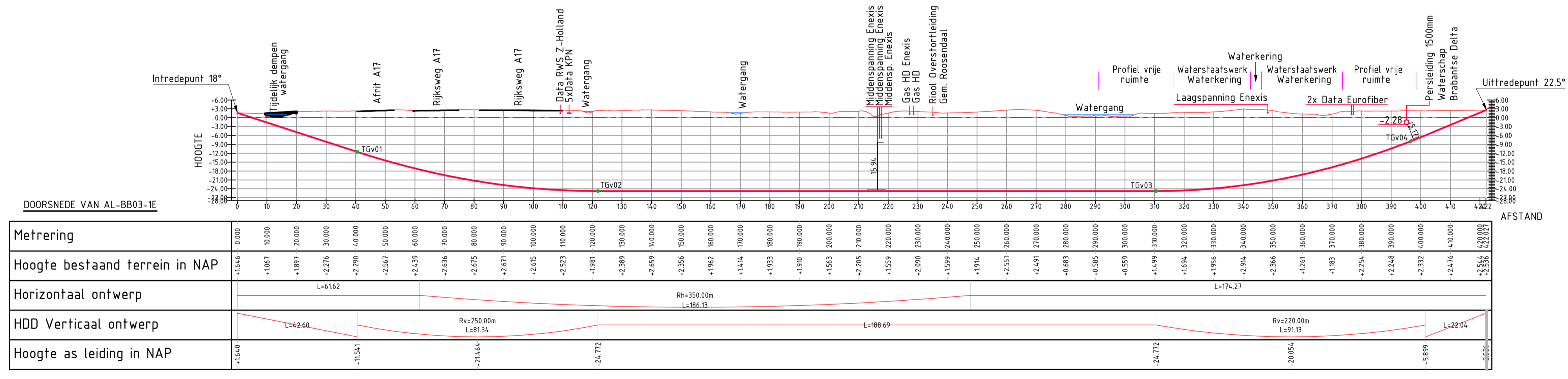
E	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
C	Trace versie 8	11-08-2021	BB	MJ	JD
B	Locatie HDD's	15-07-2021	NJ	MJ	JD
A	Eerste uitgave	06-07-2021	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Geç.	Goedg.

Ondachtgever
TenneT TSO B.V.
 Project
 HDD's 150 kV ZWO
 Onderdeel
 BW-HDD8.3
 Borchwerf kruising A17

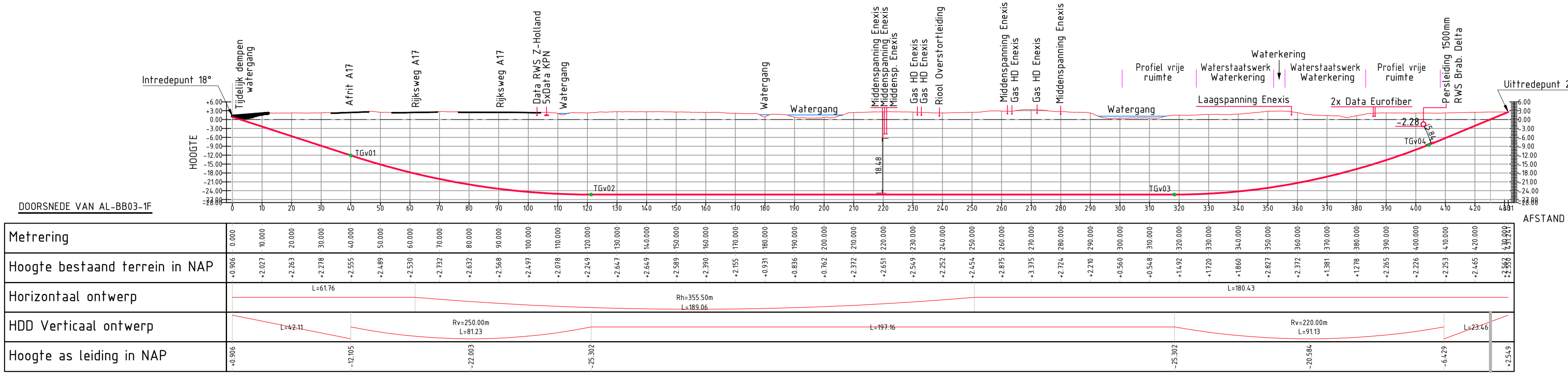
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	BW-HDD8.3	E	11-04-2022	Definitief ontwerp	

Bld	Van	Schaal	Format	Kantoor	Get.	Geç.	Goedg.
1	2	Zie tekening	A1	De Bilt	BB	MJ	JD

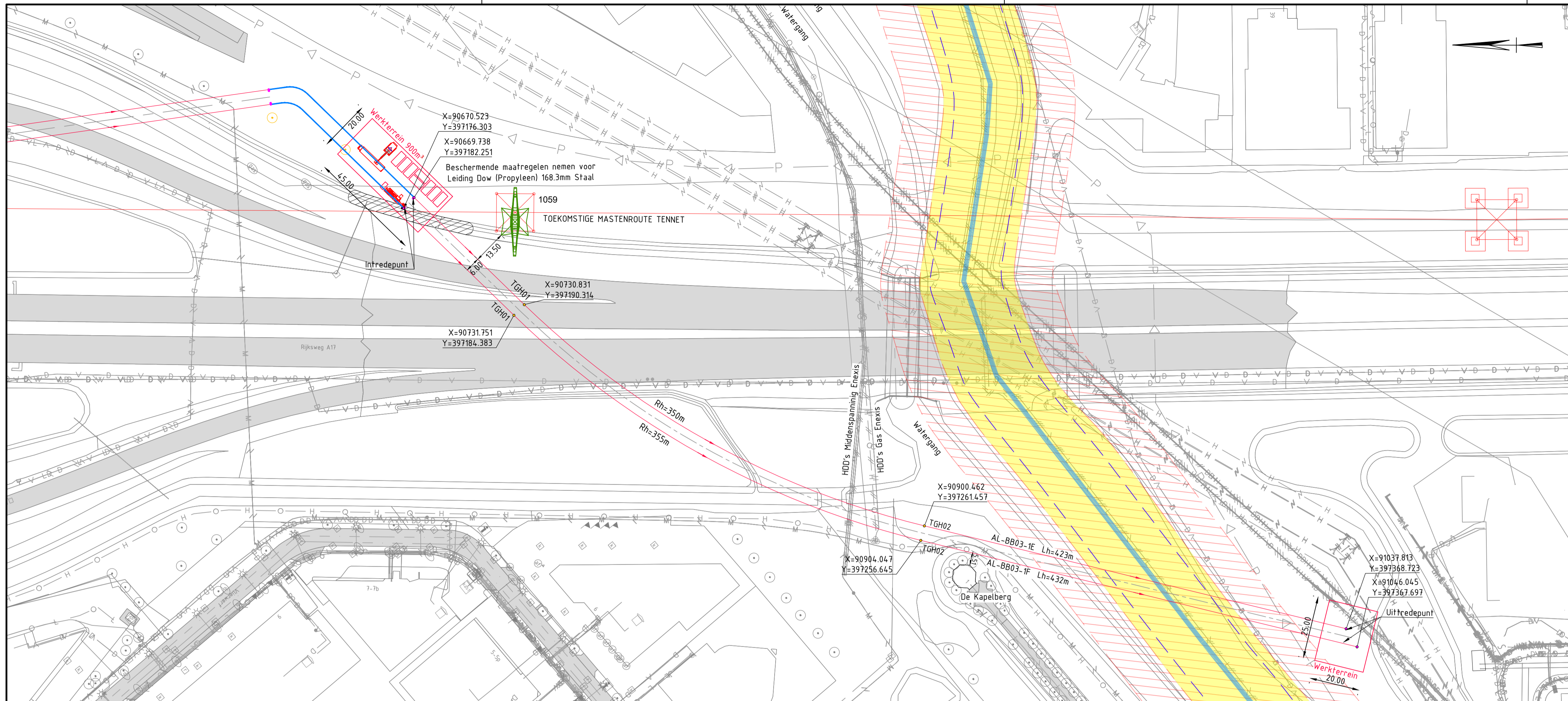
www.sweco.nl
 © Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden



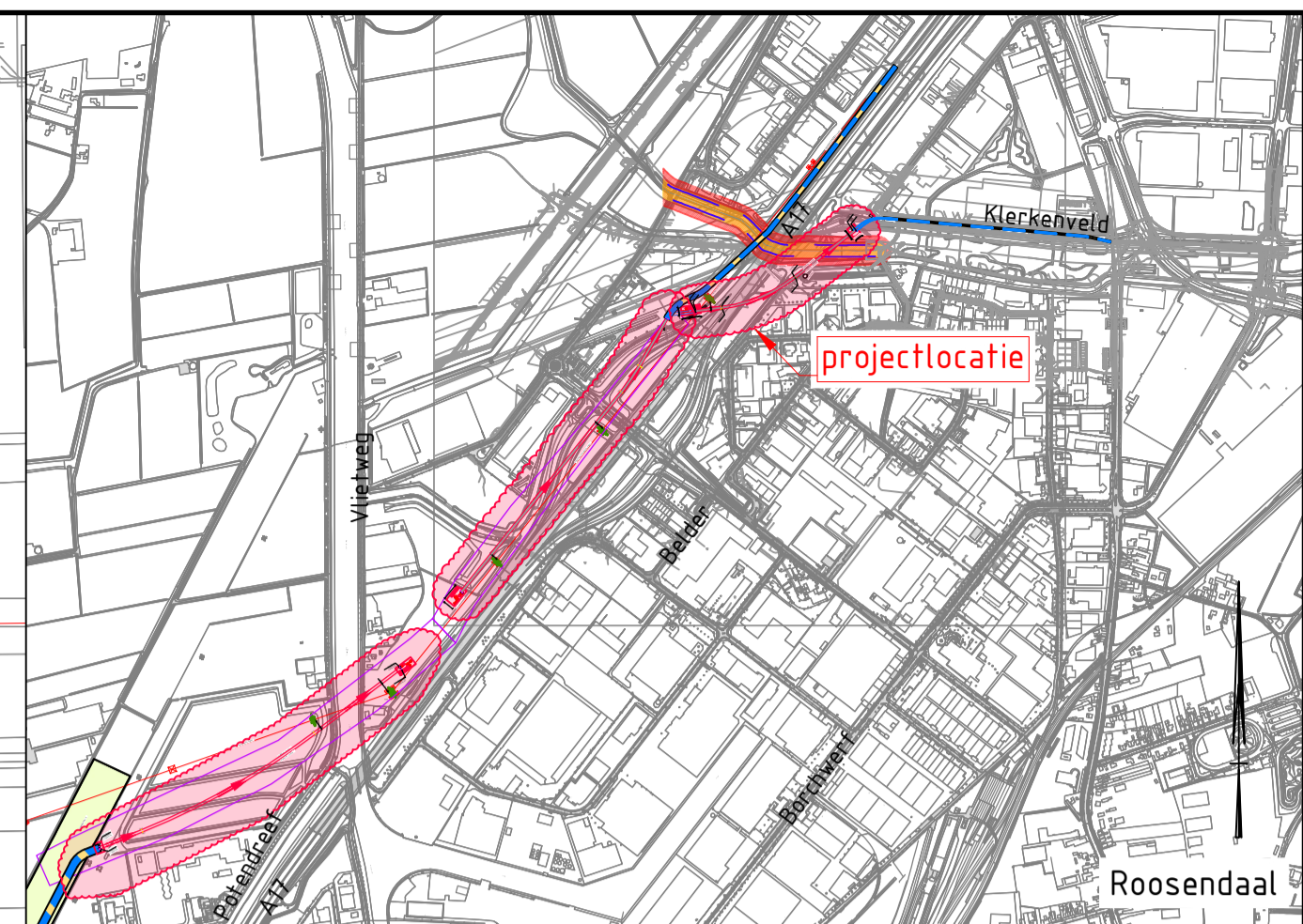
Lengteprofiel van AL-BB03-1E: Schaal 1:1000



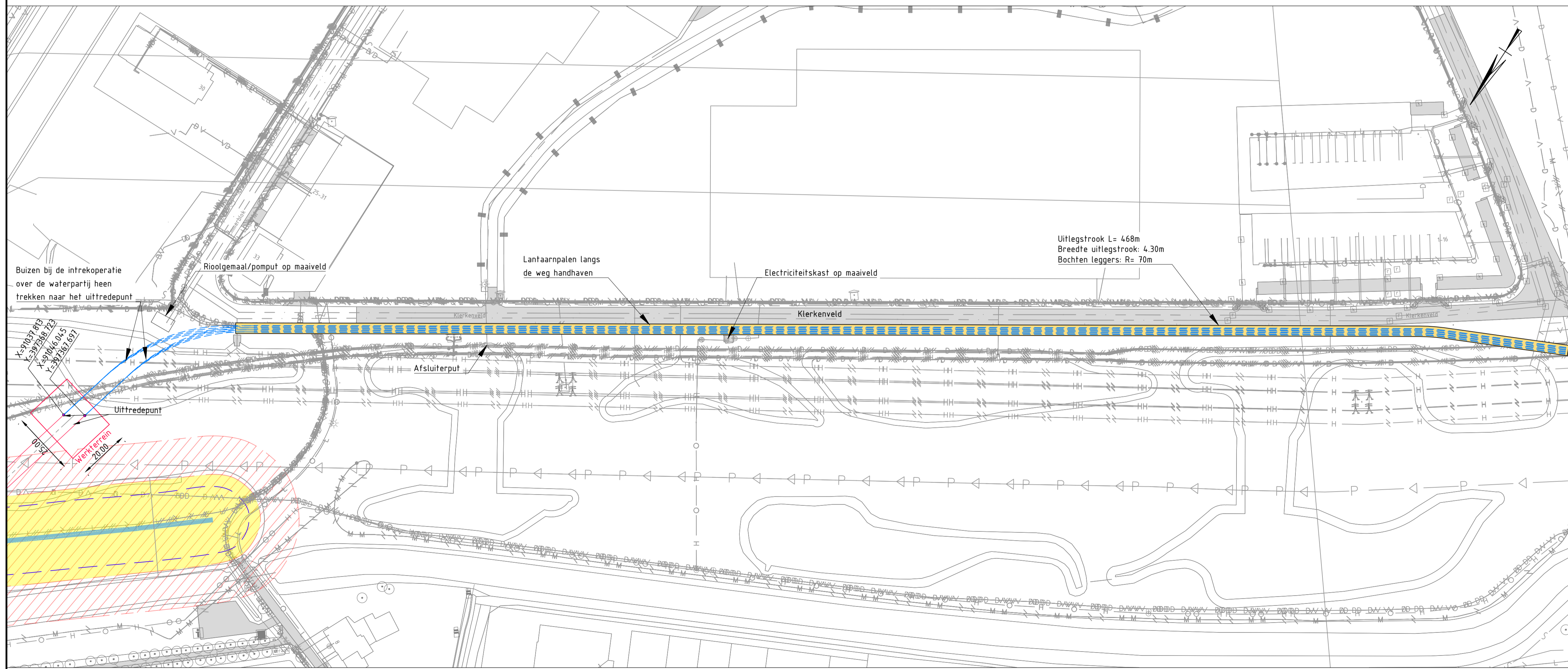
Lengteprofiel van AL-BB03-1F: Schaal 1:1000



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal n.v.t.



Uitlegstrook Schaal 1:1000

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)
 - - - - - PVC Open ontgraving
 - - - - - Uitlegstrook
 - - - - - Verharding (asfalt)
 - - - - - Bestaande topo
 - - - - - Bebouwing
 - 16 Locatie sondering met nummer
 - Leidingsstrook
 - Verharding/wegen
- Vastgestelde legger:**
- - - - - Regionale waterkering
 - - - - - Teenlijn
 - - - - - Waterkering
 - - - - - Open ontgraving
 - - - - - Waterstaatswerk waterkering
 - - - - - Profiel vrije ruimte

Vergunningstekening

E	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
C	Trace versie 8	11-08-2021	BB	MJ	JD
B	Locatie HDD's	15-07-2021	NJ	MJ	JD
A	Eerste uitgave	06-07-2021	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Geç.	Goedg.

Ondachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
HDD's 150 kv ZWO

Onderdeel
**BW-HDD8.3
Borchwerf kruising A17 Uitlegstrook**

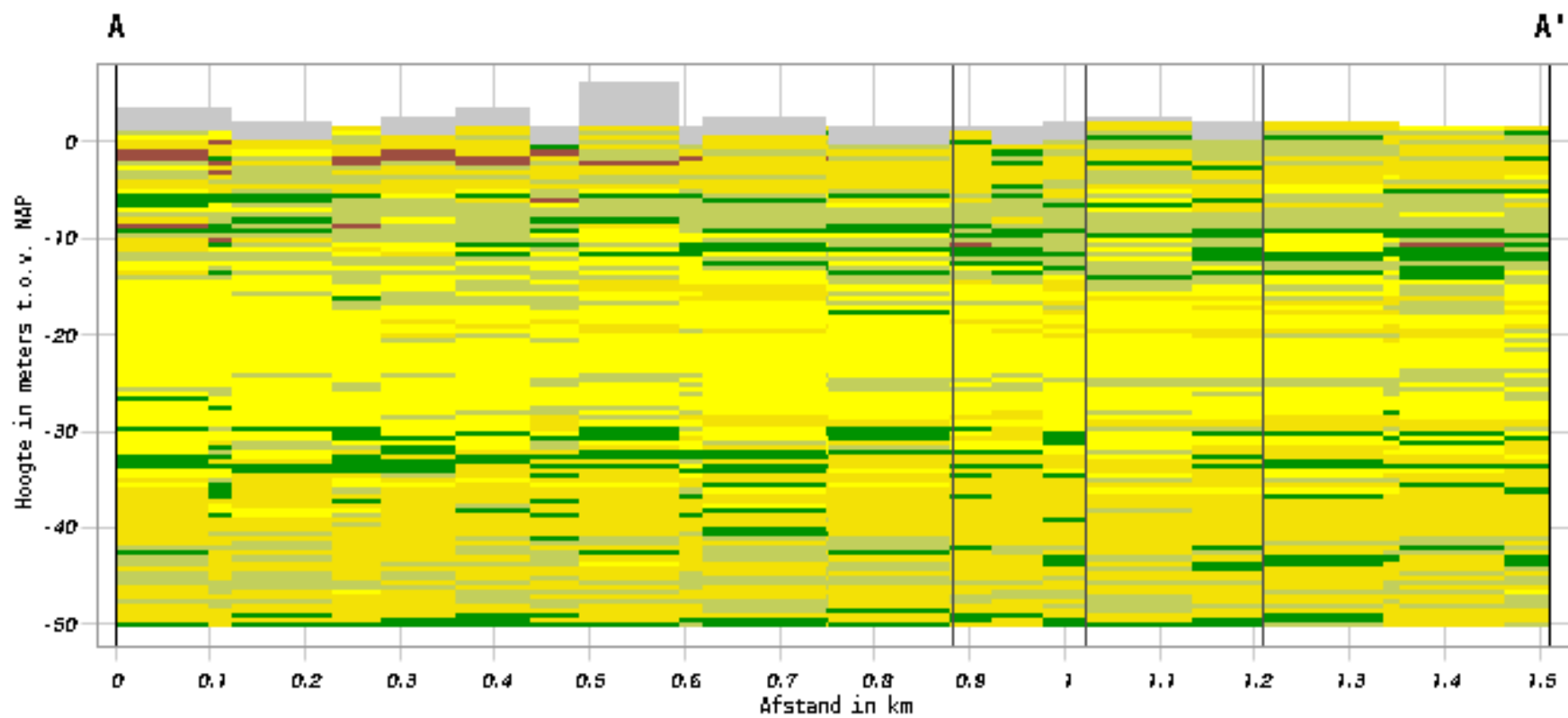
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	BW-HDD8.1	E	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Blad	Schaal	Format	Kantoor	Get.	Geç.
2	2	Zie tekening	De Blit	BB	MJ
				JD	

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

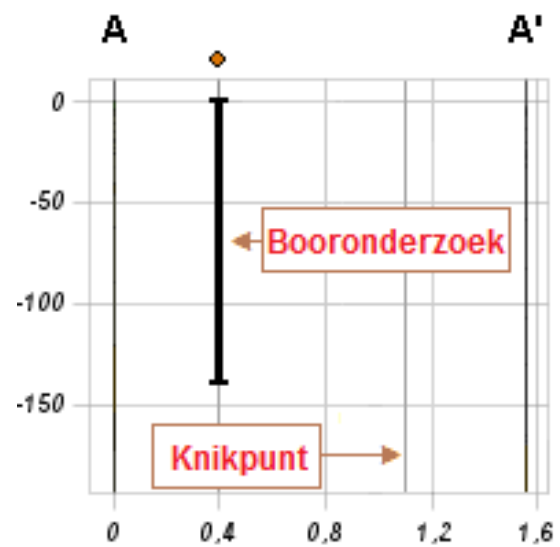
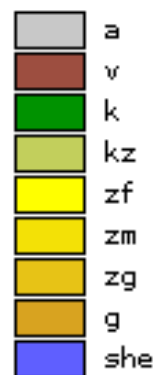
Boringen BRO (tot 300 m afstand van trace)



Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4



Lithoklasse



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report: 12-4-2022
Time of report: 10:54:52
Report with version: 20.1.2.31161
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: BW HDD8.3 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	5
3.7	Soil Material Data	5
3.8	Geometry	6
3.8.1	Geometry Section, Detailed	6
3.8.2	Geometry Top View	7
3.9	Calculation Verticals	7
3.10	Traffic Load	8
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	9
3.13	Pipe Engineering Data	10
3.14	Drilling Fluid Data	11
3.15	Factors	11
3.16	Calculation Options	11
4	Drilling Fluid Pressures	12
4.1	Drilling Fluid Data	12
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	16
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	18
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	18
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	18
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	19
5	Soil Mechanical Data	20
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	20
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	23
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	26
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	29
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	32
6	Data for Stress Analysis	36
6.1	General Data	36
6.2	Buoyancy Control	36
6.3	Calculation Pulling Force	36
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	38
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	38
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	38
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	38
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	39
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	39
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	39
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	39
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	40
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	40
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	41
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	41
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	41
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	41
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	42
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	42
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	42
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	42
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	43
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	43
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	45
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	45
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	45
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	45
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	46

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	46
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	46
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	46
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	47
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	47
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	48
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	48
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	48
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	48
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	49
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	49
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	49
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	49
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	50
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	50

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

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

3 Input Data

3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
3 - L -	0,000	10,000	20,000	30,000	40,000
3 - Z -	1,620	0,793	2,034	2,247	2,292
3 - L -	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
3 - Z -	2,591	2,463	2,638	2,684	2,669
3 - L -	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000
3 - Z -	2,605	2,539	2,236	2,418	2,669
3 - L -	150,000	160,000	170,000	180,000	190,000
3 - Z -	2,458	2,003	1,286	1,967	1,901
3 - L -	200,000	210,000	220,000	230,000	240,000
3 - Z -	1,274	2,218	1,832	2,116	1,643
3 - L -	250,000	260,000	270,000	280,000	290,000
3 - Z -	1,946	2,703	2,669	0,996	0,554
3 - L -	300,000	310,000	320,000	330,000	340,000
3 - Z -	0,551	1,477	1,677	1,868	2,831
3 - L -	350,000	360,000	370,000	380,000	390,000
3 - Z -	2,513	1,220	1,006	2,267	2,250
3 - L -	400,000	410,000	420,000	440,000	
3 - Z -	2,338	2,444	2,531	2,516	
2 - L -	0,000	440,000			
2 - Z -	-8,500	-8,500			
1 - L -	0,000	440,000			
1 - Z -	-14,000	-14,000			
0 - L -	0,000	440,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	440,000			
1 - Z -	1,000	1,000			

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
3	Zand, sterk siltig, kleig	1	1
2	Zand, schoon, los	1	1
1	Zand, schoon, vast	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 2: Zand, schoon, los

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 2: Zand, schoon, los

3.7 Soil Material Data

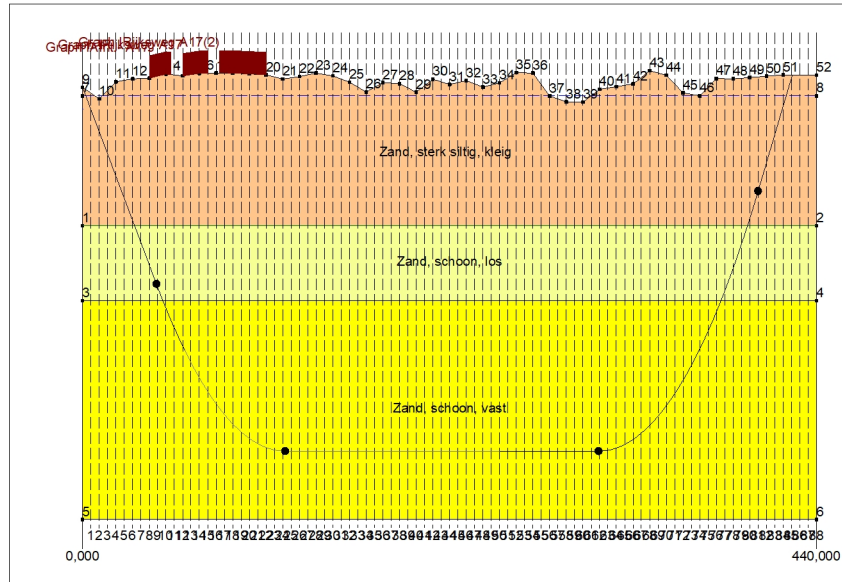
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	25,00	0,00	0,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m ²]	Emod top [kN/m ²]	Emod bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	Clay	15000,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	75000,00	-	-

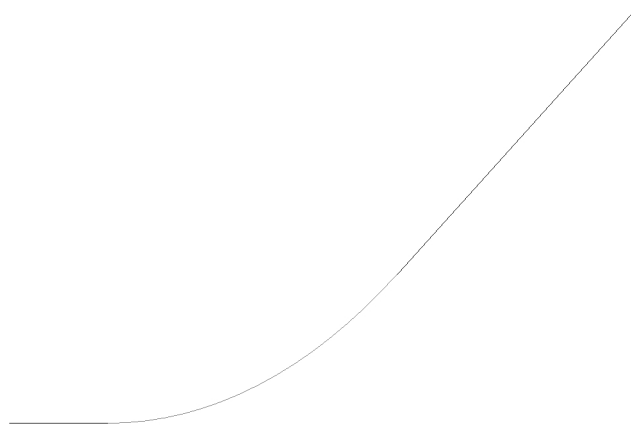
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

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	-0,005
2	10,000	-1,629
3	15,000	-3,254
4	20,000	-4,878
5	25,000	-6,503
6	30,000	-8,128
7	35,000	-9,752
8	40,000	-11,377
9	45,000	-13,000
10	50,000	-14,550
11	55,000	-15,987
12	60,000	-17,311
13	65,000	-18,526
14	70,000	-19,633
15	75,000	-20,633
16	80,000	-21,527
17	85,000	-22,318
18	90,000	-23,005
19	95,000	-23,589
20	100,000	-24,072
21	105,000	-24,453
22	110,000	-24,734
23	115,000	-24,915
24	120,000	-24,995
25	125,000	-25,000
26	130,000	-25,000
27	135,000	-25,000
28	140,000	-25,000
29	145,000	-25,000
30	150,000	-25,000
31	155,000	-25,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
32	160,000	-25,000
33	165,000	-25,000
34	170,000	-25,000
35	175,000	-25,000
36	180,000	-25,000
37	185,000	-25,000
38	190,000	-25,000
39	195,000	-25,000
40	200,000	-25,000
41	205,000	-25,000
42	210,000	-25,000
43	215,000	-25,000
44	220,000	-25,000
45	225,000	-25,000
46	230,000	-25,000
47	235,000	-25,000
48	240,000	-25,000
49	245,000	-25,000
50	250,000	-25,000
51	255,000	-25,000
52	260,000	-25,000
53	265,000	-25,000
54	270,000	-25,000
55	275,000	-25,000
56	280,000	-25,000
57	285,000	-25,000
58	290,000	-25,000
59	295,000	-25,000
60	300,000	-25,000
61	305,000	-25,000
62	310,000	-24,999
63	315,000	-24,936
64	320,000	-24,772
65	325,000	-24,508
66	330,000	-24,144
67	335,000	-23,678
68	340,000	-23,111
69	345,000	-22,442
70	350,000	-21,669
71	355,000	-20,792
72	360,000	-19,810
73	365,000	-18,722
74	370,000	-17,525
75	375,000	-16,219
76	380,000	-14,802
77	385,000	-13,272
78	390,000	-11,625
79	395,000	-9,861
80	400,000	-7,977
81	405,000	-5,968
82	410,000	-3,897
83	415,000	-1,826
84	420,000	0,245
85	425,000	2,316
86	430,000	n.a.
87	435,000	n.a.
88	440,000	n.a.

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

Afrit - A17
L start

40,00 [m]

L end	53,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Rijksweg A17		
L start	60,00	[m]
L end	75,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Rijksweg A17(2)		
L start	82,00	[m]
L end	110,00	[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	1,620	[m]
X co-ordinate right point	392,600	[m]
Y co-ordinate right point	137,690	[m]
Z co-ordinate right point	2,527	[m]
Angle left	18,0000	[deg]
Angle right	22,5000	[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)	-25,000	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	1	

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

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	61,760	0,000	242,030	49,100	356,000	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	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[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	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[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 (γ)	11,1	[kN/m ³]
Yieldpoint drilling fluid (τ)	0,014	[kN/m ²]
Plastic viscosity drilling fluid (μ)	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 S_u	1,40	[-]
Contingency factor on Φ	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	10	21	242
2	0	26	41	257
3	0	43	62	273
4	0	59	83	288
5	0	75	103	304
6	0	91	124	319
7	387	414	145	334
8	427	626	165	350
9	472	768	186	365
10	779	1284	206	380
11	890	1554	224	393
12	948	1724	242	405
13	1005	1877	258	416
14	1055	1970	272	426
15	1097	2047	286	434
16	1134	2114	299	442
17	1164	2169	310	448
18	1191	2217	320	453
19	1212	2255	329	457
20	1229	2285	337	460
21	1242	2308	344	462
22	1251	2323	349	462
23	1250	2319	354	462
24	1245	2307	357	460
25	1250	2318	360	458
26	1255	2328	362	455
27	1261	2342	365	453
28	1268	2356	367	450
29	1263	2345	370	448
30	1257	2333	372	445
31	1244	2307	375	443
32	1232	2281	377	440
33	1213	2241	380	438
34	1193	2200	382	435
35	1212	2239	385	433
36	1230	2277	387	430
37	1228	2274	390	428
38	1227	2270	392	425
39	1209	2234	395	423
40	1192	2199	397	420
41	1218	2252	400	418
42	1244	2306	402	415
43	1233	2284	405	413
44	1223	2262	407	410
45	1231	2278	410	408
46	1238	2294	412	405
47	1225	2267	415	403
48	1213	2241	417	400
49	1221	2258	420	398
50	1229	2275	422	395
51	1250	2318	425	393
52	1270	2360	427	390
53	1269	2358	430	388
54	1268	2356	432	385
55	1223	2262	435	383
56	1177	2167	437	380
57	1170	2153	440	378

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	1163	2139	442	375
59	1163	2139	445	373
60	1163	2139	447	370
61	1178	2169	450	368
62	1203	2222	452	365
63	1206	2229	454	362
64	1206	2229	455	358
65	1201	2221	454	352
66	1192	2206	453	346
67	1200	2228	450	338
68	1204	2243	446	329
69	1169	2178	441	319
70	1130	2104	435	308
71	1059	1967	428	296
72	983	1819	420	283
73	932	1723	410	268
74	875	1574	399	252
75	851	1483	388	235
76	797	1319	374	217
77	472	774	360	197
78	432	647	344	176
79	390	433	327	154
80	0	90	309	130
81	0	70	290	105
82	0	49	269	80
83	0	28	249	54
84	0	8	229	28
85	0	0	208	3

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	10	19	21
2	0	26	38	41
3	0	43	57	62
4	0	59	76	83
5	0	75	95	103
6	0	91	114	124
7	335	335	133	145
8	427	527	152	165
9	472	684	171	186
10	727	1022	189	206
11	878	1304	206	224
12	942	1491	222	242
13	1001	1663	236	258
14	1052	1810	249	272
15	1094	1930	261	286
16	1132	2033	272	299
17	1163	2117	282	310
18	1189	2187	290	320
19	1210	2243	298	329
20	1228	2281	304	337
21	1241	2304	309	344
22	1250	2320	313	349
23	1248	2316	316	354
24	1243	2304	318	357
25	1249	2315	319	360
26	1253	2325	320	360
27	1260	2339	321	359
28	1267	2353	322	358
29	1261	2342	323	357
30	1256	2330	323	357
31	1243	2304	324	356
32	1231	2279	325	355

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
33	1211	2238	326	354
34	1192	2197	327	353
35	1210	2236	328	352
36	1229	2274	329	351
37	1227	2271	330	350
38	1225	2267	331	349
39	1208	2231	332	348
40	1191	2196	333	347
41	1217	2249	333	347
42	1243	2303	334	346
43	1232	2281	335	345
44	1222	2259	336	344
45	1229	2275	337	343
46	1237	2291	338	342
47	1224	2265	339	341
48	1211	2238	340	340
49	1220	2255	341	339
50	1228	2272	342	338
51	1248	2315	343	337
52	1269	2357	344	336
53	1268	2355	344	336
54	1267	2353	345	335
55	1222	2259	346	334
56	1176	2164	347	333
57	1169	2150	348	332
58	1162	2136	349	331
59	1162	2136	350	330
60	1162	2136	351	329
61	1177	2166	352	328
62	1202	2219	353	327
63	1205	2226	353	326
64	1204	2226	352	323
65	1199	2218	350	319
66	1190	2203	346	314
67	1198	2218	338	308
68	1202	2217	329	301
69	1167	2129	319	293
70	1128	2028	308	283
71	1057	1857	296	272
72	981	1670	283	261
73	929	1528	268	248
74	870	1364	252	233
75	842	1250	235	218
76	764	1066	217	201
77	472	695	197	183
78	432	550	176	164
79	350	350	154	144
80	0	90	130	122
81	0	70	105	98
82	0	49	80	74
83	0	28	54	50
84	0	8	28	26
85	0	0	3	2

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	10	19	19
2	0	26	38	38
3	0	43	57	57
4	0	59	75	76
5	0	75	94	95
6	0	91	113	114
7	256	256	132	133

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
8	399	399	151	152
9	472	536	170	171
10	562	685	188	189
11	848	935	205	206
12	926	1099	220	222
13	990	1257	234	236
14	1044	1400	247	249
15	1088	1523	259	261
16	1126	1631	270	272
17	1158	1723	280	282
18	1185	1802	288	290
19	1207	1866	295	298
20	1224	1917	302	304
21	1237	1956	307	309
22	1246	1984	310	313
23	1245	1988	313	316
24	1240	1982	315	318
25	1245	1992	316	319
26	1250	2001	317	320
27	1257	2014	317	321
28	1264	2026	318	322
29	1258	2016	319	323
30	1252	2005	320	323
31	1240	1982	321	324
32	1228	1959	321	325
33	1208	1922	322	326
34	1189	1885	323	327
35	1207	1920	324	328
36	1226	1955	324	329
37	1224	1951	325	330
38	1222	1948	326	331
39	1205	1916	327	332
40	1188	1884	328	333
41	1214	1932	328	333
42	1240	1980	329	334
43	1229	1961	330	335
44	1219	1941	331	336
45	1226	1956	332	337
46	1234	1970	332	337
47	1221	1946	333	336
48	1208	1922	334	335
49	1217	1937	335	335
50	1225	1953	335	334
51	1245	1991	336	333
52	1266	2030	336	332
53	1265	2028	336	332
54	1264	2026	335	331
55	1219	1941	334	330
56	1173	1856	333	329
57	1166	1843	332	328
58	1159	1830	331	328
59	1159	1830	330	327
60	1159	1830	329	326
61	1174	1857	328	325
62	1199	1905	327	324
63	1202	1908	326	323
64	1201	1901	323	320
65	1196	1881	319	317
66	1187	1851	314	312
67	1195	1847	308	306
68	1198	1830	301	299
69	1163	1737	293	290
70	1123	1632	283	281
71	1051	1469	272	271

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
72	974	1296	261	259
73	919	1160	248	246
74	857	1011	233	232
75	817	902	218	217
76	671	737	201	200
77	472	549	183	182
78	418	418	164	163
79	266	266	144	143
80	0	90	122	121
81	0	70	98	98
82	0	49	74	74
83	0	28	50	50
84	0	8	26	26
85	0	0	2	2

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

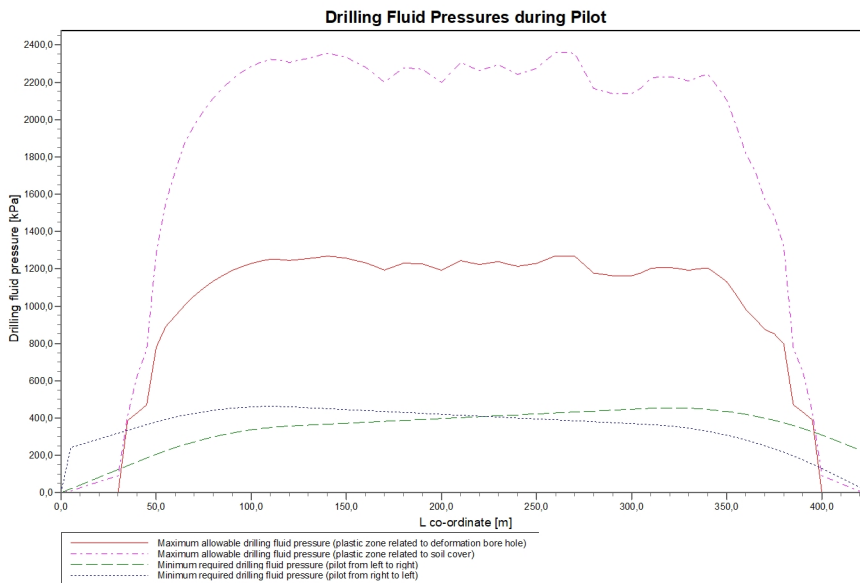
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	18	10	1,80	sufficient
2	36	26	1,37	sufficient
3	54	43	1,27	sufficient
4	72	59	1,23	sufficient
5	90	75	1,20	sufficient
6	108	91	1,19	sufficient
7	126	108	1,17	sufficient
8	144	124	1,17	sufficient
9	162	140	1,16	sufficient
10	180	156	1,16	sufficient
11	196	170	1,15	sufficient
12	211	183	1,15	sufficient
13	224	195	1,15	sufficient
14	237	206	1,15	sufficient
15	248	216	1,15	sufficient
16	258	225	1,14	sufficient
17	267	233	1,14	sufficient
18	275	240	1,14	sufficient
19	281	246	1,14	sufficient
20	287	251	1,14	sufficient
21	291	255	1,14	sufficient
22	294	257	1,14	sufficient
23	297	259	1,14	sufficient
24	298	260	1,14	sufficient
25	298	260	1,15	sufficient
26	298	260	1,15	sufficient
27	298	260	1,15	sufficient
28	298	260	1,15	sufficient
29	298	260	1,15	sufficient
30	298	260	1,15	sufficient
31	299	260	1,15	sufficient
32	299	260	1,15	sufficient
33	299	260	1,15	sufficient
34	299	260	1,15	sufficient
35	299	260	1,15	sufficient
36	299	260	1,15	sufficient
37	299	260	1,15	sufficient
38	300	260	1,15	sufficient
39	300	260	1,15	sufficient
40	300	260	1,15	sufficient
41	300	260	1,15	sufficient
42	300	260	1,15	sufficient
43	300	260	1,15	sufficient
44	300	260	1,16	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
45	301	260	1,16	sufficient
46	301	260	1,16	sufficient
47	301	260	1,16	sufficient
48	301	260	1,16	sufficient
49	301	260	1,16	sufficient
50	301	260	1,16	sufficient
51	301	260	1,16	sufficient
52	302	260	1,16	sufficient
53	302	260	1,16	sufficient
54	302	260	1,16	sufficient
55	302	260	1,16	sufficient
56	302	260	1,16	sufficient
57	302	260	1,16	sufficient
58	302	260	1,16	sufficient
59	302	260	1,16	sufficient
60	303	260	1,16	sufficient
61	303	260	1,16	sufficient
62	303	260	1,16	sufficient
63	302	259	1,17	sufficient
64	301	258	1,17	sufficient
65	298	255	1,17	sufficient
66	294	251	1,17	sufficient
67	289	247	1,17	sufficient
68	283	241	1,17	sufficient
69	275	234	1,18	sufficient
70	267	227	1,18	sufficient
71	257	218	1,18	sufficient
72	247	208	1,19	sufficient
73	235	197	1,19	sufficient
74	222	185	1,20	sufficient
75	207	172	1,20	sufficient
76	192	158	1,21	sufficient
77	175	143	1,22	sufficient
78	157	126	1,24	sufficient
79	137	109	1,26	sufficient
80	116	90	1,30	sufficient
81	94	70	1,35	sufficient
82	71	49	1,46	sufficient
83	48	28	1,71	sufficient
84	25	8	3,35	sufficient
85	2	0	-	sufficient

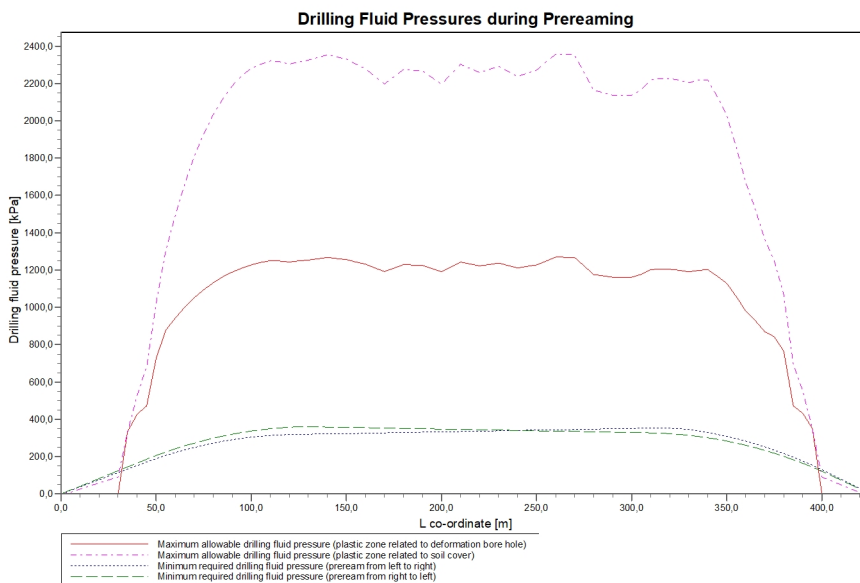
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

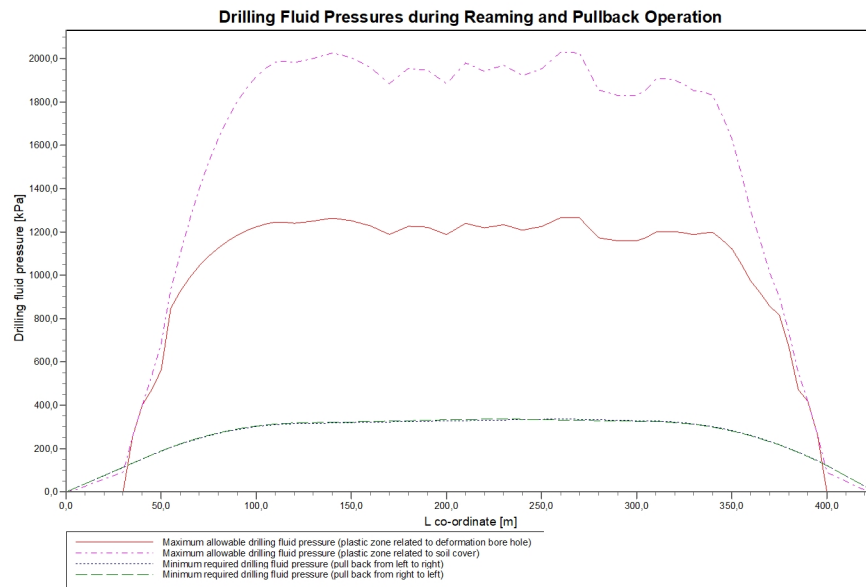
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Preaming



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	25	12	9	12	0	195
2	72	23	17	23	0	360
3	257	49	27	37	0	764
4	405	76	38	51	0	1194
5	500	94	42	56	0	1480
6	592	112	43	59	0	2474
7	740	128	44	59	0	3415
8	813	143	31	42	3	3816
9	895	160	19	26	3	4278
10	1943	178	15	20	3	8350
11	2078	192	13	18	0	9036
12	2199	206	13	17	2	9665
13	2332	221	13	17	2	10364
14	2452	235	13	17	2	11008
15	2551	246	13	17	2	11543
16	2639	256	13	17	0	12023
17	2712	265	13	17	2	12424
18	2775	272	13	17	2	12772
19	2824	278	13	17	2	13046
20	2864	283	13	17	2	13268
21	2894	286	13	17	2	13436
22	2915	289	13	17	2	13553
23	2909	288	13	17	0	13519
24	2894	286	13	17	0	13433
25	2908	288	13	17	0	13512
26	2921	290	13	17	0	13588
27	2940	292	13	17	0	13694
28	2959	294	13	17	0	13800
29	2943	292	13	17	0	13711
30	2927	290	13	17	0	13622
31	2893	286	13	17	0	13430
32	2859	282	13	17	0	13239
33	2805	276	13	17	0	12937
34	2751	269	13	17	0	12635
35	2802	275	13	17	0	12922
36	2854	282	13	17	0	13209
37	2849	281	13	17	0	13181
38	2844	280	13	17	0	13153
39	2797	275	13	17	0	12889
40	2749	269	13	17	0	12625
41	2820	278	13	17	0	13023
42	2891	286	13	17	0	13420
43	2862	283	13	17	0	13257

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	2833	279	13	17	0	13095
45	2855	282	13	17	0	13215
46	2876	284	13	17	0	13334
47	2841	280	13	17	0	13135
48	2805	276	13	17	0	12936
49	2828	278	13	17	0	13063
50	2850	281	13	17	0	13191
51	2907	288	13	17	0	13510
52	2964	295	13	17	0	13828
53	2961	294	13	17	0	13814
54	2959	294	13	17	0	13800
55	2833	279	13	17	0	13095
56	2707	264	13	17	0	12392
57	2689	262	13	17	0	12289
58	2670	260	13	17	0	12186
59	2670	260	13	17	0	12185
60	2670	260	13	17	0	12184
61	2710	264	13	17	0	12406
62	2780	273	13	17	0	12796
63	2789	274	13	17	0	12847
64	2789	274	13	17	0	12847
65	2779	273	13	17	0	12791
66	2760	270	13	17	0	12684
67	2789	274	13	17	0	12850
68	2809	276	13	17	0	12963
69	2723	266	13	17	0	12484
70	2626	255	13	17	0	11952
71	2443	233	13	17	0	10956
72	2247	211	13	17	0	9906
73	2122	197	13	17	0	9255
74	1985	182	13	17	0	8548
75	1956	179	13	18	0	8406
76	1916	175	14	19	0	8207
77	891	159	18	24	0	4256
78	820	144	28	38	0	3856
79	747	129	44	59	0	3453
80	593	113	44	59	0	2087
81	495	93	42	57	0	1465
82	391	74	37	51	0	1155
83	266	54	40	54	0	841
84	102	34	25	34	0	525
85	1	1	1	1	0	35

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	78	1431	425	1001	0,05	7,5
2	164	3574	3732	2502	0,05	7,5
3	259	17728	12682	12409	0,05	7,5
4	406	24704	19930	17293	0,05	7,5
5	500	29172	24520	20421	0,05	7,5
6	592	33038	28993	23127	0,05	7,5
7	740	35298	32622	24709	0,05	7,5
8	813	37362	35018	26153	0,05	7,5
9	895	127239	37401	89067	0,05	7,5
10	1943	248302	85460	173811	0,05	7,5
11	2078	258777	243803	181144	0,05	7,5
12	2199	268086	253550	187660	0,05	7,5
13	2332	278153	264060	194707	0,05	7,5
14	2452	287169	273445	201018	0,05	7,5
15	2551	294485	281045	206139	0,05	7,5
16	2639	300936	287736	210655	0,05	7,5
17	2712	306237	293226	214366	0,05	7,5
18	2775	310775	297922	217543	0,05	7,5
19	2824	314318	301585	220022	0,05	7,5
20	2864	317160	304521	222012	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]
21	2894	319310	306742	223517	0,05	7,5
22	2915	320793	308272	224555	0,05	7,5
23	2909	320354	307819	224248	0,05	7,5
24	2894	319259	306689	223482	0,05	7,5
25	2908	320263	307726	224184	0,05	7,5
26	2921	321234	308728	224864	0,05	7,5
27	2940	322570	310107	225799	0,05	7,5
28	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
29	2943	322783	310326	225948	0,05	7,5
30	2927	321661	309168	225162	0,05	7,5
31	2893	319231	306660	223462	0,05	7,5
32	2859	316786	304135	221750	0,05	7,5
33	2805	312903	300123	219032	0,05	7,5
34	2751	308981	296067	216287	0,05	7,5
35	2802	312707	299920	218895	0,05	7,5
36	2854	316398	303734	221479	0,05	7,5
37	2849	316042	303366	221229	0,05	7,5
38	2844	315685	302998	220980	0,05	7,5
39	2797	312282	299481	218597	0,05	7,5
40	2749	308849	295930	216194	0,05	7,5
41	2820	314006	301263	219804	0,05	7,5
42	2891	319097	306522	223368	0,05	7,5
43	2862	317023	304380	221916	0,05	7,5
44	2833	314939	302226	220457	0,05	7,5
45	2855	316473	303812	221531	0,05	7,5
46	2876	318002	305391	222602	0,05	7,5
47	2841	315453	302758	220817	0,05	7,5
48	2805	312887	300106	219021	0,05	7,5
49	2828	314532	301807	220173	0,05	7,5
50	2850	316171	303500	221320	0,05	7,5
51	2907	320237	307698	224166	0,05	7,5
52	2964	324261	311851	226983	0,05	7,5
53	2961	324081	311666	226857	0,05	7,5
54	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
55	2833	314944	302232	220461	0,05	7,5
56	2707	305799	292774	214059	0,05	7,5
57	2689	304436	291362	213105	0,05	7,5
58	2670	303067	289944	212147	0,05	7,5
59	2670	303058	289935	212141	0,05	7,5
60	2670	303049	289925	212134	0,05	7,5
61	2710	305979	292960	214185	0,05	7,5
62	2780	311069	298227	217749	0,05	7,5
63	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
64	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
65	2779	311020	298175	217714	0,05	7,5
66	2760	309626	296733	216738	0,05	7,5
67	2789	311782	298964	218248	0,05	7,5
68	2809	313252	300483	219277	0,05	7,5
69	2723	307024	294042	214917	0,05	7,5
70	2626	299986	286751	209990	0,05	7,5
71	2443	286433	272680	200503	0,05	7,5
72	2247	271566	257186	190096	0,05	7,5
73	2122	262022	247204	183415	0,05	7,5
74	1985	251339	235991	175937	0,05	7,5
75	1956	249159	233698	174411	0,05	7,5
76	1916	246068	114852	172248	0,05	7,5
77	891	160921	37286	112645	0,05	7,5
78	820	37560	35227	26292	0,05	7,5
79	747	35498	32898	24848	0,05	7,5
80	593	33041	29024	23129	0,05	7,5
81	495	28968	24311	20278	0,05	7,5
82	391	24097	19305	16868	0,05	7,5
83	281	19040	14057	13328	0,05	7,5
84	234	6532	5831	4573	0,05	7,5
85	15	213	0	149	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 295 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 59 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 59 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 324261 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 648522 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	25	12	9	12	0	195
2	72	23	17	23	0	360
3	257	49	27	37	0	764
4	405	76	38	51	0	1194
5	500	94	42	56	0	1480
6	592	112	43	59	0	2474
7	740	128	44	59	0	3415
8	813	143	31	42	3	3816
9	895	160	19	26	3	4278
10	1943	178	15	20	3	8350
11	2078	192	13	18	0	9036
12	2199	206	13	17	2	9665
13	2332	221	13	17	2	10364
14	2452	235	13	17	2	11008
15	2551	246	13	17	2	11543
16	2639	256	13	17	0	12023
17	2712	265	13	17	2	12424
18	2775	272	13	17	2	12772
19	2824	278	13	17	2	13046
20	2864	283	13	17	2	13268
21	2894	286	13	17	2	13436
22	2915	289	13	17	2	13553
23	2909	288	13	17	0	13519
24	2894	286	13	17	0	13433
25	2908	288	13	17	0	13512
26	2921	290	13	17	0	13588
27	2940	292	13	17	0	13694
28	2959	294	13	17	0	13800
29	2943	292	13	17	0	13711
30	2927	290	13	17	0	13622
31	2893	286	13	17	0	13430
32	2859	282	13	17	0	13239
33	2805	276	13	17	0	12937
34	2751	269	13	17	0	12635
35	2802	275	13	17	0	12922
36	2854	282	13	17	0	13209
37	2849	281	13	17	0	13181

