

D.1 002.678.20 1030744 5 Vergunningsrapportage B

Kruising 2 HDD's met op- en afrit A17

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat



Verantwoording

Titel: Kruising 2 HDD's met op- en afrit A17
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22727
Versie: D1

Datum: 26-4-2022

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	Schuine kruising A17	8
2.6	Diepteligging	9
2.7	Inwendige overdruk	9
2.8	Grondwaterstand	10
2.9	Belasting- en ondersteuningshoek	10
2.10	Importantiefactor	10
2.11	Geotechnische parameters	10
2.12	Boortechnische gegevens	11
2.13	Verkeersbelasting	11
2.14	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	18
4.5.3	Kwelmaatregelen	18
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 Pipeline	23

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 op- en afrit 20 van Rijksweg A17 bij bedrijvenpark Borchwerf te Roosendaal. De kruising (met codering BW HDD8.2) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's ligt parallel aan Rijksweg A17 aan de westzijde van de snelweg nabij 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 circa 802 m en een maximale diepte van NAP -16,0 m (hart boring). De twee HDD's kruisen in het gehele tracé 6 DOW leidingen en van zuidwest naar noordoost: het grondlichaam bij het intredepunt, een persleiding van Brabant Water, middenspanningskabels van Enexis, de oprit naar de A17 vanaf de Madenstraat, Stepvelden (een straat in beheer van de gemeente) en de afrit van de A17 richting de Madenstraat.



Figuur 1 Overzicht situatie BW HDD8.2

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 HDD8.2, tekeningnummer BW-HDD8.2 versie E, d.d. 11-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Grondwaterstand, opgevraagd 25-03-2022, website: <https://embed.hydronet.com>;
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-leveringen 21O045920 en 21O045921 opgevraagd d.d. 04-04-'22;
- Keur en leggers van waterschap Brabantse Delta;
- 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.

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 8,5 m -mv bestaat uit wisselende zand-, 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 afstand tot overige objecten

In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de minimale afstand van de HDD's tot de funderingen van hoogspanningsmasten van TenneT langs het tracé wordt normaliter een dagmaat van 5 meter gehanteerd. Echter, in dit geval houden we voor de horizontale afstand van de HDD's tot toekomstige mastenroute van TenneT op maaiveld een afstand van minimaal 10 meter uit de teen van de mast aan, omdat de funderingswijze en de schoring van de toekomstige masten onbekend is. Bij een afstand van 10 m op maaiveldniveau is een schoring van 1:3 toelaatbaar om op niveau van de boorlijn een minimale afstand van 5,0 m te hebben.
 - o De afstand tussen hart boring en teen van de toekomstige mast 1056 bedraagt 13,8 m. De dagmaat tussen de boring en de teen van de mast is 13,3 m. Dit voldoet aan de eisen;
 - o De afstand tussen hart boring en teen van de toekomstige mast 1057 bedraagt 15,1 m. De dagmaat afstand tussen de boring en de teen van de mast is 14,6 m. Dit voldoet aan de eisen.

2.5 Schuine kruising A17

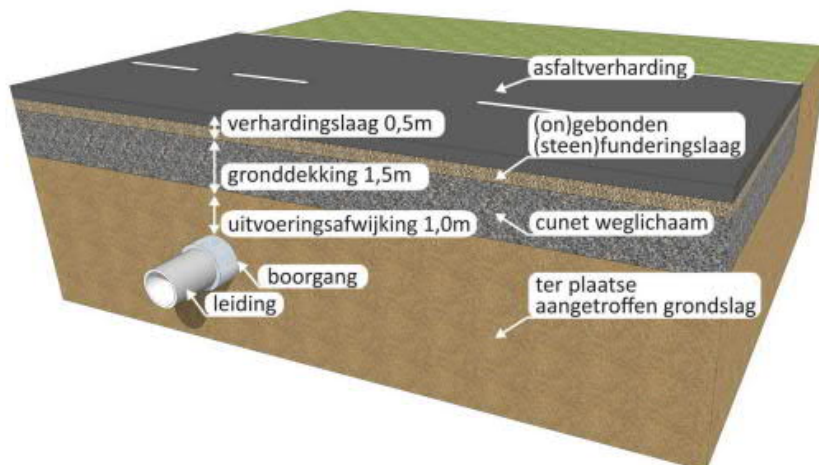
In overleg met Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta wordt Rijksweg A17 en de waterkering schuin gekruist.