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	2844	280	13	17	0	13153
39	2797	275	13	17	0	12889
40	2749	269	13	17	0	12625
41	2820	278	13	17	0	13023
42	2891	286	13	17	0	13420
43	2862	283	13	17	0	13257
44	2833	279	13	17	0	13095
45	2855	282	13	17	0	13215
46	2876	284	13	17	0	13334
47	2841	280	13	17	0	13135
48	2805	276	13	17	0	12936
49	2828	278	13	17	0	13063
50	2850	281	13	17	0	13191
51	2907	288	13	17	0	13510
52	2964	295	13	17	0	13828
53	2961	294	13	17	0	13814
54	2959	294	13	17	0	13800
55	2833	279	13	17	0	13095
56	2707	264	13	17	0	12392
57	2689	262	13	17	0	12289
58	2670	260	13	17	0	12186
59	2670	260	13	17	0	12185
60	2670	260	13	17	0	12184
61	2710	264	13	17	0	12406
62	2780	273	13	17	0	12796
63	2789	274	13	17	0	12847
64	2789	274	13	17	0	12847
65	2779	273	13	17	0	12791
66	2760	270	13	17	0	12684
67	2789	274	13	17	0	12850
68	2809	276	13	17	0	12963
69	2723	266	13	17	0	12484
70	2626	255	13	17	0	11952
71	2443	233	13	17	0	10956
72	2247	211	13	17	0	9906
73	2122	197	13	17	0	9255
74	1985	182	13	17	0	8548
75	1956	179	13	18	0	8406
76	1916	175	14	19	0	8207
77	891	159	18	24	0	4256
78	820	144	28	38	0	3856
79	747	129	44	59	0	3453
80	593	113	44	59	0	2087
81	495	93	42	57	0	1465
82	391	74	37	51	0	1155
83	266	54	40	54	0	841
84	102	34	25	34	0	525
85	1	1	1	1	0	35

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	78	1431	425	1001	0,05	7,5
2	164	3574	3732	2502	0,05	7,5
3	259	17728	12682	12409	0,05	7,5
4	406	24704	19930	17293	0,05	7,5
5	500	29172	24520	20421	0,05	7,5
6	592	33038	28993	23127	0,05	7,5
7	740	35298	32622	24709	0,05	7,5
8	813	37362	35018	26153	0,05	7,5
9	895	127239	37401	89067	0,05	7,5
10	1943	248302	85460	173811	0,05	7,5
11	2078	258777	243803	181144	0,05	7,5
12	2199	268086	253550	187660	0,05	7,5
13	2332	278153	264060	194707	0,05	7,5
14	2452	287169	273445	201018	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]
15	2551	294485	281045	206139	0,05	7,5
16	2639	300936	287736	210655	0,05	7,5
17	2712	306237	293226	214366	0,05	7,5
18	2775	310775	297922	217543	0,05	7,5
19	2824	314318	301585	220022	0,05	7,5
20	2864	317160	304521	222012	0,05	7,5
21	2894	319310	306742	223517	0,05	7,5
22	2915	320793	308272	224555	0,05	7,5
23	2909	320354	307819	224248	0,05	7,5
24	2894	319259	306689	223482	0,05	7,5
25	2908	320263	307726	224184	0,05	7,5
26	2921	321234	308728	224864	0,05	7,5
27	2940	322570	310107	225799	0,05	7,5
28	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
29	2943	322783	310326	225948	0,05	7,5
30	2927	321661	309168	225162	0,05	7,5
31	2893	319231	306660	223462	0,05	7,5
32	2859	316786	304135	221750	0,05	7,5
33	2805	312903	300123	219032	0,05	7,5
34	2751	308981	296067	216287	0,05	7,5
35	2802	312707	299920	218895	0,05	7,5
36	2854	316398	303734	221479	0,05	7,5
37	2849	316042	303366	221229	0,05	7,5
38	2844	315685	302998	220980	0,05	7,5
39	2797	312282	299481	218597	0,05	7,5
40	2749	308849	295930	216194	0,05	7,5
41	2820	314006	301263	219804	0,05	7,5
42	2891	319097	306522	223368	0,05	7,5
43	2862	317023	304380	221916	0,05	7,5
44	2833	314939	302226	220457	0,05	7,5
45	2855	316473	303812	221531	0,05	7,5
46	2876	318002	305391	222602	0,05	7,5
47	2841	315453	302758	220817	0,05	7,5
48	2805	312887	300106	219021	0,05	7,5
49	2828	314532	301807	220173	0,05	7,5
50	2850	316171	303500	221320	0,05	7,5
51	2907	320237	307698	224166	0,05	7,5
52	2964	324261	311851	226983	0,05	7,5
53	2961	324081	311666	226857	0,05	7,5
54	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
55	2833	314944	302232	220461	0,05	7,5
56	2707	305799	292774	214059	0,05	7,5
57	2689	304436	291362	213105	0,05	7,5
58	2670	303067	289944	212147	0,05	7,5
59	2670	303058	289935	212141	0,05	7,5
60	2670	303049	289925	212134	0,05	7,5
61	2710	305979	292960	214185	0,05	7,5
62	2780	311069	298227	217749	0,05	7,5
63	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
64	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
65	2779	311020	298175	217714	0,05	7,5
66	2760	309626	296733	216738	0,05	7,5
67	2789	311782	298964	218248	0,05	7,5
68	2809	313252	300483	219277	0,05	7,5
69	2723	307024	294042	214917	0,05	7,5
70	2626	299986	286751	209990	0,05	7,5
71	2443	286433	272680	200503	0,05	7,5
72	2247	271566	257186	190096	0,05	7,5
73	2122	262022	247204	183415	0,05	7,5
74	1985	251339	235991	175937	0,05	7,5
75	1956	249159	233698	174411	0,05	7,5
76	1916	246068	114852	172248	0,05	7,5
77	891	160921	37286	112645	0,05	7,5
78	820	37560	35227	26292	0,05	7,5
79	747	35498	32898	24848	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]
80	593	33041	29024	23129	0,05	7,5
81	495	28968	24311	20278	0,05	7,5
82	391	24097	19305	16868	0,05	7,5
83	281	19040	14057	13328	0,05	7,5
84	234	6532	5831	4573	0,05	7,5
85	15	213	0	149	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 295 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 59 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 59 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 324261 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 648522 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	25	12	9	12	0	195
2	72	23	17	23	0	360
3	257	49	27	37	0	764
4	405	76	38	51	0	1194
5	500	94	42	56	0	1480
6	592	112	43	59	0	2474
7	740	128	44	59	0	3415
8	813	143	31	42	3	3816
9	895	160	19	26	3	4278
10	1943	178	15	20	3	8350
11	2078	192	13	18	0	9036
12	2199	206	13	17	2	9665
13	2332	221	13	17	2	10364
14	2452	235	13	17	2	11008
15	2551	246	13	17	2	11543
16	2639	256	13	17	0	12023
17	2712	265	13	17	2	12424
18	2775	272	13	17	2	12772
19	2824	278	13	17	2	13046
20	2864	283	13	17	2	13268
21	2894	286	13	17	2	13436
22	2915	289	13	17	2	13553
23	2909	288	13	17	0	13519
24	2894	286	13	17	0	13433
25	2908	288	13	17	0	13512
26	2921	290	13	17	0	13588
27	2940	292	13	17	0	13694
28	2959	294	13	17	0	13800
29	2943	292	13	17	0	13711

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]
30	2927	290	13	17	0	13622
31	2893	286	13	17	0	13430
32	2859	282	13	17	0	13239
33	2805	276	13	17	0	12937
34	2751	269	13	17	0	12635
35	2802	275	13	17	0	12922
36	2854	282	13	17	0	13209
37	2849	281	13	17	0	13181
38	2844	280	13	17	0	13153
39	2797	275	13	17	0	12889
40	2749	269	13	17	0	12625
41	2820	278	13	17	0	13023
42	2891	286	13	17	0	13420
43	2862	283	13	17	0	13257
44	2833	279	13	17	0	13095
45	2855	282	13	17	0	13215
46	2876	284	13	17	0	13334
47	2841	280	13	17	0	13135
48	2805	276	13	17	0	12936
49	2828	278	13	17	0	13063
50	2850	281	13	17	0	13191
51	2907	288	13	17	0	13510
52	2964	295	13	17	0	13828
53	2961	294	13	17	0	13814
54	2959	294	13	17	0	13800
55	2833	279	13	17	0	13095
56	2707	264	13	17	0	12392
57	2689	262	13	17	0	12289
58	2670	260	13	17	0	12186
59	2670	260	13	17	0	12185
60	2670	260	13	17	0	12184
61	2710	264	13	17	0	12406
62	2780	273	13	17	0	12796
63	2789	274	13	17	0	12847
64	2789	274	13	17	0	12847
65	2779	273	13	17	0	12791
66	2760	270	13	17	0	12684
67	2789	274	13	17	0	12850
68	2809	276	13	17	0	12963
69	2723	266	13	17	0	12484
70	2626	255	13	17	0	11952
71	2443	233	13	17	0	10956
72	2247	211	13	17	0	9906
73	2122	197	13	17	0	9255
74	1985	182	13	17	0	8548
75	1956	179	13	18	0	8406
76	1916	175	14	19	0	8207
77	891	159	18	24	0	4256
78	820	144	28	38	0	3856
79	747	129	44	59	0	3453
80	593	113	44	59	0	2087
81	495	93	42	57	0	1465
82	391	74	37	51	0	1155
83	266	54	40	54	0	841
84	102	34	25	34	0	525
85	1	1	1	1	0	35

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	78	1431	425	1001	0,05	7,5
2	164	3574	3732	2502	0,05	7,5
3	259	17728	12682	12409	0,05	7,5
4	406	24704	19930	17293	0,05	7,5
5	500	29172	24520	20421	0,05	7,5
6	592	33038	28993	23127	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]
7	740	35298	32622	24709	0,05	7,5
8	813	37362	35018	26153	0,05	7,5
9	895	127239	37401	89067	0,05	7,5
10	1943	248302	85460	173811	0,05	7,5
11	2078	258777	243803	181144	0,05	7,5
12	2199	268086	253550	187660	0,05	7,5
13	2332	278153	264060	194707	0,05	7,5
14	2452	287169	273445	201018	0,05	7,5
15	2551	294485	281045	206139	0,05	7,5
16	2639	300936	287736	210655	0,05	7,5
17	2712	306237	293226	214366	0,05	7,5
18	2775	310775	297922	217543	0,05	7,5
19	2824	314318	301585	220022	0,05	7,5
20	2864	317160	304521	222012	0,05	7,5
21	2894	319310	306742	223517	0,05	7,5
22	2915	320793	308272	224555	0,05	7,5
23	2909	320354	307819	224248	0,05	7,5
24	2894	319259	306689	223482	0,05	7,5
25	2908	320263	307726	224184	0,05	7,5
26	2921	321234	308728	224864	0,05	7,5
27	2940	322570	310107	225799	0,05	7,5
28	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
29	2943	322783	310326	225948	0,05	7,5
30	2927	321661	309168	225162	0,05	7,5
31	2893	319231	306660	223462	0,05	7,5
32	2859	316786	304135	221750	0,05	7,5
33	2805	312903	300123	219032	0,05	7,5
34	2751	308981	296067	216287	0,05	7,5
35	2802	312707	299920	218895	0,05	7,5
36	2854	316398	303734	221479	0,05	7,5
37	2849	316042	303366	221229	0,05	7,5
38	2844	315685	302998	220980	0,05	7,5
39	2797	312282	299481	218597	0,05	7,5
40	2749	308849	295930	216194	0,05	7,5
41	2820	314006	301263	219804	0,05	7,5
42	2891	319097	306522	223368	0,05	7,5
43	2862	317023	304380	221916	0,05	7,5
44	2833	314939	302226	220457	0,05	7,5
45	2855	316473	303812	221531	0,05	7,5
46	2876	318002	305391	222602	0,05	7,5
47	2841	315453	302758	220817	0,05	7,5
48	2805	312887	300106	219021	0,05	7,5
49	2828	314532	301807	220173	0,05	7,5
50	2850	316171	303500	221320	0,05	7,5
51	2907	320237	307698	224166	0,05	7,5
52	2964	324261	311851	226983	0,05	7,5
53	2961	324081	311666	226857	0,05	7,5
54	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
55	2833	314944	302232	220461	0,05	7,5
56	2707	305799	292774	214059	0,05	7,5
57	2689	304436	291362	213105	0,05	7,5
58	2670	303067	289944	212147	0,05	7,5
59	2670	303058	289935	212141	0,05	7,5
60	2670	303049	289925	212134	0,05	7,5
61	2710	305979	292960	214185	0,05	7,5
62	2780	311069	298227	217749	0,05	7,5
63	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
64	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
65	2779	311020	298175	217714	0,05	7,5
66	2760	309626	296733	216738	0,05	7,5
67	2789	311782	298964	218248	0,05	7,5
68	2809	313252	300483	219277	0,05	7,5
69	2723	307024	294042	214917	0,05	7,5
70	2626	299986	286751	209990	0,05	7,5
71	2443	286433	272680	200503	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]
72	2247	271566	257186	190096	0,05	7,5
73	2122	262022	247204	183415	0,05	7,5
74	1985	251339	235991	175937	0,05	7,5
75	1956	249159	233698	174411	0,05	7,5
76	1916	246068	114852	172248	0,05	7,5
77	891	160921	37286	112645	0,05	7,5
78	820	37560	35227	26292	0,05	7,5
79	747	35498	32898	24848	0,05	7,5
80	593	33041	29024	23129	0,05	7,5
81	495	28968	24311	20278	0,05	7,5
82	391	24097	19305	16868	0,05	7,5
83	281	19040	14057	13328	0,05	7,5
84	234	6532	5831	4573	0,05	7,5
85	15	213	0	149	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 295 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 59 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 59 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 324261 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 648522 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	25	12	9	12	0	195
2	72	23	17	23	0	360
3	257	49	27	37	0	764
4	405	76	38	51	0	1194
5	500	94	42	56	0	1480
6	592	112	43	59	0	2474
7	740	128	44	59	0	3415
8	813	143	31	42	3	3816
9	895	160	19	26	3	4278
10	1943	178	15	20	3	8350
11	2078	192	13	18	0	9036
12	2199	206	13	17	2	9665
13	2332	221	13	17	2	10364
14	2452	235	13	17	2	11008
15	2551	246	13	17	2	11543
16	2639	256	13	17	0	12023
17	2712	265	13	17	2	12424
18	2775	272	13	17	2	12772
19	2824	278	13	17	2	13046
20	2864	283	13	17	2	13268
21	2894	286	13	17	2	13436

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]
22	2915	289	13	17	2	13553
23	2909	288	13	17	0	13519
24	2894	286	13	17	0	13433
25	2908	288	13	17	0	13512
26	2921	290	13	17	0	13588
27	2940	292	13	17	0	13694
28	2959	294	13	17	0	13800
29	2943	292	13	17	0	13711
30	2927	290	13	17	0	13622
31	2893	286	13	17	0	13430
32	2859	282	13	17	0	13239
33	2805	276	13	17	0	12937
34	2751	269	13	17	0	12635
35	2802	275	13	17	0	12922
36	2854	282	13	17	0	13209
37	2849	281	13	17	0	13181
38	2844	280	13	17	0	13153
39	2797	275	13	17	0	12889
40	2749	269	13	17	0	12625
41	2820	278	13	17	0	13023
42	2891	286	13	17	0	13420
43	2862	283	13	17	0	13257
44	2833	279	13	17	0	13095
45	2855	282	13	17	0	13215
46	2876	284	13	17	0	13334
47	2841	280	13	17	0	13135
48	2805	276	13	17	0	12936
49	2828	278	13	17	0	13063
50	2850	281	13	17	0	13191
51	2907	288	13	17	0	13510
52	2964	295	13	17	0	13828
53	2961	294	13	17	0	13814
54	2959	294	13	17	0	13800
55	2833	279	13	17	0	13095
56	2707	264	13	17	0	12392
57	2689	262	13	17	0	12289
58	2670	260	13	17	0	12186
59	2670	260	13	17	0	12185
60	2670	260	13	17	0	12184
61	2710	264	13	17	0	12406
62	2780	273	13	17	0	12796
63	2789	274	13	17	0	12847
64	2789	274	13	17	0	12847
65	2779	273	13	17	0	12791
66	2760	270	13	17	0	12684
67	2789	274	13	17	0	12850
68	2809	276	13	17	0	12963
69	2723	266	13	17	0	12484
70	2626	255	13	17	0	11952
71	2443	233	13	17	0	10956
72	2247	211	13	17	0	9906
73	2122	197	13	17	0	9255
74	1985	182	13	17	0	8548
75	1956	179	13	18	0	8406
76	1916	175	14	19	0	8207
77	891	159	18	24	0	4256
78	820	144	28	38	0	3856
79	747	129	44	59	0	3453
80	593	113	44	59	0	2087
81	495	93	42	57	0	1465
82	391	74	37	51	0	1155
83	266	54	40	54	0	841
84	102	34	25	34	0	525
85	1	1	1	1	0	35

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	78	1431	425	1001	0,05	7,5
2	164	3574	3732	2502	0,05	7,5
3	259	17728	12682	12409	0,05	7,5
4	406	24704	19930	17293	0,05	7,5
5	500	29172	24520	20421	0,05	7,5
6	592	33038	28993	23127	0,05	7,5
7	740	35298	32622	24709	0,05	7,5
8	813	37362	35018	26153	0,05	7,5
9	895	127239	37401	89067	0,05	7,5
10	1943	248302	85460	173811	0,05	7,5
11	2078	258777	243803	181144	0,05	7,5
12	2199	268086	253550	187660	0,05	7,5
13	2332	278153	264060	194707	0,05	7,5
14	2452	287169	273445	201018	0,05	7,5
15	2551	294485	281045	206139	0,05	7,5
16	2639	300936	287736	210655	0,05	7,5
17	2712	306237	293226	214366	0,05	7,5
18	2775	310775	297922	217543	0,05	7,5
19	2824	314318	301585	220022	0,05	7,5
20	2864	317160	304521	222012	0,05	7,5
21	2894	319310	306742	223517	0,05	7,5
22	2915	320793	308272	224555	0,05	7,5
23	2909	320354	307819	224248	0,05	7,5
24	2894	319259	306689	223482	0,05	7,5
25	2908	320263	307726	224184	0,05	7,5
26	2921	321234	308728	224864	0,05	7,5
27	2940	322570	310107	225799	0,05	7,5
28	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
29	2943	322783	310326	225948	0,05	7,5
30	2927	321661	309168	225162	0,05	7,5
31	2893	319231	306660	223462	0,05	7,5
32	2859	316786	304135	221750	0,05	7,5
33	2805	312903	300123	219032	0,05	7,5
34	2751	308981	296067	216287	0,05	7,5
35	2802	312707	299920	218895	0,05	7,5
36	2854	316398	303734	221479	0,05	7,5
37	2849	316042	303366	221229	0,05	7,5
38	2844	315685	302998	220980	0,05	7,5
39	2797	312282	299481	218597	0,05	7,5
40	2749	308849	295930	216194	0,05	7,5
41	2820	314006	301263	219804	0,05	7,5
42	2891	319097	306522	223368	0,05	7,5
43	2862	317023	304380	221916	0,05	7,5
44	2833	314939	302226	220457	0,05	7,5
45	2855	316473	303812	221531	0,05	7,5
46	2876	318002	305391	222602	0,05	7,5
47	2841	315453	302758	220817	0,05	7,5
48	2805	312887	300106	219021	0,05	7,5
49	2828	314532	301807	220173	0,05	7,5
50	2850	316171	303500	221320	0,05	7,5
51	2907	320237	307698	224166	0,05	7,5
52	2964	324261	311851	226983	0,05	7,5
53	2961	324081	311666	226857	0,05	7,5
54	2959	323901	311480	226731	0,05	7,5
55	2833	314944	302232	220461	0,05	7,5
56	2707	305799	292774	214059	0,05	7,5
57	2689	304436	291362	213105	0,05	7,5
58	2670	303067	289944	212147	0,05	7,5
59	2670	303058	289935	212141	0,05	7,5
60	2670	303049	289925	212134	0,05	7,5
61	2710	305979	292960	214185	0,05	7,5
62	2780	311069	298227	217749	0,05	7,5
63	2789	311738	298918	218217	0,05	7,5
64	2789	311738	298918	218217	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]
65	2779	311020	298175	217714	0,05	7,5
66	2760	309626	296733	216738	0,05	7,5
67	2789	311782	298964	218248	0,05	7,5
68	2809	313252	300483	219277	0,05	7,5
69	2723	307024	294042	214917	0,05	7,5
70	2626	299986	286751	209990	0,05	7,5
71	2443	286433	272680	200503	0,05	7,5
72	2247	271566	257186	190096	0,05	7,5
73	2122	262022	247204	183415	0,05	7,5
74	1985	251339	235991	175937	0,05	7,5
75	1956	249159	233698	174411	0,05	7,5
76	1916	246068	114852	172248	0,05	7,5
77	891	160921	37286	112645	0,05	7,5
78	820	37560	35227	26292	0,05	7,5
79	747	35498	32898	24848	0,05	7,5
80	593	33041	29024	23129	0,05	7,5
81	495	28968	24311	20278	0,05	7,5
82	391	24097	19305	16868	0,05	7,5
83	281	19040	14057	13328	0,05	7,5
84	234	6532	5831	4573	0,05	7,5
85	15	213	0	149	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 295 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 59 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 59 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 324261 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 648522 kN/m ³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
3	Zand, sterk siltig, kleig	Calculated with E100
2	Zand, schoon, los	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	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]
3	0,000	14,846	0,000	14,145	0,000	15,292
2	14,903	18,262	14,460	17,902	15,182	18,490
1	91,308	135,045	89,508	133,835	92,449	135,819

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]
3	0,000	16,612	0,000	16,836	0,000	17,059
2	15,988	19,157	16,123	19,270	16,256	19,381
1	95,786	138,112	96,348	138,502	96,906	138,891

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]
3	0,000	17,106	0,000	17,153	0,000	17,465
2	16,284	19,405	16,312	19,428	16,496	19,583
1	97,023	138,973	97,140	139,055	97,917	139,598

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]
3	0,000	17,775	0,000	17,643	0,000	17,510
2	16,679	19,737	16,601	19,672	16,523	19,606

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]
1	98,686	140,139	98,358	139,908	98,028	139,676

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]
3	0,000	17,691	0,000	17,872	0,000	17,920
2	16,630	19,696	16,736	19,785	16,764	19,809
1	98,478	139,993	98,927	140,309	99,045	140,392

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]
3	0,000	17,967	0,000	17,952	0,000	17,936
2	16,791	19,832	16,782	19,825	16,773	19,817
1	99,162	140,475	99,124	140,448	99,086	140,421

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]
3	0,000	17,870	0,000	17,804	0,000	17,736
2	16,735	19,784	16,696	19,752	16,656	19,718
1	98,922	140,305	98,758	140,190	98,589	140,071

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]
3	0,000	17,667	0,000	17,353	0,000	17,036
2	16,616	19,684	16,430	19,527	16,242	19,370
1	98,419	139,951	97,637	139,402	96,848	138,851

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]
3	0,000	17,226	0,000	17,416	0,000	17,677
2	16,355	19,465	16,468	19,559	16,621	19,688
1	97,323	139,182	97,795	139,513	98,442	139,968

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]
3	0,000	17,936	0,000	17,718	0,000	17,499
2	16,773	19,817	16,645	19,709	16,517	19,600
1	99,086	140,421	98,545	140,040	98,002	139,658

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]
3	0,000	17,025	0,000	16,547	0,000	15,787
2	16,235	19,364	15,949	19,125	15,487	18,741
1	96,819	138,831	95,623	137,999	93,705	136,677

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]
3	0,000	15,018	0,000	15,749	0,000	16,471
2	15,011	18,350	15,464	18,722	15,903	19,086
1	91,748	135,343	93,608	136,611	95,432	137,867

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]
3	0,000	16,401	0,000	16,332	0,000	15,665
2	15,861	19,051	15,819	19,016	15,412	18,679
1	95,256	137,745	95,081	137,624	93,397	136,466

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]
3	0,000	14,992	0,000	16,003	0,000	16,999
2	14,995	18,336	15,619	18,850	16,220	19,351
1	91,682	135,298	94,252	137,053	96,754	138,785

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]
3	0,000	16,593	0,000	16,186	0,000	16,486
2	15,977	19,148	15,730	18,943	15,912	19,094
1	95,739	138,079	94,713	137,370	95,469	137,892

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]
3	0,000	16,785	0,000	16,286	0,000	15,784
2	16,092	19,244	15,791	18,993	15,485	18,739
1	96,219	138,413	94,966	137,545	93,697	136,672

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]
3	0,000	16,106	0,000	16,427	0,000	17,221
2	15,682	18,902	15,876	19,064	16,352	19,462
1	94,512	137,232	95,320	137,790	97,310	139,173

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]
3	0,000	18,007	0,000	17,972	0,000	17,936
2	16,814	19,852	16,794	19,835	16,773	19,817
1	99,259	140,543	99,173	140,482	99,086	140,421

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]
3	0,000	16,187	0,000	14,392	0,000	14,124
2	15,731	18,943	14,617	18,029	14,446	17,890
1	94,716	137,372	90,144	134,260	89,451	133,797

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]
3	0,000	13,854	0,000	13,852	0,000	13,850
2	14,273	17,751	14,272	17,750	14,271	17,749
1	88,754	133,331	88,749	133,328	88,744	133,325

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]
3	0,000	14,427	0,000	15,429	0,000	15,643
2	14,640	18,047	15,267	18,559	15,399	18,668
1	90,235	134,322	92,796	136,055	93,340	136,427

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]
3	0,000	15,856	0,000	16,059	0,000	16,262
2	15,530	18,776	15,654	18,879	15,777	18,981
1	93,881	136,798	94,394	137,151	94,905	137,503

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]
3	0,000	17,273	0,000	18,270	0,000	17,943
2	16,383	19,488	16,968	19,982	16,777	19,820
1	97,440	139,264	99,910	141,004	99,101	140,432

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]
3	0,000	17,613	0,000	16,259	0,000	14,875
2	16,584	19,657	15,775	18,979	14,922	18,277
1	98,285	139,857	94,897	137,497	91,383	135,096

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]
3	0,000	14,643	0,000	14,410	0,000	15,770
2	14,776	18,158	14,629	18,038	15,477	18,732
1	90,788	134,694	90,190	134,291	93,662	136,648

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]
3	0,000	17,101	0,000	17,083	0,000	17,066
2	16,281	19,402	16,270	19,393	16,260	19,384
1	97,010	138,964	96,966	138,933	96,921	138,902

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]
3	0,000	17,158	0,000	17,249	0,000	17,360
2	16,314	19,430	16,369	19,476	16,434	19,531
1	97,151	139,062	97,380	139,222	97,655	139,415

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]
3	0,000	17,470	0,000	17,561	0,000	17,651
2	16,499	19,586	16,553	19,631	16,606	19,676
1	97,929	139,607	98,154	139,765	98,378	139,922

Layer number	Vertical 85 (L=425 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	17,643
2	16,601	19,672
1	98,359	139,909

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 = 170181 kN/m ³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 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	:	353	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	252	[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	43
T2	47	67
T3	125	126

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	313	243
T5	411	324
T6	433	336

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 = 433 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 = 59 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 324261 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 204,592 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,74 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,02	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 6,54 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0200 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,77 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,25 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 7,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 5,33 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,25	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,71	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,49	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,33	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)	1,02	6,54	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,25	0,25
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,77	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,33	5,33

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,8 mm (3,44% 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 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 336 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 260 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 = 433 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 = 59 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 324261 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 204,592 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,74 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,02	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	1,05	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	5,86	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	6,54	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	=	0,0200	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,18	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,77	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:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,38	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,25	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,71	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	7,49	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	5,33	N/mm ²
--	---	------	-------------------

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

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,38	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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,25	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,71	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,49	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,33	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)	1,02	6,54	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,25	0,25
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,77	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,33	5,33

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,8 mm (3,44% 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 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 336 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 260 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 = 433 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 = 59 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 324261 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 204,592 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,74 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,02	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 6,54 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0200 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,77 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,25 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 7,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 5,33 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,25	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,71	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,49	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,33	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)	1,02	6,54	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,25	0,25
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,77	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,33	5,33

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,8 mm (3,44% 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 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 336 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 260 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 = 433 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 = 59 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 324261 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 204,592 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,74 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 1,02 \text{ N/mm}^2$$

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 5,86 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 6,54 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

$$q_r = k_v \cdot y = (0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I) / (D_o \cdot R / f_R)$$

$$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0,25} = 3,7E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0200 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,18 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 0,77 \text{ N/mm}^2$$

10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

$$\sigma_{px} = 0,5 \cdot \sigma_{py} = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

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

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

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \sigma_{a,max} = 0,25 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 7,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \sigma_{t,max} = 5,33 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

$$\sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b) = 0,38 \text{ N/mm}^2$$

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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,25	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,71	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,49	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,33	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)	1,02	6,54	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,25	0,25
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,77	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,33	5,33

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,8 mm (3,44% 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 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 336 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 260 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

C.4 Kruising A16 en Achterdijk

Kruising A16 en Achterdijk

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat en waterschap
Brabantse Delta



Verantwoording

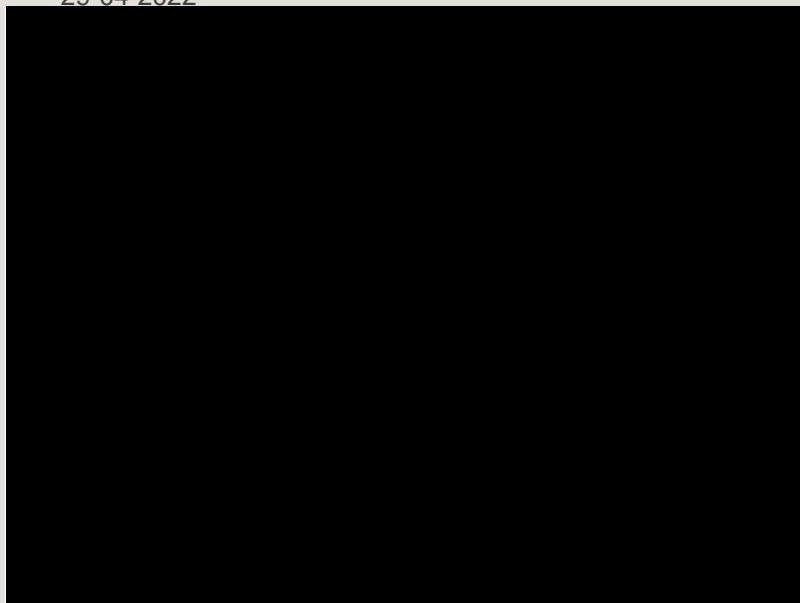
Titel: Kruising A16 en Achterdijk
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-23001
Versie: D1

Datum: 29-04-2022

Auteurs:
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	Horizontale afstand tot overige objecten	8
2.5	Diepteligging.....	9
2.6	Inwendige overdruk	10
2.7	Grondwaterstand	10
2.8	Belasting- en ondersteuningshoek	10
2.9	Importatiefactor.....	10
2.10	Geotechnische parameters	10
2.11	Boortechnische gegevens	12
2.12	Verkeersbelasting.....	12
2.13	Boogstralen	12
3.	Ontwerp	14
3.1	Gegevens HDD	14
3.2	Boorparameters.....	15
3.3	Intredepunt	15
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook	15
4.	Berekeningsresultaten.....	17
4.1	Trekkrachtberekening.....	18
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase.....	18
4.3	Muddrukberekening.....	18
4.4	Implosie	19
4.5	Kwelweg	19
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	19
4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden.....	19
4.5.3	Kwelmaatregelen.....	21
5.	Risico's en aandachtspunten	22
6.	Conclusie	24
6.1	Algemeen	24
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening.....	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 snelweg A16, de regionale compartimenteringskering in het beheer van waterschap Brabantse Delta en de Achterdijk. De kruising (met codering ZBH HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat met het ontwerp en berekeningen conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de keur van waterschap Brabantse Delta.

1.1 Situatie

De HDD's starten ten oosten van afrit 18 van de A16 in Zevenbergschen Hoek bij 150 kV hoogspanningsstation Zevenbergschen Hoek (zie figuur 1). Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. In drie van de mantelbuizen wordt een hoogspanningskabel ingetrokken en 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 358 m en een maximale diepte van circa NAP -25,0 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van west naar oost: afrit 18 van Rijksweg A16, twee bovengrondse hoogspanningsverbindingen, Rijksweg A16, de oprit naar de A16, een regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta en de Achterdijk. Verder kruist het tracé verschillende kabels en leidingen, waaronder vier waterleidingen. Het tracé ligt tussen twee hoogspanningsmasten, te weten ZBH-MDK 150 kV mast 40A en GT-KRK 380 kV mast 33.



Figuur 1 Overzicht situatie ZBH HDD1

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 ZBH HDD1, tekeningnummer ZBH HDD1 versie B, d.d. 28-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket en GIS portal van Sweco (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3) en het 3D wegprofiel van Rijkswaterstaat.
- KLIC-levering 22O056318 opgevraagd d.d. 28-04-2022
- Legger waterkeringen waterschap Brabantse Delta, bekeken op 20-03-2022, website:
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fd76082880324620845b0001369d019a>
- Algemene regels van de Keur waterschap Brabantse Delta, 2020, hoofdstuk 16. Kabels en leiding in en nabij a-wateren en b-wateren.
- Tekeningen geluidsscherm HSL:
 - DOXZN-2018-00963, tekeningnummer B-2-5133-PR-20, As Built d.d. 30-07-2004 van Bouwcombinatie Brabant Noord;
 - DOXZN-2018-002169, tekeningnummer 0-2-DP-16-PL, As Built d.d. 14-05-2004 van Bouwcombinatie Brabant Noord.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).

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. De eerste NAP -17 m bestaat uit zand-, klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa 70% in de pleistocene zandlaag liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

2.4 Horizontale afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de horizontale afstand van de HDD's hoogspanningsmastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 5 meter uit de teen van de mast gehanteerd. De funderingswijze van de mast 40A is bekend. De funderingspalen hebben een lengte van 19,5 m en een schoorstand van 4,06:1 (zie figuur 2). De gegevens voor mast 33 zijn niet bekend, aangenomen is dat het ontwerp gelijk zijn aan het ontwerp van mast 40A
 - o De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast ZBH-MDK-150-40A bedraagt 11,53 m. De HDD's liggen hier 12,90 m -mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 houden de HDD's een horizontale dagmaat van 5,00 m ten opzichte van de paalfundering. De dichtstbijzijnde HDD ligt hier circa 24,5 m -mv. De HDD's houden hier dus een verticale dagmaat van 5,0 m ten opzichte van de paalfundering. De dagmaat tussen de palen en de bovenste HDD bedraagt daarmee circa 7,0 m. Dit voldoet aan de eisen;
 - o De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast GT-KRK-380-33 bedraagt 11,58 m. De HDD's liggen hier 12,90 m -mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 houden de HDD's een dagmaat afstand van 5,05 m ten opzichte van de paalfundering. De dichtstbijzijnde HDD ligt hier circa 24,5 m -mv. De HDD's houden hier dus een verticale dagmaat van 5,0 m ten opzichte van de paalfundering. De dagmaat tussen de palen en de bovenste HDD bedraagt daarmee circa 7,0 m. Dit voldoet aan de eisen.

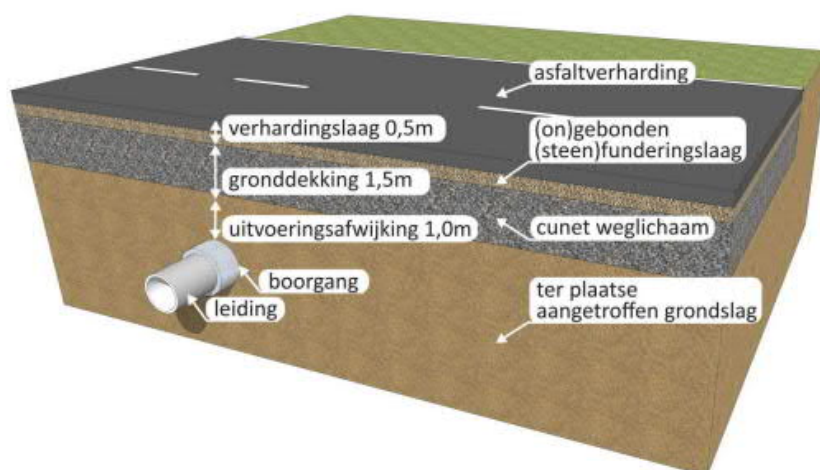
Paaldiameter: Ø406x8		Paalsoort: Puntpalen		N.B. maat \varnothing 7000 op 800 +MV							
Mastnummer:	Masttype:	Paallengte: (in m)	A (in mm)	A√2 (in mm)	B (in mm)	B√2 (in mm)	Schoorstand:	Paalkophoogte: (in mm t.o.v. mv)	Lengte betonvulling: (in m)	Hoeveelheid beton (in m3) per mast	
40a	S+0	19,5	7070	9998	7279	10294	4,06:1	600	1,7	0,81	
Paaldiameter: Ø609x8		Paalsoort: injectie		N.B. maat \varnothing 8000 op 800 +MV							
Mastnummer:	Masttype:	Paallengte: (in m)	A (in mm)	A√2 (in mm)	B (in mm)	B√2 (in mm)	Schoorstand:	Paalkophoogte: (in mm t.o.v. mv)	Lengte betonvulling: (in m)	Hoeveelheid beton (in m3) per mast	
38a	E+4	20	8096	11449	8384	11856	2,95:1	600	2	2,21	
39a	E+4	20	8096	11449	8384	11856	2,95:1	600	2	2,21	
41a	E+4	19	8096	11449	8384	11856	2,95:1	600	2	2,21	

Figuur 2 Informatie fundering 150 kV-lijn Geertruidenberg-Moerdijk

2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen de kruin van de regionale waterkering te passeren met een dekking van minimaal 10 m en de teen met een dekking van minimaal 3,0 m (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).
 - De kruinhoogte van de regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta is circa NAP +2 m. De HDD's kruisen de regionale waterkering met een minimale afstand van 23,8 m.
- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van 3 meter (in cohesieve grond) tussen de bovenkant verharding en de bovenkant boorgat (verhardingslaag 0,5 m + gronddekking 1,5 m + uitvoeringsafwijking 1,0 m) (zie figuur 3) (Richtlijn Boortechnieken 2019, paragraaf 2.4.1).
 - De op- en afrit van Rijksweg A16 en de Rijksweg A16 liggen op een minimale afstand van 12,4 m ten opzichte van de HDD's. Dit voldoet aan de eisen.
- De HDD's dienen een dagmaat van 5 meter afstand te hebben bij parallelligging tot of kruising met een bestaande HDD-boring (op basis van de Richtlijn Boortechnieken, zie paragraaf 2.3).
 - Het tracé kruist vier waterleidingen. De afstand tussen de HDD's en de waterleidingen is minimaal 10 m. De HDD's houden voldoende afstand.



Figuur 3 Schematische weergave gronddekking HDD boringen onder wegen (Richtlijn Boortechnieken, 2019)

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

Uit de BRO Grondwaterspiegeldiepte 2021 van DINOloket komt een minimale grondwaterstand van 0,95 m -mv. Voor deze rapportage nemen wij daarom een gemiddelde grondwaterstand aan van 0,95 m -mv.

2.8 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

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

2.9 Importantiefactor

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

2.10 Geotechnische parameters

De gebruikte geotechnische gegevens en parameters 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 boortracé [m]
1114-S4	Sondering	-40	40
1114-S3	Sondering	-40	40
1114-S2	Sondering	-40	40
1114-S1	Sondering	-40	40
1114-S7	Sondering	-40	20
1115-S2	Sondering	-23	80
1115-S3	Sondering	-23	80
1115-S4	Sondering	-23	80
1115-S5	Sondering	-23	80

1115-S6	Sondering	-23	80
1115-S1	Sondering	-23	80
CPT22208	Sondering	-15	60
CPT22252	Sondering	-14	80
CPT22209	Sondering	-14	40
CPT22210	Sondering	-15	20

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa NAP -17,0 m in het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit wisselende zand-, klei- en veenlagen, zoals geobserveerd in de sonderingen. Vooral aan het zuidelijke uiteinde van het geplande boortracé bevinden zich meerdere sonderingen op korte afstand (op 20 à 40 m) van de boorlijn. Vanaf het middelpunt tot het noordpunt van de boorlijn zijn ook meerdere sonderingen beschikbaar, maar op relatief grotere afstand (grootweg 80 m). Deze twee groepen sonderingen laten zien dat de dieptes van de gevonden grondlagen enigszins variëren. Omdat voor een groot deel van het geplande boortracé de sonderingen ver van de boorlijn af liggen, kan het verloop in diepte van deze grondlagen dus met het beschikbare grondonderzoek niet met zekerheid vastgesteld worden. Hieruit concluderen we dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om een grondprofiel met grotere nauwkeurigheid vast te stellen.

Tabel 2-2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de noordkant van het profiel zien. Tabel 2-3 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de zuidkant van het profiel zien. De grondparameters zijn opgesteld op basis van kennis en ervaring van de Nederlandse ondergrond en tabel 2b van NEN 9997-1+C2-2017. De stijfheidsmodulus E en ongedraineerde schuifsterkte S_u zijn gecorrigeerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op sonderingen 1115-S1, 1115-S6, 1115-S5, 1115-S4, 1115-S3, 1115-S2, CPT22252 en CPT22210

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' [°]	S_u top/bottom [kN/m ²]	E [kN/m ²]
0,1	-2,7	Zand; sterk siltig; kleiig	18	20	0,0	30,0	0,0	10000
-2,7	-3,9	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-3,9	-4,6	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-4,6	-13,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-13,0	-18,0	Klei; zwak zandig; matig	18	18	5,0	22,5	80,0	3000

-18,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	90000
-------	-------	-----------------------	----	----	-----	------	-----	-------

Tabel 2-3 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de zuidzijde van het profiel gebaseerd op sonderingen 1114-S7, 1114-S1, 1114-S2, 1114-S3, 1114-S4, CPT22208 en CPT22209

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' [°]	S_u top/bottom [kN/m ²]	E [kN/m ²]
-0,2	-2,0	Zand; sterk siltig; kleiig	18	20	0,0	30,0	0,0	10000
-2,0	-3,0	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-3,0	-4,0	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-4,0	-6,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-6,0	-7,0	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-7,0	-13,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-13,0	-17,0	Klei; zwak zandig; matig	18	18	5,0	22,5	80,0	3000
-17,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	90000

2.11 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberoeeningen 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 muddrukberoeeningen in bijlage 3.

2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de op- en afrit van de A16 en de A16 zelf is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020. Voor de Achterdijk is verkeersklasse II gehanteerd.

2.13 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 een horizontale bocht en een verticale bocht met een boogstraal van 250 m. De boogstraal voldoet 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.

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%

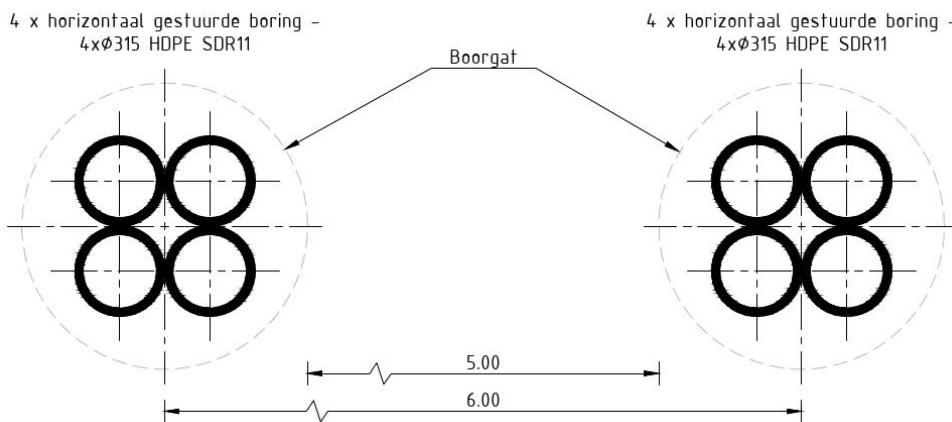
Figuur 4, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 358 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -15,0 m;
- intredehoek: 18°;
- uittredehoek: 20°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 250 m;
- gecombineerde boogstralen: n.v.t.



Figuur 5 Doorsnede van de 2 HDD's

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

- De HDD dient een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen;
- De kruising van een HDD-boring met de rijksweg dient in principe loodrecht op de lengterichting van de rijksweg uitgevoerd te worden. Deze boring is niet loodrecht en hiervoor dient toestemming te worden verkregen van Rijkswaterstaat. TenneT heeft het tracé op voorhand met Rijkswaterstaat besproken en afgestemd dat deze afwijking acceptabel is.

- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase;
- De afstandseisen zoals benoemd in paragraaf 2.3, 2,4 en 2,5. In het bijzonder de afstanden tot de fundering van de hoogspanningsmasten en de waterleidingen. Van beide is niet alle informatie over de diepteligging bekend;
- Langs de afrit van de A16 staat een geluidsscherm. Dit geluidsscherm is gefundeerd met een keerwandconstructie die de voet op circa NAP -1,0 m heeft liggen.

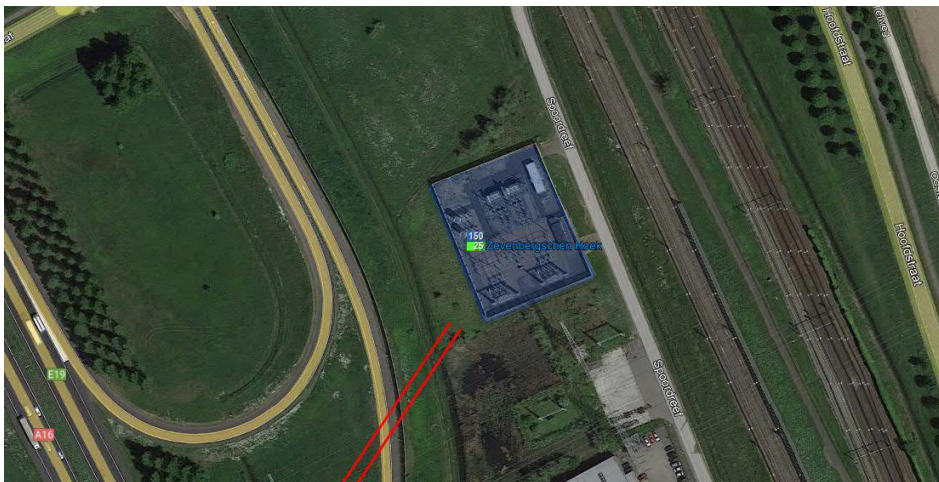
3.2 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : maxi-rig 80 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m³;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø500 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

De HDD's starten ten oosten van afrit 18 van de A16 bij het 150 kV station Zevenbergschen Hoek (zie figuur 6). Het intredepunt is bereikbaar via de Spoordreef achterlangs het 150 kV-station. Aan de westzijde van het 150 kV station is een smalle strook beschikbaar als werkterrein. Mogelijk dient de watergang tijdelijk gedempt te worden om muduitbraak te voorkomen en het werkterrein te vergroten.



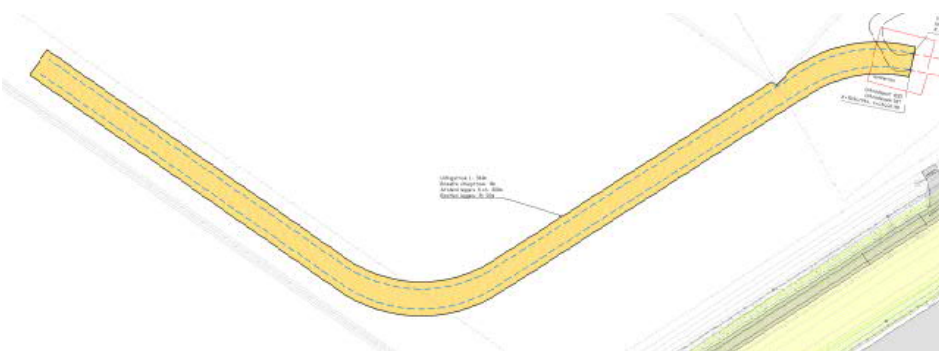
Figuur 6 Intredepunt ZBH HDD1

3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt aan de zuidzijde van het tracé in het bouwland bereikbaar via de Achterdijk (zie figuur 7). De uitlegstrook ligt in eerste instantie parallel aan de Achterdijk en buigt af langs de watergang (zie figuur 8).



Figuur 7 Uittredepunt ZBH HDD1



Figuur 8 Uitlegstrook ZBH HDD1

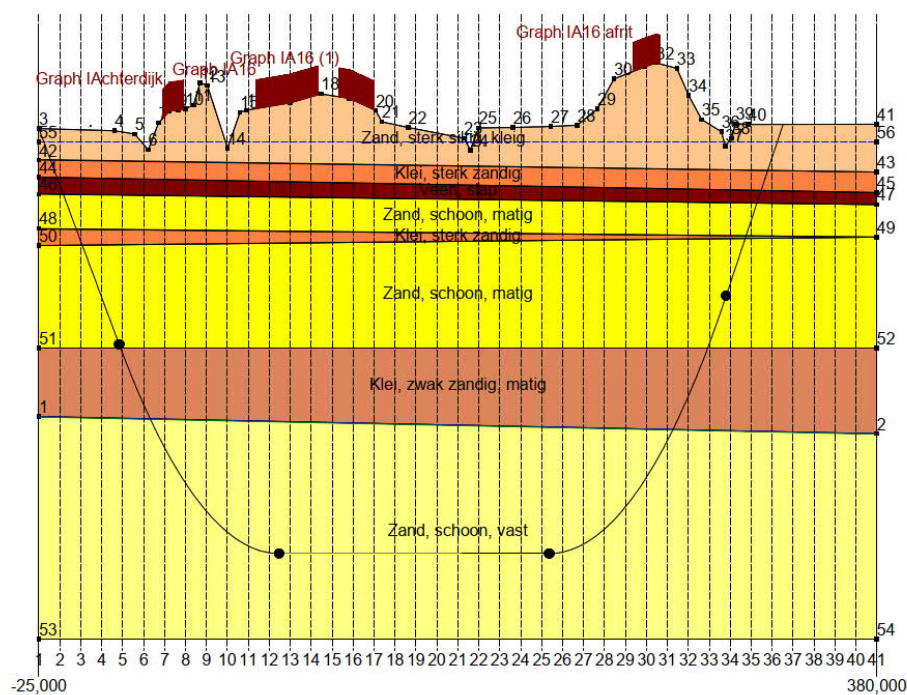
4. Berekeningsresultaten

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.

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 9 D-Geo Pipeline-model van HDD's ZBH HDD1

4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt $280 \cdot 1,8 = 504$ kN bij volledig met water gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $5,43$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

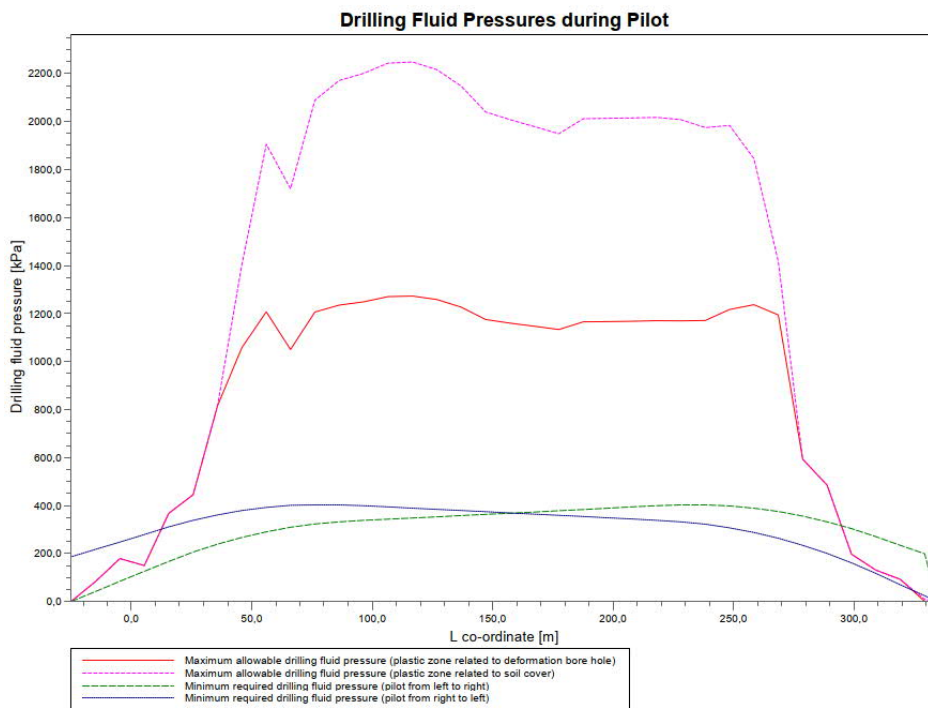
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $7,01$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $14,1$ mm ($4,49\% \times D_0$) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van $25,2$ mm (8%).

4.3 Muddrukberkening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 30 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. Ook bij het intredepunt bestaat de kans op muduitbraak. Wij adviseren daar de watergang tijdelijk te dempen. Bij het ruimen en de intrekoperatie wordt geen blow-out berekend.



Figuur 10 Muddrukberkening tijdens pilot fase

4.4 Implosie

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 241 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

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 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

In het gebied zijn in DINOloket geen representatieve peilbuisgegevens te vinden van de diepere grondlagen. Op basis van het geotechnisch profiel, is kwel uit de diepere grondlagen niet uit te sluiten. Om te bepalen of kwelmaatregelen nodig zijn, adviseren wij om nabij het tracé een peilbuis te plaatsen in het eerste watervoerende en freatische pakket en te bemeten.