In dit geval wordt de ondergrondse 150kV-kabelverbinding vanaf de zuidzijde van de op- en afrit 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.

2.6 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen is conform de VELIN Richtlijn minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden. Dit betreft het volgende:
 - De HDD's kruisen meerdere keren de gasleiding Dn 168,3 mm van DOW Benelux B.V. die is aangelegd in open ontgraving op een diepte van circa NAP 0 m. De HDD's liggen hier op een diepte (hart boring) van respectievelijk NAP -16 m en NAP - 1,5 m. Dit voldoet aan de VELIN richtlijn;
 - Nabij het uittredepunt kruisen de HDD's een middenspanningkabel van Enexis op een hart-op-hart afstand van 6,16 m. De dagmaat tussen de twee leidingen is minimaal 5,25 m. Dit voldoet aan de eisen.
- Voor de kruising met de overige kabels en leidingen waaronder de persleiding van waterschap Brabantse Delta hebben we in het ontwerp een dagmaat van minimaal 5 meter aangehouden.
- 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 (zie figuur 2) (Richtlijn Boortechnieken 2019, paragraaf 2.4.1)
 - Bij zowel de gemeentelijke weg als de op- en afrit van Rijksweg A17 liggen de HDD's dieper dan 20 m t.o.v. het maaiveld. 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 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's 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 boortracé [m]
B49F1149	Boring	-1	100
B49F1087	Boring	-3	40

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- en veenlagen. Gezien het zeer kleine aantal boringen kan niet met zekerheid vastgesteld worden of de relatief slappe zandige klei- en veenlagen over het gehele tracé voorkomen. Hieruit kunnen we concluderen dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om een grondprofiel met grotere nauwkeurigheid vast te stellen. Om veiligheidsmarge in de berekening in te bouwen, zijn de relatief slappe klei- en veenlagen over het gehele boortracé aangehouden. Tabel 2-2 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters en grondlagen 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	1,0	Zand, sterk siltig, kleiig	18	20	0,0	25,0	0,0	15000
1,0	-0,0	Veen, slap	11	11	1,5	15,0	25,0	200
-0,0	-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

2.12 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 waardes zijn terug te vinden in de invoer van de muddrukberoeeningen in bijlage 3.

2.13 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de op- en afrit van Rijksweg A17 en Stepvelden 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 Browline 180 m.

In dit ontwerp is sprake van horizontale bochten van 500 en 506 m en verticale bochten van 220 en 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 tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken.

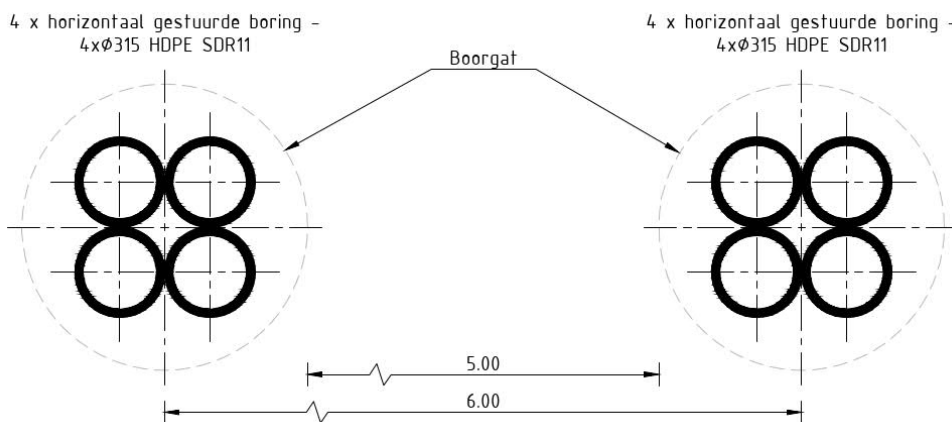
RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

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: circa 802 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -16,0 m;
- intredehoek: 15°;
- uittredehoek: 18° en 22,5°;
- verticale boogstralen: 220 en 250 m;
- horizontale boogstralen: 500 en 506 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 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.

- In dit geval wordt de ondergrondse 150kV-kabelverbinding parallel aan de A17 met één boring onder de op- en afrit 20 door geboord;
- Weliswaar is de boring niet haaks, maar de boring is (naar de omstandigheden van dit geval) zo haaks mogelijk.
- 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 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 aan de westzijde van de A17, ten noorden van het werkterrein ligt een grondlichaam. Het intredepunt is bereikbaar vanaf de Vlietweg en via het bouwland aan de zuidwestzijde van het intredepunt (zie figuur 4). Ten oosten van het werkterrein ligt de DOW-leiding, indien nodig dient de aannemer hier beschermende maatregelen te nemen.



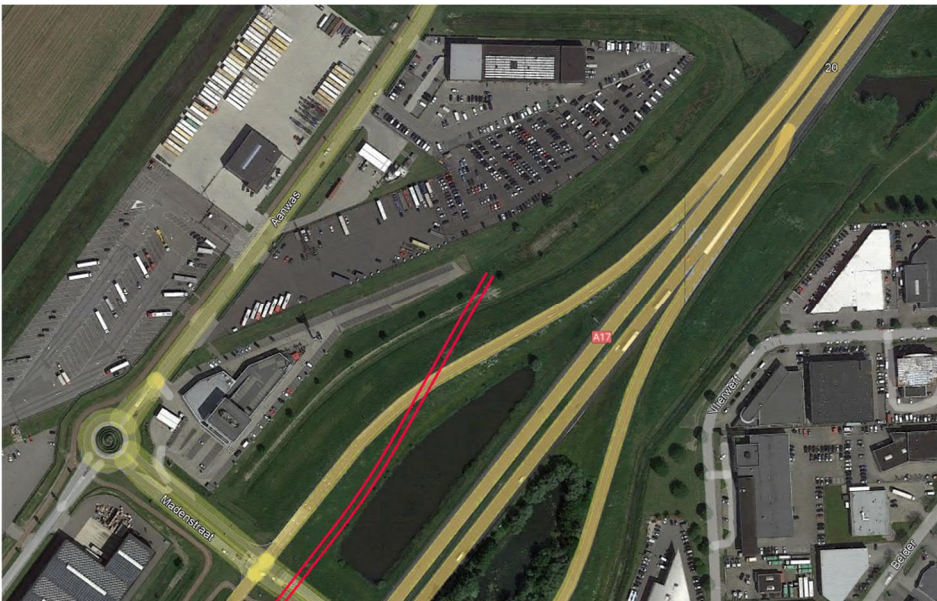
Figuur 4 Intredepunt BW HDD8.2

3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

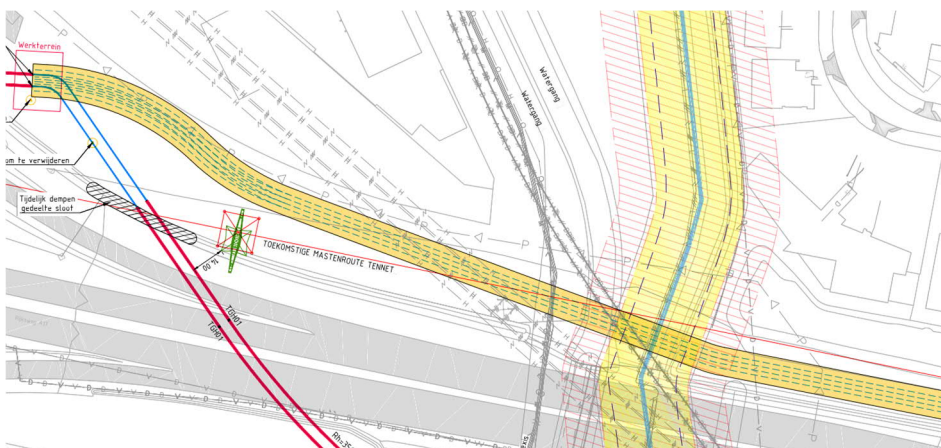
Het uittredepunt ligt in het groengebied aan de rand van het bedrijvenpark ten westen van de A17 (zie figuur 5). Op circa 20 meter voor het uittredepunt kruisen de HDD's een middenspanningskabel van Enexis. Bij de situering van het uittredepunt is rekening gehouden met de inpassing van het intredepunt van BW HDD8.3 en de moflocatie die tussen deze twee HDD's aangebracht gaat

worden. Bij het uittredepunt dienen daarom maximaal 2 bomen gekapt te worden.