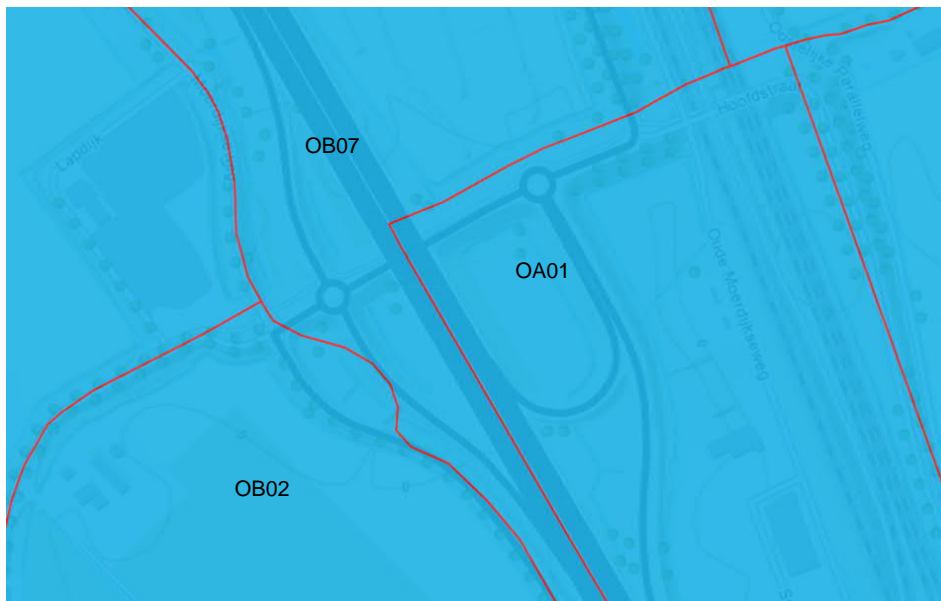
4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

Het intredepunt ligt in een ander peilbesluit dan het uittredepunt. Het intredepunt ligt in het peilgebied Oudland van Zevenbergen en het uittredepunt ligt in het peilgebied Arenberg-Schenkeldijkse polder.

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 en peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
OA01 – Oudland van Zevenbergen	- 1.2	-0.85
OB07 – Klaverpolder Ketelpolder	- 1.8	-2.2
OB02 – Arenberg-schenkeldijkse polder	- 1.25	-1.6



Figuur 11 Peilgebieden bij ZBH HDD1

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 niet op kan treden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
OA01	OB07	$114/3 = 38$	$7,5 + 114/6 + 24,5 = 51$
OA01	OB02	$114/3 = 38$	$7,5 + 230/6 + 22,5 = 68$

4.5.3 Kwelmaatregelen

De HDD's kunnen in dit geval niet tot verkorting van de natuurlijke kwelweg leiden. Het is niet uit te sluiten dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket op deze locatie hoger ligt dan de laagste gemiddelde grondwaterstand. Mogelijk sluiten de bovenliggende kleilagen 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 een peilbuis te slaan nabij het tracé en te onderzoeken of kwel kan ontstaan in deze situatie.

5. Risico's en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- De kruisingen van de HDD's met de rijksweg en de waterkering zijn niet loodrecht en hiervoor dient toestemming te worden verkregen van Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta. TenneT heeft het tracé op voorhand met Rijkswaterstaat besproken en afgestemd dat deze afwijking acceptabel en noodzakelijk is;
- Het tijdelijk dempen van de watergang bij het intredepunt om muduitbraak te voorkomen;
- Werken nabij hoogspanningsmasten van TenneT met name bij het intredepunt naast 150 kV station Zevenbergschen Hoek;
- Werken in de beschermingszones van de waterkeringen van waterschap Brabantse Delta;
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken;
- Het boortracé kruist een geluidsscherm van de HSL in de vorm van een keerwandconstructie. De ontvangen tekeningen en de kwaliteit daarvan geven nog geen exact uitsluitsel over de funderingsdiepte. Bij de uitvoering dient de funderingsdiepte van deze keerwand gecontroleerd te worden door de aannemer;
- Het boortracé passeert mast 33 GT-KRK 380 kV. De exacte funderingsgegevens van deze mast zijn niet bekend en zijn daarom afgeleid van de naastgelegen mast 40A ZBH-MDK 150 kV, waar de gegevens wel van bekend zijn;
- Bij het passeren van de bestaande hoogspanningsmasten dient de stabiliteit van de masten gewaarborgd blijven. Dit kan gemitigeerd worden met geotechnische berekeningen van de plastische straal van de HDD's.
- Het boortracé kruist vijf hoofdwaterleidingen, waarvan er twee buiten gebruik zijn. Van één leiding is geen diepte bekend. Met de beheerders (Brabant Water en DNWG) dient afgestemd te worden over het kruisen van deze leidingen;
- 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 mastfunderingen. Indien blijkt dat de HDD's niet naast elkaar passen, kan de keuze gemaakt worden om de HDD's onder elkaar te leggen.

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.

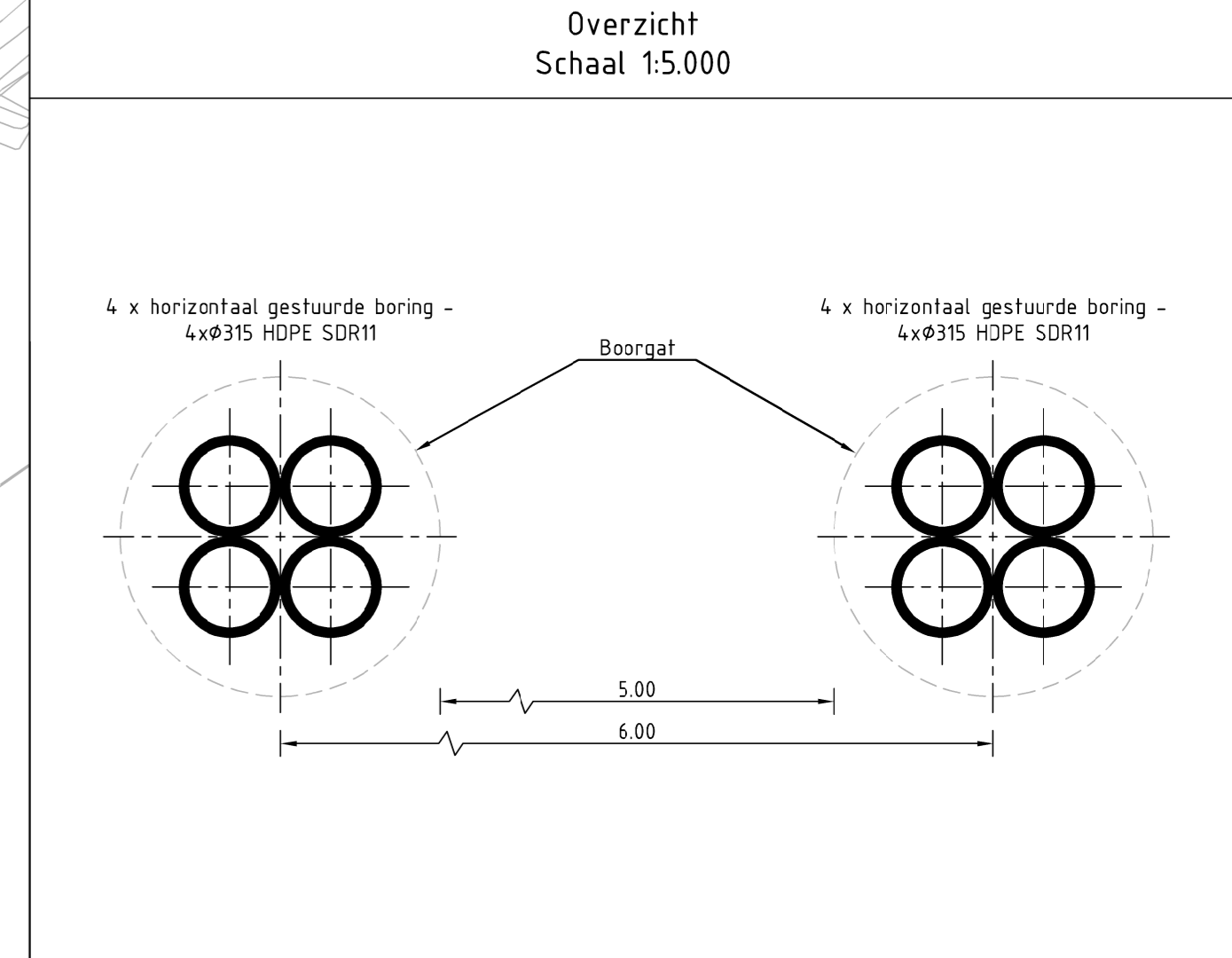
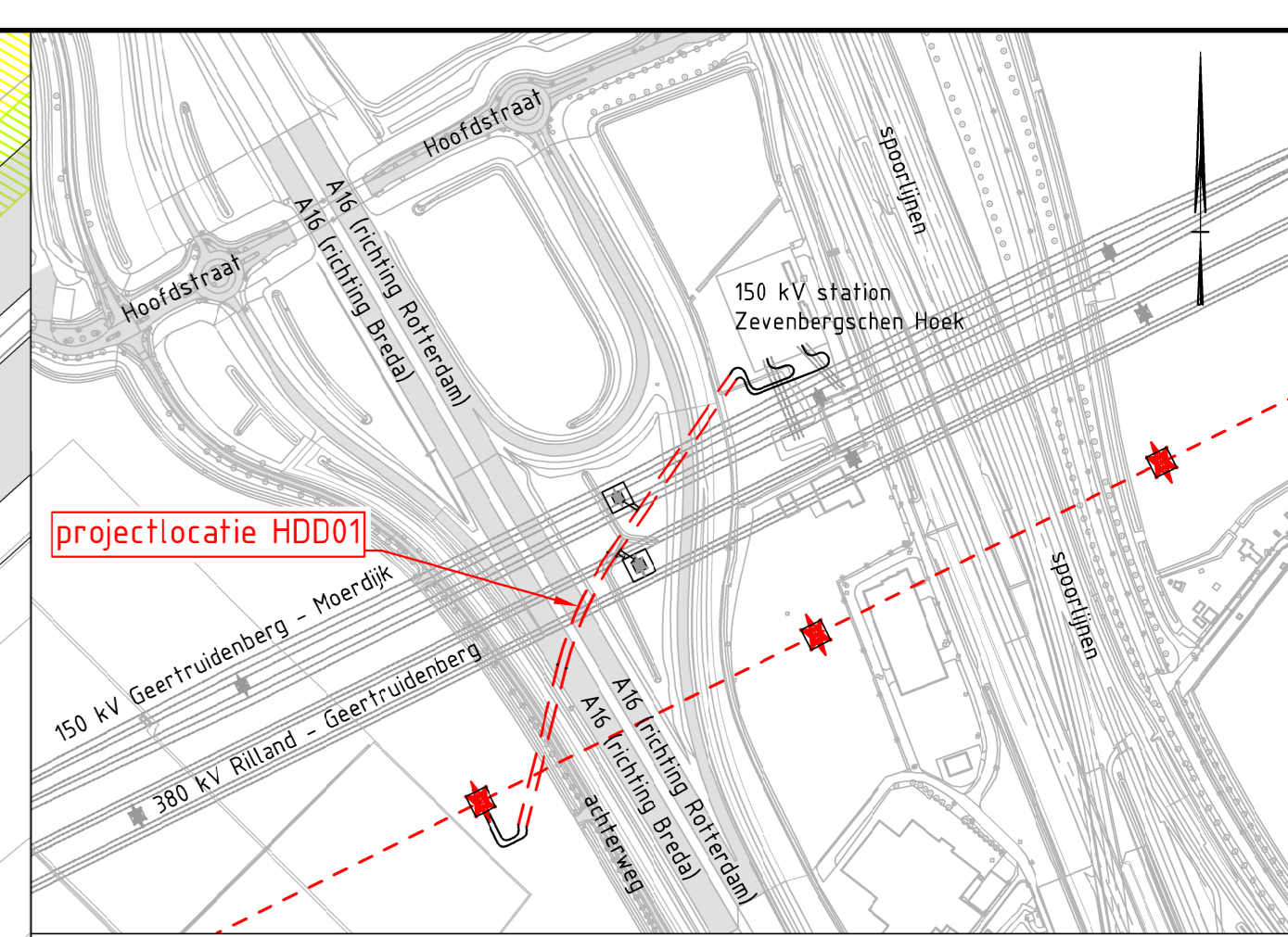
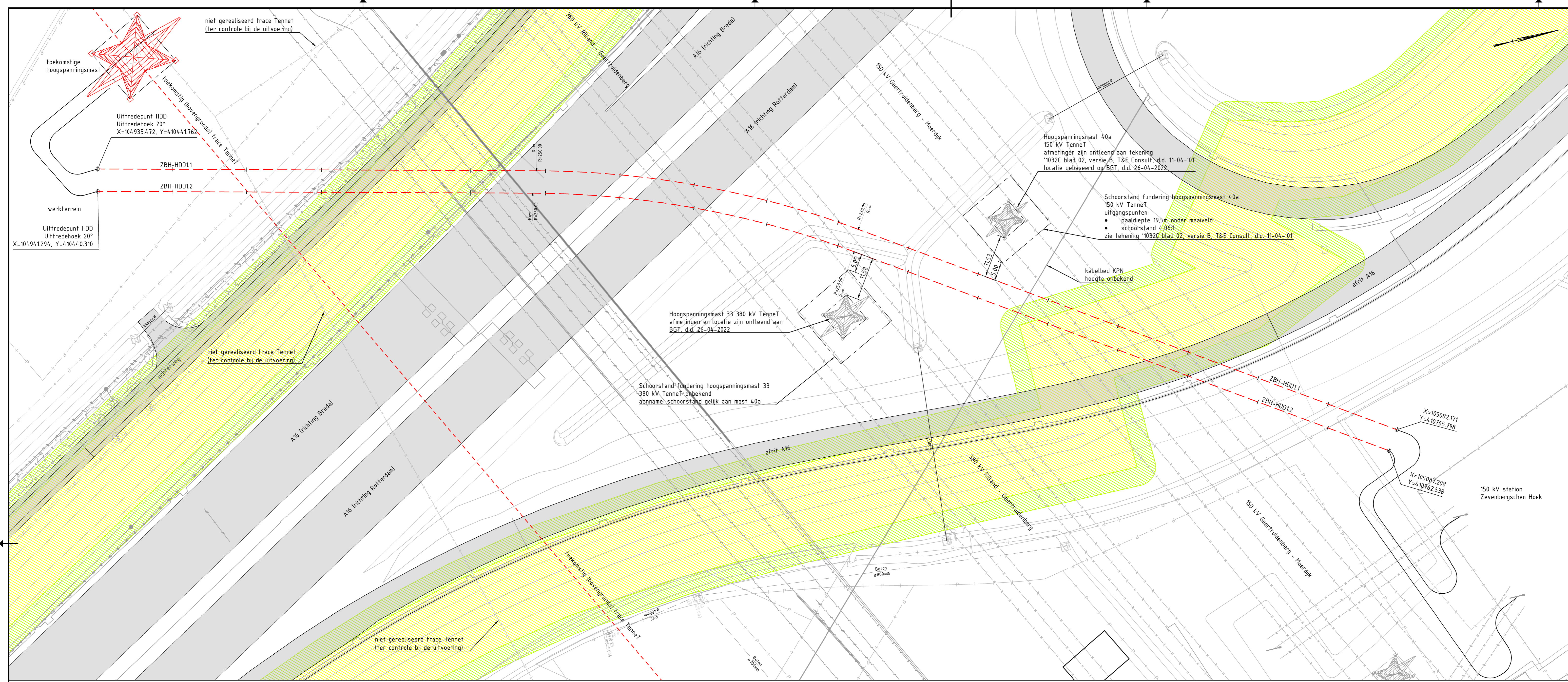
Dit rapport betreft de kruising met de snelweg A16 en de regionale waterkering in beheer bij waterschap Brabantse Delta. De kruising (met codering ZBH HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta, waarbij het ontwerp en berekeningen moeten zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken en de Keur van waterschap Brabantse Delta.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

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

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

Bijlage 1 – Ontwerptekening



Principeddoorsnede
Schaal 1:20

Legenda

	Kadastrale grens
	Leiding gevaarlijke inhoud
	Data transport
	Landelijk hoogspanningsnet
	Laagspanning
	Gasleiding hoge druk
	Gasleiding lage druk
	Waterleiding
	Drukielering
	Pietering vrijverval
	Horizontaal gestuurde boring (HDD)
	Boorprofiel met boorgang
	Verharding (asfalt)
	Bestaande topo
	Verharding/wegen
	Kernzone regionale waterkering (bron: legger Waterschap Brabantse Delta)
	Beschermingszone regionale waterkering (bron: legger Waterschap Brabantse Delta)

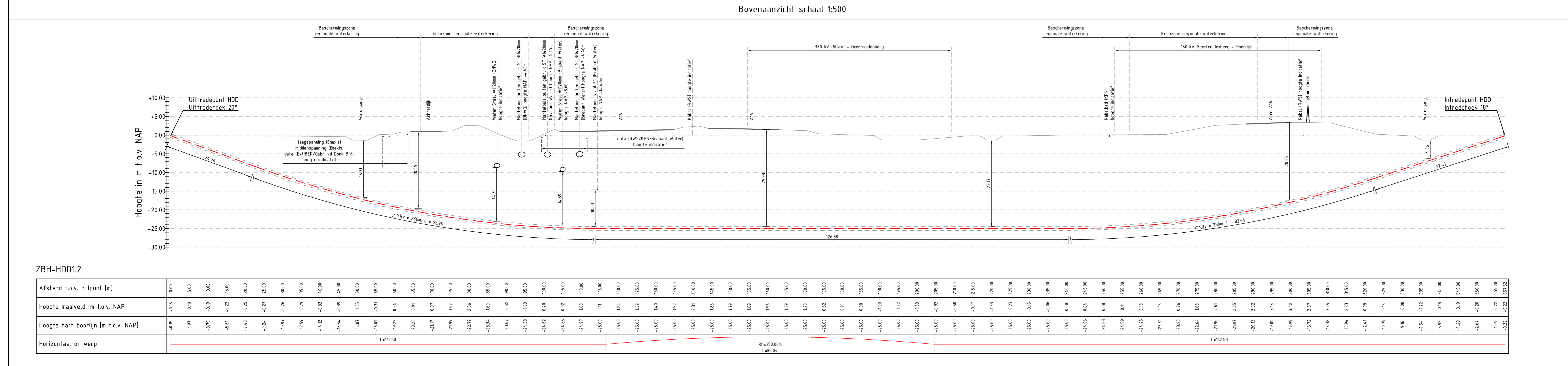
Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Hoogtematen in meters t.o.v. NAP

Vergunningstekening

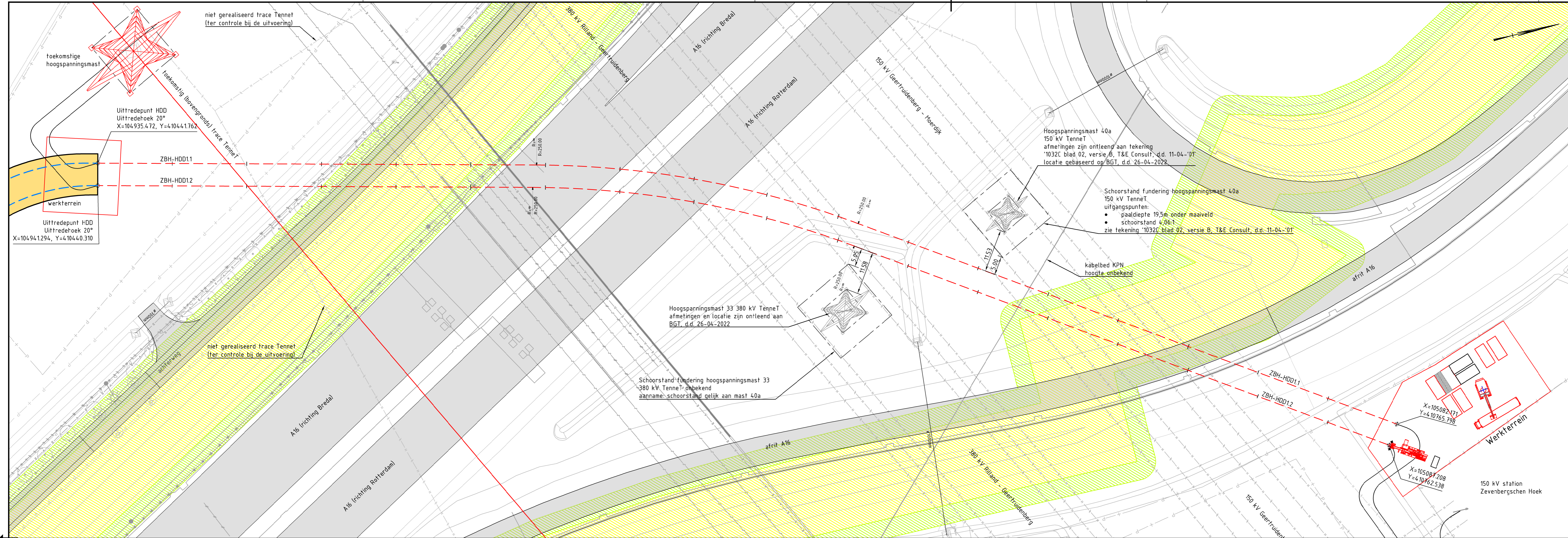
D					
C					
B	T.b.v. Vergunningaanvraag	24-04-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	BB	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

TenneT TSO B.V.
Project: Zuidwest-Oost HDD's 150kV
Onderwerp: ZBH-HDD1 Zevenbergschenhoek - A16

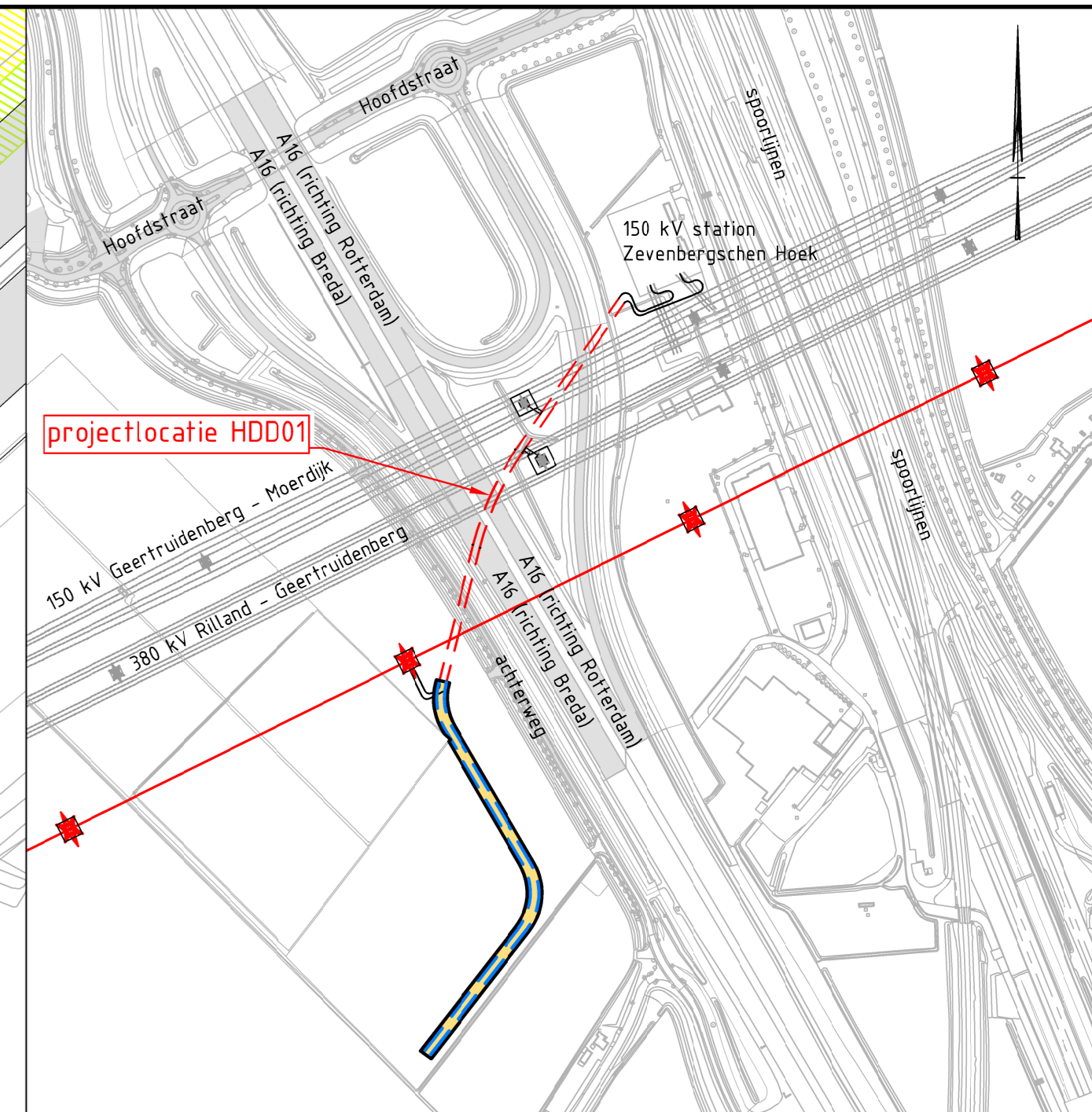
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
51001237	ZBH-HDD1	B	28-04-2022	BO			
Bld	Van	Schaal	Formaat	Katroot	Get.	Get.	Goedg.
1	2	1:500	A1-L (594x1050 mm)	De Bilt	BB	MJ	JD



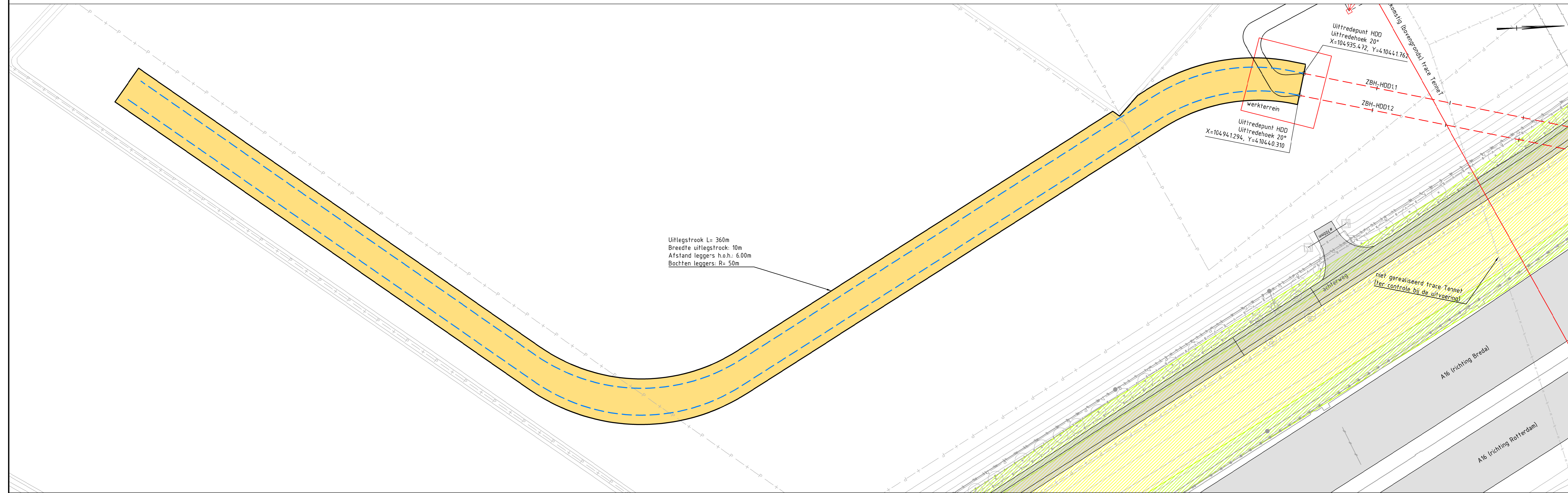
ZBH-HDD12	0.00
Afstand t.o.v. nulpunt [m]	0.00
Hoogte maaienveld [m t.o.v. NAP]	-0.15
Hoogte hart boortlijn [m t.o.v. NAP]	-0.15
Horizontaal ontwerp	L=192.60



Bovenaanzicht boring schaal 1:500



Overzicht
Schaal 1:5.000



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500

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
- Verharding/wegen
- Kernzone regionale waterkering (bron: legger Waterschap Brabantse Del'ta)
- Beschermingszone regionale waterkering (bron: legger Waterschap Brabantse Del'ta)

Vergunningstekening

Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Hoogtematen in meters t.o.v. NAP

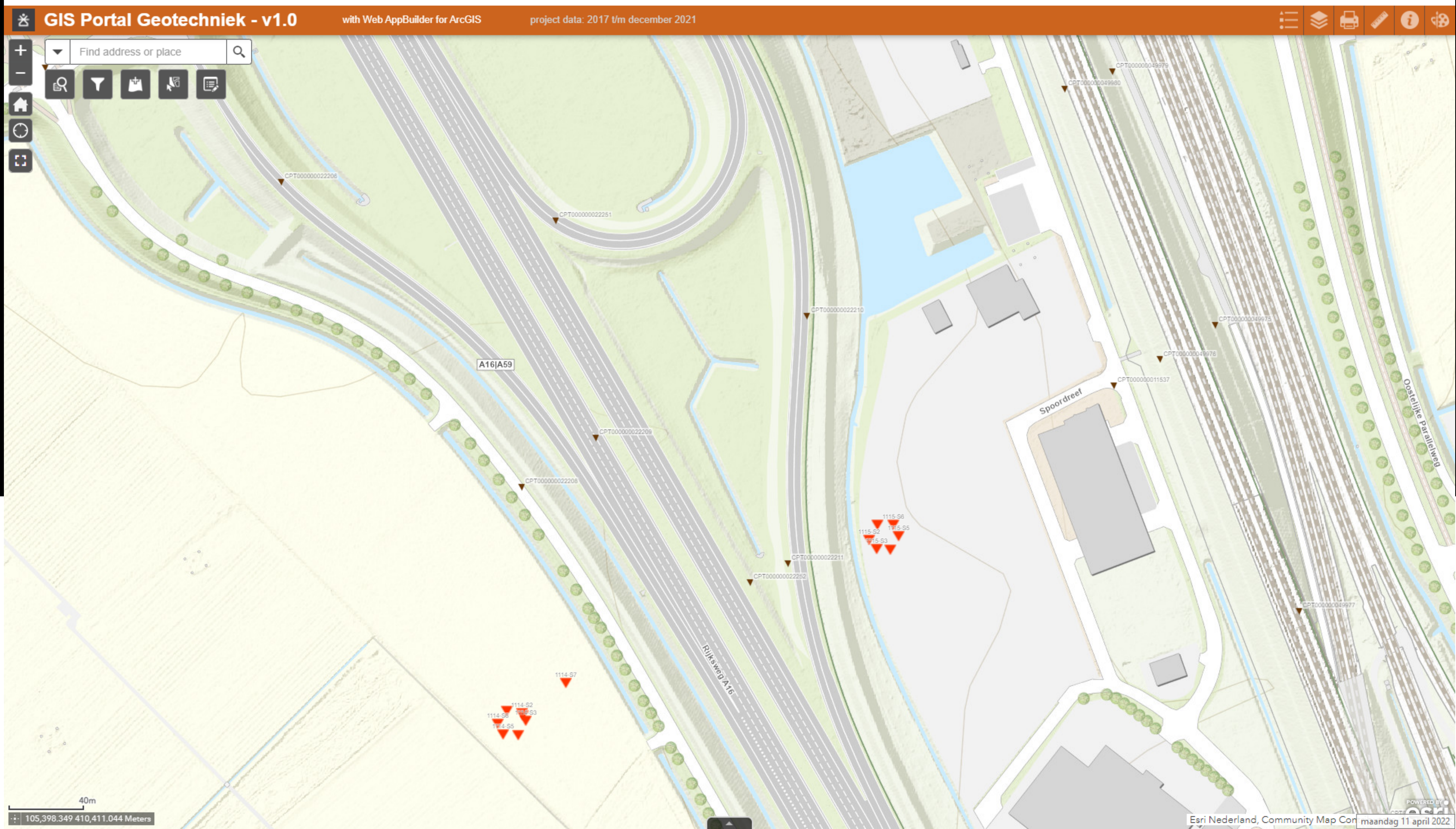
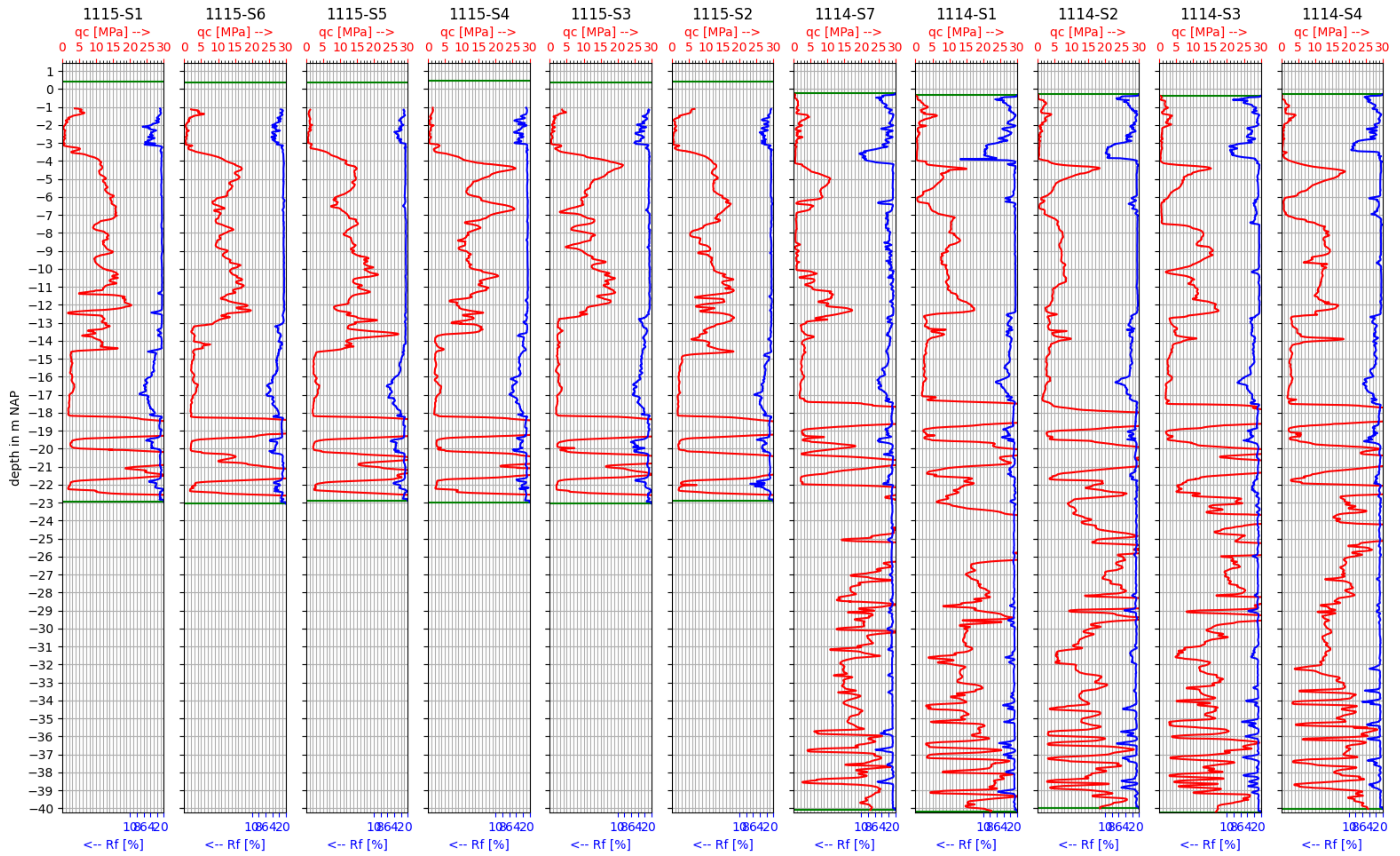
D					
C					
B	T.b.v. Vergunningaanvraag	24-04-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	BB	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

Opmettende:
TenneT TSO B.V.
Project:
Zuidwest-Oost HDD's 150kV
Onderdeel:
Werkterrein en uitlegstrook Zevenbergschenhoek - A16

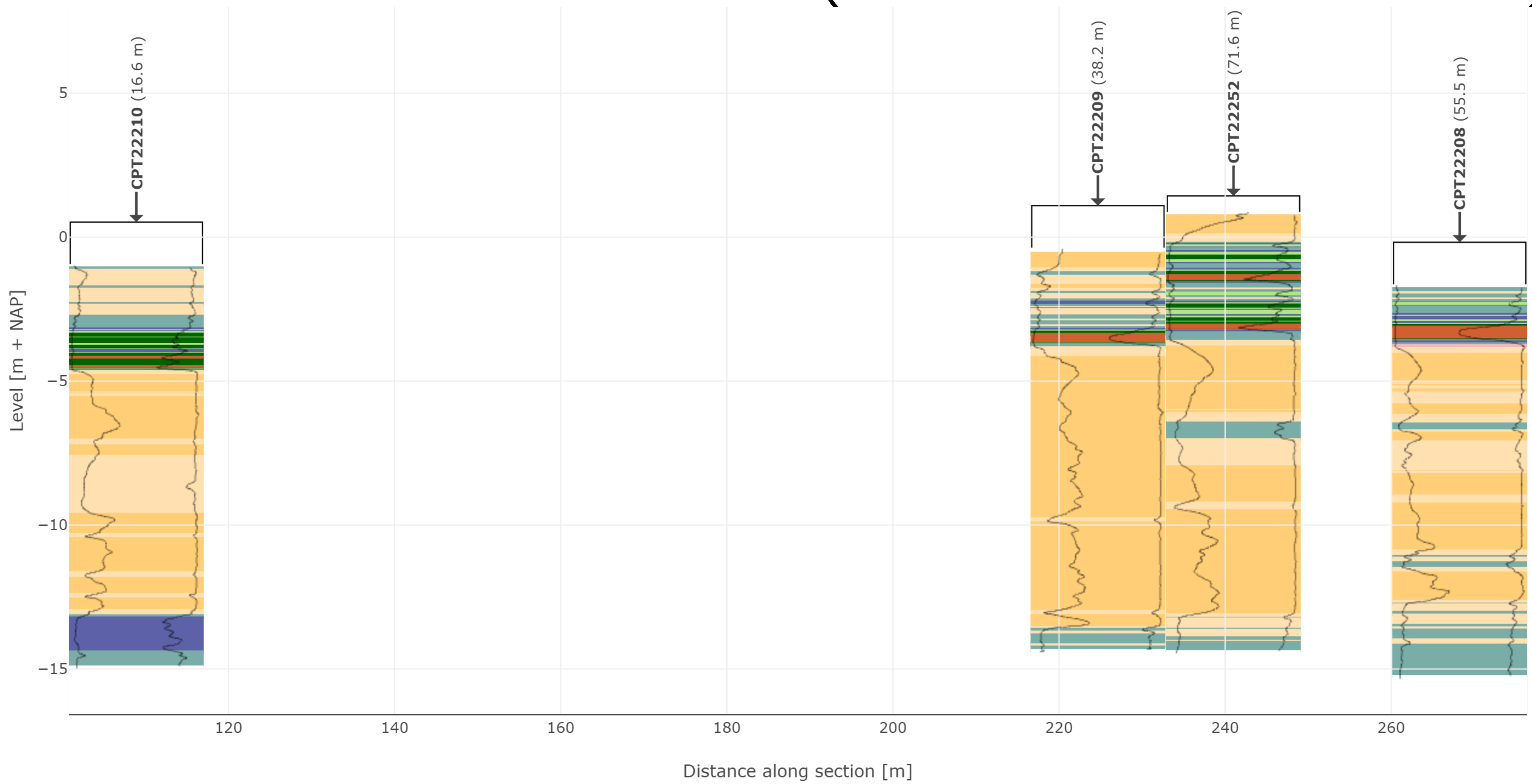
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
51001237	ZBH-HDD1	B	28-04-2022	BO			
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Get.	Goedg.
2	2	1:500	A1-L (594x1050 mm)	De Bilt	BB	MJ	JD

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

ZBH HDD2



Grondonderzoek BRO (tot 100 m afstand van trace)

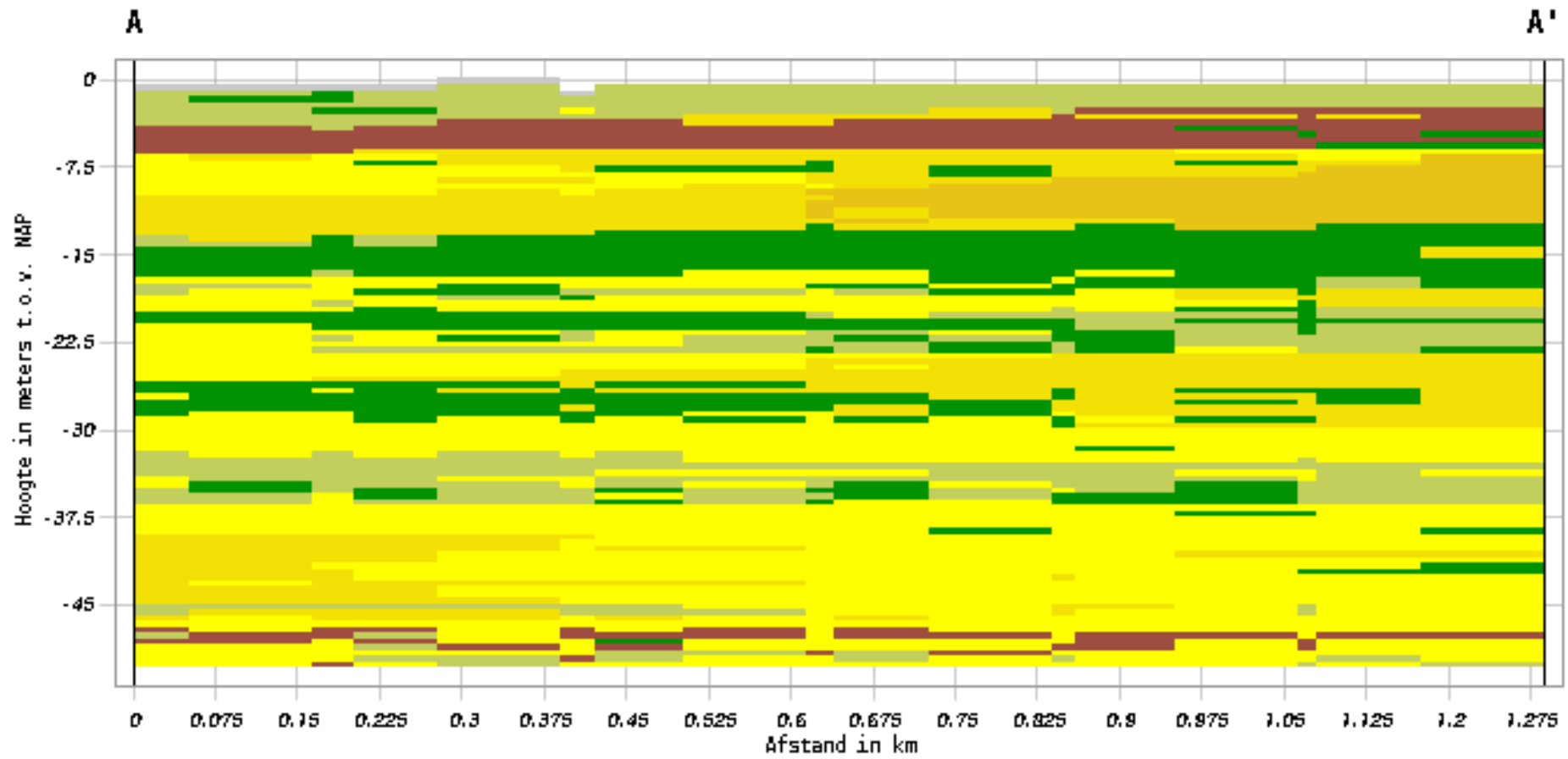


- | | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Sands | Sand mixtures | Silt mixtures | Clay | Clay (org. mat) [$3 < N < 15$] |
| Organic clay [$15 < N < 30$] | Peat [$N > 30$] | Sensitive, fine grained | Unknown | |

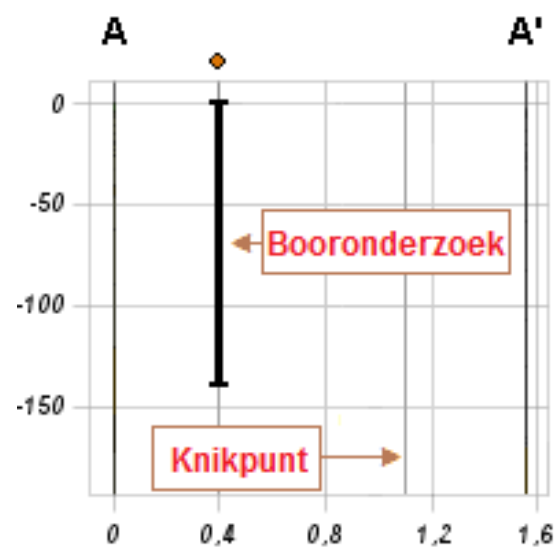
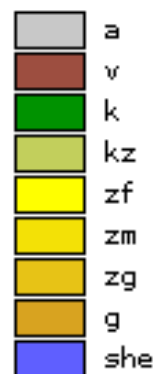


- cpt
 ● not shown on sectionplot
 — section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report: 28-4-2022
Time of report: 18:21:21
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	6
3.8.1	Geometry Section, Detailed	7
3.8.2	Geometry Top View	7
3.9	Calculation Verticals	8
3.10	Traffic Load	8
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	9
3.13	Pipe Engineering Data	10
3.14	Drilling Fluid Data	10
3.15	Factors	10
3.16	Calculation Options	11
4	Drilling Fluid Pressures	12
4.1	Drilling Fluid Data	12
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	14
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	15
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	15
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	15
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	16
5	Soil Mechanical Data	17
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	17
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	18
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	20
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	21
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	23
6	Data for Stress Analysis	26
6.1	General Data	26
6.2	Buoyancy Control	26
6.3	Calculation Pulling Force	26
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	28
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	28
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	28
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	28
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	29
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	29
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	29
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	29
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	30
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	30
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	31
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	31
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	31
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	31
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	32
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	32
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	32
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	32
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	33
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	33
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	35
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	35
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	35
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	35
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	36

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	36
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	36
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	36
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	37
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	37
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	38
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	38
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	38
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	38
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	39
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	39
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	39
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	39
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	40
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	40

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

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

3 Input Data

3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
8 - L -	-25,000	11,520	21,280	27,790	32,840
8 - Z -	-0,170	-0,290	-0,470	-1,400	0,180
8 - L -	38,020	42,210	45,690	49,730	52,860
8 - Z -	0,870	0,930	1,010	1,210	2,520
8 - L -	56,340	66,180	72,180	75,300	96,310
8 - Z -	2,360	-1,300	0,800	0,910	1,340
8 - L -	111,260	125,080	137,770	140,640	153,480
8 - Z -	1,870	1,600	0,900	0,240	-0,100
8 - L -	180,440	183,540	187,440	204,110	222,240
8 - Z -	-0,720	-1,410	-0,120	-0,090	-0,030
8 - L -	235,060	244,880	252,960	267,820	273,240
8 - Z -	0,030	1,000	2,750	3,450	3,680
8 - L -	283,320	289,050	295,350	304,890	306,740
8 - Z -	3,370	1,770	0,370	-0,350	-1,170
8 - L -	309,740	311,730	317,760	380,000	
8 - Z -	-0,710	0,130	0,080	0,090	
7 - L -	-25,000	380,000			
7 - Z -	-2,000	-2,700			
6 - L -	-25,000	380,000			
6 - Z -	-3,000	-3,900			
5 - L -	-25,000	380,000			
5 - Z -	-4,000	-4,600			
4 - L -	-25,000	380,000			
4 - Z -	-6,000	-6,500			
3 - L -	-25,000	380,000			
3 - Z -	-7,000	-6,500			
2 - L -	-25,000	380,000			
2 - Z -	-13,000	-13,000			
1 - L -	-25,000	380,000			
1 - Z -	-17,000	-18,000			
0 - L -	-25,000	380,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	-25,000	380,000			
1 - Z -	-0,950	-0,950			

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
8	Zand, sterk siltig, kleig	1	1
7	Klei, sterk zandig	1	1
6	Veen, slap	1	1
5	Zand, schoon, matig	1	1
4	Klei, sterk zandig	1	1
3	Zand, schoon, matig	1	1
2	Klei, zwak zandig, m...	1	1
1	Zand, schoon, vast	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, vast

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

3.7 Soil Material Data

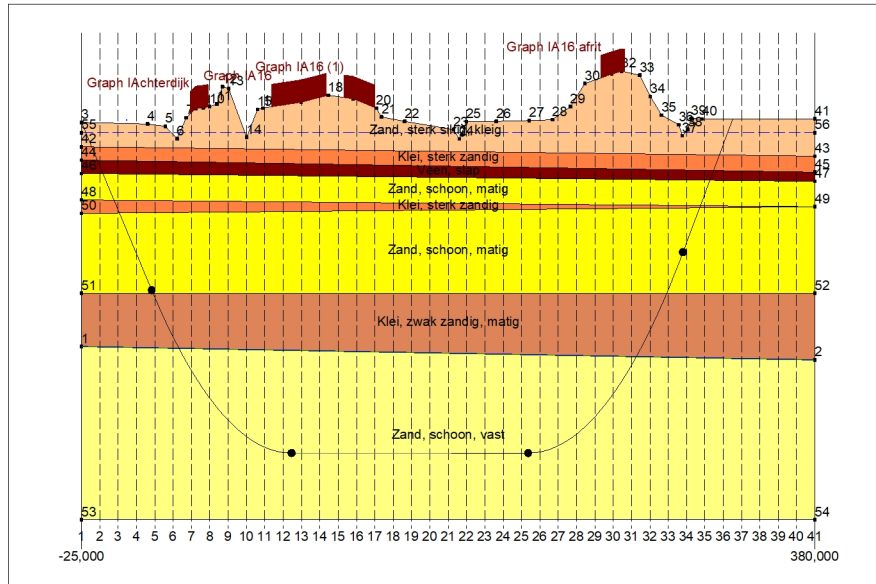
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	15,00	15,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	80,00	80,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m ²]	Emod top [kN/m ²]	Emod bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	10000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	2000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	90000,00	-	-

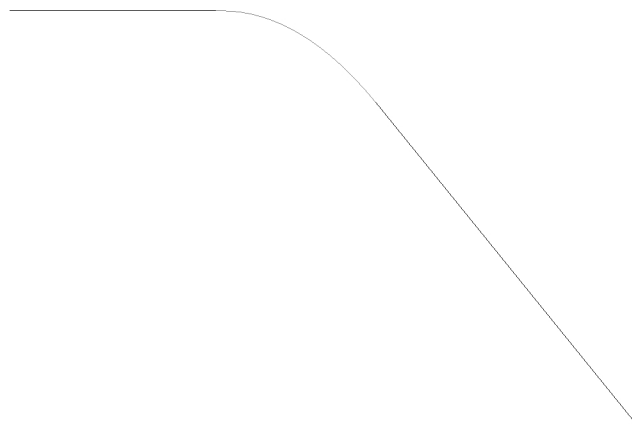
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

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	-25,000	-0,170
2	-14,875	-3,460
3	-4,750	-6,750
4	5,375	-10,039
5	15,500	-13,322
6	25,625	-16,297
7	35,750	-18,815
8	45,875	-20,891
9	56,000	-22,536
10	66,125	-23,758
11	76,250	-24,564
12	86,375	-24,957
13	96,500	-25,000
14	106,625	-25,000
15	116,750	-25,000
16	126,875	-25,000
17	137,000	-25,000
18	147,125	-25,000
19	157,250	-25,000
20	167,375	-25,000
21	177,500	-25,000
22	187,625	-25,000
23	197,750	-25,000
24	207,875	-25,000
25	218,000	-25,000
26	228,125	-24,916
27	238,250	-24,448
28	248,375	-23,566
29	258,500	-22,268
30	268,625	-20,545
31	278,750	-18,389
32	288,875	-15,789
33	299,000	-12,730
34	309,125	-9,202
35	319,250	-5,517
36	329,375	-1,832
37	339,500	n.a.
38	349,625	n.a.
39	359,750	n.a.
40	369,875	n.a.
41	380,000	n.a.