De uitlegstrook is voorzien aan de noordzijde van het tracé in de berm van de A17. De uitlegstrook kruist een watergang en regionale waterkering in het beheer van waterschap Brabantse Delta. Met waterschap Brabantse Delta dient afgestemd te worden welke eisen zij hier aan de werkzaamheden stellen (zie figuur 6).



Figuur 5 Uittredepunt BW HDD8.2



Figuur 6 Uitlegstrook (geel) van BW HDD8.2

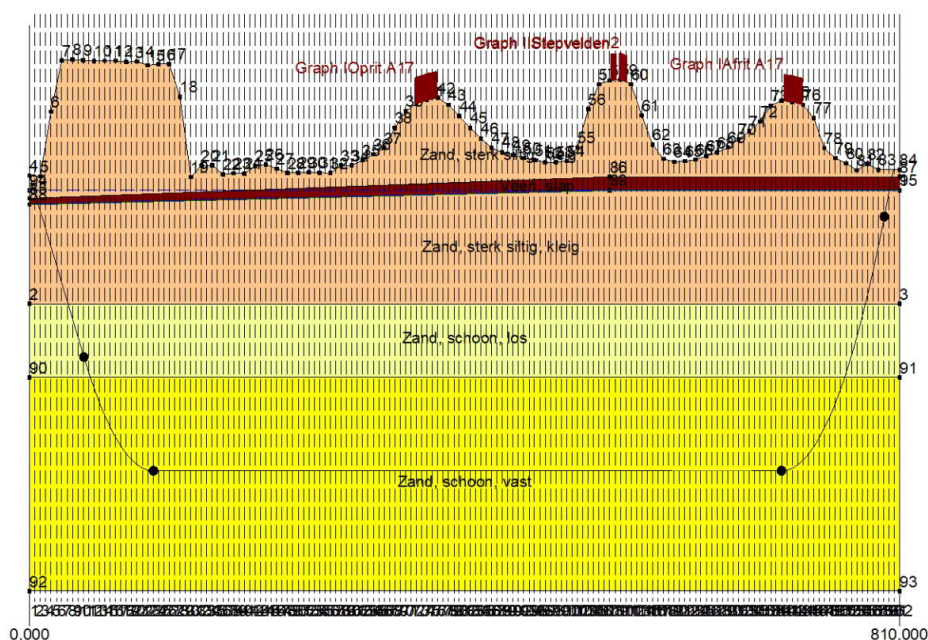
4. Berekeningsresultaten

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 $258 \cdot 1,8 = 464,4$ kN bij volledig met water gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $4,72$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

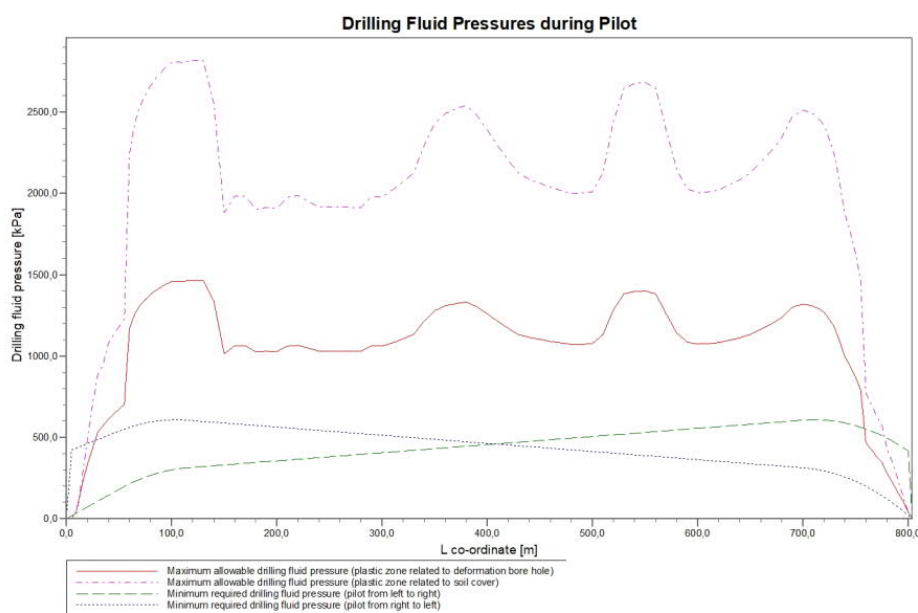
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $3,84$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $7,8$ mm ($2,49\% \times D_0$) 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 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