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

Achterdijk		
L start	35,00	[m]
L end	45,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
A16		
L start	80,00	[m]
L end	110,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
A16 (1)		
L start	120,00	[m]
L end	137,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

A16 afrit		
L start	262,00	[m]
L end	275,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

3.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	-25,000	[m]
Y co-ordinate left point	68,450	[m]
Z co-ordinate left point	-0,170	[m]
X co-ordinate right point	323,400	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,083	[m]
Angle left	18,0000	[deg]
Angle right	20,0000	[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)	-25,000	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	1	

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

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	91,600	68,450	177,600	53,450	250,000	left

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	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[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	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[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)	11,1	[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	0	186
2	83	83	42	217
3	179	179	84	248
4	150	150	126	279
5	367	367	167	311
6	445	445	206	338
7	815	815	239	361
8	1058	1404	267	379
9	1207	1905	290	392
10	1050	1720	309	401
11	1206	2089	323	404
12	1235	2171	332	404
13	1249	2201	338	399
14	1270	2243	343	394
15	1273	2248	348	389
16	1258	2216	353	384
17	1226	2147	358	379
18	1175	2040	363	374
19	1160	2008	368	369
20	1147	1979	373	364
21	1133	1949	378	359
22	1165	2012	383	354
23	1166	2013	389	349
24	1168	2015	394	344
25	1170	2017	399	338
26	1169	2008	403	332
27	1171	1975	403	322
28	1217	1984	398	307
29	1237	1846	389	288
30	1194	1418	375	264
31	593	593	356	234
32	485	485	332	200
33	197	197	304	161
34	131	131	270	117
35	92	92	234	70
36	0	9	199	24

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	0
2	92	92	38	42
3	174	174	77	84
4	152	152	115	126
5	285	285	154	167
6	446	446	189	206
7	630	630	219	239
8	1058	1093	243	267
9	1207	1533	264	290
10	1050	1423	279	309
11	1206	1761	290	321
12	1235	1845	296	324
13	1249	1872	298	322
14	1270	1907	300	321
15	1273	1910	302	319
16	1258	1881	304	317
17	1226	1821	306	315

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
18	1175	1729	308	313
19	1160	1700	309	311
20	1147	1674	311	310
21	1133	1648	313	308
22	1165	1701	315	306
23	1166	1701	317	304
24	1168	1702	319	302
25	1170	1703	321	300
26	1169	1692	321	298
27	1171	1646	318	290
28	1217	1620	307	279
29	1237	1461	288	263
30	1085	1085	264	242
31	468	468	234	216
32	485	485	200	185
33	197	197	161	149
34	133	133	117	108
35	97	97	70	65
36	0	9	24	22

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	0	0
2	81	81	38	38
3	136	136	76	77
4	157	157	115	115
5	202	202	153	154
6	445	445	187	189
7	458	458	217	219
8	765	765	242	243
9	1076	1076	262	264
10	1024	1024	277	279
11	1206	1274	287	290
12	1235	1343	293	296
13	1249	1362	295	298
14	1270	1387	297	300
15	1273	1389	298	302
16	1258	1367	300	304
17	1226	1324	302	306
18	1175	1258	303	308
19	1160	1238	305	307
20	1147	1219	306	305
21	1133	1200	308	304
22	1165	1237	306	302
23	1166	1236	304	301
24	1168	1236	302	299
25	1170	1237	300	297
26	1169	1226	298	295
27	1171	1184	290	288
28	1147	1147	279	277
29	1017	1017	263	261
30	753	753	242	240
31	479	479	216	214
32	482	482	185	184
33	198	198	149	148
34	136	136	108	107
35	105	105	65	65
36	0	9	22	22

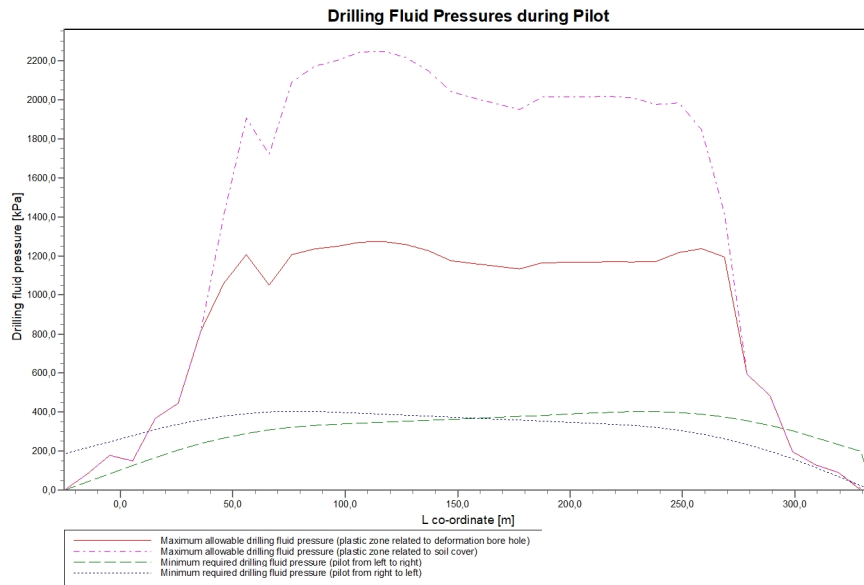
4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
1	0	0	-	sufficient
2	37	25	1,45	sufficient
3	73	58	1,26	sufficient
4	110	91	1,21	sufficient
5	146	124	1,18	sufficient
6	179	153	1,17	sufficient
7	207	179	1,16	sufficient
8	230	199	1,15	sufficient
9	249	216	1,15	sufficient
10	262	228	1,15	sufficient
11	271	236	1,15	sufficient
12	276	240	1,15	sufficient
13	276	241	1,15	sufficient
14	277	241	1,15	sufficient
15	277	241	1,15	sufficient
16	277	241	1,15	sufficient
17	277	241	1,15	sufficient
18	277	241	1,15	sufficient
19	277	241	1,15	sufficient
20	277	241	1,15	sufficient
21	277	241	1,15	sufficient
22	277	241	1,15	sufficient
23	277	241	1,15	sufficient
24	277	241	1,15	sufficient
25	278	241	1,15	sufficient
26	277	240	1,15	sufficient
27	272	235	1,16	sufficient
28	262	226	1,16	sufficient
29	248	213	1,16	sufficient
30	229	196	1,17	sufficient
31	205	174	1,17	sufficient
32	176	148	1,19	sufficient
33	142	118	1,21	sufficient
34	103	83	1,25	sufficient
35	62	46	1,36	sufficient
36	21	9	2,41	sufficient

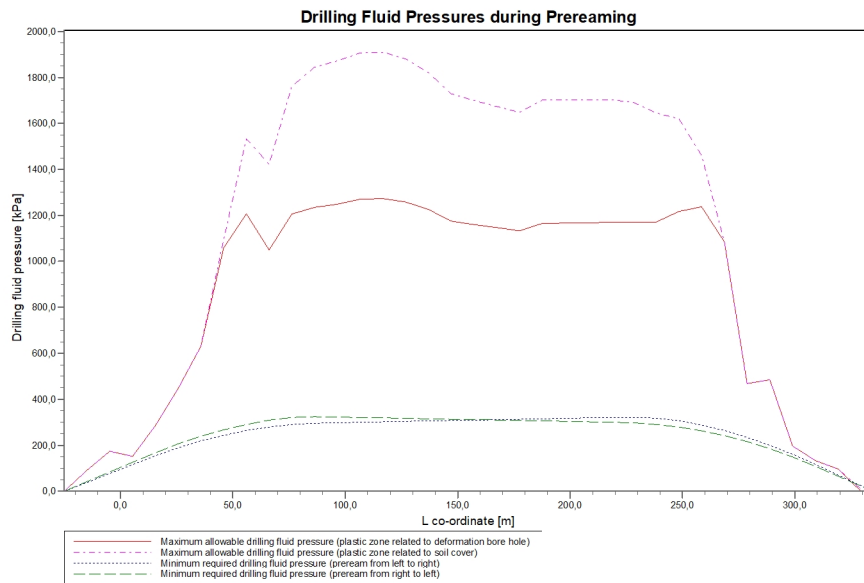
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

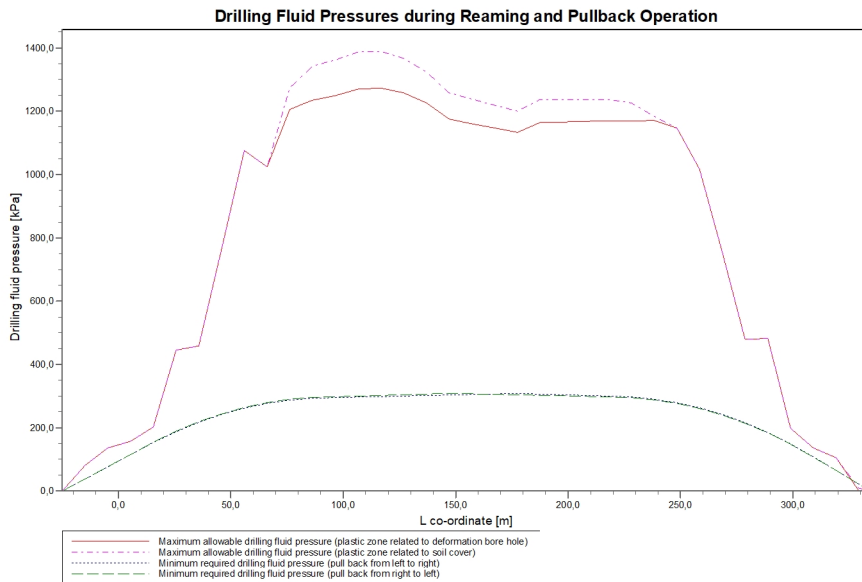
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



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	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

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	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	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]
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _v ;n;max = 275 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 80 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _v ;r;n;max = 80 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 382951 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 765902 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	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926

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]
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

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	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	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]
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n} ;max = 275 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 80 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n} ;max = 80 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 382951 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 765902 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	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199

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]
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

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	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	0,05	7,5
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q_v;n;max = 275 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q_traffic;max = 80 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q_v;r;n;max = 80 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 382951 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k_v;max = 765902 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	0	0	0	0	0	39
2	51	32	24	32	0	205
3	185	57	31	42	0	1926
4	753	89	42	56	0	3148
5	393	120	48	64	0	1589
6	428	132	44	60	0	1735
7	2153	186	49	66	2	8718
8	2451	217	31	42	0	10169
9	2844	259	21	29	0	12160
10	2386	209	16	22	0	9837
11	2812	255	16	21	0	11990
12	2886	264	15	21	2	12368
13	2924	268	15	21	2	12569
14	2983	274	15	21	2	12873
15	2992	275	15	21	0	12922
16	2950	271	15	21	2	12703
17	2860	261	15	21	2	12235
18	2717	245	15	21	0	11500
19	2675	240	15	21	0	11287
20	2637	236	15	20	0	11093
21	2599	232	15	20	0	10898
22	2687	242	15	21	0	11348
23	2690	242	15	21	0	11365
24	2695	243	15	21	0	11387
25	2701	243	15	21	0	11416
26	2699	243	16	21	0	11409
27	2709	244	16	22	0	11462
28	2852	260	19	26	0	12199
29	2926	268	27	36	0	12587
30	2831	258	53	71	2	12099
31	2617	235	59	80	0	11012
32	570	182	56	76	0	2341
33	1012	126	51	68	0	2017
34	642	74	37	50	0	2628
35	332	54	30	40	0	1905
36	69	26	19	26	0	695

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	0	0	0	0	0,05	7,5
2	51	25917	2070	18142	0,05	7,5
3	185	46078	25291	32255	0,05	7,5
4	753	59706	53185	41794	0,05	7,5
5	393	6053	56953	4237	0,05	7,5
6	428	141553	5923	99087	0,05	7,5
7	2153	310872	278355	217610	0,05	7,5
8	2451	337132	319707	235992	0,05	7,5
9	2844	370728	354626	259509	0,05	7,5
10	2386	331230	313547	231861	0,05	7,5
11	2812	367934	351730	257553	0,05	7,5
12	2886	374087	358104	261861	0,05	7,5
13	2924	377315	361446	264121	0,05	7,5
14	2983	382164	366461	267515	0,05	7,5
15	2992	382951	367274	268066	0,05	7,5
16	2950	379468	363672	265627	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]
17	2860	371921	355862	260345	0,05	7,5
18	2717	359844	343339	251890	0,05	7,5
19	2675	356278	339637	249395	0,05	7,5
20	2637	352999	336230	247099	0,05	7,5
21	2599	349696	332795	244787	0,05	7,5
22	2687	357301	340700	250111	0,05	7,5
23	2690	357584	340993	250309	0,05	7,5
24	2695	357946	341369	250562	0,05	7,5
25	2701	358443	341885	250910	0,05	7,5
26	2699	358330	341768	250831	0,05	7,5
27	2709	359219	342691	251453	0,05	7,5
28	2852	371350	355270	259945	0,05	7,5
29	2926	377632	361773	264342	0,05	7,5
30	2831	369767	353630	258837	0,05	7,5
31	2617	351718	96944	246203	0,05	7,5
32	570	8505	7917	5954	0,05	7,5
33	1012	10299	65316	7209	0,05	7,5
34	642	54666	47593	38266	0,05	7,5
35	466	42329	20741	29630	0,05	7,5
36	269	3095	3017	2167	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 275 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 80 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 80 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 382951 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 765902 kN/m ³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
8	Zand, sterk siltig, kleig	Calculated with E100
7	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
6	Veen, slap	Calculated with E100
5	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
4	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
3	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
2	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=-25 m)		Vertical 2 (L=-14,875 m)		Vertical 3 (L=-4,75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	4,954	0,000	4,911	0,000	4,867
7	0,650	0,815	0,641	0,807	0,632	0,799
6	0,081	0,083	0,081	0,083	0,080	0,082
5	17,374	21,951	17,272	21,866	17,170	21,780
4	1,213	1,356	1,206	1,345	1,198	1,335
3	23,534	33,074	23,416	33,007	23,297	32,940
2	3,507	4,228	3,495	4,221	3,484	4,215
1	111,520	154,983	111,414	154,835	111,308	154,687

Layer number	Vertical 4 (L=5,375 m)		Vertical 5 (L=15,5 m)		Vertical 6 (L=25,625 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	4,824	0,000	4,665	0,000	3,157
7	0,623	0,791	0,590	0,762	0,316	0,511
6	0,079	0,081	0,076	0,078	0,051	0,053
5	17,067	21,694	16,673	21,380	13,121	18,736
4	1,191	1,324	1,163	1,293	0,942	1,075
3	23,178	32,872	22,845	32,656	20,348	30,979
2	3,473	4,208	3,436	4,178	3,158	3,918

Layer number	Vertical 4 (L=5,375 m)		Vertical 5 (L=15,5 m)		Vertical 6 (L=25,625 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
1	111,202	154,538	110,700	154,105	106,349	150,936

Layer number	Vertical 7 (L=35,75 m)		Vertical 8 (L=45,875 m)		Vertical 9 (L=56 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	6,234	0,000	6,868	0,000	8,471
7	0,939	1,095	1,096	1,248	1,534	1,674
6	0,110	0,111	0,125	0,126	0,167	0,169
5	20,798	24,723	22,529	26,192	27,004	30,123
4	1,468	1,584	1,610	1,720	2,013	2,115
3	25,931	34,916	27,302	35,962	31,064	38,910
2	3,825	4,558	4,009	4,739	4,548	5,261
1	116,883	158,464	119,770	160,536	127,857	166,590

Layer number	Vertical 10 (L=66,125 m)		Vertical 11 (L=76,25 m)		Vertical 12 (L=86,375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	2,963	0,000	6,788	0,000	7,070
7	0,286	0,488	1,076	1,230	1,148	1,301
6	0,049	0,051	0,123	0,125	0,130	0,132
5	12,753	18,456	22,330	26,008	23,110	26,676
4	0,919	1,038	1,591	1,692	1,657	1,754
3	19,910	30,766	27,026	35,800	27,637	36,279
2	3,124	3,904	3,981	4,724	4,066	4,811
1	106,098	150,463	119,536	160,153	120,896	161,102

Layer number	Vertical 13 (L=96,5 m)		Vertical 14 (L=106,625 m)		Vertical 15 (L=116,75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	7,344	0,000	7,783	0,000	7,860
7	1,221	1,372	1,339	1,488	1,361	1,509
6	0,137	0,139	0,149	0,150	0,151	0,152
5	23,874	27,336	25,100	28,409	25,320	28,600
4	1,724	1,816	1,833	1,921	1,853	1,937
3	28,243	36,758	29,252	37,554	29,407	37,690
2	4,152	4,898	4,297	5,041	4,322	5,069
1	122,258	162,058	124,480	163,673	124,914	163,935

Layer number	Vertical 16 (L=126,875 m)		Vertical 17 (L=137 m)		Vertical 18 (L=147,125 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	7,566	0,000	6,882	0,000	5,640
7	1,280	1,432	1,100	1,258	0,800	0,970
6	0,143	0,145	0,126	0,127	0,097	0,099
5	24,507	27,878	22,627	26,237	19,293	23,418
4	1,779	1,860	1,614	1,694	1,346	1,426
3	28,674	37,136	27,047	35,910	24,285	33,896
2	4,221	4,976	4,000	4,769	3,647	4,436
1	123,477	162,774	120,238	160,262	114,924	156,243

Layer number	Vertical 19 (L=157,25 m)		Vertical 20 (L=167,375 m)		Vertical 21 (L=177,5 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	5,233	0,000	4,835	0,000	4,400
7	0,710	0,885	0,625	0,806	0,538	0,726
6	0,089	0,090	0,081	0,082	0,073	0,074
5	18,242	22,555	17,231	21,740	16,157	20,894
4	1,267	1,345	1,195	1,271	1,121	1,195
3	23,416	33,295	22,593	32,739	21,739	32,172
2	3,544	4,343	3,450	4,257	3,355	4,172
1	113,405	155,057	112,010	153,967	110,596	152,869

Layer number	Vertical 22 (L=187,625 m)		Vertical 23 (L=197,75 m)		Vertical 24 (L=207,875 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	5,396	0,000	5,443	0,000	5,498
7	0,745	0,922	0,756	0,932	0,768	0,945
6	0,092	0,094	0,093	0,095	0,094	0,096
5	18,688	22,902	18,816	23,002	18,968	23,122
4	1,298	1,366	1,308	1,371	1,318	1,379
3	23,637	33,501	23,696	33,560	23,774	33,632
2	3,580	4,389	3,590	4,403	3,602	4,419
1	114,163	155,398	114,388	155,492	114,649	155,612

Layer number	Vertical 25 (L=218 m)		Vertical 26 (L=228,125 m)		Vertical 27 (L=238,25 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	5,568	0,000	5,651	0,000	6,194
7	0,784	0,960	0,802	0,979	0,929	1,101
6	0,096	0,098	0,098	0,099	0,110	0,112
5	19,160	23,274	19,383	23,453	20,829	24,658
4	1,332	1,389	1,349	1,402	1,461	1,510
3	23,885	33,727	24,022	33,841	25,164	34,677
2	3,618	4,439	3,638	4,462	3,783	4,604
1	114,970	155,777	115,342	155,980	117,624	157,605

Layer number	Vertical 28 (L=248,375 m)		Vertical 29 (L=258,5 m)		Vertical 30 (L=268,625 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	7,997	0,000	9,311	0,000	9,767
7	1,399	1,555	1,784	1,933	1,926	2,072
6	0,156	0,157	0,193	0,195	0,207	0,208
5	25,777	28,955	29,487	32,298	30,789	33,488
4	1,890	1,932	2,251	2,288	2,385	2,418
3	29,356	37,844	32,631	40,451	33,783	41,399
2	4,350	5,151	4,840	5,625	5,022	5,805
1	126,170	164,013	133,312	169,503	135,966	171,534

Layer number	Vertical 31 (L=278,75 m)		Vertical 32 (L=288,875 m)		Vertical 33 (L=299 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	9,800	0,000	8,110	0,000	5,908
7	1,936	2,083	1,430	1,589	0,862	1,040
6	0,208	0,210	0,159	0,160	0,104	0,105
5	30,889	33,577	26,114	29,240	20,112	24,027
4	2,395	2,425	1,920	1,949	1,402	1,430
3	33,844	41,462	29,516	38,027	24,324	34,171
2	5,035	5,821	4,384	5,200	3,695	4,546
1	136,199	171,654	126,920	164,320	116,702	156,492

Layer number	Vertical 34 (L=309,125 m)		Vertical 35 (L=319,25 m)		Vertical 36 (L=329,375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	0,000	4,347	0,000	5,916	0,000	5,933
7	0,527	0,727	0,863	1,044	0,867	1,048
6	0,073	0,074	0,104	0,106	0,105	0,106
5	16,147	20,816	20,147	24,047	20,200	24,086
4	1,114	1,140	1,404	1,425	1,408	1,425
3	21,116	31,985	24,270	34,166	24,272	34,184
2	3,324	4,200	3,694	4,554	3,697	4,561
1	111,058	152,256	116,827	156,442	116,943	156,458

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 = 201794 kN/m ³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 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	:	353	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	252	[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 right to left.

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	36
T2	29	52
T3	117	109

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	247	196
T5	326	258
T6	366	280

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 (f) 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 = 366 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 = 80 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,43 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,9E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0178 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 10,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,01 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	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)	0,91	5,43	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% 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 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 308 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 241 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 = 366 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 = 80 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	4,87	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,43	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0178	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,05	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,68	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:

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

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

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	10,15	N/mm ²
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	7,01	N/mm ²
--	---	------	-------------------

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

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	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)	0,91	5,43	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% 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 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 308 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 241 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

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 = 366 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 = 80 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,43 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,9E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0178 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

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:

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

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

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g/W_w) \cdot D_o = 10,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 7,01 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

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

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	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)	0,91	5,43	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% 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 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 308 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 241 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 = 366 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 = 80 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 382951 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,63 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,91	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
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	4,87	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,43	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,9E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0178	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,05	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,68	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:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,63	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	10,15	N/mm ²
---	---	-------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	7,01	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,63	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	10,15	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	7,01	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)	0,91	5,43	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,68	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	7,01	7,01

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 14,1 mm (4,49% 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 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 308 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 241 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

C.5 Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak

Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak

Vergunningsrapport ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat



Verantwoording

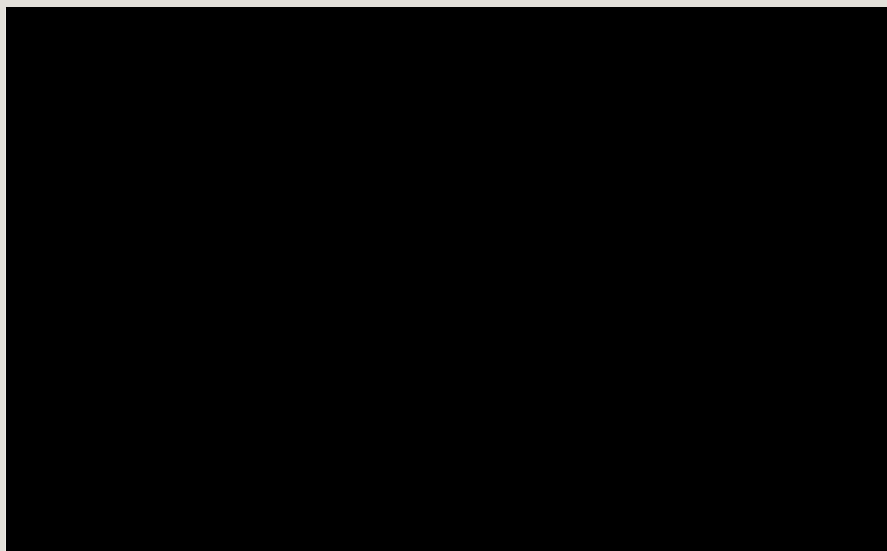
Titel: Kruising 2 HDD's met een spoor, primaire waterkeringen en de Amertak
Onderwerp: Vergunningsrapport ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22774
Versie: D1

Datum: 26-04-2022

Auteurs:
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.....	8
2.4	Horizontale afstand tot overige objecten	8
2.5	Diepteligging.....	8
2.6	Inwendige overdruk	9
2.7	Grondwaterstand	9
2.8	Belasting- en ondersteuningshoek	9
2.9	Importatiefactor.....	9
2.10	Geotechnische parameters	9
2.11	Boortechnische gegevens	10
2.12	Verkeersbelasting.....	10
2.13	Boogstralen	11
3.	Ontwerp	12
3.1	Gegevens HDD	12
3.2	Boorparameters.....	13
3.3	Intredepunt	13
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook	13
4.	Berekeningsresultaten.....	15
4.1	Trekkrachtberekening.....	16
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase.....	16
4.3	Muddrukberekening.....	16
4.4	Implosie	16
4.5	Kwelweg	17
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	17
4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden.....	17
5.	Risico's en aandachtspunten	19
6.	Conclusie	20
6.1	Algemeen	20
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening.....	20
	Bijlage 1 – Ontwerptekening.....	21
	Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek	22

Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline23

1. Inleiding

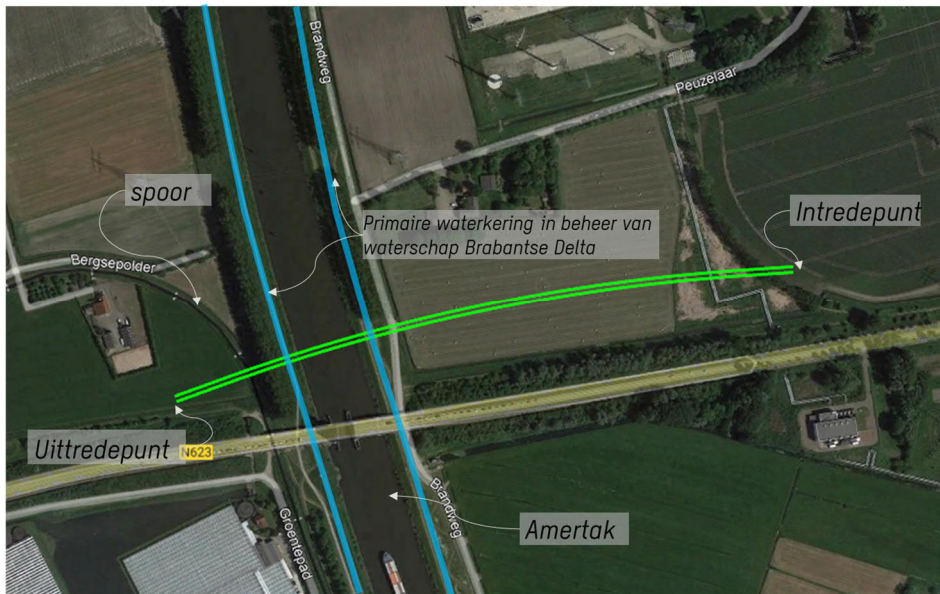
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met een spoor, 2 primaire waterkeringen en de Amertak. De kruising (met codering GTB HDD1) is vergunningsplichtig bij ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd 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 oosten van de Amertak in het bouwland ten noorden van de N623 en hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid. Het tracé eindigt in het bouwland aan de westzijde van de Amertak (zie Figuur 1). Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten 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 681 m en een maximale diepte van NAP -20,0 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van oost naar west: een watergang, hoogspanningskabels, een onverharde weg, ondergrondse warmtenetleidingen, bovengrondse warmtenetleidingen, diverse kabels en leidingen, de Brandweg, een primaire waterkering, de Amertak, nogmaals een primaire waterkering en een verharde weg (de Oude Dijk), een middenspanningskabel, een watergang, een enkel spoor en tenslotte nogmaals een watergang. De primaire waterkeringen zijn in beheer bij waterschap Brabantse Delta en de Amertak is rijkswater in beheer bij Rijkswaterstaat. Het spoor betreft een niet geëlektrificeerd enkelvoudig goederenspoor in beheer bij ProRail.



Figuur 1 Overzicht situatie GTB-HDD01

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 ontwerp-tekening, 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 GTB HDD1, tekeningnummer GTB-HDD1 versie C (detail spoor kruising) en D, d.d. 20-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 22O052793 opgevraagd d.d. 20-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 19-04-2022, website: <https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d>;
- Vaarwegenoverzicht Rijkswaterstaat, geraadpleegd op d.d. 14-03-2022, website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/>;
- Wegbeheerders, opgevraagd d.d. 24-03-2022, website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/kaarten/wegbeheerders>.

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0 van Rijkswaterstaat;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50);
- VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019;
- Spoor kruising derden: RLN 00427-2, 31-3-2021;
- 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 (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:
 - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;
 - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 meter;
 - De minimale dagmaat in klei-/veengrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 10,0 meter;
 - 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. Aangezien vrijwel de gehele HDD's in een zandlaag liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

2.4 Horizontale afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de horizontale afstand van de HDD's tot de toekomstige mastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast gehanteerd. De funderingswijze van de toekomstige masten is onbekend en dus ook of de funderingspalen geschoord staan. Bij een afstand van 10 m is een schoring van 1:3 toelaatbaar om op niveau boorlijn een minimale afstand van 5,0 m te hebben.
 - De afstand tussen hart boring en de teen van de toekomstige mast 1056 bedraagt circa 18,52 m.

2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen de kruin van de primaire waterkeringen te passeren met een dekking van minimaal 10 m en de teen met een dekking van minimaal 3,0 m (NEN 3651:2020 paragraaf 9.6.2).
 - De kruinhoogte van de primaire watering is circa NAP +3,7 m en de teen op circa NAP +1,2 m. De HDD's liggen hier op een diepte (hart boring) van circa NAP -20 m en voldoen daarmee aan de eis.
- De HDD's dienen 10 meter onder de waterbodemplaat van beide kanalen te liggen (NEN 3551:2020 paragraaf 9.6.2).

- De bodemdieptes zijn ontleend aan het vaarwegenoverzicht van Rijkswaterstaat. De Amertak heeft een diepte van NAP -4,20 m. De HDD's liggen hier op een diepte van NAP -20 m hart boring, met een dagmaat van 15,3 m onder de bodem. Dit voldoet hiermee aan de eis.
- 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 Spoor kruising derden)
 - De bovenkant van de leiding is op een diepte van 21,36 m geprojecteerd ten opzichte van het laagst gelegen maaiveld. De leiding voldoet hiermee aan de dekkings- en afstandseisen.
- Voor kruising met overige kabels en leidingen waaronder leidingen van het warmtenet (zowel bovengronds als ondergronds) wordt een dagmaat van 5 meter aangehouden.

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

De HDD's liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het intredepunt een ander zomer- en winterpeil dan het uittredepunt. Bij het intredepunt is het zomerpeil -0,6 m NAP en het winterpeil -0,8 m NAP. Bij het uittredepunt is het zomerpeil -0,65 m NAP en het winterpeil -0,95 m NAP. We gaan in de berekening uit van een gemiddelde waterstand van -0,8 m NAP.

2.8 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

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

2.9 Importantiefactor

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

2.10 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	Afstand tot boortrace
		[m NAP]	[m]
B44D1229	Boring	-7	40
CPT98999	Sondering	-12	10
B44D0959	Boring	-5	40
CPT98964	Sondering	-12	40
B44D1222	Boring	-3	20

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa -1,0 m NAP van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit een laag zandige klei, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Gezien het kleine aantal boringen en sonderingen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de zandige klei over het gehele tracé voorkomt. Hieruit concluderen we dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om een grondprofiel met grotere nauwkeurigheid vast te stellen. Om veiligheidsmarge in de berekening in te bouwen, is de zandige klei over het gehele boortracé aangehouden. Tabel 2 2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters en grondlagen zien. De grondparameters zijn opgesteld op basis van kennis en ervaring van de Nederlandse ondergrond en tabel 2b van NEN 9997-1+C2-2017. De stijfheidsmodulus E en ongedraineerde schuifsterkte S_u zijn gecorreleerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Tabel 2-1 **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' [°]	S_u top/bottom [kN/m ²]	E [kN/m ²]
0,3	-1,2	Klei; sterk zandig	18	18	0,5	27,5	30,0	2000
-1,2	-30,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000

2.11 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddrukberoeeningen 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 muddrukberoeeningen in bijlage 3.

2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de Oude Dijk en de Brandweg is verkeersklasse II gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020.

2.13 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 horizontale bochten van 2018 en 2024 m, een verticale bocht van 250 m en een gecombineerde bocht met een boogstraal van 248 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 2-2 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%

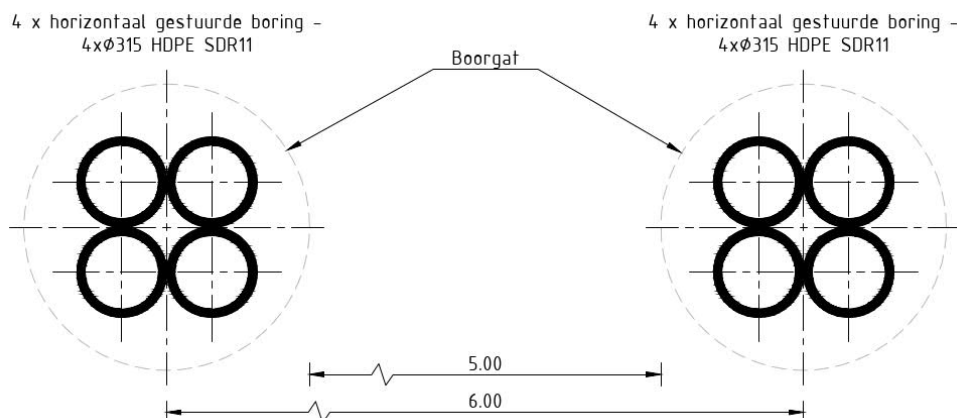
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 681 m;
- maximale diepte hart boring: NAP -20,0 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 2018 en 2024 m;
- gecombineerde boogstralen: 248 m.



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, naast de afstandseisen uit hoofdstuk 2, 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 dienen buiten de kernzone van de primaire waterkeringen van waterschap Brabantse Delta in of uit te treden;
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

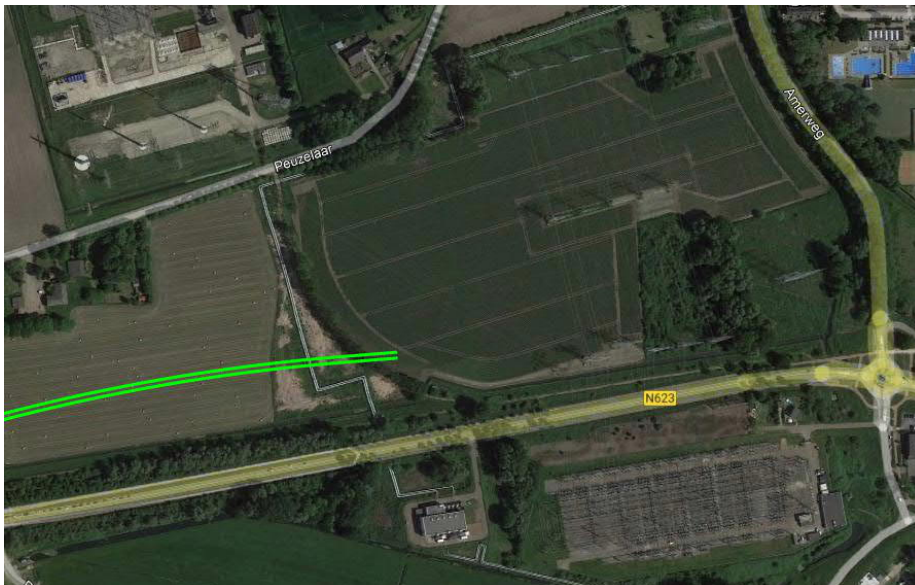
3.2 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : max-rig 100 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m³;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø700 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt in bouwland aan de oostzijde van het boortracé ten noorden van de N623 en hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid (zie figuur 4). De locatie is door het bouwland bereikbaar vanaf de noordzijde via de Peuzelaar. Bij het intredepunt dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.

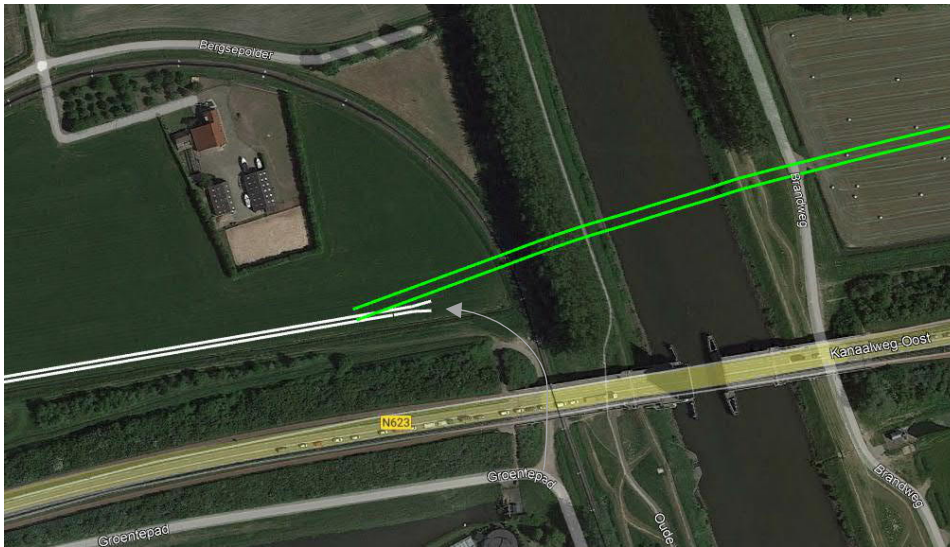


Figuur 4 Intredepunt GTB-HDD1

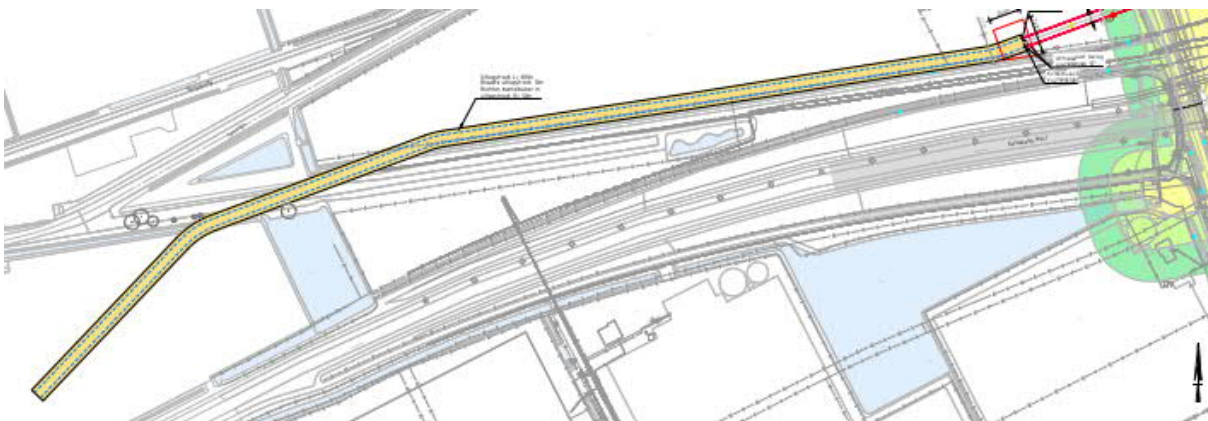
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de westzijde van het boortracé (zie figuur 5). De locatie is bereikbaar via het Groentepad en de onderdoorgang van de brug N623. Hier kan gebruik gemaakt worden van de werkstrook van TenneT.

De uitlegstrook ligt in het bouwland en loopt grofweg parallel aan de N623 (Kanaalweg West) (zie figuur 6). De uitlegstrook kruist een categorie A waterloop en dijkje. Voor de waterloop dient een tijdelijke constructie aangelegd te worden. Langs het dijkje staan bomen en bosschages, deze dienen zoveel mogelijk behouden te blijven.



Figuur 5 Uittredepunt GTB HDD1



Figuur 6 Uitlegstrook GTB HDD1

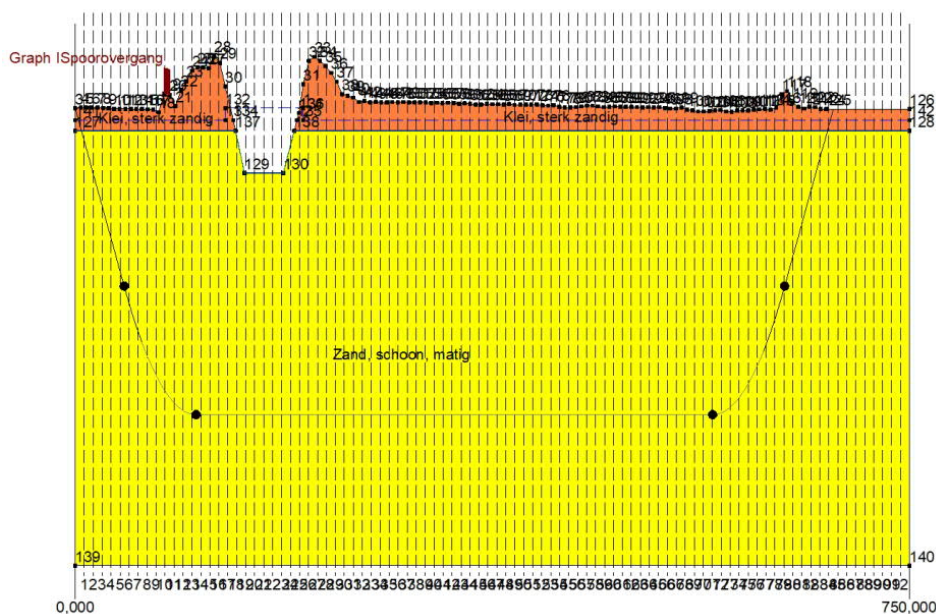
4. Berekeningsresultaten

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.

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 $491 \cdot 1,8 = 884$ kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $9,12$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

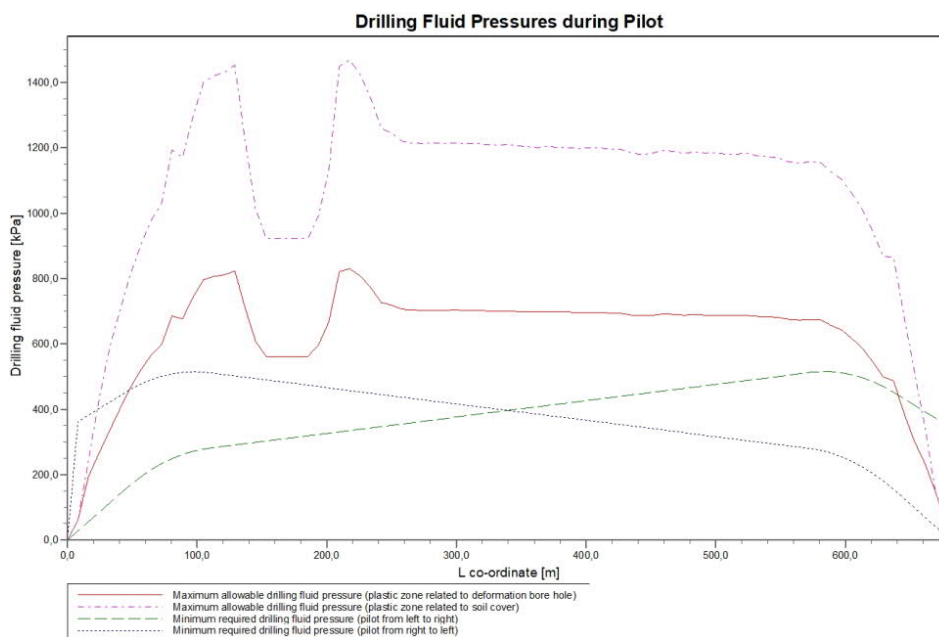
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $4,37$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE100 SDR 11.

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

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 50 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 fase

4.4 Implosie

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 203 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

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 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

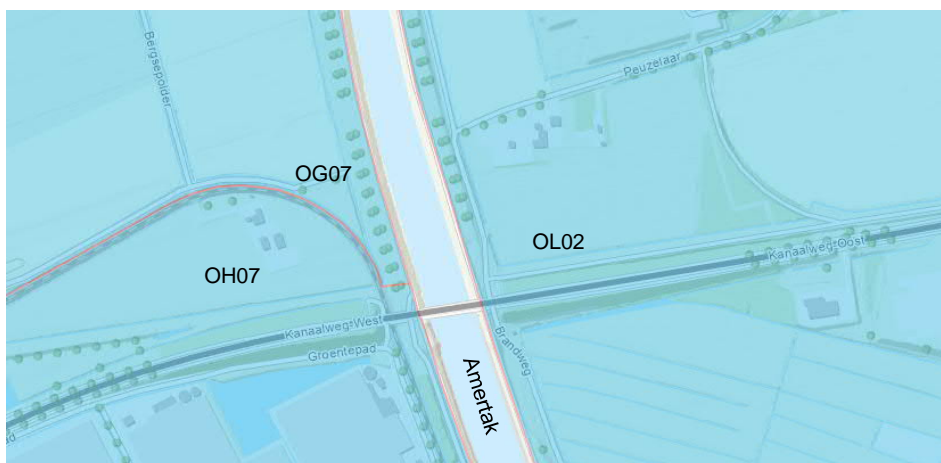
In het gebied zijn in DINOloket geen representatieve peilbuisgegevens te vinden van de diepere grondlagen. Op basis van het geotechnisch profiel, dat voornamelijk uit zand bestaat en geen diepere afsluitende kleilagen bevat, is de verwachting dat het peil van de freatische grondwaterstand en het eerste watervoerende pakket aan elkaar gelijk is. Het is daarom niet noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen. Dit zal geverifieerd dienen te worden met een te plaatsen peilbuis bij het tracé.

4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

De HDD's liggen binnen het peilbesluit van Gat van de Ham. Echter heeft het intredepunt een ander zomer- en winterpeil dan het uitredepunt (zie tabel 4-1). 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 en peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Amertak	+ 0,50	+ 0,50
OH07 – Plukmade	- 0,60	- 0,80
OG07 – Oud Drimmelen	-1,0	-1,5
OL02 – Middelschans	- 0,65	- 0,95



Figuur 9 Peilgebieden bij GTB-HDD1

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 geen kwel tussen de peilgebieden via de HDD's valt te verwachten. Er zijn dus geen kwelmaatregelen nodig.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
Amertak	OH07	$60/3 = 17$	$18 + 60/6 + 15 = 43$
Amertak	OL02	$60/3 = 20$	$20 + 60/6 + 15 = 45$
Amertak	OG07	$55/3 = 18$	$19 + 55/6 + 15 = 43$
OL02	OG07	$170/3 = 57$	$19 + 170/6 + 20 = 67$
OH07	OL02	$175/3 = 58$	$255/6 + 20 = 62,5$
OH07	OG07	$6/3 = 2$	$18 + 6/6 + 19 = 38$

5. Risico's en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- Werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten, met name bij het uittredepunt. Ten oosten van het uittredepunt liggen verschillende mastenroutes die aansluiten op hoogspanningsstation Geertruidenberg-Zuid;
- Werken in de beschermingszones van de waterkeringen van waterschap Brabantse Delta;
- Voor de werkzaamheden zal een door ProRail gekwalificeerde aannemer nodig zijn;
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de westzijde van de HDD in bouwland. De uitlegstrook kruist een categorie A waterloop, dit dient te worden afgestemd met het waterschap Brabantse Delta;
- Kruisingen met kabels en leidingen dienen te worden afgestemd met de betreffende beheerders;
- 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 toekomstige 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.

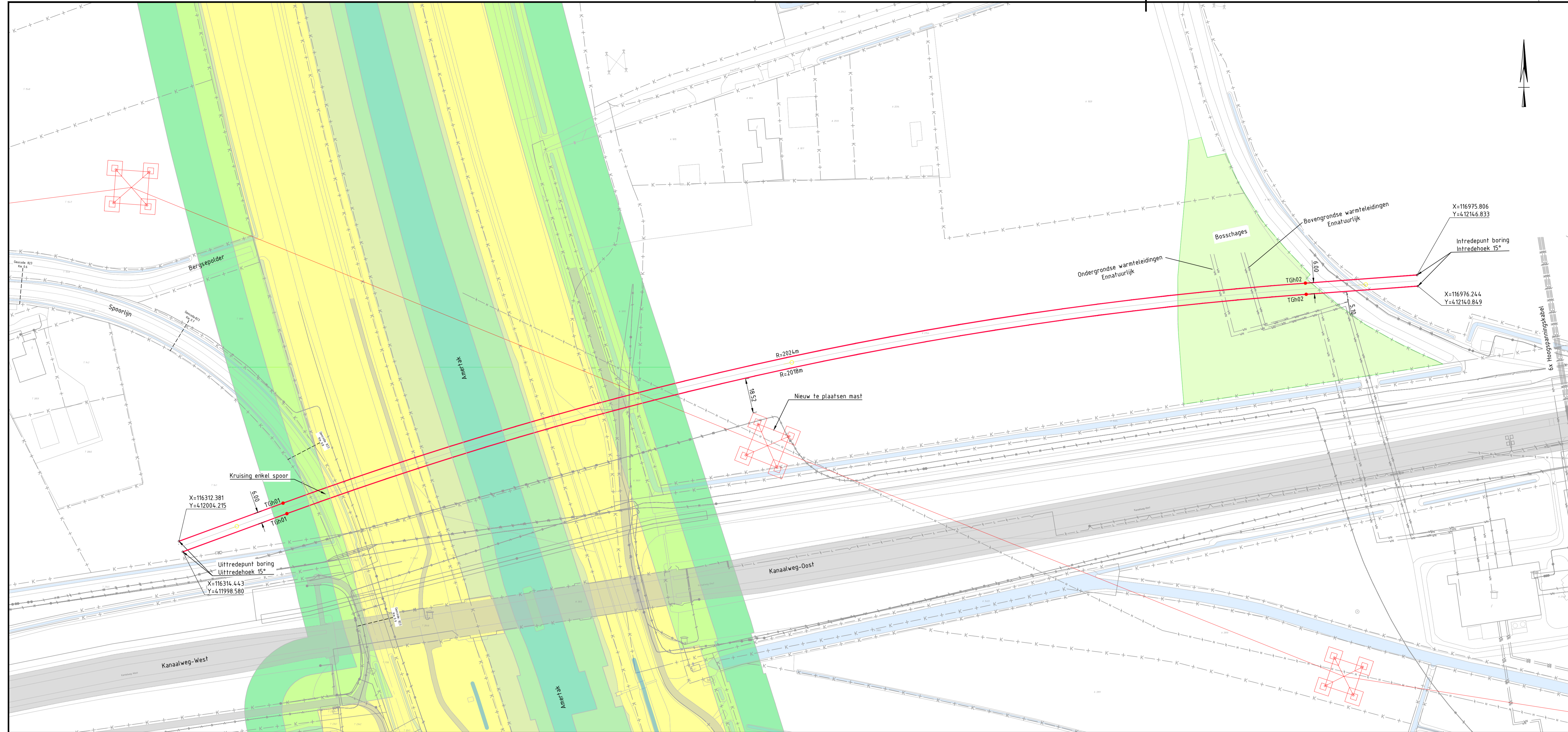
Dit rapport betreft de kruising met een spoor, twee primaire waterkeringen en de Amertak. De kruising (met codering GTB HDD1) is vergunningsplichtig bij ProRail, waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, Richtlijn Boortechnieken en de eisen van ProRail.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

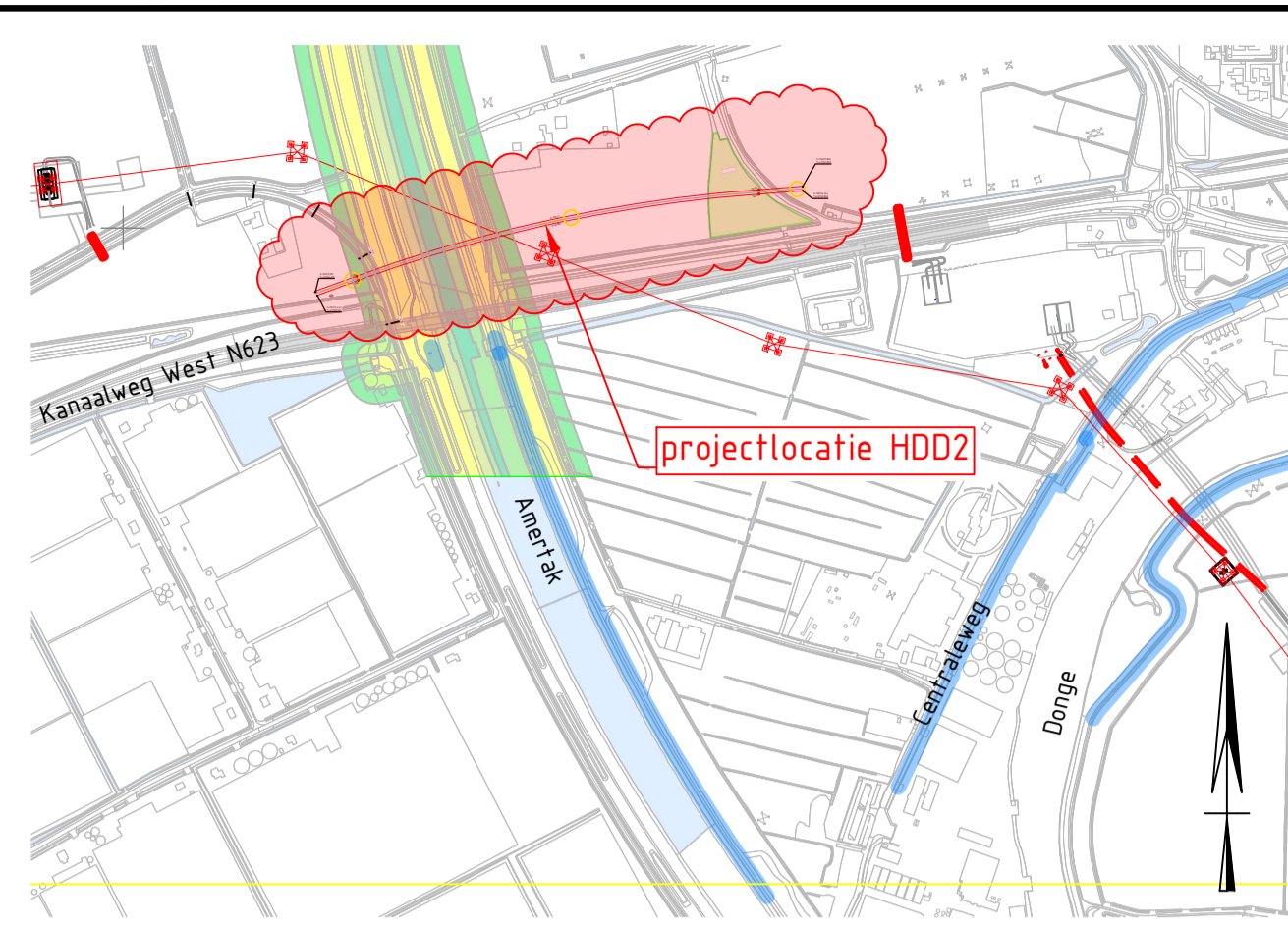
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

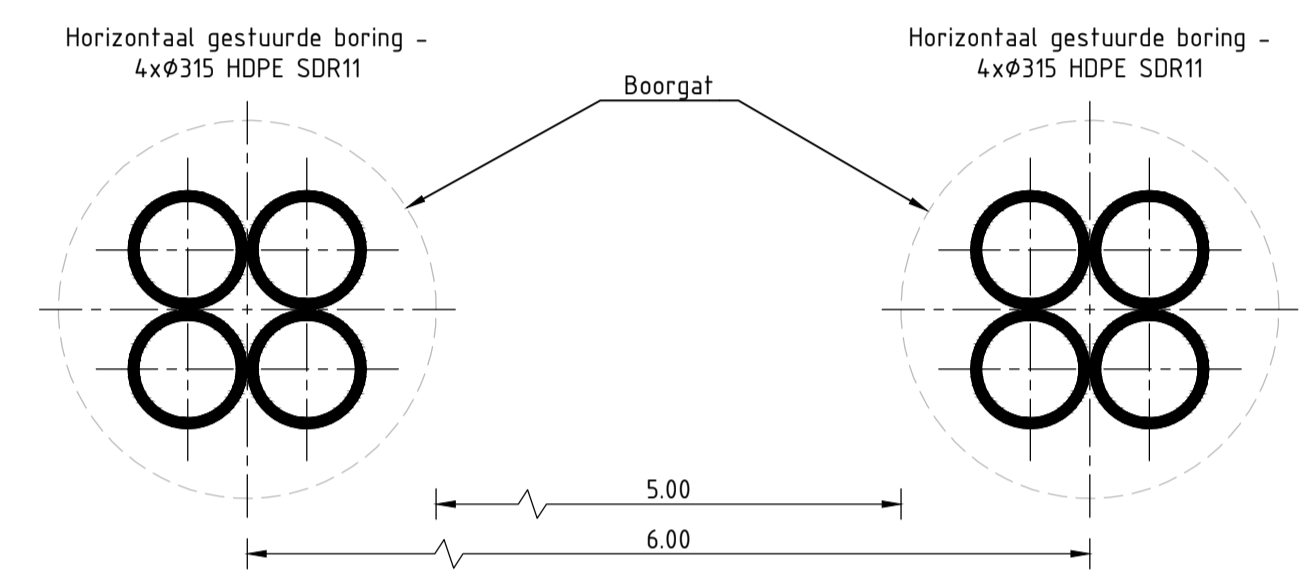
Bijlage 1 – Ontwerptekening



Bovenaanzicht Schaal 1:1000

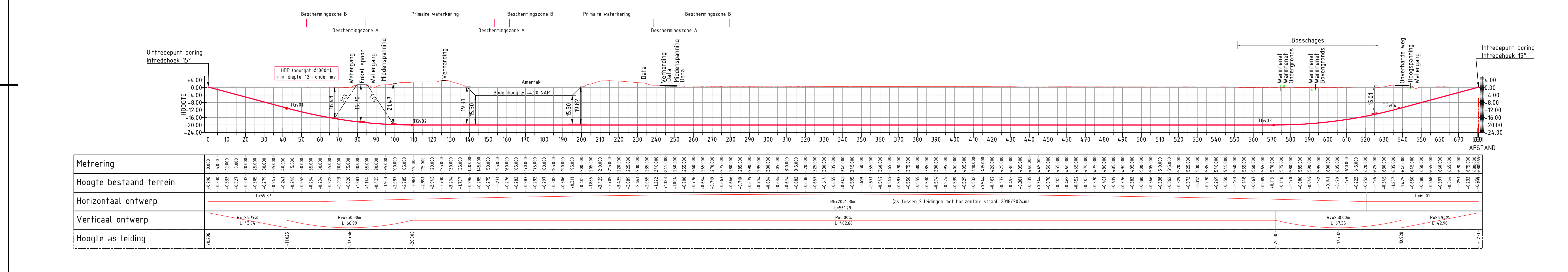


Overzicht Schaal 1:10.000



Principe doorsnede Schaal 1:20

- Kadastrale grens
- - - Leiding gevaarlijke inhoud
- - - Datatransport
- - - Landelijk hoogspanningsnet
- - - Laagspanning
- - - Middenspanning
- - - Gasleiding hoge druk
- - - Gasleiding lage druk
- - - Waterteiding
- - - Drukriolering
- - - Riolering vrijverval
- - - Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- - - Verharding (asfalt)
- - - Bestaande topo
- - - Bebouwing
- Bosschage
- Verharding/wegen
- ¹⁶ Locatie sondering met nummer
- Primaire waterkering Waterschap Brabantse Delta
- Beschermingszone A
- Beschermingszone B



Lengteprofiel schaal 1:1000

Vergunningstekening

D	T.b.v. vergunningsaanvraag II	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningsaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
B	Nieuwe locatie HDD's	25-03-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

Onderscheper

TenneT TSO B.V.