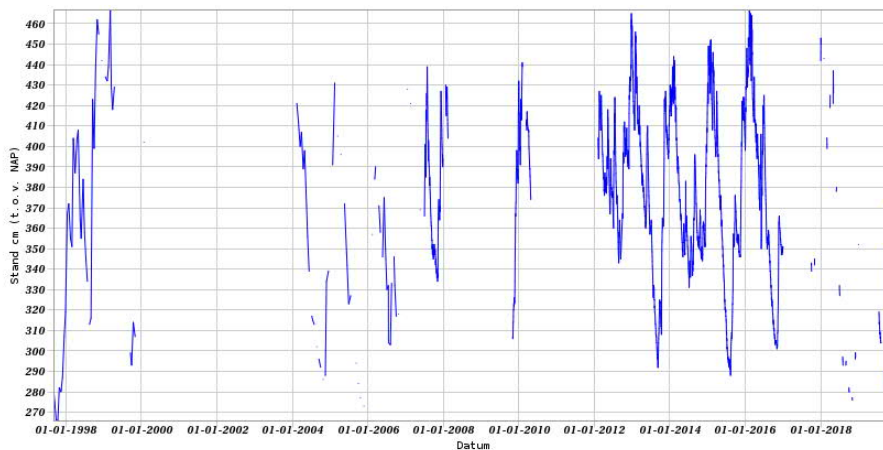
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 210 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

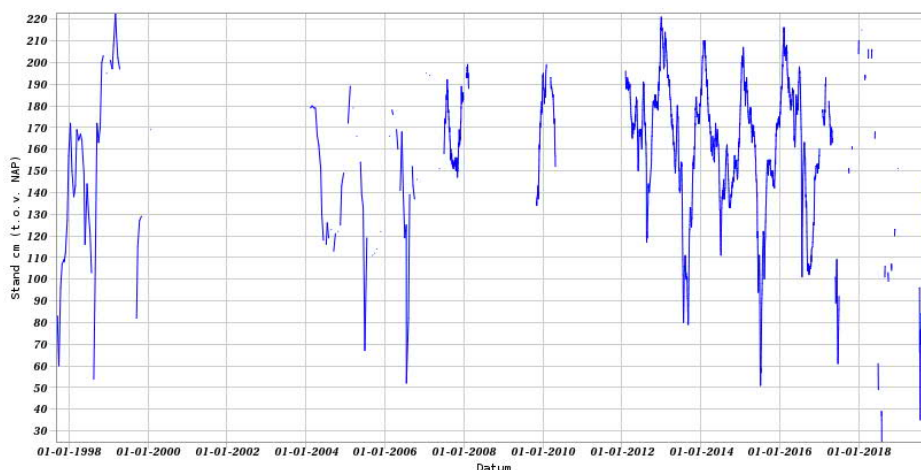
Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende 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 voor dit gebied hoeven hier geen kwelmaatregelen te worden genomen.

5. Risico's en aandachtspunten

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

- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de noordzijde van het tracé in de berm van Rijksweg A17. Daarbij wordt een watergang en regionale waterkering gekruist. Met waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat dient door de aannemer afgestemd te worden welke eisen zij aan de werkzaamheden stellen en toestemming/vergunning aangevraagd te worden;
- Er wordt bij het in- en het uitredepunt gewerkt in de nabijheid van de DOW gasleiding. In overleg met de leidingbeheerder zullen beheersmaatregelen moeten worden afgestemd;
- Kruisingen met kabels en leidingen, waaronder andere HDD's, dienen te worden afgestemd met de betreffende beheerders;
- 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 de 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.