Project

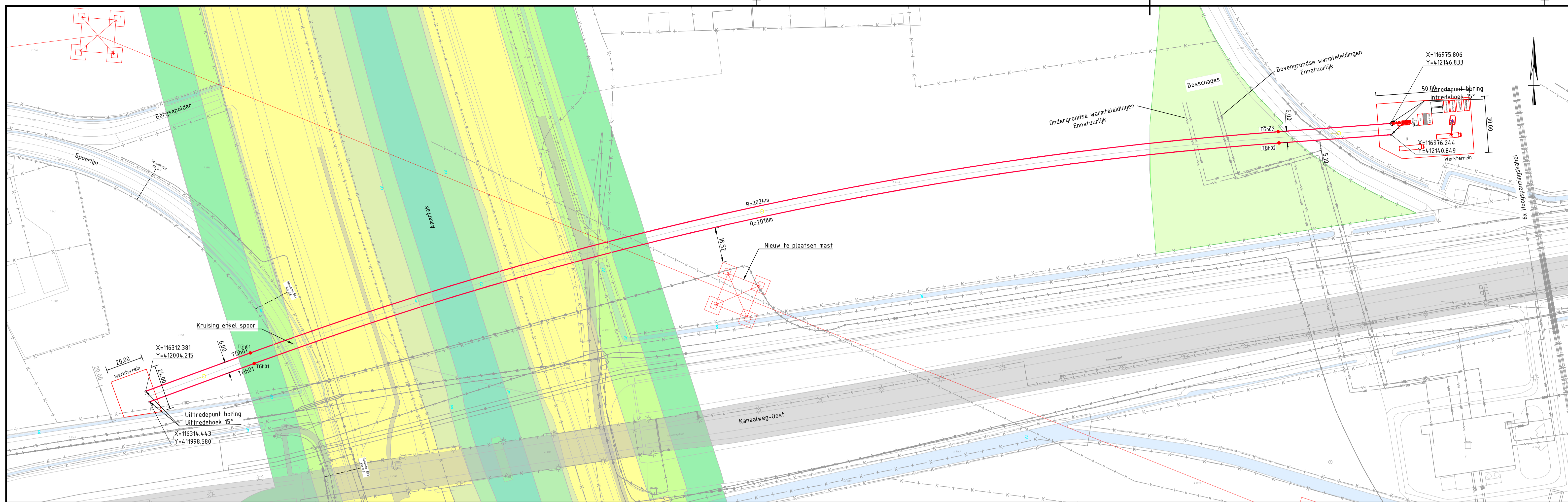
HDD's 150 kV ZWO

Onderdeel

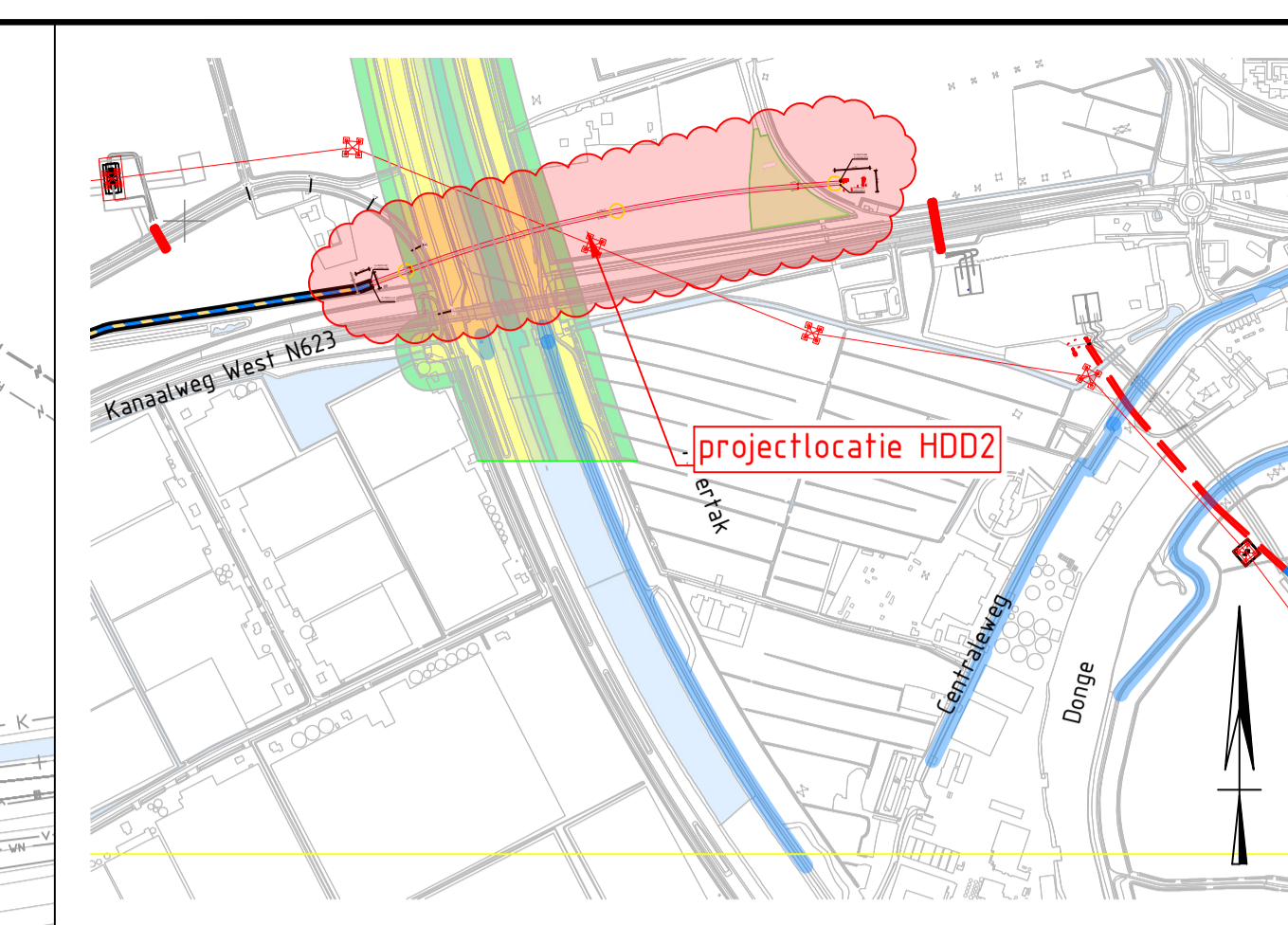
GTB-HDD1

Kruising Amertak

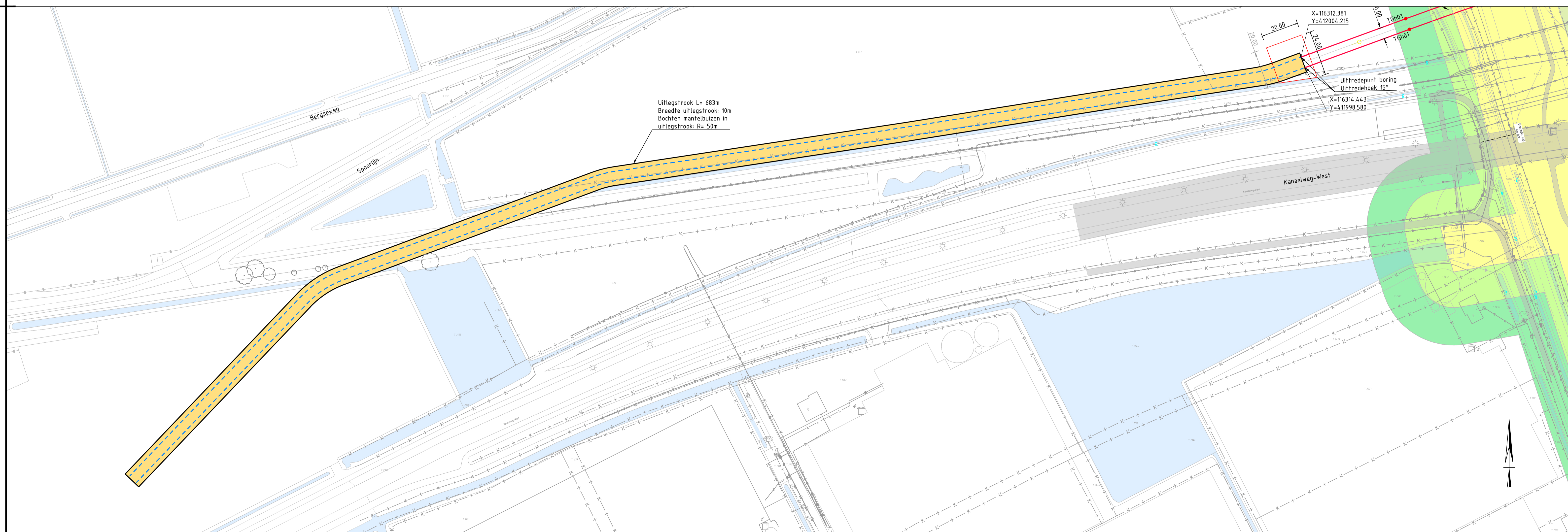
Projectnummer	Tekeningnummer	versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	14-04-2022	BO	
Bld	Van	Schaal	Kartror	Get.	Get.
1	2	Zie tekening	A1	De Bilt	BB MJ JD



Bovenaanzicht schaal 1:1000

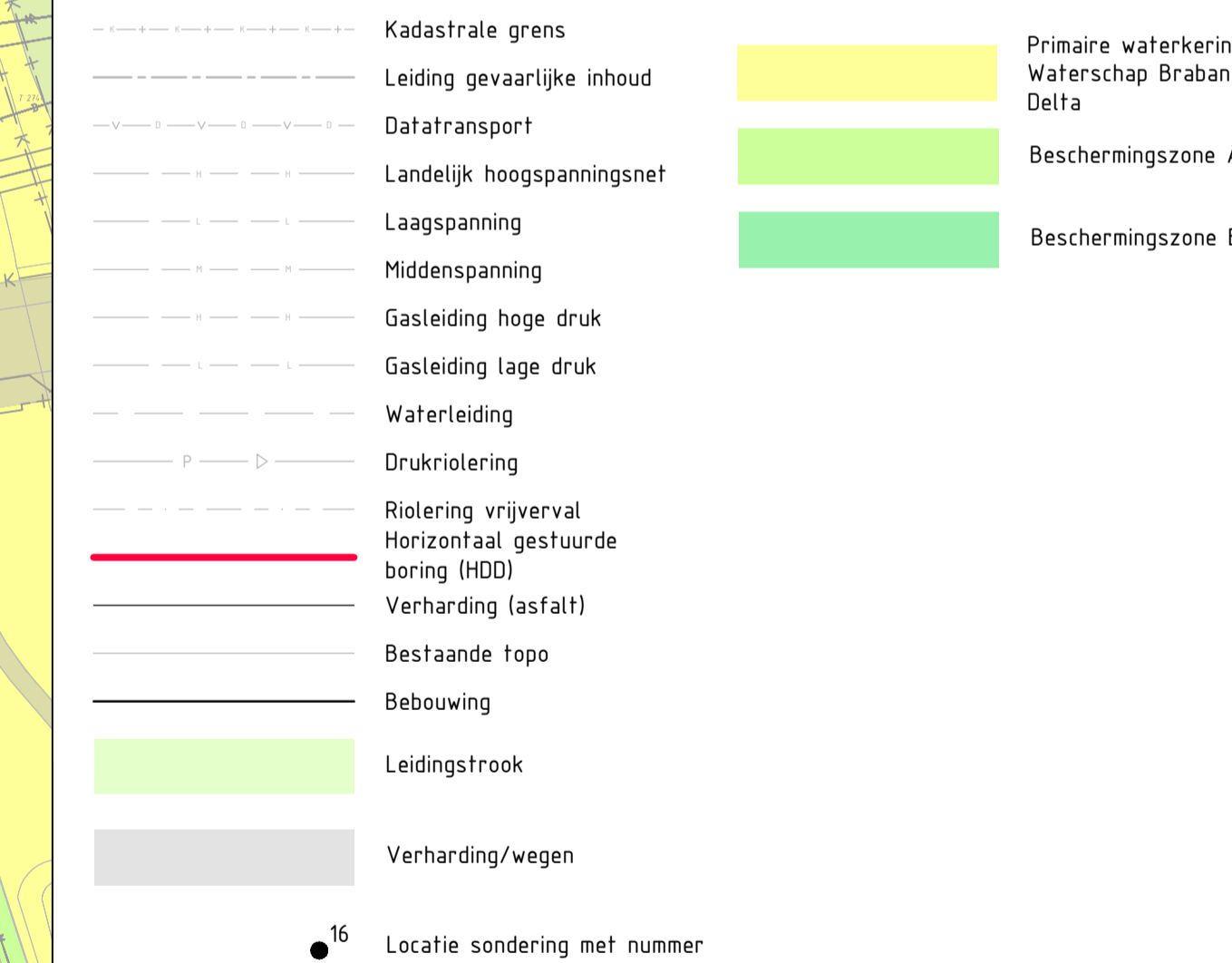


Overzicht Schaal 1:10.000



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:1000

Principe doorsnede Schaal 1:20

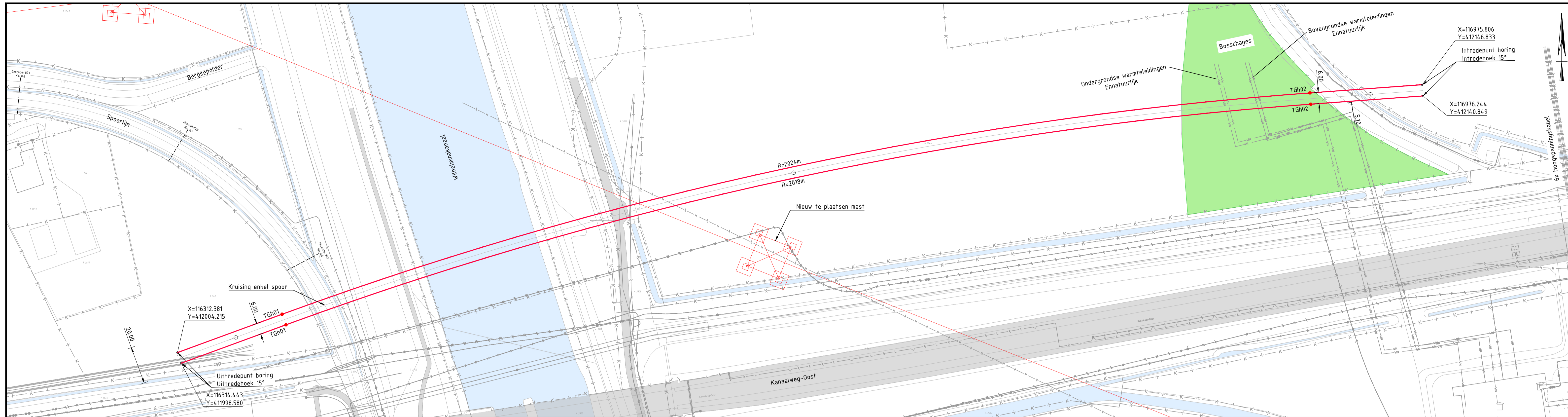


Vergunningstekening

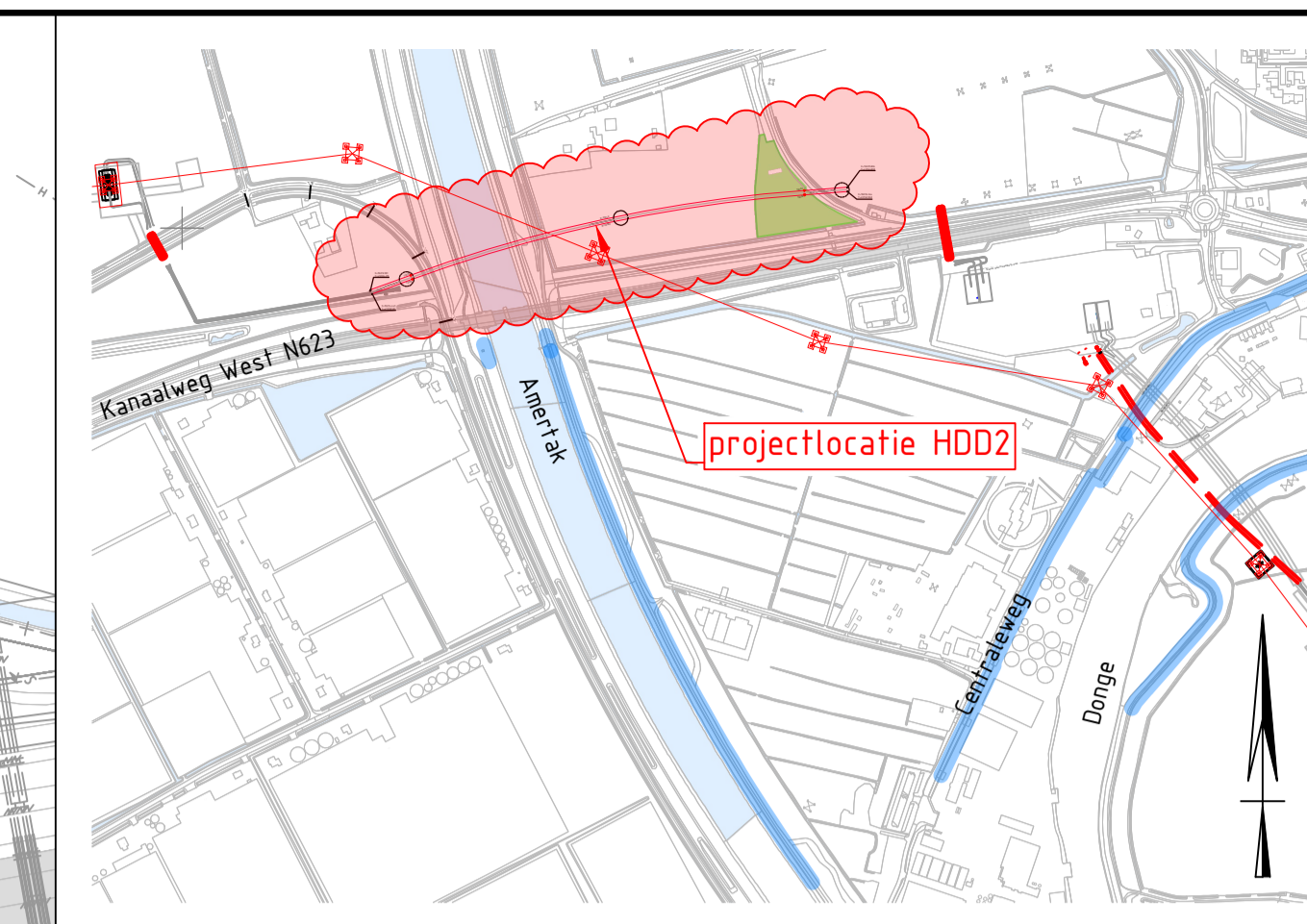
D	T.b.v. vergunningaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	T.b.v. vergunningaanvraag	14-04-2022	JPR	MJ	JD
B	Aanpassingen op werktekenen	07-03-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

Onderscheper
TenneT TSO B.V.
 Project
HDD's 150 kV ZWO
 Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak

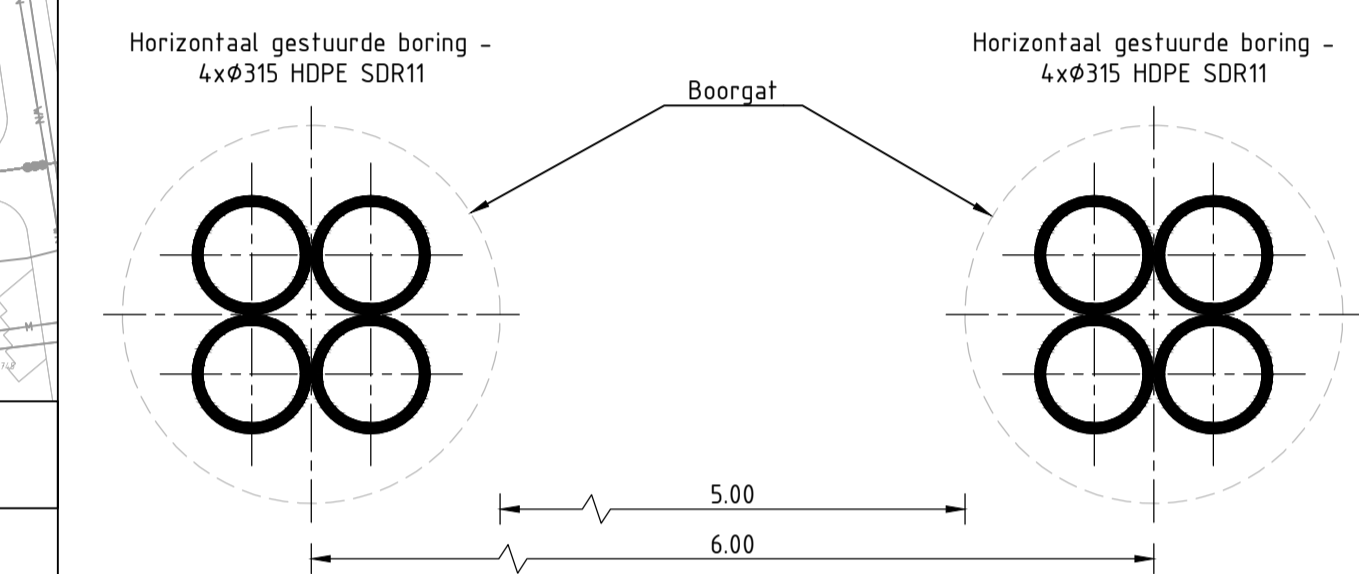
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	D	20-04-2022	Definitief ontwerp	
Bld	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.
2	2	1:1000	A1	De Bilt	BB MJ JD



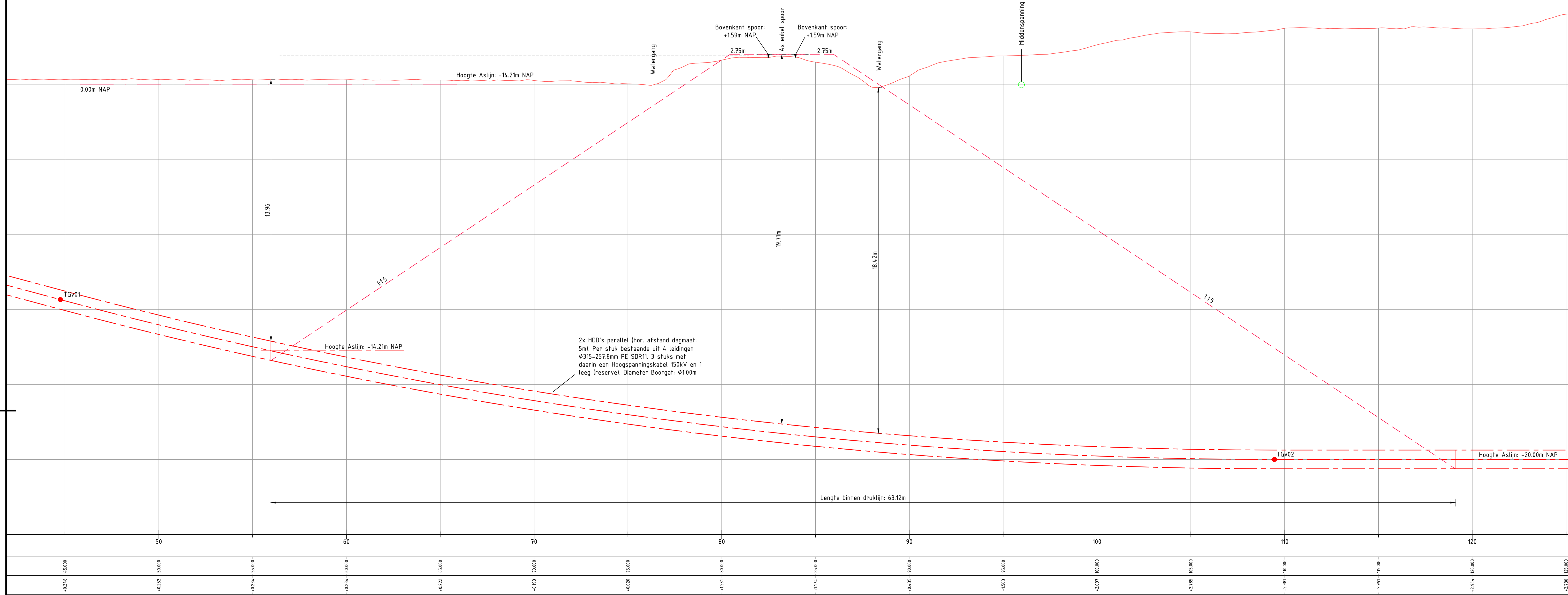
Bovenaanzicht Schaal 1:1000



Overzicht Schaal 1:10.000



Principe doorsnede Schaal 1:20



Lengteprofiel Schaal 1:100

- Kadastrate grens
 - Leiding gevaarlijke inhoud
 - Datatransport
 - Landelijk hoogspanningsnet
 - Laagspanning
 - Middenspanning
 - Gasleiding hoge druk
 - Gasleiding lage druk
 - Waterteiding
 - Drukriolering
 - Riolering vrijverval
 - Horizontaal gestuurde boring (HDD)
 - Verharding (asfalt)
 - Bestaande topo
 - Bebouwing
 - Bosschage
 - Verharding/wegen
- 15 Locatie sondering met nummer

Vergunningstekening

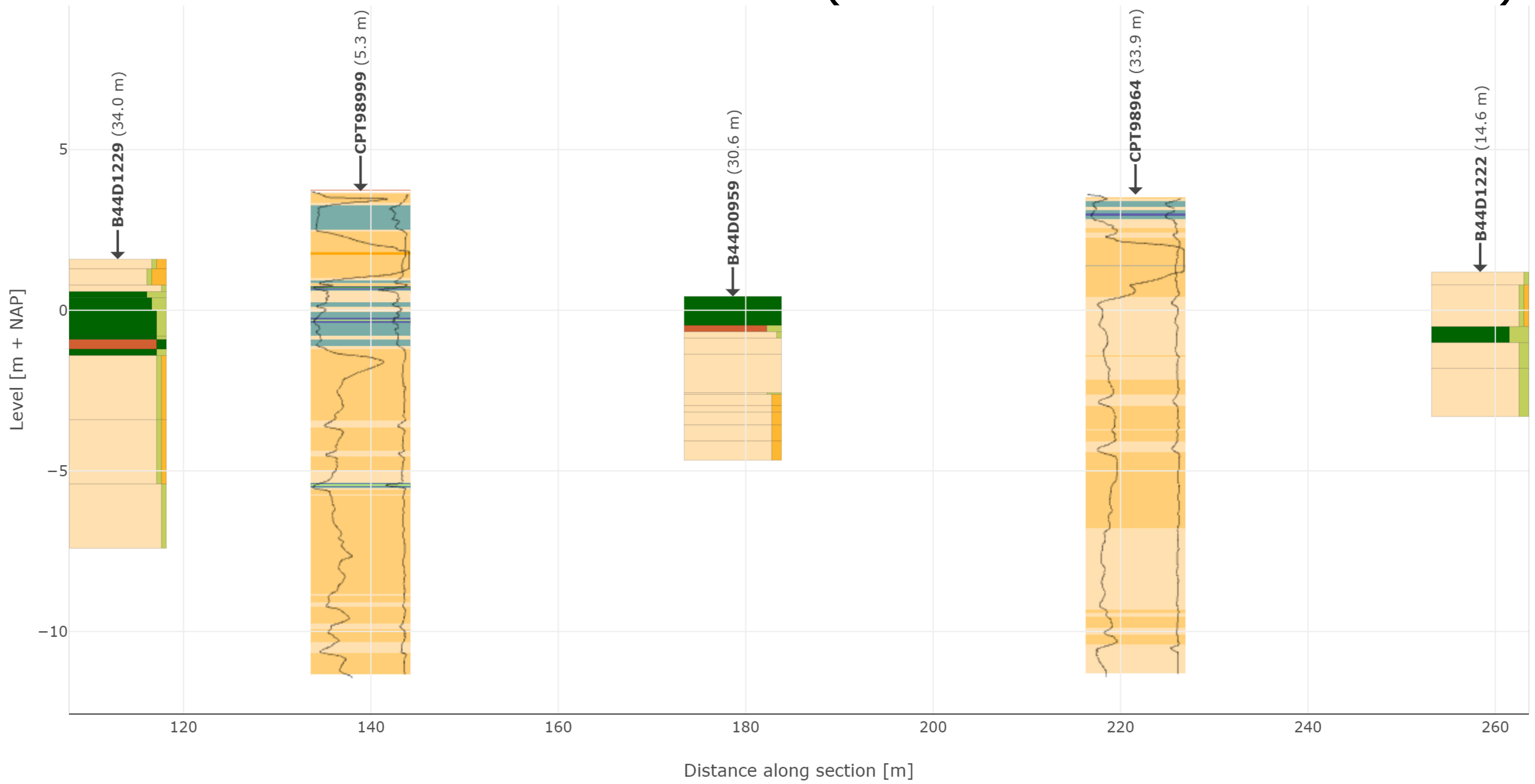
D	T.b.v. vergunningsaanvraag	20-04-2022	BB	MJ	JD
C	Nieuwe locatie HDD's	25-03-2022	BB	MJ	JD
B	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
A	Ontwerp				
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

Opdrachtgever
TenneT TSO B.V.
 Project
HDD's 150 kV ZWO
 Onderdeel
GTB-HDD1
Kruising Amertak Prorail

Projectnummer	Tekeningnummer	Revisie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	GTB-HDD1	C	14-04-2022	Definitief ontwerp	
Bld	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.
3	3	1:1000	A1-L (1050)	De Bilt	BB
					Get.
					MJ
					JD

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

Grondonderzoek BRO (tot 60 m afstand van trace)



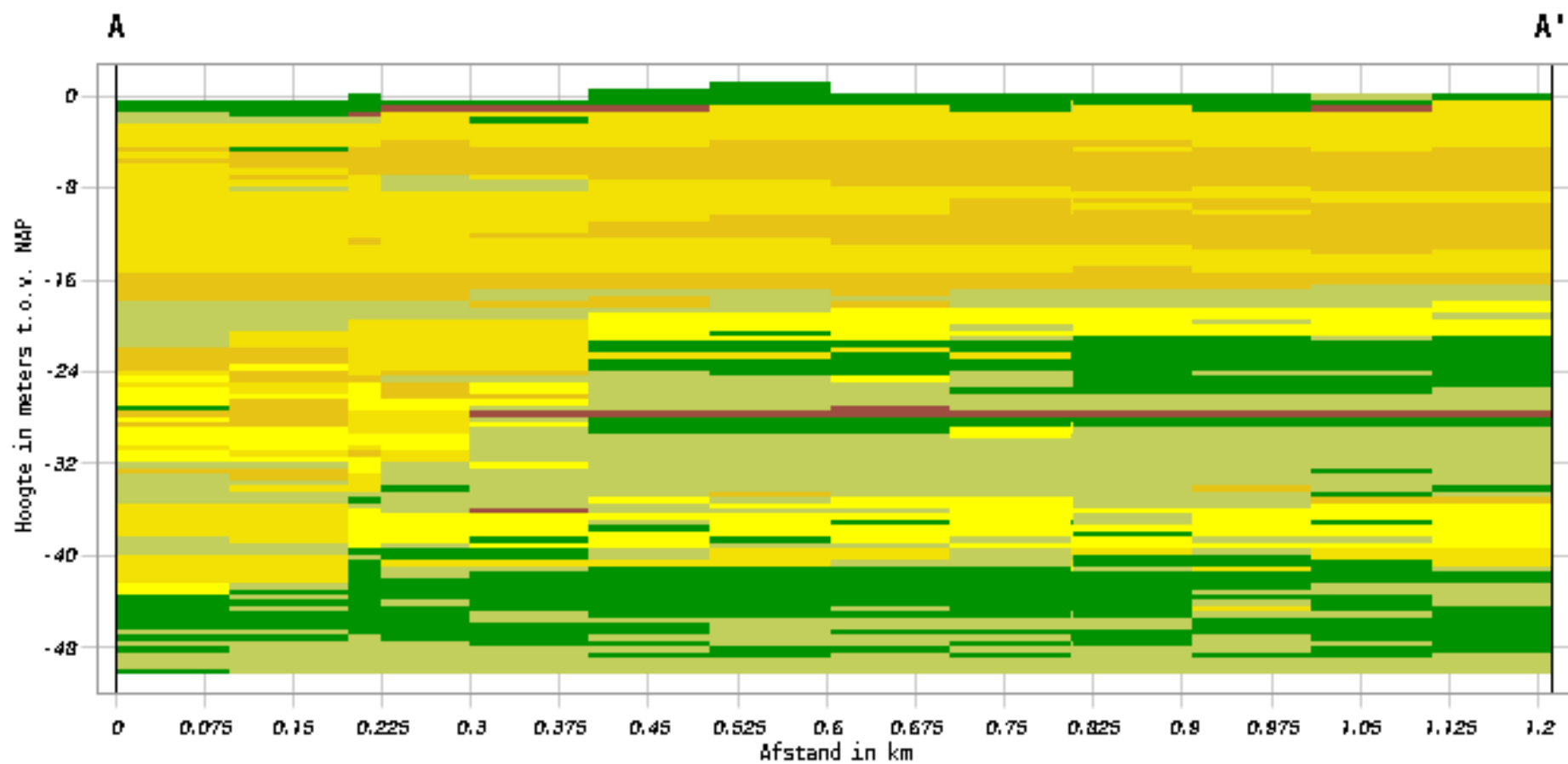
- | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|---------------|---------------|
| Very stiff to clayey sand | Gravelly to dense sand | Sands | Sand mixtures | Silt mixtures |
| Clay | Clay (org. mat) [3<N<15] | Organic clay [15<N<30] | Peat [N>30] | Unknown |



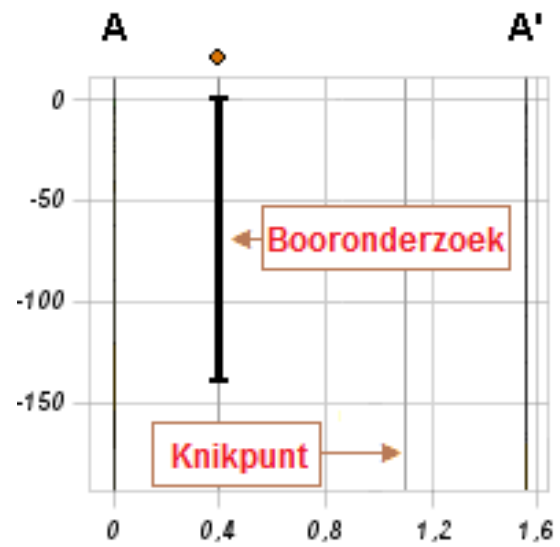
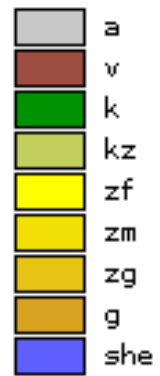
© OpenStreetMap

- cpt
 ● borehole
 ● not shown on sectionplot
 — section

Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report: 19-4-2022
Time of report: 16:53:40
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	Input Data	4
2.1	Model Used	4
2.2	Layer Boundaries	4
2.3	PI-lines	5
2.4	Phreatic Line	5
2.5	Soil Profiles	5
2.6	Selected Boundaries	6
2.7	Soil Material Data	6
2.8	Geometry	7
2.8.1	Geometry Section, Detailed	7
2.8.2	Geometry Top View	7
2.9	Calculation Verticals	8
2.10	Traffic Load	9
2.11	Configuration of the Pipeline	9
2.12	Product Pipe Material Data	10
2.13	Pipe Engineering Data	11
2.14	Drilling Fluid Data	11
2.15	Factors	11
2.16	Calculation Options	12
3	Drilling Fluid Pressures	13
3.1	Drilling Fluid Data	13
3.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	17
3.3	Drilling Fluid Pressure Plots	19
3.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	19
3.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	19
3.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	20
4	Soil Mechanical Data	21
4.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	21
4.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	24
4.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	27
4.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	30
4.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	33
5	Data for Stress Analysis	37
5.1	General Data	37
5.2	Buoyancy Control	37
5.3	Calculation Pulling Force	37
6	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	39
6.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	39
6.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	39
6.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	39
6.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	40
6.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	40
6.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	40
6.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	40
6.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	41
6.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	41
7	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	42
7.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	42
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	42
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	42
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	43
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	43
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	43
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	43
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	44
7.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	44
8	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	46
8.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	46
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	46
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	46
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	47
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	47
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	47

8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	47
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	48
8.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	48
9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	49
9.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	49
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	49
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	49
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	50
9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	50
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	50
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	50
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	51
9.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	51

2 Input Data

2.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

2.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
3 - L -	0,000	5,000	10,000	15,000	20,000
3 - Z -	0,296	0,330	0,333	0,327	0,332
3 - L -	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
3 - Z -	0,305	0,279	0,247	0,241	0,248
3 - L -	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000
3 - Z -	0,252	0,234	0,234	0,222	0,193
3 - L -	75,000	80,000	85,000	90,000	95,000
3 - Z -	0,020	1,281	1,174	0,435	1,503
3 - L -	100,000	105,000	110,000	115,000	120,000
3 - Z -	2,097	2,785	2,981	2,991	2,944
3 - L -	125,000	130,000	135,000	142,223	144,178
3 - Z -	3,730	3,294	1,737	-0,500	-1,200
3 - L -	152,000	187,000	196,853	199,316	201,007
3 - Z -	-4,000	-4,000	-1,200	-0,500	-0,019
3 - L -	205,000	210,000	215,000	220,000	225,000
3 - Z -	1,885	3,425	3,705	3,434	3,088
3 - L -	230,000	235,000	240,000	245,000	250,000
3 - Z -	2,641	2,055	1,221	1,128	1,004
3 - L -	255,000	260,000	265,000	270,000	275,000
3 - Z -	0,700	0,777	0,683	0,718	0,667
3 - L -	280,000	285,000	290,000	295,000	300,000
3 - Z -	0,666	0,710	0,679	0,704	0,684
3 - L -	305,000	310,000	315,000	320,000	325,000
3 - Z -	0,684	0,674	0,682	0,637	0,656
3 - L -	330,000	335,000	340,000	345,000	350,000
3 - Z -	0,613	0,655	0,642	0,595	0,618
3 - L -	355,000	360,000	365,000	370,000	375,000
3 - Z -	0,571	0,548	0,548	0,597	0,555
3 - L -	380,000	385,000	390,000	395,000	400,000
3 - Z -	0,555	0,531	0,573	0,524	0,540
3 - L -	405,000	410,000	415,000	420,000	425,000
3 - Z -	0,530	0,532	0,544	0,486	0,472
3 - L -	430,000	435,000	440,000	445,000	450,000
3 - Z -	0,493	0,380	0,335	0,342	0,376
3 - L -	455,000	460,000	465,000	470,000	475,000
3 - Z -	0,405	0,468	0,453	0,403	0,370
3 - L -	480,000	485,000	490,000	495,000	500,000
3 - Z -	0,400	0,418	0,377	0,383	0,381
3 - L -	505,000	510,000	515,000	520,000	525,000
3 - Z -	0,366	0,338	0,362	0,329	0,372
3 - L -	530,000	535,000	540,000	545,000	550,000
3 - Z -	0,312	0,270	0,268	0,350	0,183
3 - L -	555,000	560,000	565,000	570,000	575,000
3 - Z -	0,147	0,067	0,089	0,113	0,148
3 - L -	580,000	585,000	590,000	595,000	600,000
3 - Z -	0,170	0,086	0,049	0,132	0,141
3 - L -	605,000	610,000	615,000	620,000	625,000
3 - Z -	0,129	0,179	0,223	0,252	0,196
3 - L -	630,000	635,000	640,000	645,000	650,000
3 - Z -	0,345	1,236	1,425	0,651	0,380
3 - L -	655,000	660,000	665,000	670,000	675,000
3 - Z -	0,268	0,397	0,364	0,250	0,231
3 - L -	750,000				
3 - Z -	0,250				
2 - L -	0,000	144,178	152,000	187,000	196,853

Boundary number	Co-ordinates [m]				
2 - Z -	-1,200	-1,200	-4,000	-4,000	-1,200
2 - L -	199,316	201,007	205,000	210,000	215,000
2 - Z -	-0,500	-0,019	1,885	3,425	3,705
2 - L -	220,000	225,000	230,000	235,000	240,000
2 - Z -	3,434	3,088	2,641	2,055	1,221
2 - L -	245,000	250,000	255,000	260,000	265,000
2 - Z -	1,128	1,004	0,700	0,777	0,683
2 - L -	270,000	275,000	280,000	285,000	290,000
2 - Z -	0,718	0,667	0,666	0,710	0,679
2 - L -	295,000	300,000	305,000	310,000	315,000
2 - Z -	0,704	0,684	0,684	0,674	0,682
2 - L -	320,000	325,000	330,000	335,000	340,000
2 - Z -	0,637	0,656	0,613	0,655	0,642
2 - L -	345,000	350,000	355,000	360,000	365,000
2 - Z -	0,595	0,618	0,571	0,548	0,548
2 - L -	370,000	375,000	380,000	385,000	390,000
2 - Z -	0,597	0,555	0,555	0,531	0,573
2 - L -	395,000	400,000	405,000	410,000	415,000
2 - Z -	0,524	0,540	0,530	0,532	0,544
2 - L -	420,000	425,000	430,000	435,000	440,000
2 - Z -	0,486	0,472	0,493	0,380	0,335
2 - L -	445,000	450,000	455,000	460,000	465,000
2 - Z -	0,342	0,376	0,405	0,468	0,453
2 - L -	470,000	475,000	480,000	485,000	490,000
2 - Z -	0,403	0,370	0,400	0,418	0,377
2 - L -	495,000	500,000	505,000	510,000	515,000
2 - Z -	0,383	0,381	0,366	0,338	0,362
2 - L -	520,000	525,000	530,000	535,000	540,000
2 - Z -	0,329	0,372	0,312	0,270	0,268
2 - L -	545,000	550,000	555,000	560,000	565,000
2 - Z -	0,350	0,183	0,147	0,067	0,089
2 - L -	570,000	575,000	580,000	585,000	590,000
2 - Z -	0,113	0,148	0,170	0,086	0,049
2 - L -	595,000	600,000	605,000	610,000	615,000
2 - Z -	0,132	0,141	0,129	0,179	0,223
2 - L -	620,000	625,000	630,000	635,000	640,000
2 - Z -	0,252	0,196	0,345	1,236	1,425
2 - L -	645,000	650,000	655,000	660,000	665,000
2 - Z -	0,651	0,380	0,268	0,397	0,364
2 - L -	670,000	675,000	750,000		
2 - Z -	0,250	0,231	0,250		
1 - L -	0,000	144,178	152,000	187,000	196,853
1 - Z -	-1,200	-1,200	-4,000	-4,000	-1,200
1 - L -	750,000				
1 - Z -	-1,200				
0 - L -	0,000	750,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

2.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	135,000	135,000	205,000	205,000
1 - Z -	-0,800	-0,800	0,300	0,300	-0,800
1 - L -	750,000				
1 - Z -	-0,800				

2.4 Phreatic Line

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

2.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
3	Klei, sterk zandig	1	1
2	Klei, sterk zandig	1	1

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
1	Zand, schoon, matig	1	1

2.6 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, matig

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

2.7 Soil Material Data

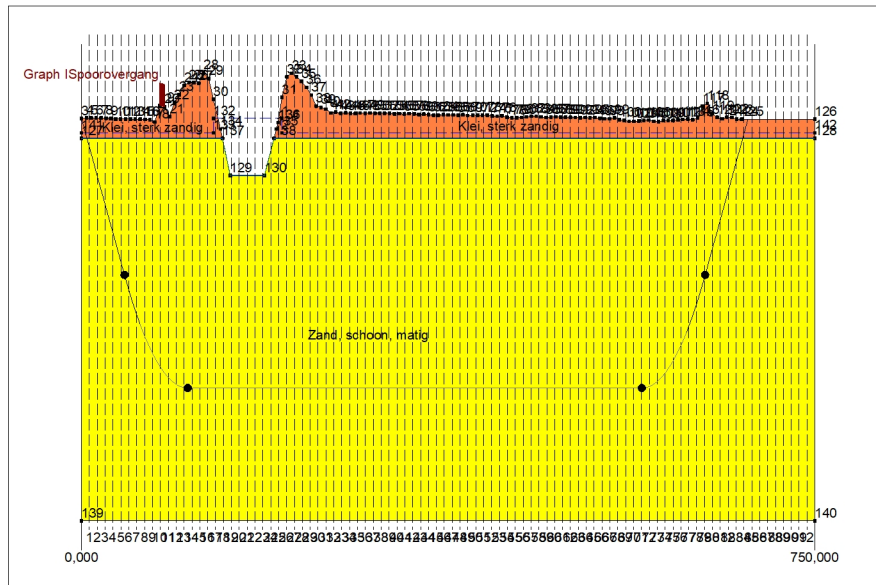
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	30,00	30,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	80,00	80,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m ²]	Emod top [kN/m ²]	Emod bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	10000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	2000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	90000,00	-	-

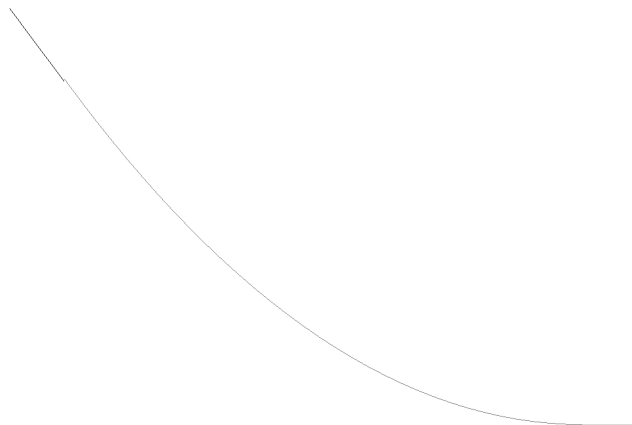
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

2.8 Geometry

2.8.1 Geometry Section, Detailed



2.8.2 Geometry Top View



2.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	8,065	-1,865
2	16,130	-4,026
3	24,195	-6,187
4	32,260	-8,348
5	40,325	-10,509
6	48,390	-12,627
7	56,455	-14,489
8	64,520	-16,073
9	72,585	-17,384
10	80,650	-18,426
11	88,715	-19,203
12	96,780	-19,718
13	104,845	-19,971
14	112,910	-20,000
15	120,975	-20,000
16	129,040	-20,000
17	137,105	-20,000
18	145,170	-20,000
19	153,235	-20,000
20	161,300	-20,000
21	169,365	-20,000
22	177,430	-20,000
23	185,495	-20,000
24	193,560	-20,000
25	201,625	-20,000
26	209,690	-20,000
27	217,755	-20,000
28	225,820	-20,000
29	233,885	-20,000
30	241,950	-20,000
31	250,015	-20,000
32	258,080	-20,000
33	266,145	-20,000
34	274,210	-20,000
35	282,275	-20,000
36	290,340	-20,000
37	298,405	-20,000
38	306,470	-20,000
39	314,535	-20,000
40	322,600	-20,000
41	330,665	-20,000
42	338,730	-20,000
43	346,795	-20,000
44	354,860	-20,000
45	362,925	-20,000
46	370,990	-20,000
47	379,055	-20,000
48	387,120	-20,000
49	395,185	-20,000
50	403,250	-20,000
51	411,315	-20,000
52	419,380	-20,000
53	427,445	-20,000
54	435,510	-20,000
55	443,575	-20,000
56	451,640	-20,000
57	459,705	-20,000
58	467,770	-20,000
59	475,835	-20,000
60	483,900	-20,000
61	491,965	-20,000
62	500,030	-20,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	508,095	-20,000
64	516,160	-20,000
65	524,225	-20,000
66	532,290	-20,000
67	540,355	-20,000
68	548,420	-20,000
69	556,485	-20,000
70	564,550	-20,000
71	572,615	-20,000
72	580,680	-19,884
73	588,745	-19,507
74	596,810	-18,869
75	604,875	-17,967
76	612,940	-16,798
77	621,005	-15,359
78	629,070	-13,644
79	637,135	-11,648
80	645,200	-9,488
81	653,265	-7,327
82	661,330	-5,166
83	669,395	-3,005
84	677,460	-0,844
85	685,525	n.a.
86	693,590	n.a.
87	701,655	n.a.
88	709,720	n.a.
89	717,785	n.a.
90	725,850	n.a.
91	733,915	n.a.
92	741,980	n.a.

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

2.10 Traffic Load

Spoorovergang		
L start	80,00	[m]
L end	85,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

2.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	0,000	[m]
Y co-ordinate left point	94,000	[m]
Z co-ordinate left point	0,296	[m]
X co-ordinate right point	672,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,233	[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)	-20,000	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	1	

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

Bending nr.	X1-coord. [m]	Y1-coord. [m]	X2-coord. [m]	Y2-coord. [m]	Bending radius [m]	Direction
1	58,000	77,600	612,000	0,000	2024,000	right

2.12 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]

2.13 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	[-]

2.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[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	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[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)	11,1	[kN/m ³]
Yieldpoint drilling fluid (Tau)	0,014	[kN/m ²]
Plastic viscosity drilling fluid (Mu)	0,000040	[kN.s/m ²]

2.15 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	[-]

2.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

3 Drilling Fluid Pressures

3.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	63	63	28	362
2	199	252	56	382
3	271	439	84	402
4	338	599	113	421
5	405	714	141	441
6	470	824	168	460
7	525	916	193	477
8	572	992	215	491
9	604	1044	234	501
10	690	1206	249	508
11	683	1183	262	513
12	747	1308	272	515
13	800	1411	278	514
14	810	1431	283	510
15	815	1441	287	506
16	827	1464	291	502
17	709	1217	295	498
18	607	1013	299	494
19	562	923	303	490
20	562	923	307	486
21	562	923	311	482
22	562	923	315	478
23	562	923	319	474
24	597	992	323	470
25	668	1135	327	465
26	825	1460	331	461
27	834	1479	335	457
28	812	1434	339	453
29	776	1363	343	449
30	732	1273	347	445
31	723	1257	351	441
32	711	1233	355	437
33	709	1227	359	433
34	708	1226	363	429
35	708	1227	367	425
36	708	1226	371	421
37	709	1227	376	417
38	708	1226	380	413
39	708	1226	384	409
40	706	1223	388	405
41	705	1220	392	401
42	706	1223	396	397
43	704	1219	400	393
44	703	1216	404	389
45	702	1213	408	385
46	704	1217	412	381
47	702	1214	416	377
48	702	1214	420	373
49	701	1211	424	369
50	701	1212	428	365
51	701	1212	432	361
52	699	1208	436	357
53	699	1207	440	353
54	693	1197	444	349
55	692	1193	448	345
56	694	1198	452	341
57	698	1205	456	337

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	696	1202	460	333
59	693	1197	464	328
60	695	1200	468	324
61	693	1197	472	320
62	694	1197	476	316
63	692	1194	480	312
64	692	1195	484	308
65	693	1196	488	304
66	689	1188	492	300
67	688	1187	496	296
68	686	1183	500	292
69	681	1171	504	288
70	679	1168	509	284
71	681	1172	513	280
72	679	1169	515	275
73	663	1141	515	267
74	649	1119	512	255
75	622	1075	506	241
76	592	1026	497	224
77	552	959	485	204
78	504	882	470	181
79	492	877	452	155
80	393	701	433	127
81	308	529	413	99
82	241	359	393	70
83	155	155	373	42
84	57	57	353	14

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	55	55	26	28
2	196	196	51	56
3	271	366	77	84
4	338	533	102	113
5	405	688	128	141
6	470	824	153	168
7	525	916	175	193
8	572	992	194	215
9	604	1044	210	234
10	690	1206	223	249
11	683	1183	233	262
12	747	1308	240	272
13	800	1411	244	278
14	810	1431	246	283
15	815	1441	248	287
16	827	1464	249	291
17	709	1217	251	295
18	607	1013	252	299
19	562	923	254	303
20	562	923	255	307
21	562	923	257	311
22	562	923	258	315
23	562	923	260	315
24	597	992	261	314
25	668	1135	262	312
26	825	1460	264	311
27	834	1479	265	310
28	812	1434	267	308
29	776	1363	268	307
30	732	1273	270	305
31	723	1257	271	304
32	711	1233	273	302
33	709	1227	274	301

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
34	708	1226	276	299
35	708	1227	277	298
36	708	1226	279	296
37	709	1227	280	295
38	708	1226	282	293
39	708	1226	283	292
40	706	1223	285	290
41	705	1220	286	289
42	706	1223	287	287
43	704	1219	289	286
44	703	1216	290	285
45	702	1213	292	283
46	704	1217	293	282
47	702	1214	295	280
48	702	1214	296	279
49	701	1211	298	277
50	701	1212	299	276
51	701	1212	301	274
52	699	1208	302	273
53	699	1207	304	271
54	693	1197	305	270
55	692	1193	307	268
56	694	1198	308	267
57	698	1205	309	265
58	696	1202	311	264
59	693	1197	312	262
60	695	1200	314	261
61	693	1197	315	260
62	694	1197	316	258
63	692	1194	312	257
64	692	1195	308	255
65	693	1196	304	254
66	689	1188	300	252
67	688	1187	296	251
68	686	1183	292	249
69	681	1171	288	248
70	679	1168	284	246
71	681	1172	280	245
72	679	1169	275	242
73	663	1141	267	236
74	649	1119	255	228
75	622	1075	241	216
76	592	1026	224	202
77	552	959	204	184
78	504	882	181	164
79	492	867	155	140
80	393	652	127	115
81	308	457	99	89
82	241	289	70	64
83	118	118	42	38
84	45	45	14	13

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	61	61	25	26
2	137	137	51	51
3	266	266	76	77
4	338	409	101	102
5	405	559	127	128
6	470	708	151	153
7	525	833	173	175
8	572	936	192	194
9	604	1009	208	210

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
10	690	1179	221	223
11	683	1169	231	233
12	747	1298	238	240
13	800	1404	242	244
14	810	1425	243	246
15	815	1434	245	248
16	827	1458	246	249
17	709	1215	247	251
18	607	1013	249	252
19	562	909	250	254
20	562	909	251	255
21	562	909	252	257
22	562	909	254	258
23	562	909	255	260
24	597	992	256	261
25	668	1135	257	262
26	825	1454	259	264
27	834	1473	260	265
28	812	1427	261	267
29	776	1357	263	268
30	732	1269	264	270
31	723	1252	265	271
32	711	1229	266	273
33	709	1224	268	274
34	708	1222	269	276
35	708	1223	270	277
36	708	1223	271	279
37	709	1224	273	280
38	708	1223	274	282
39	708	1223	275	283
40	706	1220	277	282
41	705	1217	278	280
42	706	1220	279	279
43	704	1216	280	278
44	703	1213	282	276
45	702	1211	283	275
46	704	1214	282	274
47	702	1211	280	273
48	702	1211	279	271
49	701	1208	277	270
50	701	1209	276	269
51	701	1209	274	268
52	699	1205	273	266
53	699	1204	271	265
54	693	1194	270	264
55	692	1191	268	262
56	694	1195	267	261
57	698	1203	265	260
58	696	1199	264	259
59	693	1194	262	257
60	695	1198	261	256
61	693	1195	260	255
62	694	1195	258	254
63	692	1192	257	252
64	692	1192	255	251
65	693	1193	254	250
66	689	1187	252	248
67	688	1185	251	247
68	686	1181	249	246
69	681	1170	248	245
70	679	1167	246	243
71	681	1171	245	242
72	679	1167	242	240
73	663	1134	236	234

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
74	649	1103	228	226
75	622	1047	216	214
76	592	981	202	200
77	552	891	184	183
78	504	783	164	163
79	492	721	140	139
80	393	515	115	114
81	308	341	89	89
82	206	206	64	63
83	83	83	38	38
84	9	9	13	13

3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

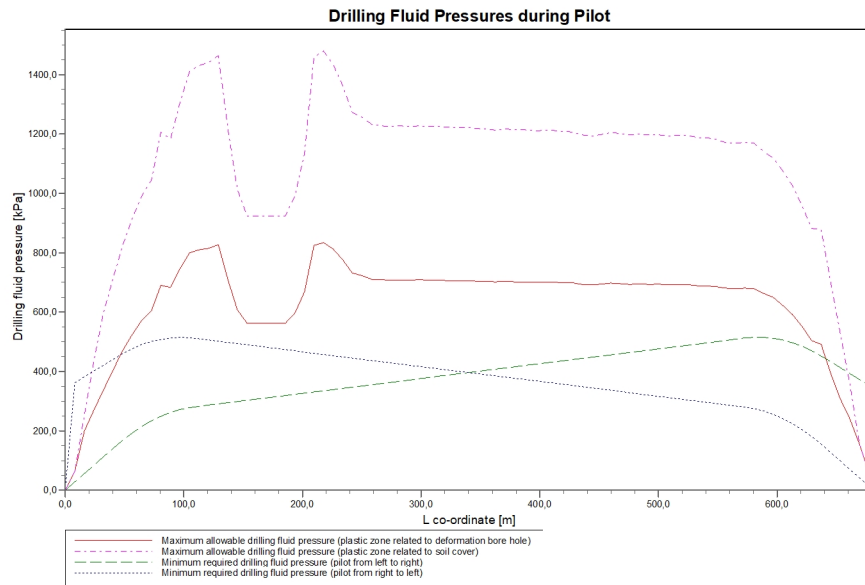
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	24	11	2,25	sufficient
2	48	32	1,49	sufficient
3	72	54	1,34	sufficient
4	96	75	1,27	sufficient
5	120	97	1,24	sufficient
6	143	118	1,21	sufficient
7	164	137	1,20	sufficient
8	182	153	1,19	sufficient
9	196	166	1,18	sufficient
10	208	176	1,18	sufficient
11	216	184	1,18	sufficient
12	222	189	1,17	sufficient
13	225	192	1,17	sufficient
14	225	192	1,17	sufficient
15	225	192	1,17	sufficient
16	225	192	1,17	sufficient
17	225	203	1,11	sufficient
18	225	203	1,11	sufficient
19	225	203	1,11	sufficient
20	225	203	1,11	sufficient
21	225	203	1,11	sufficient
22	225	203	1,11	sufficient
23	225	203	1,11	sufficient
24	225	203	1,11	sufficient
25	225	203	1,11	sufficient
26	225	192	1,17	sufficient
27	225	192	1,17	sufficient
28	225	192	1,17	sufficient
29	225	192	1,17	sufficient
30	225	192	1,17	sufficient
31	225	192	1,17	sufficient
32	225	192	1,17	sufficient
33	225	192	1,17	sufficient
34	225	192	1,17	sufficient
35	225	192	1,17	sufficient
36	225	192	1,17	sufficient
37	225	192	1,17	sufficient
38	225	192	1,17	sufficient
39	225	192	1,17	sufficient
40	225	192	1,17	sufficient
41	225	192	1,17	sufficient
42	225	192	1,17	sufficient
43	225	192	1,17	sufficient
44	225	192	1,17	sufficient
45	225	192	1,17	sufficient
46	225	192	1,17	sufficient
47	225	192	1,17	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
48	225	192	1,17	sufficient
49	225	192	1,17	sufficient
50	225	192	1,17	sufficient
51	225	192	1,17	sufficient
52	225	192	1,17	sufficient
53	225	192	1,17	sufficient
54	225	192	1,17	sufficient
55	225	192	1,17	sufficient
56	225	192	1,17	sufficient
57	225	192	1,17	sufficient
58	225	192	1,17	sufficient
59	225	192	1,17	sufficient
60	225	192	1,17	sufficient
61	225	192	1,17	sufficient
62	225	192	1,17	sufficient
63	225	192	1,17	sufficient
64	225	192	1,17	sufficient
65	225	192	1,17	sufficient
66	225	192	1,17	sufficient
67	225	192	1,17	sufficient
68	225	192	1,17	sufficient
69	225	192	1,17	sufficient
70	225	192	1,17	sufficient
71	225	192	1,17	sufficient
72	223	191	1,17	sufficient
73	219	187	1,17	sufficient
74	212	181	1,17	sufficient
75	202	172	1,18	sufficient
76	189	160	1,18	sufficient
77	173	146	1,19	sufficient
78	154	128	1,20	sufficient
79	132	108	1,22	sufficient
80	108	87	1,24	sufficient
81	84	65	1,29	sufficient
82	60	44	1,37	sufficient
83	36	22	1,63	sufficient
84	12	0	27,10	sufficient

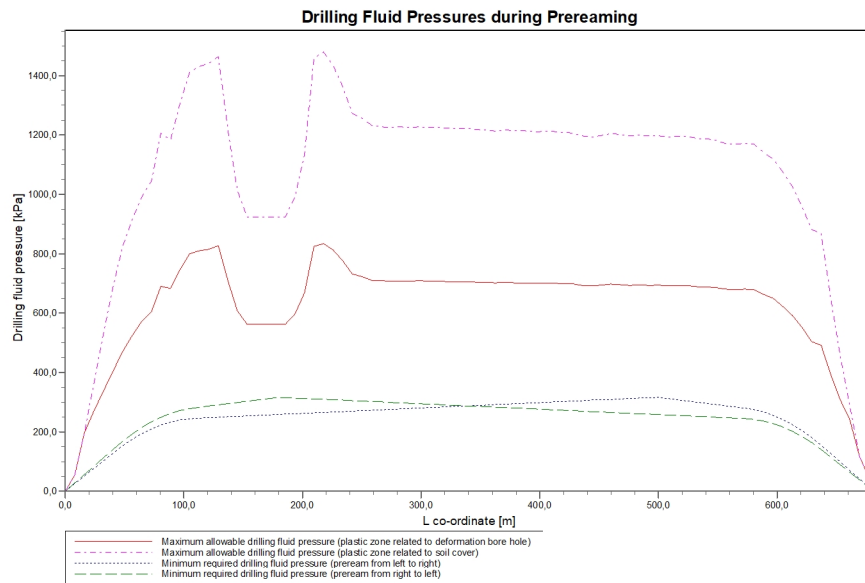
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

3.3 Drilling Fluid Pressure Plots

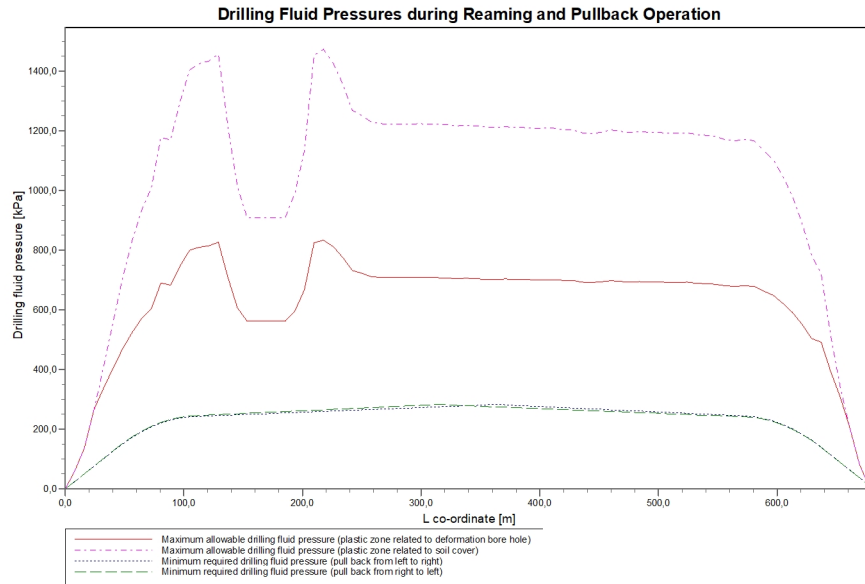
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



4 Soil Mechanical Data

4.1 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	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576

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	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

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	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	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	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n} ;max = 268 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 50 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n} ;max = 50 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 105187 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 210375 kN/m ³

4.2 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	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632

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	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

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	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	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	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	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	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress	: q _{v;n} ;max = 268 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	: q _{traffic} ;max = 50 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	: q _{v;r;n} ;max = 50 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	: k _v ;max = 105187 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	: k _v ;max = 210375 kN/m ³

4.3 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	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992
26	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829

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	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

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	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	0,05	7,5
4	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	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	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	0,05	7,5
69	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	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	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 268 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 50 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 50 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 105187 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 210375 kN/m ³

4.4 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	85	29	21	29	0	1022
2	252	50	37	50	0	1783
3	505	72	13	17	0	2532
4	771	93	13	17	0	3264
5	926	114	13	17	0	4009
6	1073	135	13	17	0	4760
7	1195	153	13	17	0	5404
8	1297	169	13	17	0	5955
9	1367	180	13	17	0	6340
10	1563	211	13	17	2	7442
11	1540	208	13	17	0	7310
12	1690	232	13	17	0	8179
13	1818	254	13	17	0	8932
14	1844	258	13	17	0	9083
15	1856	260	13	17	0	9153
16	1885	265	13	17	0	9330
17	1573	213	13	17	0	7495
18	1388	183	13	17	0	6452
19	1231	159	13	17	0	5593
20	1231	159	13	17	0	5593
21	1231	159	13	17	0	5593
22	1231	159	13	17	0	5593
23	1231	159	13	17	0	5593
24	1351	177	13	17	0	6248
25	1485	199	13	17	0	6992

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	1880	264	13	17	0	9300
27	1904	268	13	17	0	9443
28	1847	259	13	17	0	9101
29	1758	244	13	17	0	8577
30	1650	226	13	17	0	7944
31	1630	222	13	17	0	7829
32	1602	218	13	17	0	7668
33	1596	217	13	17	0	7632
34	1594	217	13	17	0	7622
35	1595	217	13	17	0	7629
36	1595	217	13	17	0	7625
37	1596	217	13	17	0	7632
38	1595	217	13	17	0	7626
39	1595	217	13	17	0	7626
40	1591	216	13	17	0	7604
41	1588	216	13	17	0	7586
42	1591	216	13	17	0	7603
43	1586	215	13	17	0	7576
44	1583	215	13	17	0	7557
45	1580	214	13	17	0	7542
46	1585	215	13	17	0	7567
47	1581	214	13	17	0	7546
48	1580	214	13	17	0	7542
49	1578	214	13	17	0	7527
50	1579	214	13	17	0	7532
51	1579	214	13	17	0	7533
52	1574	213	13	17	0	7507
53	1573	213	13	17	0	7500
54	1561	211	13	17	0	7432
55	1557	210	13	17	0	7410
56	1562	211	13	17	0	7439
57	1571	213	13	17	0	7489
58	1567	212	13	17	0	7464
59	1561	211	13	17	0	7432
60	1566	212	13	17	0	7457
61	1562	211	13	17	0	7435
62	1562	211	13	17	0	7436
63	1558	211	13	17	0	7416
64	1559	211	13	17	0	7419
65	1560	211	13	17	0	7426
66	1552	210	13	17	0	7380
67	1550	209	13	17	0	7368
68	1546	209	13	17	0	7344
69	1534	207	13	17	0	7273
70	1529	206	13	17	0	7250
71	1534	207	13	17	0	7278
72	1530	206	13	17	0	7255
73	1496	200	13	17	0	7059
74	1465	195	13	17	0	6883
75	1407	186	13	17	0	6562
76	1342	176	13	17	0	6198
77	1253	162	13	17	0	5715
78	1149	146	13	17	0	5160
79	1135	145	13	17	0	5089
80	903	111	13	17	0	3902
81	674	83	13	17	0	2931
82	386	63	13	18	0	2222
83	155	39	29	39	0	1382
84	32	17	13	17	0	510

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	365	30506	5183	21354	0,05	7,5
2	417	45561	37119	31892	0,05	7,5
3	607	53719	46529	37603	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	771	60811	54399	42568	0,05	7,5
5	926	67400	61552	47180	0,05	7,5
6	1073	73542	68126	51479	0,05	7,5
7	1196	78499	73381	54949	0,05	7,5
8	1297	82539	77637	57777	0,05	7,5
9	1367	85276	80508	59693	0,05	7,5
10	1563	92744	88305	64921	0,05	7,5
11	1540	91869	87394	64308	0,05	7,5
12	1690	97476	93220	68233	0,05	7,5
13	1818	102125	98032	71488	0,05	7,5
14	1844	103039	98977	72128	0,05	7,5
15	1856	103459	99410	72422	0,05	7,5
16	1885	104519	100505	73163	0,05	7,5
17	1573	93081	88655	65156	0,05	7,5
18	1388	86049	81318	60234	0,05	7,5
19	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
20	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
21	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
22	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
23	1231	79887	74845	55921	0,05	7,5
24	1351	84618	79819	59233	0,05	7,5
25	1485	89743	85178	62820	0,05	7,5
26	1880	104338	100317	73036	0,05	7,5
27	1904	105187	101194	73631	0,05	7,5
28	1847	103146	99086	72202	0,05	7,5
29	1758	99952	95784	69966	0,05	7,5
30	1650	95982	91670	67187	0,05	7,5
31	1630	95247	90907	66673	0,05	7,5
32	1602	94206	89825	65944	0,05	7,5
33	1596	93974	89585	65782	0,05	7,5
34	1594	93909	89517	65736	0,05	7,5
35	1595	93954	89563	65768	0,05	7,5
36	1595	93932	89541	65752	0,05	7,5
37	1596	93972	89582	65780	0,05	7,5
38	1595	93934	89542	65753	0,05	7,5
39	1595	93934	89543	65754	0,05	7,5
40	1591	93793	89396	65655	0,05	7,5
41	1588	93677	89275	65574	0,05	7,5
42	1591	93787	89390	65651	0,05	7,5
43	1586	93614	89210	65530	0,05	7,5
44	1583	93486	89077	65441	0,05	7,5
45	1580	93386	88973	65370	0,05	7,5
46	1585	93554	89147	65488	0,05	7,5
47	1581	93415	89003	65391	0,05	7,5
48	1580	93390	88977	65373	0,05	7,5
49	1578	93290	88873	65303	0,05	7,5
50	1579	93327	88911	65329	0,05	7,5
51	1579	93333	88918	65333	0,05	7,5
52	1574	93160	88738	65212	0,05	7,5
53	1573	93115	88691	65181	0,05	7,5
54	1561	92673	88231	64871	0,05	7,5
55	1557	92526	88078	64768	0,05	7,5
56	1562	92714	88274	64900	0,05	7,5
57	1571	93041	88614	65128	0,05	7,5
58	1567	92879	88446	65016	0,05	7,5
59	1561	92671	88229	64870	0,05	7,5
60	1566	92833	88397	64983	0,05	7,5
61	1562	92689	88248	64882	0,05	7,5
62	1562	92695	88255	64887	0,05	7,5
63	1558	92562	88115	64793	0,05	7,5
64	1559	92585	88140	64810	0,05	7,5
65	1560	92631	88187	64842	0,05	7,5
66	1552	92329	87873	64630	0,05	7,5
67	1550	92250	87791	64575	0,05	7,5
68	1546	92092	87626	64464	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	1534	91622	87137	64135	0,05	7,5
70	1529	91470	86979	64029	0,05	7,5
71	1534	91656	87172	64159	0,05	7,5
72	1530	91499	87009	64049	0,05	7,5
73	1496	90195	85650	63136	0,05	7,5
74	1465	89011	84415	62308	0,05	7,5
75	1407	86816	82121	60771	0,05	7,5
76	1342	84277	79462	58994	0,05	7,5
77	1253	80797	75805	56558	0,05	7,5
78	1149	76650	71425	53655	0,05	7,5
79	1135	76120	70863	53284	0,05	7,5
80	903	66490	60572	46543	0,05	7,5
81	698	57679	50950	40376	0,05	7,5
82	531	50480	42852	35336	0,05	7,5
83	305	40660	31144	28462	0,05	7,5
84	135	11338	196	7937	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 268 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 50 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 50 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 105187 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 210375 kN/m ³

4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
3	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
2	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, matig	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=8,065 m)		Vertical 2 (L=16,13 m)		Vertical 3 (L=24,195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,629	0,000	0,628	0,000	0,621
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,566	52,954	14,545	52,949	14,440	52,920

Layer number	Vertical 4 (L=32,26 m)		Vertical 5 (L=40,325 m)		Vertical 6 (L=48,39 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,603	0,000	0,594	0,000	0,598
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,186	52,851	14,054	52,816	14,107	52,830

Layer number	Vertical 7 (L=56,455 m)		Vertical 8 (L=64,52 m)		Vertical 9 (L=72,585 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,592	0,000	0,587	0,000	0,540
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	14,011	52,804	13,948	52,788	13,235	52,604

Layer number	Vertical 10 (L=80,65 m)		Vertical 11 (L=88,715 m)		Vertical 12 (L=96,78 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	0,969	0,000	0,740	0,000	1,120
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	19,070	54,366	16,113	53,401	20,884	55,029

Layer number	Vertical 13 (L=104,845 m)		Vertical 14 (L=112,91 m)		Vertical 15 (L=120,975 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	1,458	0,000	1,527	0,000	1,561
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	24,619	56,552	25,343	56,871	25,694	57,028

Layer number	Vertical 16 (L=129,04 m)		Vertical 17 (L=137,105 m)		Vertical 18 (L=145,17 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,000	1,646	0,000	0,684	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	26,563	57,425	15,336	53,171	0,000	50,597

Layer number	Vertical 19 (L=153,235 m)		Vertical 20 (L=161,3 m)		Vertical 21 (L=169,365 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	0,000	48,374	0,000	48,374	0,000	48,374

Layer number	Vertical 22 (L=177,43 m)		Vertical 23 (L=185,495 m)		Vertical 24 (L=193,56 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	0,000	48,374	0,000	48,374	0,000	50,078

Layer number	Vertical 25 (L=201,625 m)		Vertical 26 (L=209,69 m)		Vertical 27 (L=217,755 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,362	0,000	1,632	0,000	1,700
1	10,308	51,945	26,416	57,357	27,100	57,675

Layer number	Vertical 28 (L=225,82 m)		Vertical 29 (L=233,885 m)		Vertical 30 (L=241,95 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	1,535	0,000	1,275	0,000	0,940
1	25,432	56,910	22,638	55,718	18,717	54,243

Layer number	Vertical 31 (L=250,015 m)		Vertical 32 (L=258,08 m)		Vertical 33 (L=266,145 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,876	0,000	0,785	0,000	0,764
1	17,914	53,971	16,718	53,586	16,442	53,501

Layer number	Vertical 34 (L=274,21 m)		Vertical 35 (L=282,275 m)		Vertical 36 (L=290,34 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,758	0,000	0,762	0,000	0,760
1	16,363	53,477	16,418	53,493	16,391	53,485

Layer number	Vertical 37 (L=298,405 m)		Vertical 38 (L=306,47 m)		Vertical 39 (L=314,535 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,764	0,000	0,760	0,000	0,761
1	16,439	53,500	16,393	53,486	16,394	53,486

Layer number	Vertical 40 (L=322,6 m)		Vertical 41 (L=330,665 m)		Vertical 42 (L=338,73 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,748	0,000	0,737	0,000	0,747
1	16,223	53,434	16,081	53,391	16,215	53,432

Layer number	Vertical 43 (L=346,795 m)		Vertical 44 (L=354,86 m)		Vertical 45 (L=362,925 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,732	0,000	0,720	0,000	0,711
1	16,004	53,368	15,847	53,321	15,722	53,284

Layer number	Vertical 46 (L=370,99 m)		Vertical 47 (L=379,055 m)		Vertical 48 (L=387,12 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,726	0,000	0,714	0,000	0,712
1	15,930	53,346	15,758	53,295	15,726	53,285

Layer number	Vertical 49 (L=395,185 m)		Vertical 50 (L=403,25 m)		Vertical 51 (L=411,315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,703	0,000	0,706	0,000	0,706
1	15,601	53,248	15,647	53,262	15,656	53,264

Layer number	Vertical 52 (L=419,38 m)		Vertical 53 (L=427,445 m)		Vertical 54 (L=435,51 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,691	0,000	0,687	0,000	0,646
1	15,437	53,201	15,379	53,184	14,806	53,021

Layer number	Vertical 55 (L=443,575 m)		Vertical 56 (L=451,64 m)		Vertical 57 (L=459,705 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,633	0,000	0,650	0,000	0,680
1	14,611	52,967	14,861	53,036	15,284	53,157

Layer number	Vertical 58 (L=467,77 m)		Vertical 59 (L=475,835 m)		Vertical 60 (L=483,9 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,665	0,000	0,646	0,000	0,661
1	15,076	53,097	14,804	53,020	15,016	53,080

Layer number	Vertical 61 (L=491,965 m)		Vertical 62 (L=500,03 m)		Vertical 63 (L=508,095 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,648	0,000	0,648	0,000	0,636
1	14,828	53,027	14,836	53,029	14,659	52,980

Layer number	Vertical 64 (L=516,16 m)		Vertical 65 (L=524,225 m)		Vertical 66 (L=532,29 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,638	0,000	0,642	0,000	0,614
1	14,690	52,989	14,751	53,006	14,347	52,894

Layer number	Vertical 67 (L=540,355 m)		Vertical 68 (L=548,42 m)		Vertical 69 (L=556,485 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,607	0,000	0,592	0,000	0,548
1	14,239	52,865	14,021	52,807	13,355	52,634

Layer number	Vertical 70 (L=564,55 m)		Vertical 71 (L=572,615 m)		Vertical 72 (L=580,68 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,533	0,000	0,551	0,000	0,562
1	13,134	52,578	13,404	52,647	13,568	52,689

Layer number	Vertical 73 (L=588,745 m)		Vertical 74 (L=596,81 m)		Vertical 75 (L=604,875 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,522	0,000	0,553	0,000	0,550
1	12,955	52,534	13,428	52,653	13,392	52,644

Layer number	Vertical 76 (L=612,94 m)		Vertical 77 (L=621,005 m)		Vertical 78 (L=629,07 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,580	0,000	0,594	0,000	0,624
1	13,842	52,760	14,050	52,815	14,484	52,932

Layer number	Vertical 79 (L=637,135 m)		Vertical 80 (L=645,2 m)		Vertical 81 (L=653,265 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,986	0,000	0,745	0,000	0,620
1	19,280	54,440	16,190	53,424	14,426	52,916

Layer number	Vertical 82 (L=661,33 m)		Vertical 83 (L=669,395 m)		Vertical 84 (L=677,46 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	0,000	0,651	0,000	0,603	0,000	0,591
1	14,876	53,040	14,182	52,850	13,997	52,801

5 Data for Stress Analysis

5.1 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 = 54335 kN/m ³
Unit weight drilling fluid pullback operation	:	gamma_b = 11,10 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

5.2 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	:	353	[kg/m]
Weight of pipeline (including filling)	:	100	[kg/m]
Result	:	252	[kg/m] (Pipeline moves upwards)

5.3 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 right to left.

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	68
T2	45	91
T3	111	139

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	575	403
T5	641	467
T6	686	491

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.

6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

6.1 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 = 686 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 = 50 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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

6.2 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.

6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,18 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,46	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 8,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 9,12 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 2,8E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0094 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

6.2.4 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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 6,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 4,37 \text{ N/mm}^2$$

6.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,33	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,39	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,37	N/mm ²

6.3 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)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 allowable.

6.4 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 283 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 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

7.1 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 = 686 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 = 50 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\begin{aligned} \text{Sigma}_b &= Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) &= & 0,43 & \text{N/mm}^2 \\ \text{Sigma}_t &= f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A &= & 1,18 & \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,46	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,87	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	8,56	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	9,12	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	2,8E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0094	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,55	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,36	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	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
---	---	------	-------------------

7.2.4 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:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,33	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	6,39	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	4,37	N/mm ²
--	---	------	-------------------

7.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,33	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,39	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,37	N/mm ²

7.3 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)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 allowable.

7.4 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 283 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 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

8.1 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 = 686 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 = 50 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,18 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,46	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 8,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 9,12 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 2,8E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0094 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

8.2.4 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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 6,39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 4,37 \text{ N/mm}^2$$

8.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,33	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,39	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,37	N/mm ²

8.3 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)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 allowable.

8.4 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 283 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 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

9.1 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 = 686 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 = 50 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 105187 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 248,114 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 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.

9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,18 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,46	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = M_b/W_b = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,87	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	8,56	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	9,12	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	2,8E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0094	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,55	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,36	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	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
---	---	------	-------------------

9.2.4 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:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,33	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	6,39	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	4,37	N/mm ²
--	---	------	-------------------

9.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,33	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	6,39	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	4,37	N/mm ²

9.3 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)	1,46	9,12	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,36	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	4,37	4,37

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 8,8 mm (2,80% 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 allowable.

9.4 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 283 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 203 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

C.6 Kruising 2 HDD's met 2 regionale waterkeringen en het Kromgat

Kruising 2 HDD's met 2 regionale waterkeringen en het Kromgat

Vergunningsrapport waterschap Brabantse Delta



Verantwoording

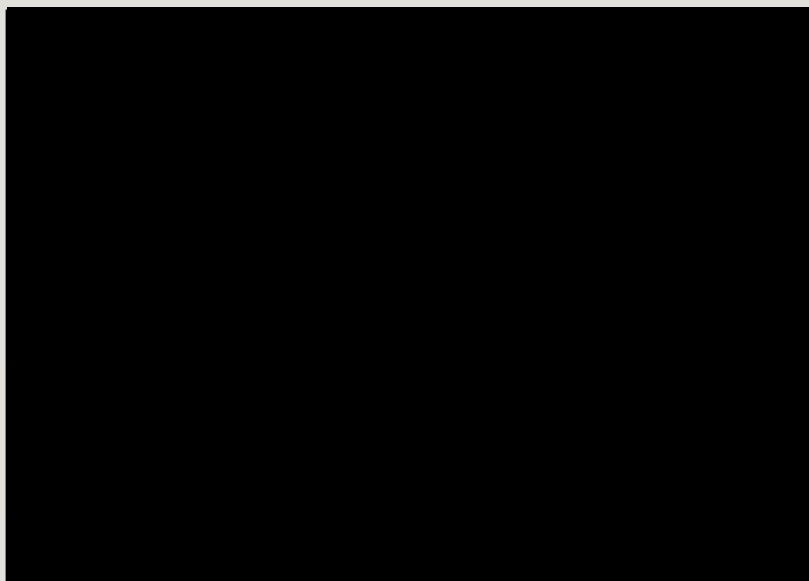
Titel: Kruising 2 HDD's met 2 regionale waterkeringen en Kromgat
Onderwerp: Vergunningsrapport waterschap Brabantse Delta
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22915
Versie: D1

Datum: 28-04-2022

Auteurs:
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	Horizontale afstand tot overige objecten	8
2.5	Diepteligging.....	8
2.6	Inwendige overdruk	9
2.7	Grondwaterstand	9
2.8	Belasting- en ondersteuningshoek	9
2.9	Importantiefactor.....	9
2.10	Geotechnische parameters	10
2.11	Boortechnische gegevens	11
2.12	Verkeersbelasting.....	12
2.13	Afwijkingstoleranties	12
3.	Ontwerp	13
3.1	Gegevens HDD	13
3.2	Boorparameters.....	14
3.3	Intredepunt	14
3.4	Uittredepunt en uitlegstrook	14
4.	Berekeningsresultaten.....	16
4.1	Trekkrachtberekening.....	17
4.2	Sterkteberekening bedrijfsfase.....	17
4.3	Muddrukberekening.....	17
4.4	Implosie	17
4.5	Kwelweg	18
4.5.1	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	18
4.5.2	Kwel tussen de peilgebieden.....	19
4.5.3	Kwelmaatregelen.....	20
5.	Risico's en aandachtspunten	21
6.	Conclusie	22
6.1	Algemeen	22
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening.....	22
	Bijlage 1 – Ontwerptekening.....	23

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek	24
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline	25

1. Inleiding

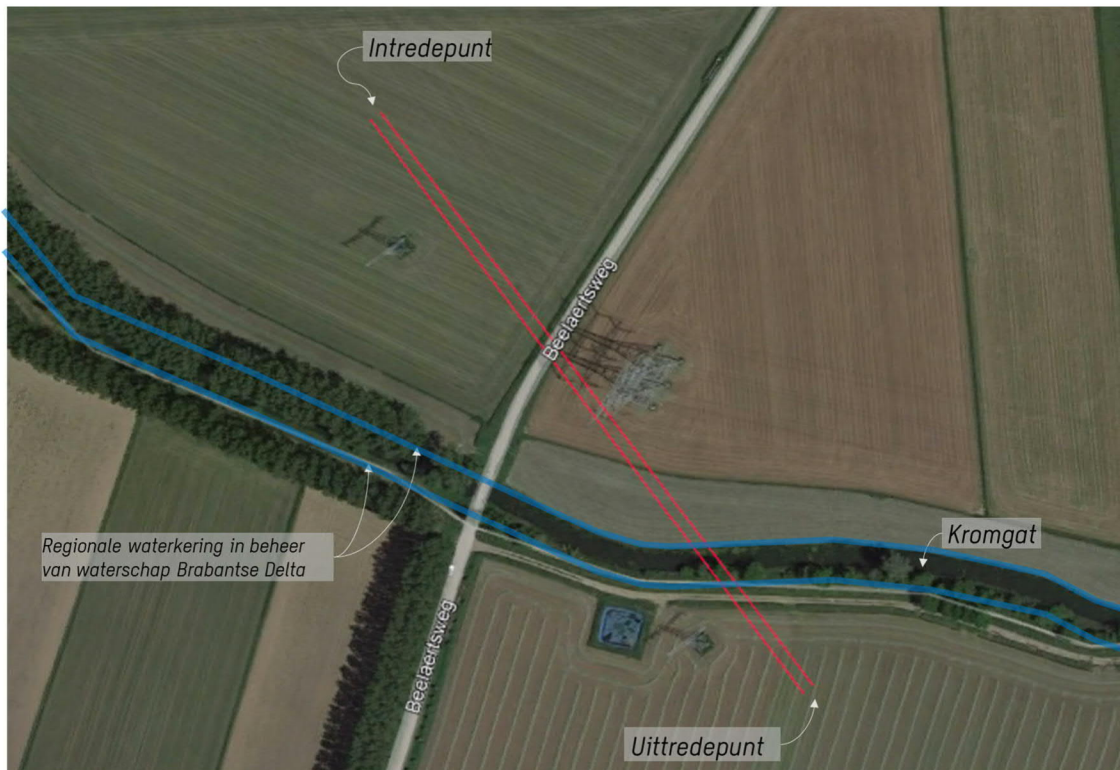
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met twee regionale waterkering en het Kromgat, een oude kreek ten zuiden van Raamsdonksveer. De kruising (met codering KG HDD1) is vergunningsplichtig bij waterschap Brabantse Delta. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020 en NEN 3651:2020.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten noordwesten van de Beelaertsweg en eindigt in het bouwland aan de zuidzijde van het Kromgat (zie Figuur 1). Het tracé bestaat uit twee 150kV-circuits, waardoor twee afzonderlijke parallelle HDD-bundels moeten worden gemaakt. Eén bundel bestaat uit 4 mantelbuizen PE100 Ø315 mm SDR 11. In drie van de mantelbuizen wordt een hoogspanningskabel ingetrokken en 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 350 m en een maximale diepte van NAP -15,7 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van noord naar zuid: 2 warmteleidingen, een watergang, de Beelaertsweg, een watergang, een regionale waterkering, het Kromgat, een regionale waterkering, Kromgatweg, een onverharde weg en een watergang. Het tracé ligt tussen de twee mastenroutes GT-OTD 150 kV en GT-EHV 380 kV.



Figuur 1 Overzicht situatie KG HDD1

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 ontwerp-tekening, 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 KG HDD1, tekeningnummer KG-HDD01 versie D, d.d. 28-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1).
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2).
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3).
- KLIC-levering 22O056322 opgevraagd d.d. 28-04-2020.
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 20-04-2022,
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d>

2.2 Vigerende normen en richtlijnen

Het ontwerp van de boring voldoet aan:

- NEN 3650:2020;
- NEN 3651:2020;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- Richtlijn boortechnieken juni 2019 v1.0;
- Handboek Horizontaal Gestuurd Boren (BTL-rapport 50).

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 Boortechneiken 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 specifiekere dan de NEN 3650, voor het ontwerp houden we daarom de Richtlijn Boortechneiken aan. De eerste 2 m -mv bestaat uit klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa 90% in een zandlaag liggen is een dagmaat van 5 m als uitgangswaarde genomen. De HDD's zullen daarnaast met een gyroscoop geboord worden, zodat de afwijkingen minimaal zijn.

2.4 Horizontale afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de horizontale afstand van de HDD's tot de mastenroute van TenneT is aan maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast aangehouden. Rekening houdend met de schoring van de funderingspalen 1:3 bedraagt de minimale afstand op het niveau van de boorlijn 5 m.
 - o De afstand tussen de hart boring en teen van de maatgevende mast 13 GT-EHV 380 kV bedraagt 14 m. De diepte van de funderingen is onbekend. Uitgaande van een schoring 1:3 hebben de HDD's een minimale dagmaat van circa 8,5 m tot de fundering. Dit is voldoende veilig.

2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen de kruin van de regionale waterkeringen te passeren met een dekking van minimaal 10 m en de teen met een dekking van minimaal 3,0 m (NEN 3651:2020 paragraaf 9.6.2).
 - o De kruinhoogte van de regionale waterkering is circa NAP +1,3 m. De HDD's liggen hier op een diepte (hart boring) van circa NAP -12,00 m en voldoen daarmee aan de eis.
- De HDD's dienen 10 meter onder de waterbodem te liggen (NEN 3651:2020 paragraaf 9.6.2).
 - o De bodemdiepte is ontleend aan de legger van waterschap Brabantse Delta en bedraagt NAP -1,20 m. De HDD's liggen hier op een diepte van NAP -13,79 m en voldoen hiermee aan de eis.

- Voor kruising met overige kabels en leidingen wordt een dagmaat van 5 meter aangehouden conform de richtlijnen van VELIN.

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

De grondwaterstand aan het peilbesluit Oosterhout-Waalwijk van waterschap Brabantse Delta (zie figuur 2). Hier zijn drie peilgebieden: Karthuizerpolder (GPG00015), Kromgat (GPG00087) en Oosterhoutse Polder (GPG00089). De peilen van deze gebieden zijn weergegeven in Tabel 4-1. In de berekening is een grondwaterpeil van -0,65 m gehanteerd.



Figuur 2 peilgebieden rond KG-HDD1

2.8 Belasting- en ondersteuningshoek

Conform NEN3650-1:2020 paragraaf C.4.1.3 bedraagt voor een HDD de:

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

2.9 Importantiefactor

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

2.10 Geotechnische parameters

De gebruikte geotechnische gegevens en parameters 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 [m NAP]	Afstand tot boortrace [m]
282.S05	Sondering	-19	90
283.S05	Sondering	-19	180
283.S01	Sondering	-32	80
283.S02	Sondering	-32	80
283.S03	Sondering	-32	90
283.S04	Sondering	-31	90

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa NAP -1,5 m van het geplande boortracé. Een uitzondering hierop is sondering 283.S05 die vanaf NAP -13 m tot NAP -18 m klei aangeeft. Echter, omdat deze sondering het verst van alle sonderingen van het geplande boortracé af ligt en de sonderingen dichterbij geen klei op dit niveau laten zien, is deze laag niet meegenomen in het grondprofiel. Om er zeker van te zijn dat deze laag niet in het grondprofiel voorkomt, is aanvullend grondonderzoek noodzakelijk.

Boven de zandlaag vanaf NAP -1,5 m bestaat de grond uit slappe klei- en veenlagen, zoals geobserveerd in het grondonderzoek. Gezien het kleine aantal boringen en sonderingen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe klei- en veenlagen over het gehele tracé voorkomen. Hieruit concluderen we 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 2-1 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' [°]	S_u top/bottom [kN/m ²]	E [kN/m ²]
0,2	-0,5	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-0,5	-1,0	Klei; schoon; matig	17	17	5,0	17,5	50,0	2000
-1,0	-1,5	Veen; slap	11	11	1,5	15,0	15,0	200
-1,5	-17,0	Zand; schoon; matig	18	20	0,0	32,5	0,0	30000
-17,0	-26,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	70000

De grondparameters zijn opgesteld op basis van kennis en ervaring van de Nederlandse ondergrond en tabel 2b van NEN 9997-1+C2-2017. Uit het grondonderzoek blijkt dat het grondprofiel vanaf de oppervlakte tot NAP -1,5 m bestaat uit slappe klei- en veenlagen, die zich ongedraineerd gedragen. Onder NAP -1,5 m bestaat het grondprofiel uit zand, wat zich gedraineerd gedraagt. Zodoende loopt de grens tussen de gedraineerde en ongedraineerde lagen op NAP -1,5 m. Om de ongedraineerde schuifsterkte van de grondlagen boven NAP -1,5 m door te rekenen, is de ongedraineerde schuifsterkte S_u gecorrigeerd met de conusweerstand conform CUR2003-7 (2003) en CUR162 (1992).

Naast de slappe lagen in het grondprofiel is een ander risico van de HDD-boring interactie met reeds bestaande constructies. Om de invloed van de HDD-boring op constructieve elementen te beperken moet een veilige afstand tussen boring en constructie worden aangehouden. Als gevolg van het maken van de boring wordt de spanningstoestand in de grond rond de boring beïnvloed. Dat kan bijvoorbeeld nadelige gevolgen hebben voor de draagcapaciteit van nabijgelegen funderingen. Volgens de ontwerp-tekening bevindt zich een hoogspanningsmast op circa 14 m paal-kop afstand van de geplande HDD-boring. Deze afstand is normaal gesproken voldoende. Echter, als de fundering van de hoogspanningsmast onder een hoek de grond in gaat kan de fundering op minder dan 14 m van de HDD-boring te komen liggen. Een minimale dagmaat tussen HDD en fundering van 7 m is nog als veilig te beschouwen. De beïnvloeding van de HDD op de mastfunderingen dient door de aannemer voor de uitvoering van de HDD-boring gecontroleerd te worden.

2.11 Boortechnische gegevens

De boortechnische parameters voor het ontwerp en de muddruk-berekeningen 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 muddruk-berekeningen in bijlage 3.

2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de Beelaertsweg en de Kromgatweg is verkeersklasse II gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020.

2.13 Afwijkingstoleranties

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 een twee verticale bochten met een boogstraal 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.

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%

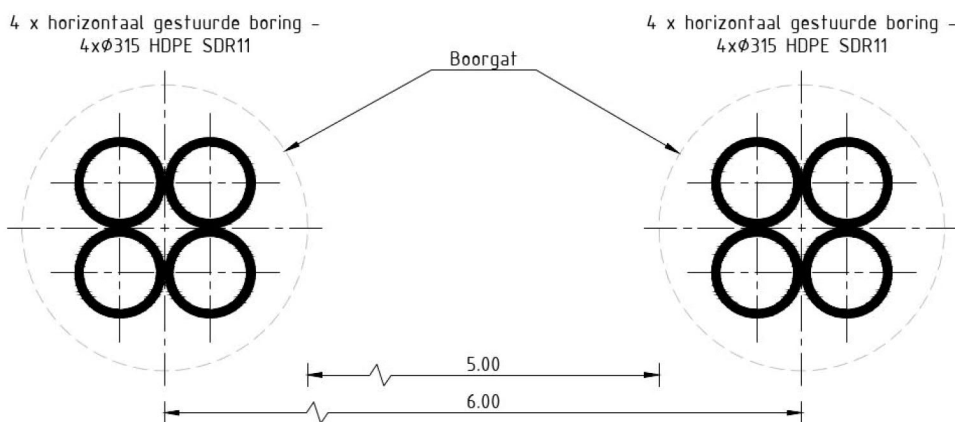
Figuur 3, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: Richtlijn Boortechnieken)

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 350 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -15,7 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: n.v.t.



Figuur 4 Doorsnede van de 2 HDD's

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

- De HDD dient een zodanig tracé te volgen dat er voldoende dekking aanwezig is in het gehele tracé om een blow-out te voorkomen.
- De HDD dient buiten de kernzone van de regionale waterkering van waterschap Brabantse Delta in of uit te treden.
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Boorparameters

Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : max-rig 50 ton;
- diameter boorstang : 0,17 m;
- volumegewicht bentoniet : 11,5 kN/m³;
- diameter pilothole : Ø300 mm;
- ruimgat : Ø700 mm;
- boorgat : Ø1000 mm.

3.3 Intredepunt

Het intredepunt ligt in het bouwland, bereikbaar via de Beelaertsweg (zie figuur 5). Bij het intredepunt dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 5 Intredepunt KG HDD1

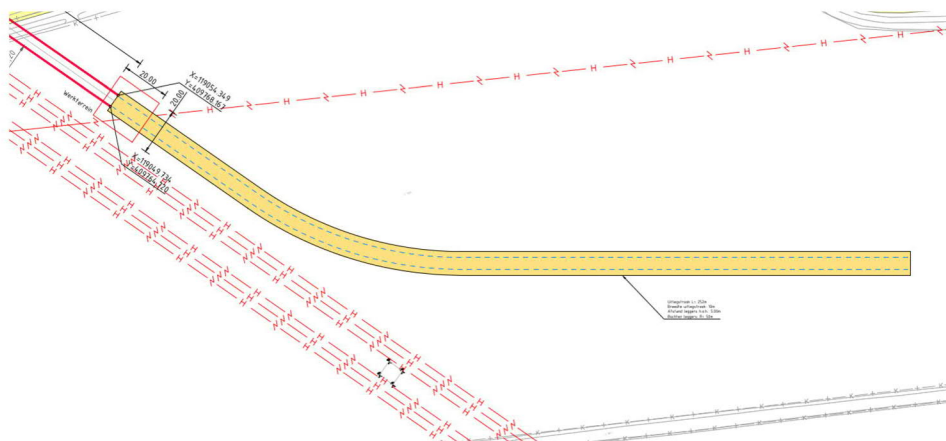
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de oostzijde van het boortracé (zie figuur 6). De locatie is bereikbaar via het onverharde pad langs de Kromgatweg.

De uitlegstrook ligt in het bouwland, loopt deels parallel aan de bovengrondse hoogspanningsroute en buigt dan af parallel aan de watergang (zie figuur 7). Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 6 Uittredepunt KG HDD1



Figuur 7 Uitlegstrook KG HDD1

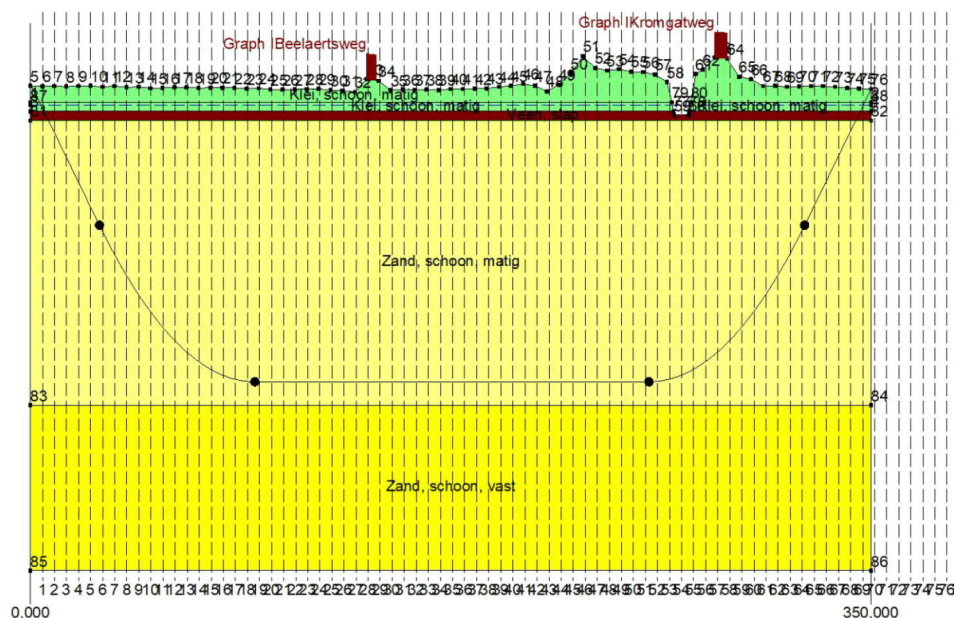
4. Berekeningsresultaten

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.

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 8 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt $255 \cdot 1,8 = 469$ kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $5,0$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

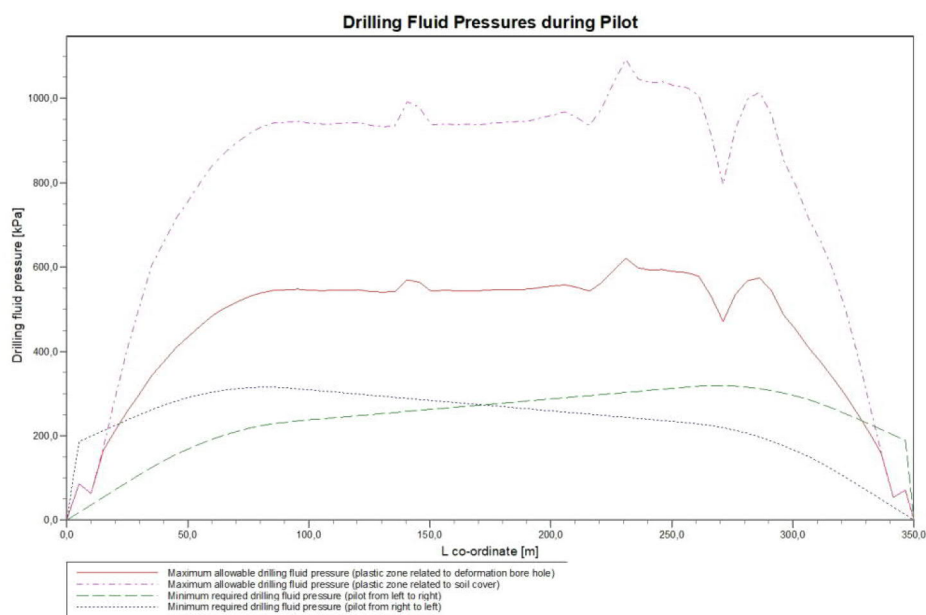
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $3,44$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van 7 mm ($2,21\% \times D_0$) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van $25,2$ mm ($8\% \times D_0$).