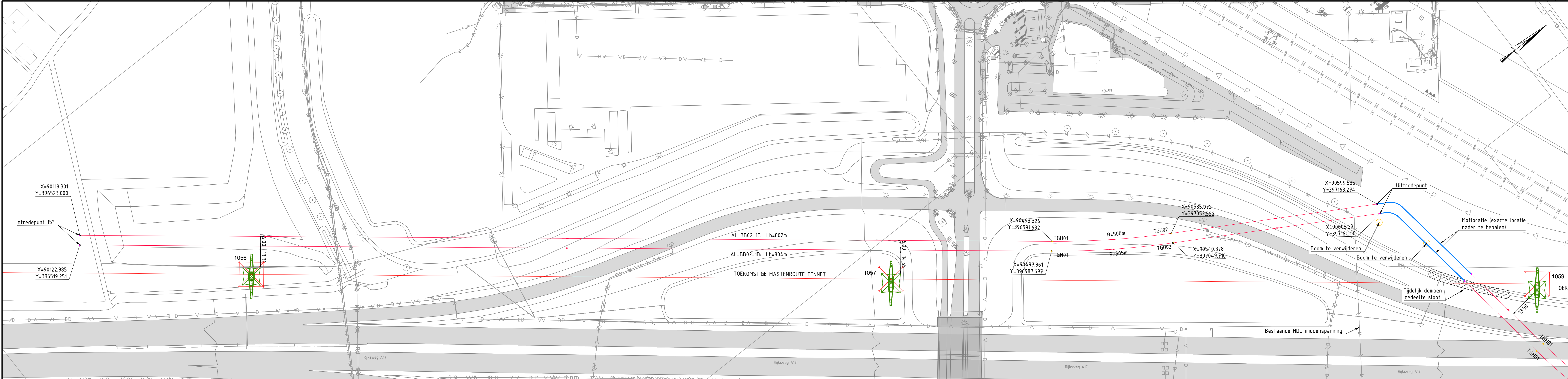
Dit rapport betreft de kruising met op- en afrit 20 van de A17 bij bedrijvenpark Borchwerf te Roosendaal. De kruising (met codering BW HDD8.2) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