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 20 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 9 Muddrukberekening tijdens pilot fase

4.4 Implosie

Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 151 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

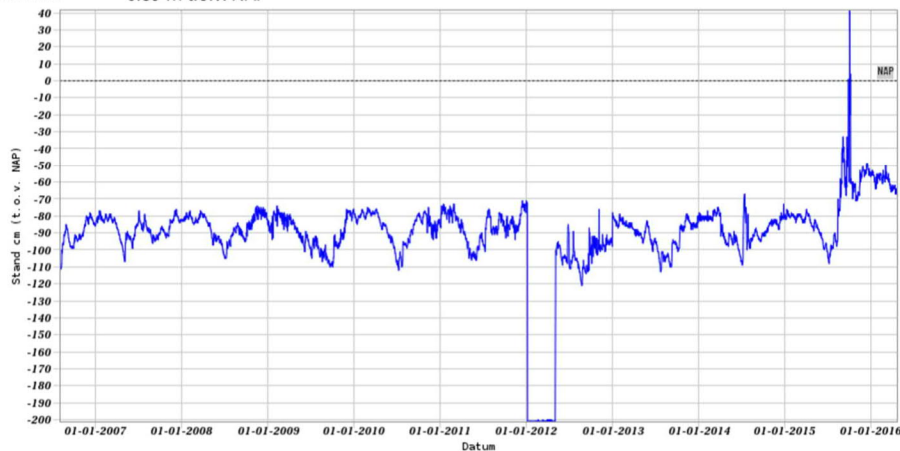
Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende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

4.5.1 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

Ter illustratie zijn de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B44B0202 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 3,5 km afstand van het boortracé. Er zijn geen peilbuisgegevens dicht bij de HDD's beschikbaar. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B44B0202-001 in periodes lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B44B0202-002. 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. Wij adviseren om een nieuwe peilbuis te zetten om te controleren of het noodzakelijk is om kwelmaatregelen te nemen.

Grondwaterstanden

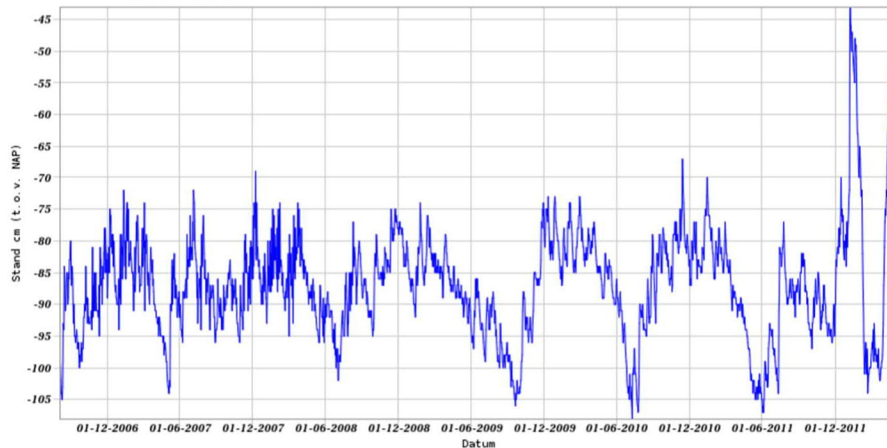
Identificatie: B44B0202
 Identificatie buis: B44B0202-001
 Coördinaten: 114144, 413557 (RD)
 Maaiveld: -0.89 m t.o.v. NAP



Figuur 10 Freatische grondwaterstand B44B0202-001 uit Dinoloket, filter op NAP -1,62 m tot -2,12 m.

Grondwaterstanden

Identificatie: B44B0202
 Identificatie buis: B44B0202-002
 Coördinaten: 114144, 413557 (RD)
 Maaiveld: -0.89 m t.o.v. NAP



Figuur 11 Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B44B0202-002 uit Dinoloket, filter op NAP -4,33 m tot -4,83 m

4.5.2 Kwel tussen de peilgebieden

Uit de peilbesluitenkaart van waterschap Brabantse Delta blijkt dat het intredepunt in een ander peilgebied ligt dan het uittredepunt. Echter hebben deze peilgebieden wel dezelfde vastgestelde peilen. Tussen deze gebieden zal dus geen kwel ontstaan. Wel is het mogelijk dat kwel ontstaat via de HDD tussen het Kromgat en de naastgelegen polders. Dit is met een berekening gecontroleerd, zie tabel 4.2.

Tabel 4-1 Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Karthuizer Polder (GPG00015)	- 0,65	- 0,90
Oosterhoutse Polder (GPG00089)	- 0,65	- 0,90
Kromgat (GPG00087)	+ 0,80	+ 0,70

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 niet op kan treden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
Kromgat	GPG00015	$130/3 = 43,3$	$13,79 + 130/6 + 15,72 = 51,2$
Kromgat	GPG00089	$30/3 = 10$	$13,79 + 30/6 + 11,55 = 30,3$

4.5.3 Kwelmaatregelen

Indien uit nieuwe peilbuismetingen blijkt dat via de HDD kwel uit het eerste watervoerende pakket naar het freatische pakket plaatsvindt stellen wij als kwelmaatregel voor om aan beide zijden van de HDD's een grout-prop aan te brengen. Dit gebeurt 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 en aandachtspunten

De aannemer dient met de volgende specifieke risico's en aandachtspunten rekening te houden:

- Werken onder en in de nabijheid van hoogspanningsmasten.
- Werken in de beschermingszone van waterkeringen van waterschap Brabantse Delta.
- Advies om een nieuwe peilbuis te zetten om te controleren of het noodzakelijk is om kwelmaatregelen te nemen.
- De HDD's kruisen de waterkering niet loodrecht. De betreffende bevoegde gezagen dienen daarom om ontheffing gevraagd te worden. Door het ontwerp vroegtijdig met de bevoegde gezagen te bespreken is dit risico beheersbaar.
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken.
- Het boorgat van een HDD kan de stabiliteit van de fundering van masten beïnvloeden. Met een berekening van de plastische zone van het boorgat dient de aannemer aan te tonen dat de afstand tot de fundering voldoende is.
- 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 plaatsbepalings-systeem 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.

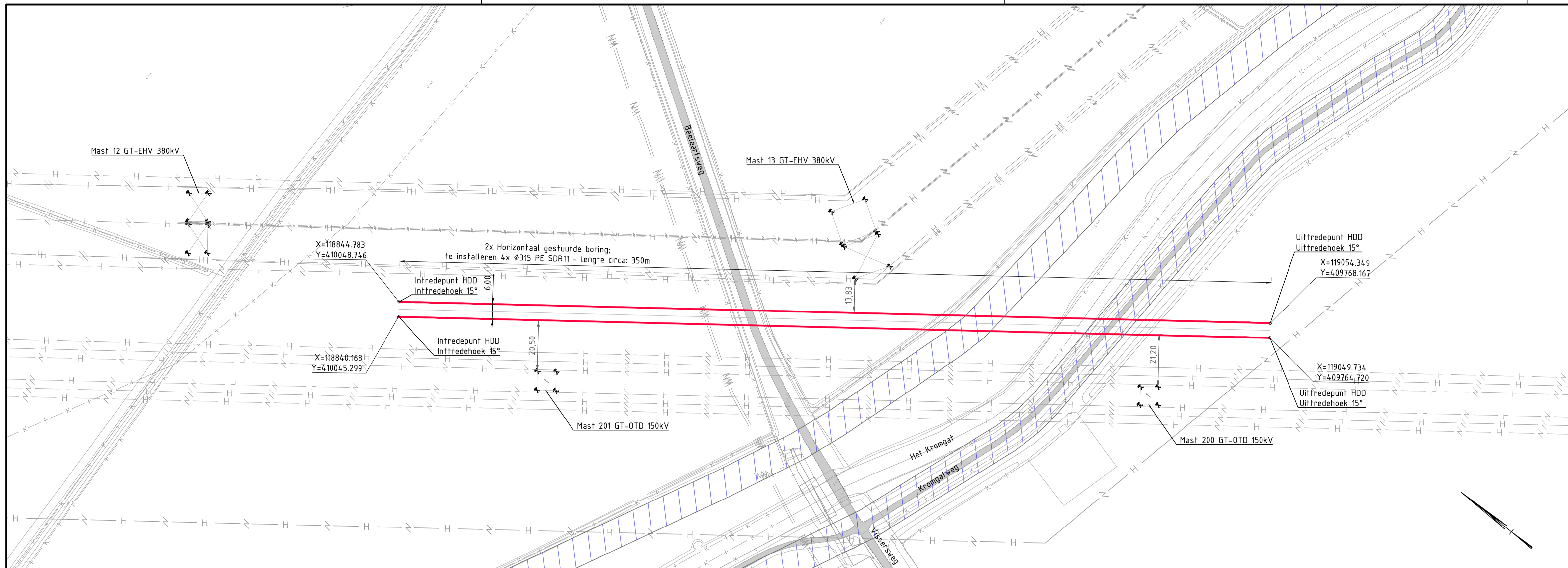
Dit rapport betreft de kruising met twee regionale waterkeringen en het Kromgat, een oude kreek. De kruising (met codering KG HDD1) is vergunningsplichtig bij waterschap Brabantse Delta. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en de Richtlijn Boortechnieken.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

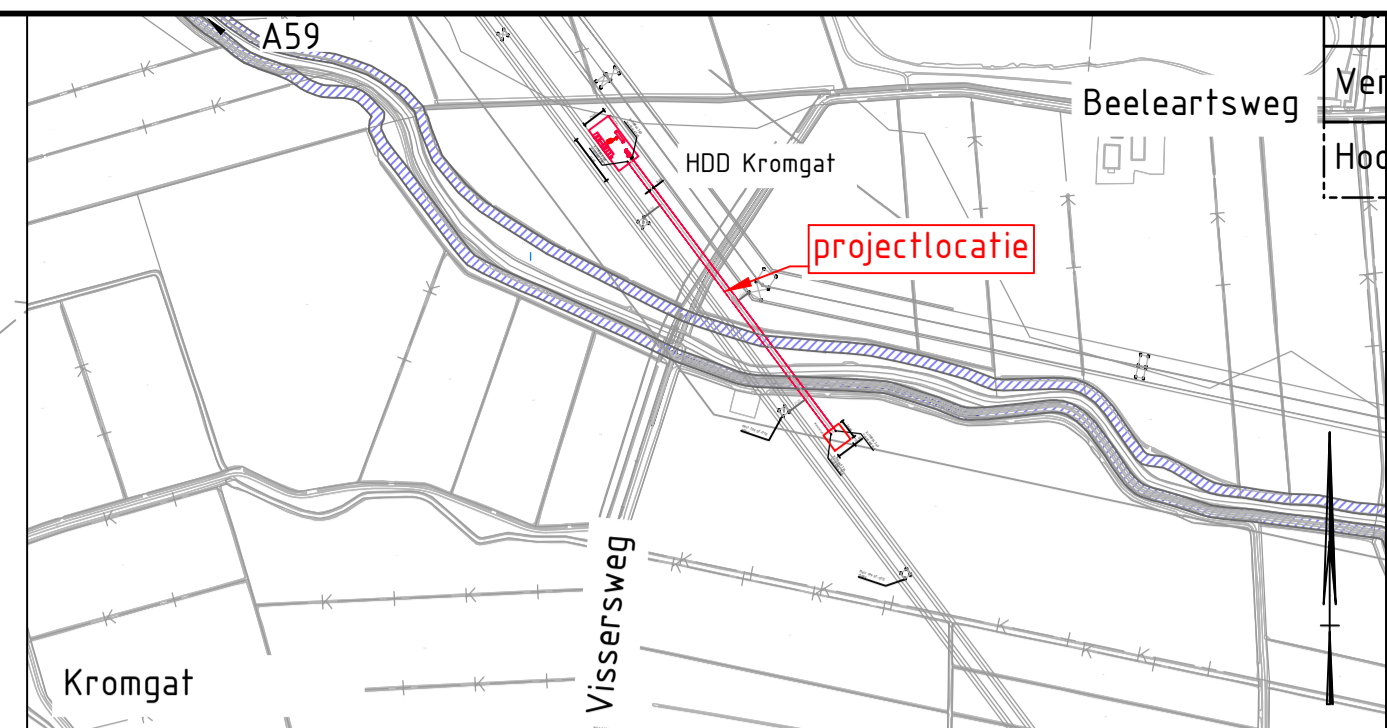
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

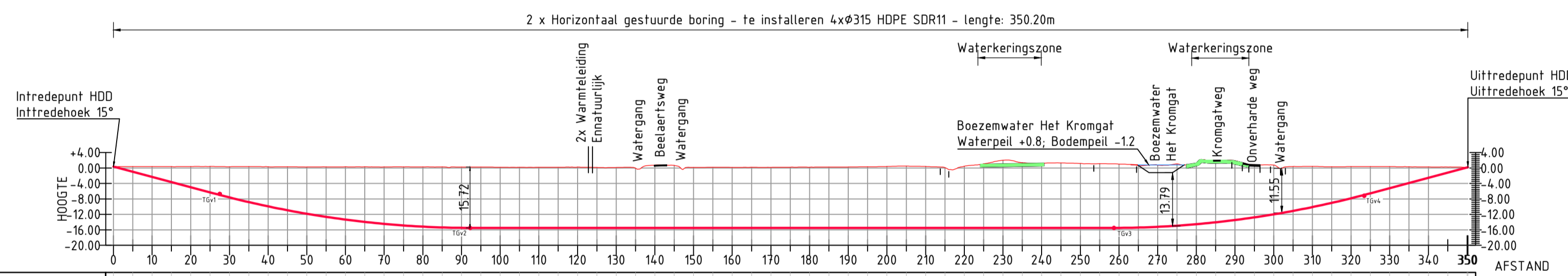
Bijlage 1 – Ontwerptekening



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal n.v.t.



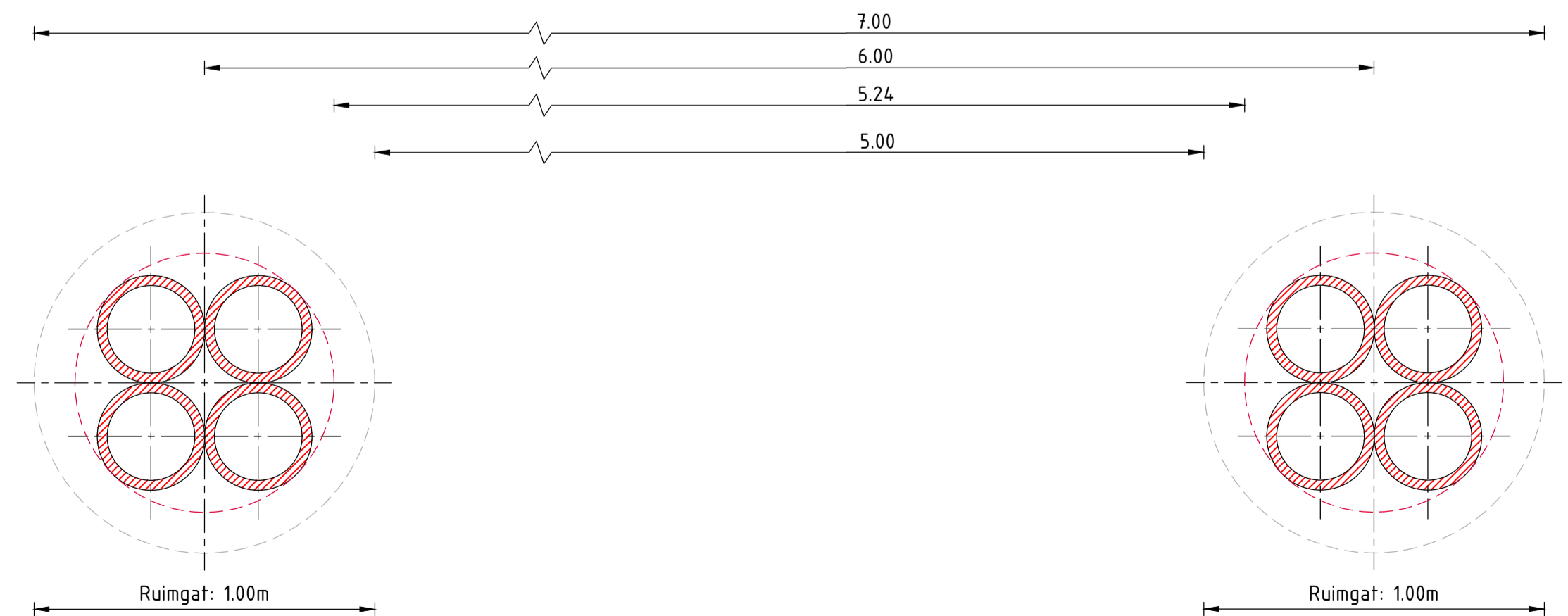
Metrering	0.000 -0.398 5.000 -0.370 10.000 -0.351 15.000 -0.331 20.000 -0.314 25.000 -0.301 30.000 -0.288 35.000 -0.281 40.000 -0.279 45.000 -0.279 50.000 -0.280 55.000 -0.281 60.000 -0.282 65.000 -0.287 70.000 -0.287 75.000 -0.281 80.000 -0.274 85.000 -0.274 90.000 -0.268 95.000 -0.269 100.000 -0.268 105.000 -0.272 110.000 -0.274 115.000 -0.274 120.000 -0.279 125.000 -0.280 130.000 -0.280 135.000 -0.281 140.000 -0.281 145.000 -0.281 150.000 -0.281 155.000 -0.281 160.000 -0.281 165.000 -0.281 170.000 -0.274 175.000 -0.274 180.000 -0.274 185.000 -0.274 190.000 -0.274 195.000 -0.274 200.000 -0.274 205.000 -0.274 210.000 -0.274 215.000 -0.274 220.000 -0.274 225.000 -0.274 230.000 -0.274 235.000 -0.274 240.000 -0.274 245.000 -0.274 250.000 -0.274 255.000 -0.274 260.000 -0.274 265.000 -0.274 270.000 -0.274 275.000 -0.274 280.000 -0.274 285.000 -0.274 290.000 -0.274 295.000 -0.274 300.000 -0.274 305.000 -0.274 310.000 -0.274 315.000 -0.274 320.000 -0.274 325.000 -0.274 330.000 -0.274 335.000 -0.274 340.000 -0.274 345.000 -0.274 350.000
Hoogte bestaand terrein	-0.398 5.000 -0.370 10.000 -0.351 15.000 -0.331 20.000 -0.314 25.000 -0.301 30.000 -0.288 35.000 -0.281 40.000 -0.279 45.000 -0.279 50.000 -0.280 55.000 -0.281 60.000 -0.282 65.000 -0.287 70.000 -0.287 75.000 -0.281 80.000 -0.274 85.000 -0.274 90.000 -0.268 95.000 -0.269 100.000 -0.268 105.000 -0.272 110.000 -0.274 115.000 -0.274 120.000 -0.279 125.000 -0.280 130.000 -0.280 135.000 -0.281 140.000 -0.281 145.000 -0.281 150.000 -0.281 155.000 -0.281 160.000 -0.281 165.000 -0.281 170.000 -0.274 175.000 -0.274 180.000 -0.274 185.000 -0.274 190.000 -0.274 195.000 -0.274 200.000 -0.274 205.000 -0.274 210.000 -0.274 215.000 -0.274 220.000 -0.274 225.000 -0.274 230.000 -0.274 235.000 -0.274 240.000 -0.274 245.000 -0.274 250.000 -0.274 255.000 -0.274 260.000 -0.274 265.000 -0.274 270.000 -0.274 275.000 -0.274 280.000 -0.274 285.000 -0.274 290.000 -0.274 295.000 -0.274 300.000 -0.274 305.000 -0.274 310.000 -0.274 315.000 -0.274 320.000 -0.274 325.000 -0.274 330.000 -0.274 335.000 -0.274 340.000 -0.274 345.000 -0.274 350.000
Horizontaal ontwerp	L=350.20
Verticaal ontwerp	P=-26.79% L=26.71 Rv=250.00m L=66.99 P=0.00% L=165.33 Rv=250.00m L=66.99 P=-26.79% L=26.71
Hoogte center buis/boring t.o.v. NAP	-0.398 5.000 -0.952 10.000 -2.292 15.000 -3.831 20.000 -4.971 25.000 -6.311 30.000 -7.851 35.000 -9.591 40.000 -10.931 45.000 -11.838 50.000 -12.644 55.000 -13.250 60.000 -13.996 65.000 -14.461 70.000 -15.113 75.000 -15.379 80.000 -15.484 85.000 -15.500 90.000 -15.500 95.000 -15.500 100.000 -15.500 105.000 -15.500 110.000 -15.500 115.000 -15.500 120.000 -15.500 125.000 -15.500 130.000 -15.500 135.000 -15.500 140.000 -15.500 145.000 -15.500 150.000 -15.500 155.000 -15.500 160.000 -15.500 165.000 -15.500 170.000 -15.500 175.000 -15.500 180.000 -15.500 185.000 -15.500 190.000 -15.500 195.000 -15.500 200.000 -15.500 205.000 -15.500 210.000 -15.500 215.000 -15.500 220.000 -15.500 225.000 -15.500 230.000 -15.500 235.000 -15.500 240.000 -15.500 245.000 -15.500 250.000 -15.500 255.000 -15.500 260.000 -15.500 265.000 -15.500 270.000 -15.500 275.000 -15.500 280.000 -15.500 285.000 -15.500 290.000 -15.500 295.000 -15.500 300.000 -15.500 305.000 -15.500 310.000 -15.500 315.000 -15.500 320.000 -15.500 325.000 -15.500 330.000 -15.500 335.000 -15.500 340.000 -15.500 345.000 -15.500 350.000

Lengteprofiel schaal 1:1000

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Data transport
- 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
- Uitlegstrook
- Leidingsstrook
- Verharding/wegen
- Teentlijn
- Waterkering
- Waterstaatswerk waterkering
- Profiel vrije ruimte

16 Locatie sondering met nummer



2x Horizontaal gestuurde boring 4xØ315 HDPE SDR11 L= 360.20m

Dwarsdoorsnede HDD01+02 Schaal N.V.T.

Vergunningstekening

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Geç.	Goedg.
D	Voor vergunning	28-04-2022	JH	MJ	JD
C	Nieuwe locatie HDD's	25-02-2022	BB	MJ	JD
B	Definitief ontwerp	19-08-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	06-04-2020	BB	MJ	JD

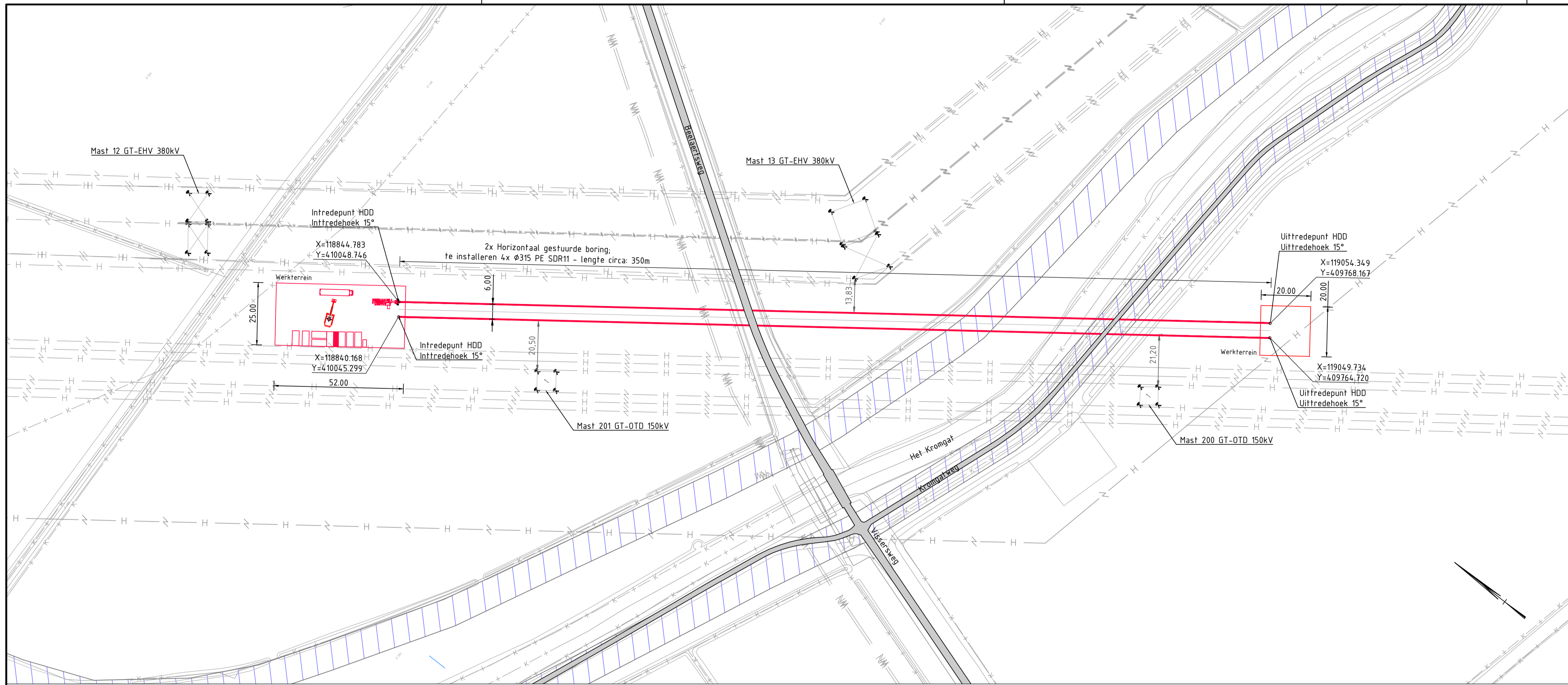
Ondachtgever:
TenneT TSO B.V.

Project:
HDD's 150 kV ZWO

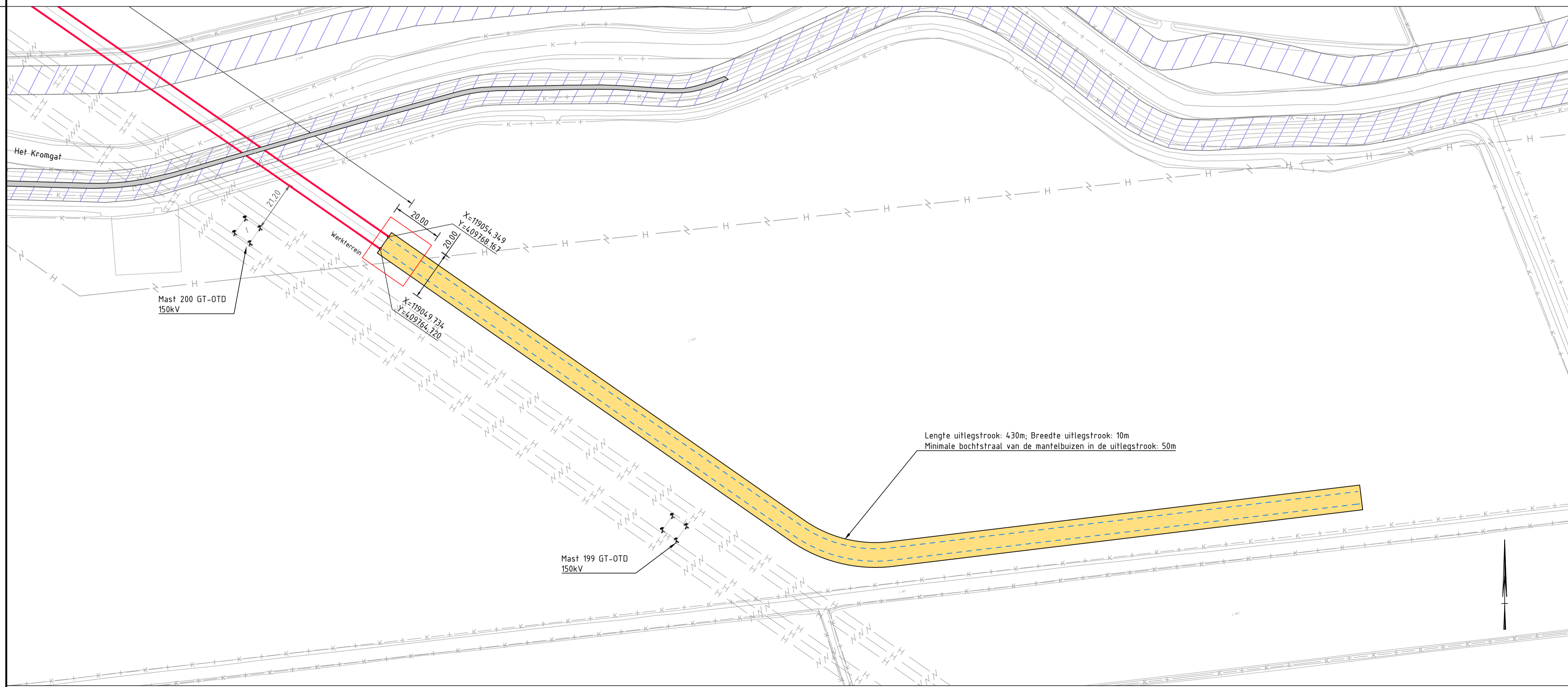
Onderdeel:
**KG-HDD1
Tilburg - West_Kruising Kromgat en waterkering**

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contactnummer
368722	KG-HDD1	D	28-04-2022	BO	

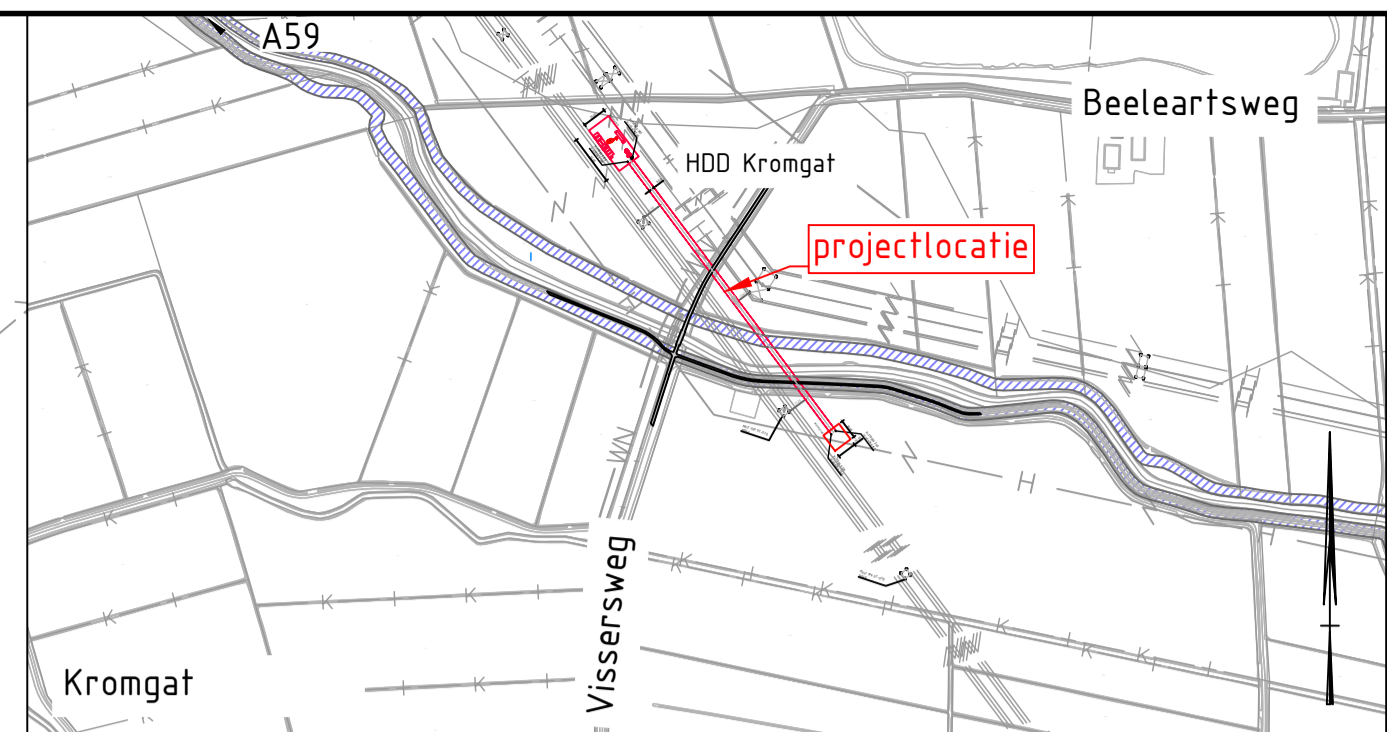
Blad	Van	Schaal	Format	Kantoor	Get.	Geç.	Goedg.
1	2	1:1000	A1	De Bilt	BB	MJ	JD



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Bovenaanzicht uitlegstrook schaal 1:500



Overzicht
Schaal n.v.t.

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Data transport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukriolering
- Riolering vrijval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Leidingstrook
- Verharding/wegen
- Locatie sondering met nummer
- Teentlijn
- Waterkering
- Waterstaatswerk waterkering
- Profiel vrije ruimte

Vastgestelde legger:

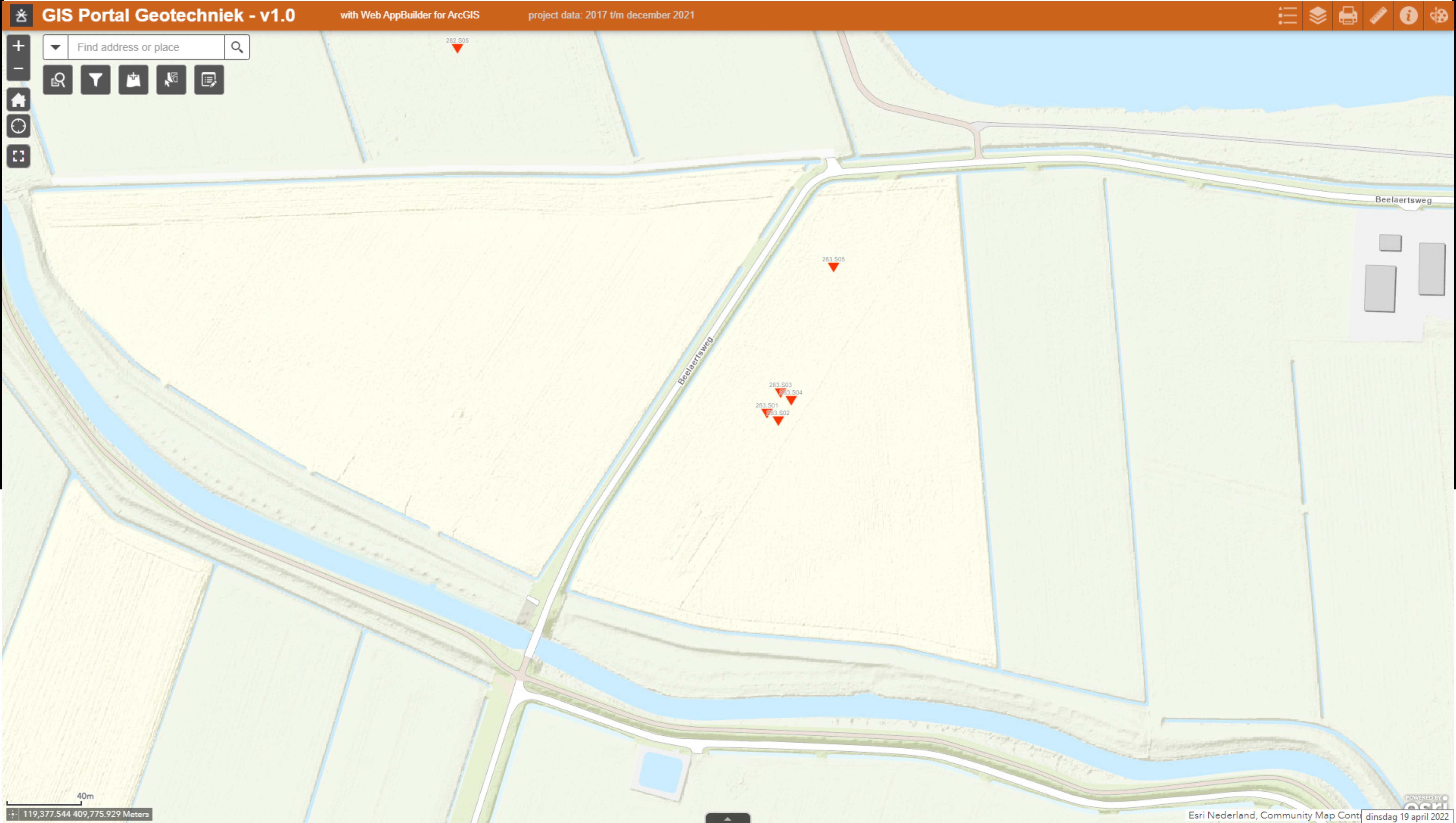
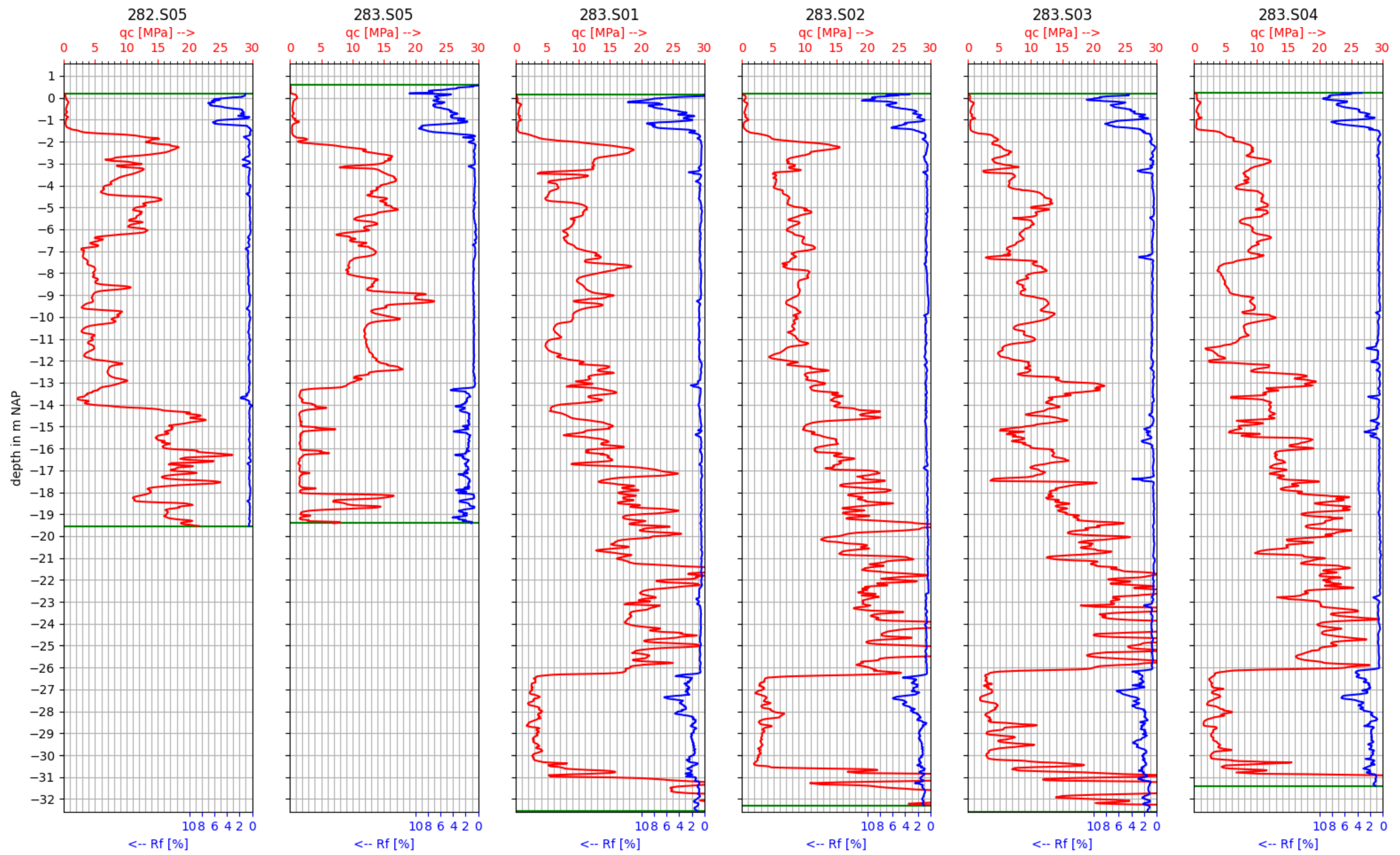
Maten in meters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Geec.	Goedg.
D	Voor vergunning	28-04-2022	JH	MJ	JD
C	Nieuwe locatie HDD's	01-03-2022	BB	MJ	JD
B	Definitief ontwerp	19-08-2020	BB	MJ	JD
A	Voorlopig ontwerp	06-04-2020	BB	MJ	JD

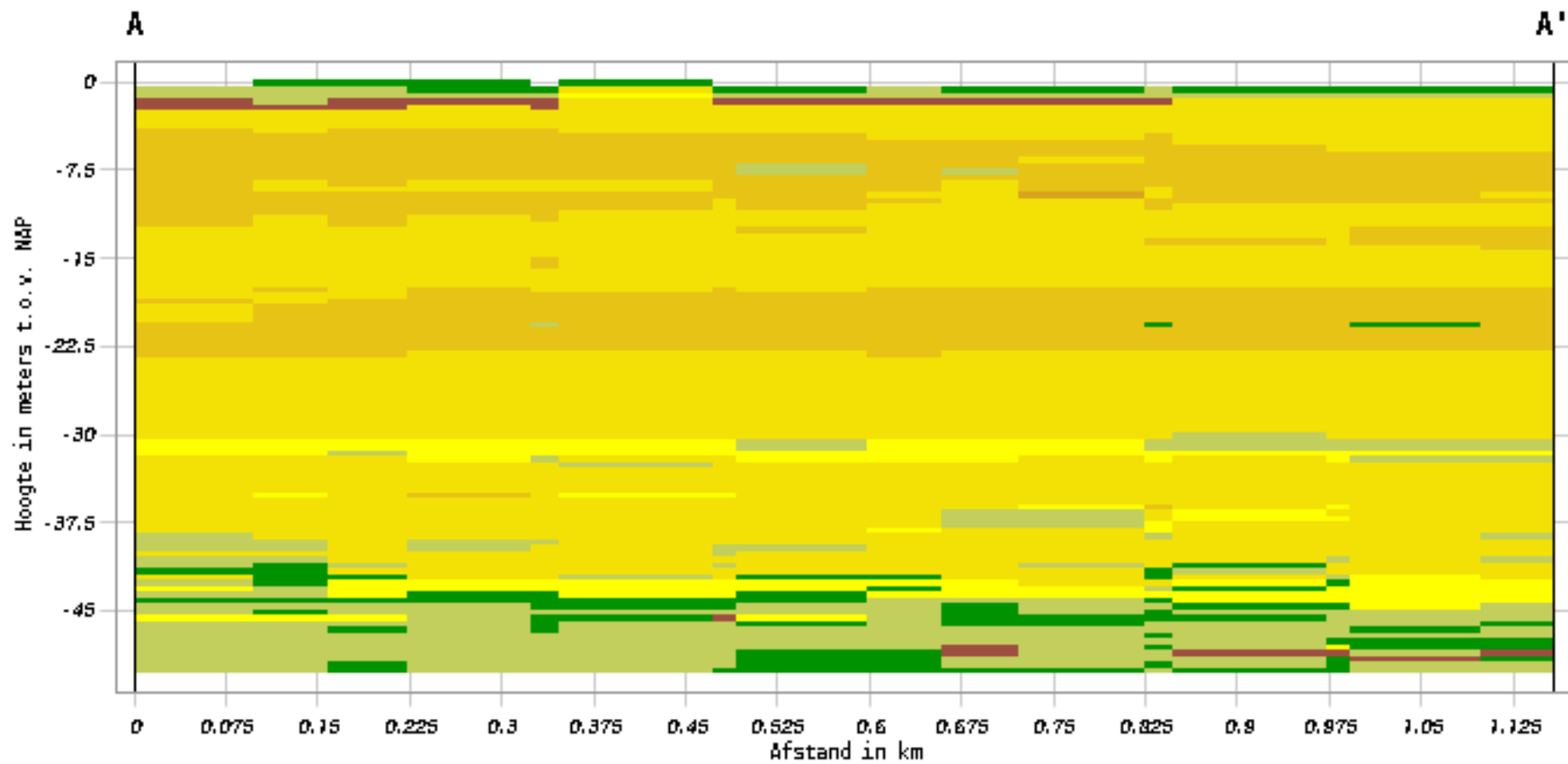
Ondraaggever					
TenneT TSO B.V.					
Project					
HDD's 150 kV ZWO					
Onderdeel					
KG-HDD1					
Tilburg - West_terrein NW van N260 richting Vloeienveldweg- Uitlegstrook					
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerplocatie	Contactnummer
368722	KG-HDD1	D	28-04-2022	BO	
Blad	Van	Schaal	Format	Kantoor	Get.
2	2	1:1000	A1	De Bilt	JH
					Geec.
					MJ
					JD

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

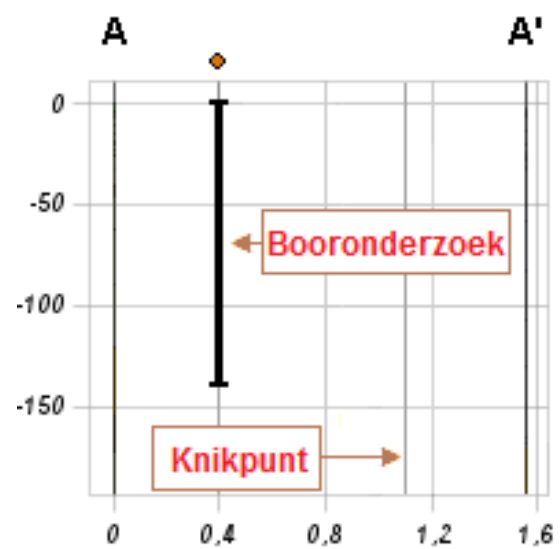
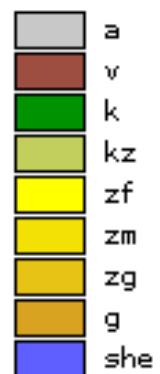
KG HDD1



Verticale Doorsnede BRO GeoTOP v1.4.1



Lithoklasse



Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline

Report for D-Geo Pipeline 20.1

Model : Horizontal Directional Drilling
Developed by Deltares

Date of report: 28-4-2022
Time of report: 12:23:30
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	Input Data	4
2.1	Model Used	4
2.2	Layer Boundaries	4
2.3	PI-lines	4
2.4	Phreatic Line	5
2.5	Soil Profiles	5
2.6	Selected Boundaries	5
2.7	Soil Material Data	5
2.8	Geometry	6
2.8.1	Geometry Section, Detailed	6
2.8.2	Geometry Top View	6
2.9	Calculation Verticals	7
2.10	Traffic Load	8
2.11	Configuration of the Pipeline	8
2.12	Product Pipe Material Data	8
2.13	Pipe Engineering Data	9
2.14	Drilling Fluid Data	10
2.15	Factors	10
2.16	Calculation Options	10
3	Drilling Fluid Pressures	11
3.1	Drilling Fluid Data	11
3.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	14
3.3	Drilling Fluid Pressure Plots	16
3.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	16
3.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	16
3.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	17
4	Soil Mechanical Data	18
4.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	18
4.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	20
4.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	23
4.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	25
4.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	28
5	Data for Stress Analysis	33
5.1	General Data	33
5.2	Buoyancy Control	33
5.3	Calculation Pulling Force	33
6	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	35
6.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	35
6.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	35
6.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	35
6.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	36
6.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	36
6.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	36
6.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	36
6.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	37
6.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	37
7	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	38
7.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	38
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	38
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	38
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	39
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	39
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	39
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	39
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	40
7.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	40
8	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	42
8.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	42
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	42
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	42
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	43
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	43
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	43

8.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	43
8.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	44
8.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	44
9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	45
9.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	45
9.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	45
9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	45
9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	46
9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	46
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	46
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	46
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	47
9.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	47

2 Input Data

2.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

2.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
6 - L -	0,000	5,000	10,000	15,000	20,000
6 - Z -	0,388	0,358	0,370	0,351	0,377
6 - L -	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
6 - Z -	0,391	0,334	0,381	0,308	0,329
6 - L -	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000
6 - Z -	0,259	0,280	0,318	0,310	0,272
6 - L -	75,000	80,000	85,000	90,000	95,000
6 - Z -	0,287	0,287	0,281	0,234	0,256
6 - L -	100,000	105,000	110,000	115,000	120,000
6 - Z -	0,199	0,186	0,192	0,207	0,224
6 - L -	125,000	130,000	135,000	140,000	145,000
6 - Z -	0,148	0,129	0,060	0,745	0,655
6 - L -	150,000	155,000	160,000	165,000	170,000
6 - Z -	0,153	0,199	0,171	0,184	0,169
6 - L -	175,000	180,000	185,000	190,000	195,000
6 - Z -	0,213	0,214	0,235	0,251	0,326
6 - L -	200,000	205,000	210,000	215,000	220,000
6 - Z -	0,390	0,496	0,392	0,083	0,452
6 - L -	225,000	230,000	235,000	240,000	245,000
6 - Z -	1,067	2,009	1,370	1,227	1,293
6 - L -	250,000	255,000	260,000	265,000	267,045
6 - Z -	1,159	1,134	1,008	0,599	-0,500
6 - L -	267,727	268,000	274,000	274,268	274,939
6 - Z -	-1,000	-1,200	-1,200	-1,000	-0,500
6 - L -	277,000	280,000	285,000	290,000	295,000
6 - Z -	1,037	1,267	1,923	1,874	0,882
6 - L -	300,000	305,000	310,000	315,000	320,000
6 - Z -	0,749	0,384	0,394	0,333	0,364
6 - L -	325,000	330,000	335,000	340,000	345,000
6 - Z -	0,378	0,376	0,331	0,265	0,252
6 - L -	350,000				
6 - Z -	0,221				
5 - L -	0,000	267,045	267,727	268,000	274,000
5 - Z -	-0,500	-0,500	-1,000	-1,200	-1,200
5 - L -	274,268	274,939	350,000		
5 - Z -	-1,000	-0,500	-0,500		
4 - L -	0,000	267,727	268,000	274,000	274,268
4 - Z -	-1,000	-1,000	-1,200	-1,200	-1,000
4 - L -	274,939	350,000			
4 - Z -	-0,500	-0,500			
3 - L -	0,000	267,727	268,000	274,000	274,268
3 - Z -	-1,000	-1,000	-1,200	-1,200	-1,000
3 - L -	350,000				
3 - Z -	-1,000				
2 - L -	0,000	350,000			
2 - Z -	-1,500	-1,500			
1 - L -	0,000	350,000			
1 - Z -	-17,000	-17,000			
0 - L -	0,000	350,000			
0 - Z -	-26,000	-26,000			

2.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	350,000			

PI-line number	Co-ordinates [m]			
1 - Z -	-0,650	-0,650		

2.4 Phreatic Line

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

2.5 Soil Profiles

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

2.6 Selected Boundaries

The boundary between (cohesive) undrained top layers and underlying (non-cohesive) drained layers, is situated at the top of layer number 2: Zand, schoon, matig

The boundary between compressible top layers and underlying non-compressible layers, is situated at the top of layer number 2: Zand, schoon, matig

2.7 Soil Material Data

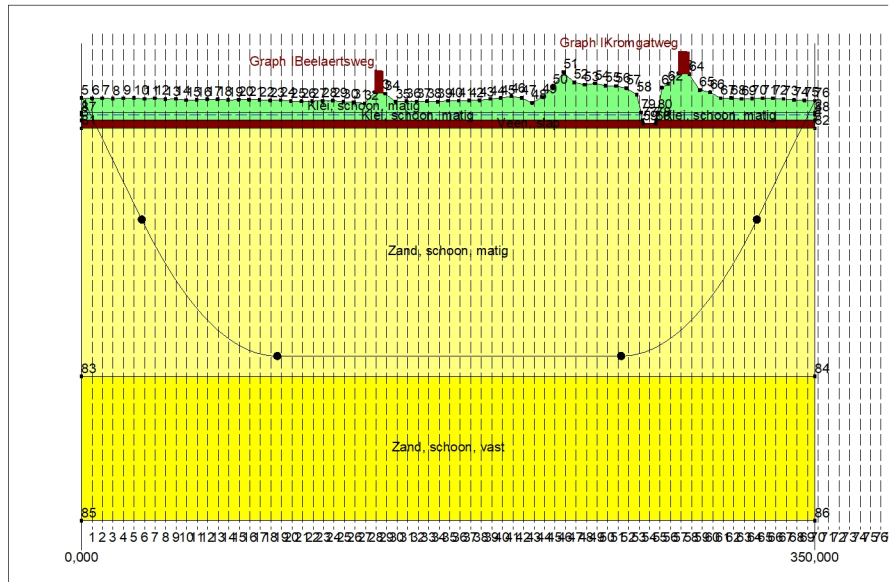
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, sterk zandig	18,00	18,00	0,50	27,50	10,00	10,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	80,00	80,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00
Klei, schoon, matig	17,00	17,00	5,00	17,50	50,00	50,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m ²]	Emod top [kN/m ²]	Emod bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	Sand	10000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	2000,00	-	-
Veen, slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	70000,00	-	-
Klei, schoon, matig	Clay	2000,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	10000,00	-	-

Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Klei, sterk zandig	-	-	0,20
Veen, slap	-	-	0,20
Zand, schoon, matig	-	-	0,20
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30
Klei, schoon, matig	-	-	0,20
Zand, schoon, los	-	-	0,20

2.8 Geometry

2.8.1 Geometry Section, Detailed



2.8.2 Geometry Top View

2.9 Calculation Verticals

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
1	5,021	-0,835
2	10,042	-2,181
3	15,063	-3,526
4	20,084	-4,871
5	25,105	-6,217
6	30,126	-7,558
7	35,147	-8,818
8	40,168	-9,969
9	45,189	-11,011
10	50,210	-11,946
11	55,231	-12,776
12	60,252	-13,501
13	65,273	-14,123
14	70,294	-14,642
15	75,315	-15,059
16	80,336	-15,374
17	85,357	-15,588
18	90,378	-15,701
19	95,399	-15,720
20	100,420	-15,720
21	105,441	-15,720
22	110,462	-15,720
23	115,483	-15,720
24	120,504	-15,720
25	125,525	-15,720
26	130,546	-15,720
27	135,567	-15,720
28	140,588	-15,720
29	145,609	-15,720
30	150,630	-15,720
31	155,651	-15,720
32	160,672	-15,720
33	165,693	-15,720
34	170,714	-15,720
35	175,735	-15,720
36	180,756	-15,720
37	185,777	-15,720
38	190,798	-15,720
39	195,819	-15,720
40	200,840	-15,720
41	205,861	-15,720
42	210,882	-15,720
43	215,903	-15,720
44	220,924	-15,720
45	225,945	-15,720
46	230,966	-15,720
47	235,987	-15,720
48	241,008	-15,720
49	246,029	-15,720
50	251,050	-15,720
51	256,071	-15,720
52	261,092	-15,696
53	266,113	-15,575
54	271,134	-15,353
55	276,155	-15,030
56	281,176	-14,605
57	286,197	-14,078
58	291,218	-13,449
59	296,239	-12,715
60	301,260	-11,877
61	306,281	-10,933
62	311,302	-9,883

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	316,323	-8,724
64	321,344	-7,455
65	326,365	-6,112
66	331,386	-4,767
67	336,407	-3,421
68	341,428	-2,076
69	346,449	-0,730
70	351,470	n.a.
71	356,491	n.a.
72	361,512	n.a.
73	366,533	n.a.
74	371,554	n.a.
75	376,575	n.a.
76	381,596	n.a.
77	386,617	n.a.
78	391,638	n.a.
79	396,659	n.a.
80	401,680	n.a.
81	406,701	n.a.
82	411,722	n.a.
83	416,743	n.a.

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

2.10 Traffic Load

Beelaertsweg		
L start	140,00	[m]
L end	144,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Kromgatweg		
L start	285,00	[m]
L end	290,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	

2.11 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	0,510	[m]
X co-ordinate right point	350,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	0,221	[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)	-15,720	[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.

2.12 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]

2.13 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	[-]

2.14 Drilling Fluid Data

Outer diameter pilot hole	0,300	[m]
Outer diameter pilot pipe	0,170	[m]
Outer diameter preream hole	0,500	[m]
Outer diameter drillpipe	0,170	[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	1000,0000	[liter/minute]
Pump flow rate ream and pull-back	1000,0000	[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]

2.15 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	[-]

2.16 Calculation Options

Stress analysis option : Standard

3 Drilling Fluid Pressures

3.1 Drilling Fluid Data

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	86	86	18	186
2	63	63	36	199
3	165	171	54	212
4	213	292	72	225
5	259	408	90	238
6	300	509	108	250
7	343	605	125	262
8	376	660	141	273
9	409	716	156	282
10	435	757	169	291
11	461	802	181	298
12	485	842	192	303
13	503	872	202	308
14	517	895	210	312
15	530	917	218	314
16	539	932	224	315
17	545	942	229	315
18	546	943	232	314
19	548	946	235	311
20	545	941	238	309
21	544	940	240	306
22	545	940	243	304
23	545	942	245	301
24	546	943	248	299
25	542	936	250	296
26	541	933	253	294
27	542	935	255	291
28	570	992	258	289
29	564	979	260	286
30	543	937	263	284
31	545	940	265	281
32	544	938	268	279
33	544	939	270	276
34	544	938	273	274
35	546	942	275	271
36	546	943	278	269
37	547	945	280	266
38	548	947	283	264
39	552	954	285	261
40	555	961	288	259
41	558	968	290	256
42	552	954	293	254
43	543	936	295	251
44	563	976	298	249
45	593	1038	300	246
46	621	1093	303	244
47	598	1046	305	241
48	593	1037	308	239
49	594	1040	310	236
50	589	1030	313	234
51	587	1026	315	231
52	578	1007	318	228
53	531	914	319	224
54	471	796	319	219
55	535	927	318	213
56	568	998	315	206
57	574	1015	312	197

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	543	959	307	187
59	486	852	301	176
60	451	792	294	164
61	410	718	286	151
62	376	662	276	136
63	338	595	265	120
64	299	505	253	103
65	255	399	241	85
66	209	281	228	67
67	159	160	215	49
68	54	54	202	31
69	71	71	189	13

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	66	66	16	18
2	64	64	33	36
3	132	132	49	54
4	213	232	66	72
5	259	339	82	90
6	300	440	98	108
7	343	541	114	125
8	376	619	128	141
9	409	693	141	156
10	435	750	153	169
11	461	802	163	181
12	485	842	172	192
13	503	872	180	202
14	517	895	187	210
15	530	917	193	218
16	539	932	198	224
17	545	942	201	229
18	546	943	203	231
19	548	946	204	230
20	545	941	205	229
21	544	940	206	228
22	545	940	207	227
23	545	942	208	226
24	546	943	209	225
25	542	936	210	225
26	541	933	211	224
27	542	935	212	223
28	570	992	213	222
29	564	979	214	221
30	543	937	214	220
31	545	940	215	219
32	544	938	216	218
33	544	939	217	217
34	544	938	218	216
35	546	942	219	215
36	546	943	220	214
37	547	945	221	214
38	548	947	222	213
39	552	954	223	212
40	555	961	224	211
41	558	968	224	210
42	552	954	225	209
43	543	936	226	208
44	563	976	227	207
45	593	1038	228	206
46	621	1093	229	205
47	598	1046	230	204
48	593	1037	231	204

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
49	594	1040	232	203
50	589	1030	233	202
51	587	1026	231	201
52	578	1007	228	200
53	531	914	224	197
54	471	796	219	194
55	535	927	213	189
56	568	998	206	183
57	574	1015	197	176
58	543	959	187	168
59	486	852	176	159
60	451	782	164	148
61	410	693	151	137
62	376	619	136	123
63	338	530	120	109
64	299	435	103	94
65	255	329	85	77
66	209	223	67	61
67	123	123	49	44
68	65	65	31	28
69	48	48	13	12

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	17	17	16	16
2	75	75	33	33
3	95	95	49	49
4	165	165	65	66
5	246	246	81	82
6	300	330	98	98
7	343	418	113	114
8	376	494	127	128
9	409	568	140	141
10	435	628	151	153
11	461	687	162	163
12	485	740	171	172
13	503	781	179	180
14	517	813	186	187
15	530	841	191	193
16	539	862	196	198
17	545	875	199	201
18	546	879	201	203
19	548	882	202	204
20	545	877	203	205
21	544	876	204	206
22	545	877	204	207
23	545	878	205	208
24	546	879	206	209
25	542	873	207	210
26	541	871	208	211
27	542	872	208	212
28	570	922	209	213
29	564	910	210	214
30	543	874	211	214
31	545	877	211	214
32	544	875	212	213
33	544	876	213	213
34	544	875	214	212
35	546	879	215	211
36	546	879	214	210
37	547	881	214	210
38	548	883	213	209
39	552	889	212	208

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
40	555	895	211	207
41	558	901	210	206
42	552	889	209	206
43	543	873	208	205
44	563	908	207	204
45	593	963	206	203
46	621	1013	205	202
47	598	971	204	202
48	593	963	204	201
49	594	965	203	200
50	589	956	202	199
51	587	952	201	198
52	578	935	200	197
53	531	851	197	195
54	471	754	194	192
55	535	849	189	187
56	568	901	183	182
57	574	901	176	175
58	543	836	168	167
59	486	726	159	157
60	451	653	148	147
61	410	567	137	135
62	376	493	123	123
63	338	410	109	108
64	299	325	94	93
65	239	239	77	77
66	159	159	61	60
67	89	89	44	44
68	75	75	28	28
69	0	1	12	12

3.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

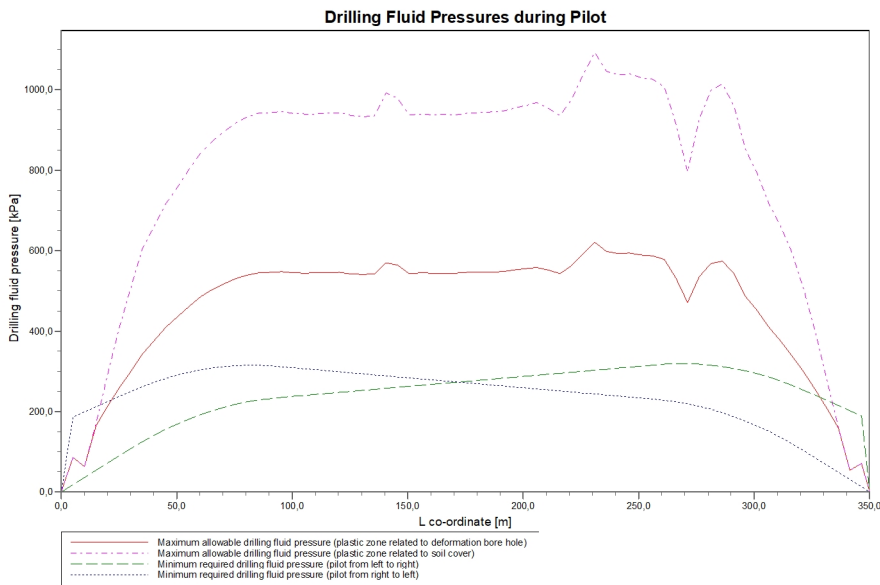
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	15	2	8,35	sufficient
2	31	15	2,02	sufficient
3	46	29	1,61	sufficient
4	62	42	1,47	sufficient
5	77	56	1,39	sufficient
6	93	69	1,34	sufficient
7	107	82	1,31	sufficient
8	120	93	1,29	sufficient
9	132	104	1,28	sufficient
10	143	113	1,27	sufficient
11	152	121	1,26	sufficient
12	161	129	1,25	sufficient
13	168	135	1,25	sufficient
14	174	140	1,24	sufficient
15	179	144	1,24	sufficient
16	182	147	1,24	sufficient
17	184	149	1,24	sufficient
18	186	151	1,23	sufficient
19	186	151	1,23	sufficient
20	186	151	1,23	sufficient
21	186	151	1,23	sufficient
22	186	151	1,23	sufficient
23	186	151	1,23	sufficient
24	186	151	1,23	sufficient
25	186	151	1,23	sufficient
26	185	151	1,23	sufficient
27	185	151	1,23	sufficient
28	185	151	1,23	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
29	185	151	1,23	sufficient
30	185	151	1,23	sufficient
31	185	151	1,23	sufficient
32	185	151	1,23	sufficient
33	185	151	1,23	sufficient
34	185	151	1,23	sufficient
35	185	151	1,23	sufficient
36	185	151	1,23	sufficient
37	185	151	1,23	sufficient
38	185	151	1,23	sufficient
39	185	151	1,23	sufficient
40	185	151	1,23	sufficient
41	185	151	1,23	sufficient
42	185	151	1,22	sufficient
43	185	151	1,22	sufficient
44	184	151	1,22	sufficient
45	184	151	1,22	sufficient
46	184	151	1,22	sufficient
47	184	151	1,22	sufficient
48	184	151	1,22	sufficient
49	184	151	1,22	sufficient
50	184	151	1,22	sufficient
51	184	151	1,22	sufficient
52	184	150	1,22	sufficient
53	182	149	1,22	sufficient
54	180	147	1,22	sufficient
55	176	144	1,22	sufficient
56	171	140	1,23	sufficient
57	165	134	1,23	sufficient
58	158	128	1,23	sufficient
59	149	121	1,24	sufficient
60	139	112	1,24	sufficient
61	128	103	1,25	sufficient
62	116	92	1,26	sufficient
63	103	81	1,27	sufficient
64	88	68	1,30	sufficient
65	73	55	1,33	sufficient
66	57	41	1,39	sufficient
67	42	28	1,51	sufficient
68	26	14	1,85	sufficient
69	11	1	13,59	sufficient

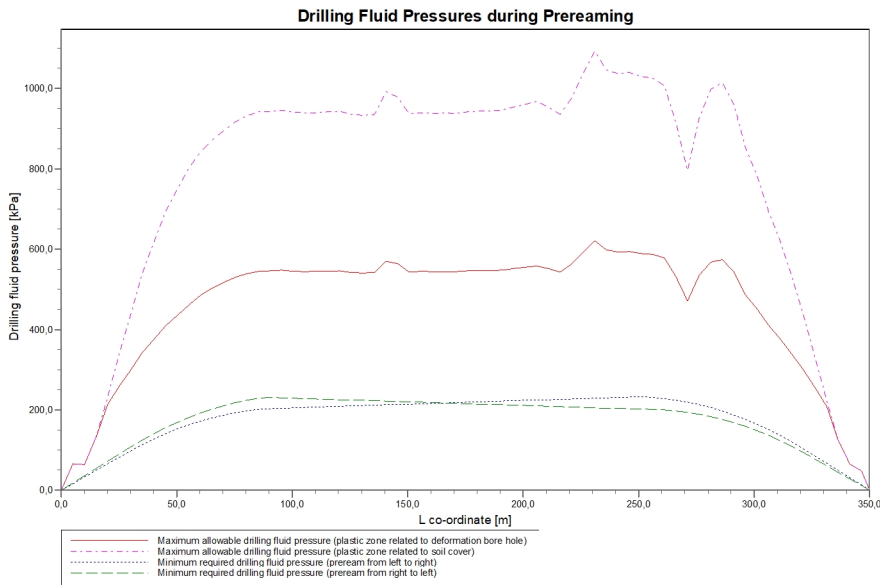
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

3.3 Drilling Fluid Pressure Plots

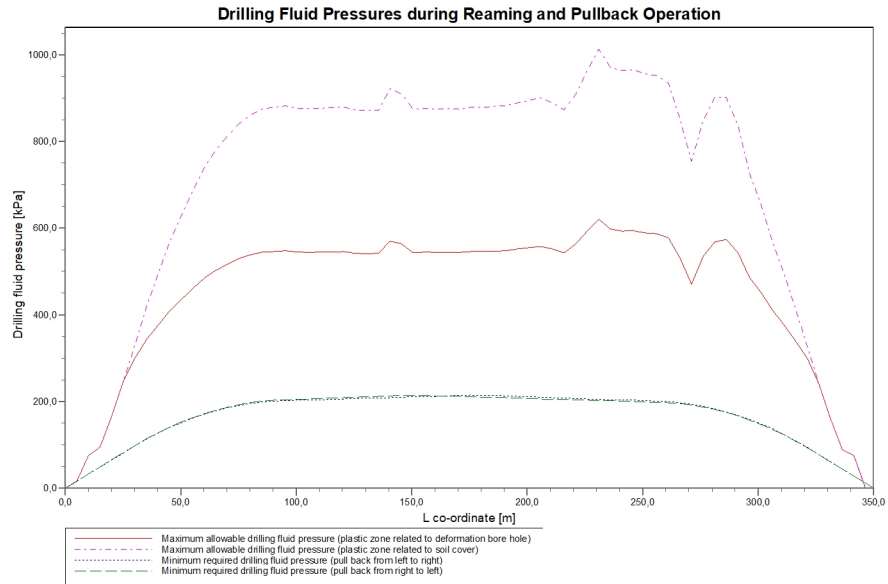
3.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



3.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



3.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



4 Soil Mechanical Data

4.1 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	35	18	13	18	0	120
2	85	26	19	26	0	919
3	177	39	29	39	0	1381
4	309	53	13	18	0	1869
5	475	67	13	17	0	2349
6	661	79	13	17	0	2789
7	773	92	13	17	0	3258
8	848	103	13	17	0	3621
9	925	113	13	17	0	3998
10	982	122	13	17	0	4287
11	1042	130	13	17	0	4592
12	1095	138	13	17	0	4868
13	1135	144	13	17	0	5081
14	1166	149	13	17	0	5243
15	1195	153	13	17	0	5398
16	1216	156	13	17	0	5509
17	1229	158	13	17	0	5579
18	1231	159	13	17	0	5593
19	1234	159	13	17	0	5609
20	1228	158	13	17	0	5577
21	1227	158	13	17	0	5571
22	1228	158	13	17	0	5575
23	1230	159	13	17	0	5584
24	1230	159	13	17	0	5588
25	1223	157	13	17	0	5546
26	1220	157	13	17	0	5532
27	1222	157	13	17	0	5541
28	1287	167	13	17	3	5898
29	1272	165	13	17	0	5814
30	1224	158	13	17	0	5554
31	1228	158	13	17	0	5576
32	1226	158	13	17	0	5562
33	1227	158	13	17	0	5568
34	1226	158	13	17	0	5564
35	1230	159	13	17	0	5586
36	1230	159	13	17	0	5589
37	1233	159	13	17	0	5601
38	1236	159	13	17	0	5616
39	1244	161	13	17	0	5660
40	1251	162	13	17	0	5703
41	1259	163	13	17	0	5745
42	1244	161	13	17	0	5661
43	1223	158	13	17	0	5549

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	1269	165	13	17	0	5797
45	1342	176	13	17	0	6202
46	1411	187	13	17	0	6585
47	1353	178	13	17	0	6260
48	1342	176	13	17	0	6199
49	1344	176	13	17	0	6214
50	1332	175	13	17	0	6148
51	1327	174	13	17	0	6120
52	1305	170	13	17	0	5999
53	1197	154	13	17	0	5409
54	1092	138	13	17	0	4849
55	1206	155	13	17	0	5459
56	1290	168	13	17	0	5915
57	1309	171	13	17	3	6022
58	1238	160	13	17	0	5634
59	1102	139	13	17	0	4909
60	1023	128	13	17	0	4500
61	927	114	13	17	0	4006
62	851	103	13	17	0	3632
63	761	91	13	17	0	3202
64	651	79	13	17	0	2772
65	458	65	13	17	0	2305
66	296	52	13	18	0	1824
67	164	37	28	37	0	1321
68	70	23	17	23	0	818
69	25	14	11	14	0	123

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	80	2047	52	1433	0,05	7,5
2	188	34198	8367	23939	0,05	7,5
3	322	40585	31050	28409	0,05	7,5
4	453	46524	38259	32567	0,05	7,5
5	570	51807	44366	36265	0,05	7,5
6	671	56271	49386	39390	0,05	7,5
7	773	60740	54321	42518	0,05	7,5
8	848	64018	57896	44812	0,05	7,5
9	925	67286	61430	47101	0,05	7,5
10	982	69708	64032	48796	0,05	7,5
11	1042	72190	66685	50533	0,05	7,5
12	1095	74382	69019	52067	0,05	7,5
13	1135	76034	70772	53224	0,05	7,5
14	1166	77268	72080	54088	0,05	7,5
15	1195	78438	73316	54907	0,05	7,5
16	1216	87629	74188	61340	0,05	7,5
17	1229	105460	74735	73822	0,05	7,5
18	1231	114910	74849	80437	0,05	7,5
19	1234	116689	74975	81682	0,05	7,5
20	1228	116346	74726	81443	0,05	7,5
21	1227	116274	74672	81392	0,05	7,5
22	1228	116318	74704	81422	0,05	7,5
23	1230	116415	74776	81491	0,05	7,5
24	1230	116464	74811	81525	0,05	7,5
25	1223	116014	74483	81210	0,05	7,5
26	1220	115856	74368	81099	0,05	7,5
27	1222	115960	74444	81172	0,05	7,5
28	1287	119741	77195	83819	0,05	7,5
29	1272	118859	76554	83201	0,05	7,5
30	1224	116096	74543	81267	0,05	7,5
31	1228	116330	74714	81431	0,05	7,5
32	1226	116185	74608	81330	0,05	7,5
33	1227	116244	74651	81371	0,05	7,5
34	1226	116202	74620	81341	0,05	7,5
35	1230	116444	74797	81511	0,05	7,5
36	1230	116470	74815	81529	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]
37	1233	116600	74910	81620	0,05	7,5
38	1236	116762	75029	81734	0,05	7,5
39	1244	117231	75370	82062	0,05	7,5
40	1251	117684	75699	82379	0,05	7,5
41	1259	118129	76023	82690	0,05	7,5
42	1244	117237	75374	82066	0,05	7,5
43	1223	116037	74500	81226	0,05	7,5
44	1269	118682	76425	83077	0,05	7,5
45	1342	122901	79487	86031	0,05	7,5
46	1411	126775	82288	88742	0,05	7,5
47	1353	123492	79915	86445	0,05	7,5
48	1342	122872	79466	86010	0,05	7,5
49	1344	123026	79577	86118	0,05	7,5
50	1332	122341	79081	85639	0,05	7,5
51	1327	122053	78873	85437	0,05	7,5
52	1305	118691	77963	83084	0,05	7,5
53	1197	102748	73399	71924	0,05	7,5
54	1092	80521	68848	56365	0,05	7,5
55	1206	78898	73802	55229	0,05	7,5
56	1290	82253	77336	57577	0,05	7,5
57	1309	83027	78149	58119	0,05	7,5
58	1238	80207	75183	56145	0,05	7,5
59	1102	74704	69361	52293	0,05	7,5
60	1023	71450	65896	50015	0,05	7,5
61	927	67361	61510	47153	0,05	7,5
62	851	64118	58004	44883	0,05	7,5
63	761	60224	53755	42157	0,05	7,5
64	667	56106	49202	39274	0,05	7,5
65	560	51339	43833	35937	0,05	7,5
66	441	46003	37644	32202	0,05	7,5
67	306	39803	30059	27862	0,05	7,5
68	217	22425	3863	15698	0,05	7,5
69	64	3045	22	2131	0,05	7,5

Maximum soil stress	: q _v ;n;max = 187 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	: q _{traffic} ;max = 39 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	: q _v ;r;n;max = 39 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	: k _v ;max = 126775 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	: k _v ;max = 253550 kN/m ³

4.2 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	35	18	13	18	0	120
2	85	26	19	26	0	919

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]
3	177	39	29	39	0	1381
4	309	53	13	18	0	1869
5	475	67	13	17	0	2349
6	661	79	13	17	0	2789
7	773	92	13	17	0	3258
8	848	103	13	17	0	3621
9	925	113	13	17	0	3998
10	982	122	13	17	0	4287
11	1042	130	13	17	0	4592
12	1095	138	13	17	0	4868
13	1135	144	13	17	0	5081
14	1166	149	13	17	0	5243
15	1195	153	13	17	0	5398
16	1216	156	13	17	0	5509
17	1229	158	13	17	0	5579
18	1231	159	13	17	0	5593
19	1234	159	13	17	0	5609
20	1228	158	13	17	0	5577
21	1227	158	13	17	0	5571
22	1228	158	13	17	0	5575
23	1230	159	13	17	0	5584
24	1230	159	13	17	0	5588
25	1223	157	13	17	0	5546
26	1220	157	13	17	0	5532
27	1222	157	13	17	0	5541
28	1287	167	13	17	3	5898
29	1272	165	13	17	0	5814
30	1224	158	13	17	0	5554
31	1228	158	13	17	0	5576
32	1226	158	13	17	0	5562
33	1227	158	13	17	0	5568
34	1226	158	13	17	0	5564
35	1230	159	13	17	0	5586
36	1230	159	13	17	0	5589
37	1233	159	13	17	0	5601
38	1236	159	13	17	0	5616
39	1244	161	13	17	0	5660
40	1251	162	13	17	0	5703
41	1259	163	13	17	0	5745
42	1244	161	13	17	0	5661
43	1223	158	13	17	0	5549
44	1269	165	13	17	0	5797
45	1342	176	13	17	0	6202
46	1411	187	13	17	0	6585
47	1353	178	13	17	0	6260
48	1342	176	13	17	0	6199
49	1344	176	13	17	0	6214
50	1332	175	13	17	0	6148
51	1327	174	13	17	0	6120
52	1305	170	13	17	0	5999
53	1197	154	13	17	0	5409
54	1092	138	13	17	0	4849
55	1206	155	13	17	0	5459
56	1290	168	13	17	0	5915
57	1309	171	13	17	3	6022
58	1238	160	13	17	0	5634
59	1102	139	13	17	0	4909
60	1023	128	13	17	0	4500
61	927	114	13	17	0	4006
62	851	103	13	17	0	3632
63	761	91	13	17	0	3202
64	651	79	13	17	0	2772
65	458	65	13	17	0	2305
66	296	52	13	18	0	1824
67	164	37	28	37	0	1321

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]
68	70	23	17	23	0	818
69	25	14	11	14	0	123

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	80	2047	52	1433	0,05	7,5
2	188	34198	8367	23939	0,05	7,5
3	322	40585	31050	28409	0,05	7,5
4	453	46524	38259	32567	0,05	7,5
5	570	51807	44366	36265	0,05	7,5
6	671	56271	49386	39390	0,05	7,5
7	773	60740	54321	42518	0,05	7,5
8	848	64018	57896	44812	0,05	7,5
9	925	67286	61430	47101	0,05	7,5
10	982	69708	64032	48796	0,05	7,5
11	1042	72190	66685	50533	0,05	7,5
12	1095	74382	69019	52067	0,05	7,5
13	1135	76034	70772	53224	0,05	7,5
14	1166	77268	72080	54088	0,05	7,5
15	1195	78438	73316	54907	0,05	7,5
16	1216	87629	74188	61340	0,05	7,5
17	1229	105460	74735	73822	0,05	7,5
18	1231	114910	74849	80437	0,05	7,5
19	1234	116689	74975	81682	0,05	7,5
20	1228	116346	74726	81443	0,05	7,5
21	1227	116274	74672	81392	0,05	7,5
22	1228	116318	74704	81422	0,05	7,5
23	1230	116415	74776	81491	0,05	7,5
24	1230	116464	74811	81525	0,05	7,5
25	1223	116014	74483	81210	0,05	7,5
26	1220	115856	74368	81099	0,05	7,5
27	1222	115960	74444	81172	0,05	7,5
28	1287	119741	77195	83819	0,05	7,5
29	1272	118859	76554	83201	0,05	7,5
30	1224	116096	74543	81267	0,05	7,5
31	1228	116330	74714	81431	0,05	7,5
32	1226	116185	74608	81330	0,05	7,5
33	1227	116244	74651	81371	0,05	7,5
34	1226	116202	74620	81341	0,05	7,5
35	1230	116444	74797	81511	0,05	7,5
36	1230	116470	74815	81529	0,05	7,5
37	1233	116600	74910	81620	0,05	7,5
38	1236	116762	75029	81734	0,05	7,5
39	1244	117231	75370	82062	0,05	7,5
40	1251	117684	75699	82379	0,05	7,5
41	1259	118129	76023	82690	0,05	7,5
42	1244	117237	75374	82066	0,05	7,5
43	1223	116037	74500	81226	0,05	7,5
44	1269	118682	76425	83077	0,05	7,5
45	1342	122901	79487	86031	0,05	7,5
46	1411	126775	82288	88742	0,05	7,5
47	1353	123492	79915	86445	0,05	7,5
48	1342	122872	79466	86010	0,05	7,5
49	1344	123026	79577	86118	0,05	7,5
50	1332	122341	79081	85639	0,05	7,5
51	1327	122053	78873	85437	0,05	7,5
52	1305	118691	77963	83084	0,05	7,5
53	1197	102748	73399	71924	0,05	7,5
54	1092	80521	68848	56365	0,05	7,5
55	1206	78898	73802	55229	0,05	7,5
56	1290	82253	77336	57577	0,05	7,5
57	1309	83027	78149	58119	0,05	7,5
58	1238	80207	75183	56145	0,05	7,5
59	1102	74704	69361	52293	0,05	7,5
60	1023	71450	65896	50015	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]
61	927	67361	61510	47153	0,05	7,5
62	851	64118	58004	44883	0,05	7,5
63	761	60224	53755	42157	0,05	7,5
64	667	56106	49202	39274	0,05	7,5
65	560	51339	43833	35937	0,05	7,5
66	441	46003	37644	32202	0,05	7,5
67	306	39803	30059	27862	0,05	7,5
68	217	22425	3863	15698	0,05	7,5
69	64	3045	22	2131	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 187 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 39 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 39 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 126775 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 253550 kN/m ³

4.3 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	35	18	13	18	0	120
2	85	26	19	26	0	919
3	177	39	29	39	0	1381
4	309	53	13	18	0	1869
5	475	67	13	17	0	2349
6	661	79	13	17	0	2789
7	773	92	13	17	0	3258
8	848	103	13	17	0	3621
9	925	113	13	17	0	3998
10	982	122	13	17	0	4287
11	1042	130	13	17	0	4592
12	1095	138	13	17	0	4868
13	1135	144	13	17	0	5081
14	1166	149	13	17	0	5243
15	1195	153	13	17	0	5398
16	1216	156	13	17	0	5509
17	1229	158	13	17	0	5579
18	1231	159	13	17	0	5593
19	1234	159	13	17	0	5609
20	1228	158	13	17	0	5577
21	1227	158	13	17	0	5571
22	1228	158	13	17	0	5575
23	1230	159	13	17	0	5584
24	1230	159	13	17	0	5588
25	1223	157	13	17	0	5546
26	1220	157	13	17	0	5532

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]
27	1222	157	13	17	0	5541
28	1287	167	13	17	3	5898
29	1272	165	13	17	0	5814
30	1224	158	13	17	0	5554
31	1228	158	13	17	0	5576
32	1226	158	13	17	0	5562
33	1227	158	13	17	0	5568
34	1226	158	13	17	0	5564
35	1230	159	13	17	0	5586
36	1230	159	13	17	0	5589
37	1233	159	13	17	0	5601
38	1236	159	13	17	0	5616
39	1244	161	13	17	0	5660
40	1251	162	13	17	0	5703
41	1259	163	13	17	0	5745
42	1244	161	13	17	0	5661
43	1223	158	13	17	0	5549
44	1269	165	13	17	0	5797
45	1342	176	13	17	0	6202
46	1411	187	13	17	0	6585
47	1353	178	13	17	0	6260
48	1342	176	13	17	0	6199
49	1344	176	13	17	0	6214
50	1332	175	13	17	0	6148
51	1327	174	13	17	0	6120
52	1305	170	13	17	0	5999
53	1197	154	13	17	0	5409
54	1092	138	13	17	0	4849
55	1206	155	13	17	0	5459
56	1290	168	13	17	0	5915
57	1309	171	13	17	3	6022
58	1238	160	13	17	0	5634
59	1102	139	13	17	0	4909
60	1023	128	13	17	0	4500
61	927	114	13	17	0	4006
62	851	103	13	17	0	3632
63	761	91	13	17	0	3202
64	651	79	13	17	0	2772
65	458	65	13	17	0	2305
66	296	52	13	18	0	1824
67	164	37	28	37	0	1321
68	70	23	17	23	0	818
69	25	14	11	14	0	123

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	80	2047	52	1433	0,05	7,5
2	188	34198	8367	23939	0,05	7,5
3	322	40585	31050	28409	0,05	7,5
4	453	46524	38259	32567	0,05	7,5
5	570	51807	44366	36265	0,05	7,5
6	671	56271	49386	39390	0,05	7,5
7	773	60740	54321	42518	0,05	7,5
8	848	64018	57896	44812	0,05	7,5
9	925	67286	61430	47101	0,05	7,5
10	982	69708	64032	48796	0,05	7,5
11	1042	72190	66685	50533	0,05	7,5
12	1095	74382	69019	52067	0,05	7,5
13	1135	76034	70772	53224	0,05	7,5
14	1166	77268	72080	54088	0,05	7,5
15	1195	78438	73316	54907	0,05	7,5
16	1216	87629	74188	61340	0,05	7,5
17	1229	105460	74735	73822	0,05	7,5
18	1231	114910	74849	80437	0,05	7,5
19	1234	116689	74975	81682	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]
20	1228	116346	74726	81443	0,05	7,5
21	1227	116274	74672	81392	0,05	7,5
22	1228	116318	74704	81422	0,05	7,5
23	1230	116415	74776	81491	0,05	7,5
24	1230	116464	74811	81525	0,05	7,5
25	1223	116014	74483	81210	0,05	7,5
26	1220	115856	74368	81099	0,05	7,5
27	1222	115960	74444	81172	0,05	7,5
28	1287	119741	77195	83819	0,05	7,5
29	1272	118859	76554	83201	0,05	7,5
30	1224	116096	74543	81267	0,05	7,5
31	1228	116330	74714	81431	0,05	7,5
32	1226	116185	74608	81330	0,05	7,5
33	1227	116244	74651	81371	0,05	7,5
34	1226	116202	74620	81341	0,05	7,5
35	1230	116444	74797	81511	0,05	7,5
36	1230	116470	74815	81529	0,05	7,5
37	1233	116600	74910	81620	0,05	7,5
38	1236	116762	75029	81734	0,05	7,5
39	1244	117231	75370	82062	0,05	7,5
40	1251	117684	75699	82379	0,05	7,5
41	1259	118129	76023	82690	0,05	7,5
42	1244	117237	75374	82066	0,05	7,5
43	1223	116037	74500	81226	0,05	7,5
44	1269	118682	76425	83077	0,05	7,5
45	1342	122901	79487	86031	0,05	7,5
46	1411	126775	82288	88742	0,05	7,5
47	1353	123492	79915	86445	0,05	7,5
48	1342	122872	79466	86010	0,05	7,5
49	1344	123026	79577	86118	0,05	7,5
50	1332	122341	79081	85639	0,05	7,5
51	1327	122053	78873	85437	0,05	7,5
52	1305	118691	77963	83084	0,05	7,5
53	1197	102748	73399	71924	0,05	7,5
54	1092	80521	68848	56365	0,05	7,5
55	1206	78898	73802	55229	0,05	7,5
56	1290	82253	77336	57577	0,05	7,5
57	1309	83027	78149	58119	0,05	7,5
58	1238	80207	75183	56145	0,05	7,5
59	1102	74704	69361	52293	0,05	7,5
60	1023	71450	65896	50015	0,05	7,5
61	927	67361	61510	47153	0,05	7,5
62	851	64118	58004	44883	0,05	7,5
63	761	60224	53755	42157	0,05	7,5
64	667	56106	49202	39274	0,05	7,5
65	560	51339	43833	35937	0,05	7,5
66	441	46003	37644	32202	0,05	7,5
67	306	39803	30059	27862	0,05	7,5
68	217	22425	3863	15698	0,05	7,5
69	64	3045	22	2131	0,05	7,5

Maximum soil stress	: q _{v;n;max} = 187 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	: q _{traffic;max} = 39 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	: q _{v;r;n;max} = 39 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	: k _{v;max} = 126775 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	: k _{v;max} = 253550 kN/m ³

4.4 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	35	18	13	18	0	120
2	85	26	19	26	0	919
3	177	39	29	39	0	1381
4	309	53	13	18	0	1869
5	475	67	13	17	0	2349
6	661	79	13	17	0	2789
7	773	92	13	17	0	3258
8	848	103	13	17	0	3621
9	925	113	13	17	0	3998
10	982	122	13	17	0	4287
11	1042	130	13	17	0	4592
12	1095	138	13	17	0	4868
13	1135	144	13	17	0	5081
14	1166	149	13	17	0	5243
15	1195	153	13	17	0	5398
16	1216	156	13	17	0	5509
17	1229	158	13	17	0	5579
18	1231	159	13	17	0	5593
19	1234	159	13	17	0	5609
20	1228	158	13	17	0	5577
21	1227	158	13	17	0	5571
22	1228	158	13	17	0	5575
23	1230	159	13	17	0	5584
24	1230	159	13	17	0	5588
25	1223	157	13	17	0	5546
26	1220	157	13	17	0	5532
27	1222	157	13	17	0	5541
28	1287	167	13	17	3	5898
29	1272	165	13	17	0	5814
30	1224	158	13	17	0	5554
31	1228	158	13	17	0	5576
32	1226	158	13	17	0	5562
33	1227	158	13	17	0	5568
34	1226	158	13	17	0	5564
35	1230	159	13	17	0	5586
36	1230	159	13	17	0	5589
37	1233	159	13	17	0	5601
38	1236	159	13	17	0	5616
39	1244	161	13	17	0	5660
40	1251	162	13	17	0	5703
41	1259	163	13	17	0	5745
42	1244	161	13	17	0	5661
43	1223	158	13	17	0	5549
44	1269	165	13	17	0	5797
45	1342	176	13	17	0	6202
46	1411	187	13	17	0	6585
47	1353	178	13	17	0	6260
48	1342	176	13	17	0	6199
49	1344	176	13	17	0	6214

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]
50	1332	175	13	17	0	6148
51	1327	174	13	17	0	6120
52	1305	170	13	17	0	5999
53	1197	154	13	17	0	5409
54	1092	138	13	17	0	4849
55	1206	155	13	17	0	5459
56	1290	168	13	17	0	5915
57	1309	171	13	17	3	6022
58	1238	160	13	17	0	5634
59	1102	139	13	17	0	4909
60	1023	128	13	17	0	4500
61	927	114	13	17	0	4006
62	851	103	13	17	0	3632
63	761	91	13	17	0	3202
64	651	79	13	17	0	2772
65	458	65	13	17	0	2305
66	296	52	13	18	0	1824
67	164	37	28	37	0	1321
68	70	23	17	23	0	818
69	25	14	11	14	0	123

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	80	2047	52	1433	0,05	7,5
2	188	34198	8367	23939	0,05	7,5
3	322	40585	31050	28409	0,05	7,5
4	453	46524	38259	32567	0,05	7,5
5	570	51807	44366	36265	0,05	7,5
6	671	56271	49386	39390	0,05	7,5
7	773	60740	54321	42518	0,05	7,5
8	848	64018	57896	44812	0,05	7,5
9	925	67286	61430	47101	0,05	7,5
10	982	69708	64032	48796	0,05	7,5
11	1042	72190	66685	50533	0,05	7,5
12	1095	74382	69019	52067	0,05	7,5
13	1135	76034	70772	53224	0,05	7,5
14	1166	77268	72080	54088	0,05	7,5
15	1195	78438	73316	54907	0,05	7,5
16	1216	87629	74188	61340	0,05	7,5
17	1229	105460	74735	73822	0,05	7,5
18	1231	114910	74849	80437	0,05	7,5
19	1234	116689	74975	81682	0,05	7,5
20	1228	116346	74726	81443	0,05	7,5
21	1227	116274	74672	81392	0,05	7,5
22	1228	116318	74704	81422	0,05	7,5
23	1230	116415	74776	81491	0,05	7,5
24	1230	116464	74811	81525	0,05	7,5
25	1223	116014	74483	81210	0,05	7,5
26	1220	115856	74368	81099	0,05	7,5
27	1222	115960	74444	81172	0,05	7,5
28	1287	119741	77195	83819	0,05	7,5
29	1272	118859	76554	83201	0,05	7,5
30	1224	116096	74543	81267	0,05	7,5
31	1228	116330	74714	81431	0,05	7,5
32	1226	116185	74608	81330	0,05	7,5
33	1227	116244	74651	81371	0,05	7,5
34	1226	116202	74620	81341	0,05	7,5
35	1230	116444	74797	81511	0,05	7,5
36	1230	116470	74815	81529	0,05	7,5
37	1233	116600	74910	81620	0,05	7,5
38	1236	116762	75029	81734	0,05	7,5
39	1244	117231	75370	82062	0,05	7,5
40	1251	117684	75699	82379	0,05	7,5
41	1259	118129	76023	82690	0,05	7,5
42	1244	117237	75374	82066	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]
43	1223	116037	74500	81226	0,05	7,5
44	1269	118682	76425	83077	0,05	7,5
45	1342	122901	79487	86031	0,05	7,5
46	1411	126775	82288	88742	0,05	7,5
47	1353	123492	79915	86445	0,05	7,5
48	1342	122872	79466	86010	0,05	7,5
49	1344	123026	79577	86118	0,05	7,5
50	1332	122341	79081	85639	0,05	7,5
51	1327	122053	78873	85437	0,05	7,5
52	1305	118691	77963	83084	0,05	7,5
53	1197	102748	73399	71924	0,05	7,5
54	1092	80521	68848	56365	0,05	7,5
55	1206	78898	73802	55229	0,05	7,5
56	1290	82253	77336	57577	0,05	7,5
57	1309	83027	78149	58119	0,05	7,5
58	1238	80207	75183	56145	0,05	7,5
59	1102	74704	69361	52293	0,05	7,5
60	1023	71450	65896	50015	0,05	7,5
61	927	67361	61510	47153	0,05	7,5
62	851	64118	58004	44883	0,05	7,5
63	761	60224	53755	42157	0,05	7,5
64	667	56106	49202	39274	0,05	7,5
65	560	51339	43833	35937	0,05	7,5
66	441	46003	37644	32202	0,05	7,5
67	306	39803	30059	27862	0,05	7,5
68	217	22425	3863	15698	0,05	7,5
69	64	3045	22	2131	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 187 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 39 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 39 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 126775 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 253550 kN/m ³

4.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

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

Layer number	Vertical 1 (L=5,021 m)		Vertical 2 (L=10,042 m)		Vertical 3 (L=15,063 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,429	0,000	0,433	0,000	0,426
5	0,429	0,543	0,433	0,547	0,426	0,540
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,054	0,055	0,055	0,056	0,054	0,055
2	13,446	39,696	13,512	39,719	13,407	39,683
1	92,624	115,889	92,677	115,931	92,594	115,865

Layer number	Vertical 4 (L=20,084 m)		Vertical 5 (L=25,105 m)		Vertical 6 (L=30,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,436	0,000	0,441	0,000	0,420
5	0,436	0,550	0,441	0,555	0,420	0,534
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,055	0,056	0,055	0,057	0,053	0,055

Layer number	Vertical 4 (L=20,084 m)		Vertical 5 (L=25,105 m)		Vertical 6 (L=30,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
2	13,554	39,733	13,625	39,757	13,315	39,652
1	92,711	115,958	92,767	116,003	92,521	115,807

Layer number	Vertical 7 (L=35,147 m)		Vertical 8 (L=40,168 m)		Vertical 9 (L=45,189 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,437	0,000	0,409	0,000	0,416
5	0,437	0,551	0,409	0,524	0,416	0,531
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,055	0,056	0,052	0,054	0,053	0,054
2	13,563	39,736	13,162	39,601	13,264	39,635
1	92,718	115,964	92,402	115,712	92,482	115,775

Layer number	Vertical 10 (L=50,21 m)		Vertical 11 (L=55,231 m)		Vertical 12 (L=60,252 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,389	0,000	0,398	0,000	0,412
5	0,389	0,505	0,398	0,514	0,412	0,527
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,051	0,052	0,051	0,053	0,053	0,054
2	12,875	39,506	13,004	39,549	13,213	39,618
1	92,182	115,536	92,281	115,614	92,442	115,744

Layer number	Vertical 13 (L=65,273 m)		Vertical 14 (L=70,294 m)		Vertical 15 (L=75,315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,409	0,000	0,394	0,000	0,400
5	0,409	0,524	0,394	0,510	0,400	0,516
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,052	0,053	0,051	0,052	0,052	0,053
2	13,157	39,599	12,952	39,532	13,035	39,559
1	92,399	115,709	92,241	115,582	92,304	115,633

Layer number	Vertical 16 (L=80,336 m)		Vertical 17 (L=85,357 m)		Vertical 18 (L=90,378 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,400	0,000	0,396	0,000	0,379
5	0,400	0,516	0,396	0,512	0,379	0,496
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,052	0,053	0,051	0,052	0,050	0,051
2	13,033	39,558	12,980	39,541	12,730	39,460
1	92,302	115,632	92,262	115,600	92,072	115,448

Layer number	Vertical 19 (L=95,399 m)		Vertical 20 (L=100,42 m)		Vertical 21 (L=105,441 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,386	0,000	0,363	0,000	0,359
5	0,386	0,502	0,363	0,482	0,359	0,477
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,050	0,051	0,048	0,049	0,048	0,049
2	12,825	39,490	12,501	39,386	12,431	39,364
1	92,144	115,505	91,901	115,312	91,850	115,271

Layer number	Vertical 22 (L=110,462 m)		Vertical 23 (L=115,483 m)		Vertical 24 (L=120,504 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,362	0,000	0,368	0,000	0,371
5	0,362	0,480	0,368	0,486	0,371	0,489
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,048	0,049	0,049	0,050	0,049	0,050
2	12,473	39,378	12,567	39,407	12,613	39,422
1	91,881	115,296	91,950	115,351	91,985	115,379

Layer number	Vertical 25 (L=125,525 m)		Vertical 26 (L=130,546 m)		Vertical 27 (L=135,567 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,342	0,000	0,331	0,000	0,338
5	0,342	0,461	0,331	0,452	0,338	0,458
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,046	0,047	0,045	0,046	0,046	0,047
2	12,179	39,285	12,024	39,238	12,127	39,269
1	91,666	115,124	91,554	115,036	91,628	115,094

Layer number	Vertical 28 (L=140,588 m)		Vertical 29 (L=145,609 m)		Vertical 30 (L=150,63 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,574	0,000	0,521	0,000	0,347
5	0,574	0,680	0,521	0,630	0,347	0,466
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,068	0,069	0,063	0,064	0,047	0,048
2	15,439	40,415	14,726	40,148	12,260	39,310
1	94,301	117,234	93,679	116,733	91,724	115,171

Layer number	Vertical 31 (L=155,651 m)		Vertical 32 (L=160,672 m)		Vertical 33 (L=165,693 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,362	0,000	0,353	0,000	0,357
5	0,362	0,481	0,353	0,472	0,357	0,475
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,048	0,049	0,047	0,048	0,048	0,049
2	12,486	39,381	12,346	39,337	12,403	39,355
1	91,890	115,303	91,787	115,221	91,829	115,254

Layer number	Vertical 34 (L=170,714 m)		Vertical 35 (L=175,735 m)		Vertical 36 (L=180,756 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,354	0,000	0,370	0,000	0,371
5	0,354	0,473	0,370	0,487	0,371	0,489
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,047	0,048	0,049	0,050	0,049	0,050
2	12,362	39,342	12,594	39,416	12,619	39,424
1	91,799	115,230	91,970	115,367	91,989	115,382

Layer number	Vertical 37 (L=185,777 m)		Vertical 38 (L=190,798 m)		Vertical 39 (L=195,819 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,380	0,000	0,390	0,000	0,420
5	0,380	0,497	0,390	0,507	0,420	0,535
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,050	0,051	0,051	0,052	0,053	0,055
2	12,741	39,463	12,893	39,512	13,322	39,655
1	92,081	115,455	92,196	115,547	92,527	115,811

Layer number	Vertical 40 (L=200,84 m)		Vertical 41 (L=205,861 m)		Vertical 42 (L=210,882 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,449	0,000	0,476	0,000	0,421
5	0,449	0,561	0,476	0,588	0,421	0,535
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,056	0,057	0,059	0,060	0,053	0,055
2	13,726	39,792	14,112	39,927	13,328	39,656
1	92,848	116,068	93,162	116,320	92,532	115,815

Layer number	Vertical 43 (L=215,903 m)		Vertical 44 (L=220,924 m)		Vertical 45 (L=225,945 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,343	0,000	0,510	0,000	0,757
5	0,343	0,463	0,510	0,620	0,757	0,857
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Layer number	Vertical 43 (L=215,903 m)		Vertical 44 (L=220,924 m)		Vertical 45 (L=225,945 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	0,046	0,047	0,062	0,063	0,086	0,087
2	12,202	39,292	14,579	40,094	17,790	41,370
1	91,682	115,138	93,553	116,633	96,530	119,034

Layer number	Vertical 46 (L=230,966 m)		Vertical 47 (L=235,987 m)		Vertical 48 (L=241,008 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,972	0,000	0,790	0,000	0,755
5	0,972	1,066	0,790	0,889	0,755	0,855
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,107	0,108	0,089	0,090	0,086	0,087
2	20,359	42,538	18,201	41,549	17,770	41,361
1	99,256	121,255	96,947	119,372	96,510	119,018

Layer number	Vertical 49 (L=246,029 m)		Vertical 50 (L=251,05 m)		Vertical 51 (L=256,071 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,764	0,000	0,725	0,000	0,708
5	0,764	0,864	0,725	0,826	0,708	0,810
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,086	0,087	0,083	0,084	0,081	0,082
2	17,878	41,408	17,393	41,201	17,186	41,114
1	96,618	119,105	96,136	118,714	95,933	118,550

Layer number	Vertical 52 (L=261,092 m)		Vertical 53 (L=266,113 m)		Vertical 54 (L=271,134 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,641	0,000	0,279	n.a.	n.a.
5	0,641	0,745	0,279	0,403	n.a.	n.a.
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	0,075	0,076	0,040	0,042	0,000	0,002
2	16,327	40,762	11,231	39,002	1,643	37,386
1	95,112	117,887	91,004	114,598	87,234	111,628

Layer number	Vertical 55 (L=276,155 m)		Vertical 56 (L=281,176 m)		Vertical 57 (L=286,197 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,448	0,000	0,817	0,000	0,980
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	0,448	0,561	0,817	0,916	0,980	1,074
3	0,056	0,057	0,092	0,093	0,107	0,108
2	13,720	39,790	18,533	41,695	20,455	42,584
1	92,843	116,064	97,288	119,649	99,363	121,343

Layer number	Vertical 58 (L=291,218 m)		Vertical 59 (L=296,239 m)		Vertical 60 (L=301,26 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,888	0,000	0,616	0,000	0,545
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	0,888	0,985	0,616	0,721	0,545	0,653
3	0,098	0,099	0,072	0,073	0,065	0,066
2	19,384	42,080	15,997	40,631	15,051	40,268
1	98,187	120,382	94,806	117,640	93,959	116,959

Layer number	Vertical 61 (L=306,281 m)		Vertical 62 (L=311,302 m)		Vertical 63 (L=316,323 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,440	0,000	0,437	0,000	0,422
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	0,440	0,553	0,437	0,550	0,422	0,536
3	0,055	0,056	0,055	0,056	0,054	0,055
2	13,607	39,751	13,559	39,735	13,349	39,664
1	92,752	115,991	92,714	115,961	92,548	115,828

Layer number	Vertical 64 (L=321,344 m)		Vertical 65 (L=326,365 m)		Vertical 66 (L=331,386 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,433	0,000	0,436	0,000	0,431
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	0,433	0,546	0,436	0,550	0,431	0,545
3	0,055	0,056	0,055	0,056	0,054	0,056
2	13,501	39,715	13,555	39,733	13,477	39,707
1	92,668	115,924	92,711	115,959	92,649	115,909

Layer number	Vertical 67 (L=336,407 m)		Vertical 68 (L=341,428 m)		Vertical 69 (L=346,449 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	0,000	0,410	0,000	0,390	0,000	0,382
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	0,410	0,525	0,390	0,506	0,382	0,499
3	0,053	0,054	0,051	0,052	0,050	0,051
2	13,183	39,608	12,883	39,509	12,774	39,474
1	92,419	115,725	92,188	115,541	92,106	115,475

5 Data for Stress Analysis

5.1 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 = 107454 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

5.2 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)

5.3 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	35
T2	30	51
T3	95	96

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	259	187
T5	325	239
T6	353	255

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.

6 Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1

6.1 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 = 353 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 = 39 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 126775 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

6.2 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.

6.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,61 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,89	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

6.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_{t} = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,00 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,0E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0103 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

6.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

6.2.4 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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 4,93 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,44 \text{ N/mm}^2$$

6.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,36	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,93	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,44	N/mm ²

6.3 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)	0,89	5,00	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,39	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,44	3,44

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,0 mm (2,21% 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 allowable.

6.4 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 215 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 151 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

7 Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2

7.1 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 = 353 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 = 39 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 126775 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 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.

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,89	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	4,44	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,00	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,0E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0103	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,60	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,39	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	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
---	---	------	-------------------

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

Axial stress:

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

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

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,36	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	4,93	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	3,44	N/mm ²
--	---	------	-------------------

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

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,36	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,93	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,44	N/mm ²

7.3 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)	0,89	5,00	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,39	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,44	3,44

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,0 mm (2,21% 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 allowable.

7.4 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 215 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 151 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

8 Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3

8.1 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 = 353 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 = 39 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 126775 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 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.

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,61 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,89	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_{t,t} = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 5,00 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,0E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0103 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

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

Axial stress:

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

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

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 4,93 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,44 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

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

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,36	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,93	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,44	N/mm ²

8.3 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)	0,89	5,00	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,39	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,44	3,44

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,0 mm (2,21% 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 allowable.

8.4 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 215 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 151 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

9 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4

9.1 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 = 353 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 = 39 kN/m ²
Traffic load (without safety factor)	:	q_v = 0 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)	:	k_v;max = 126775 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 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.

9.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,89	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	4,44	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	5,00	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,0E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0103	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,60	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,39	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	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
---	---	------	-------------------

9.2.4 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:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,36	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	4,93	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	3,44	N/mm ²
--	---	------	-------------------

9.2.5 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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,36	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	4,93	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,44	N/mm ²

9.3 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)	0,89	5,00	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,39	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,44	3,44

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,0 mm (2,21% 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 allowable.

9.4 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 215 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 151 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report