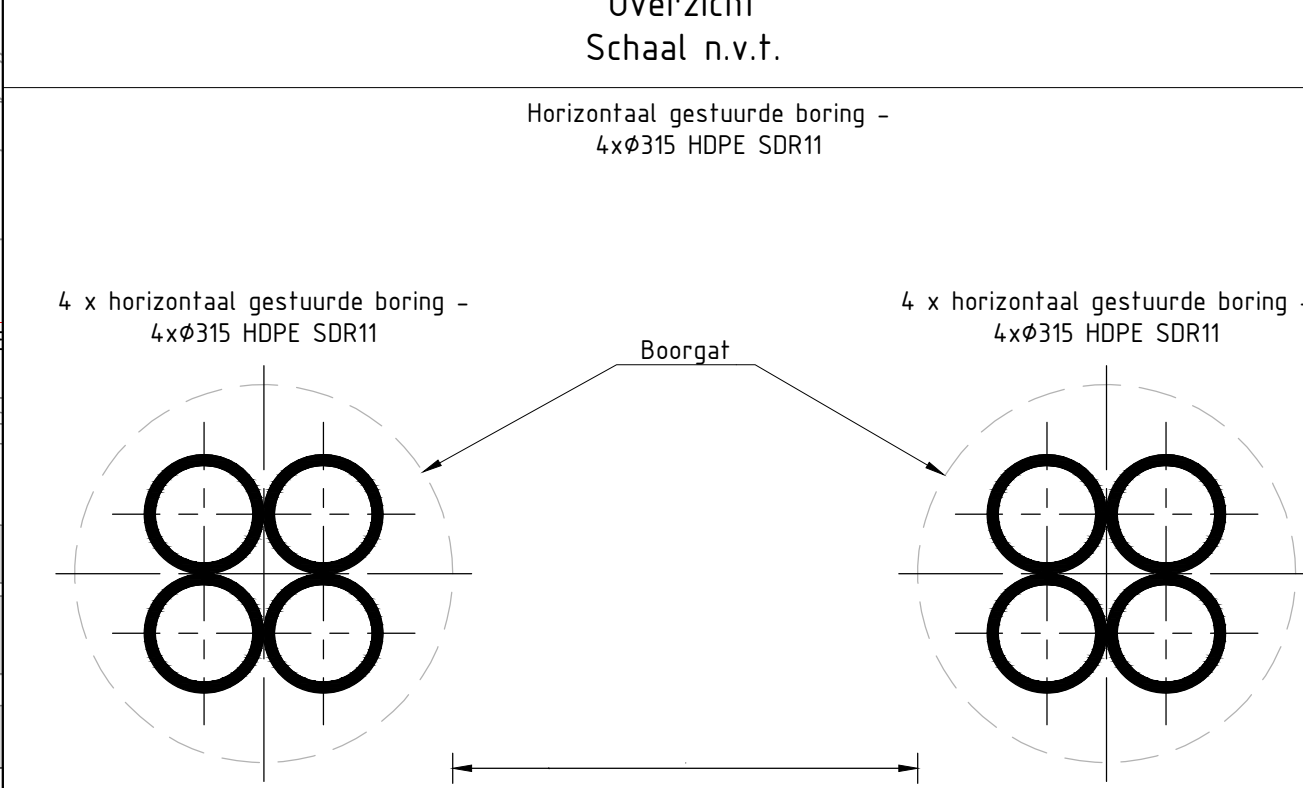
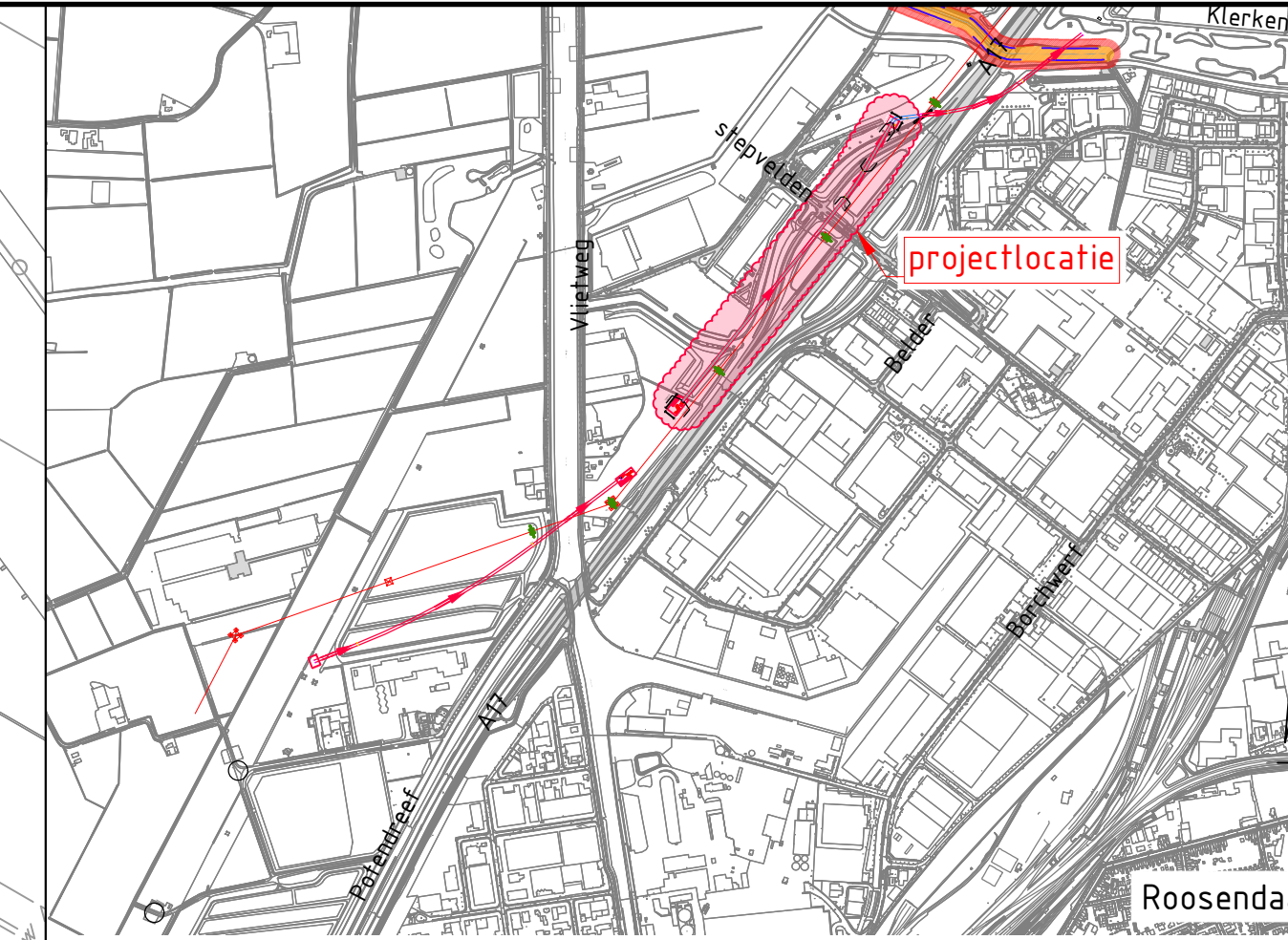
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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



Principe doorsnede Schaal 1:20

Legenda

- Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Open ontgraving
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Locatie sondering met nummer
- Verharding/wegen

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	NU	MJ	JD
A	Eerste uitgave	05-07-2021	NU	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

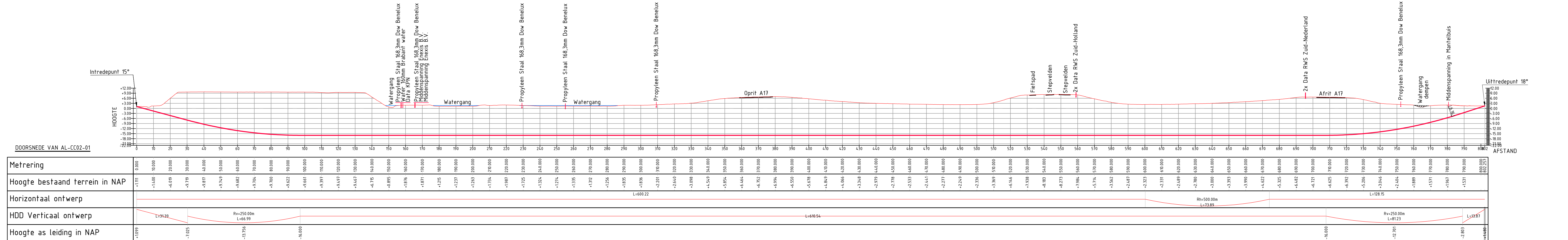
Opdrachtgever: **TenneT TSO B.V.**

Project: **HDD's 150 KV ZWO**

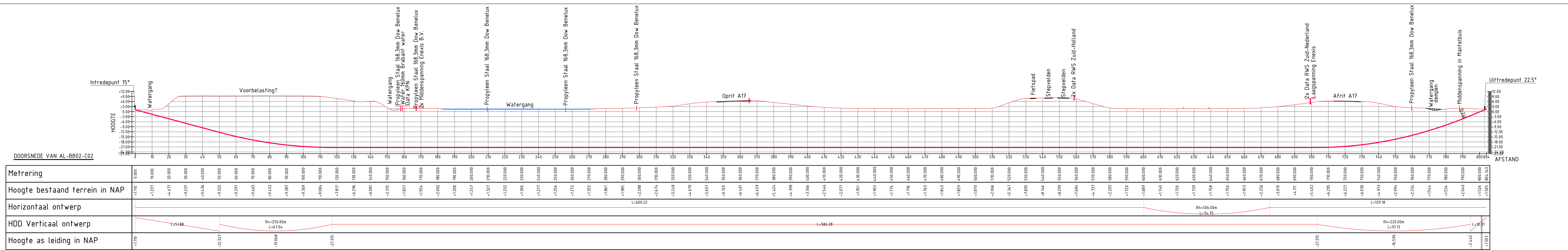
Product: **BW-HDD8.2**

Productie: **Kruising A17 20**

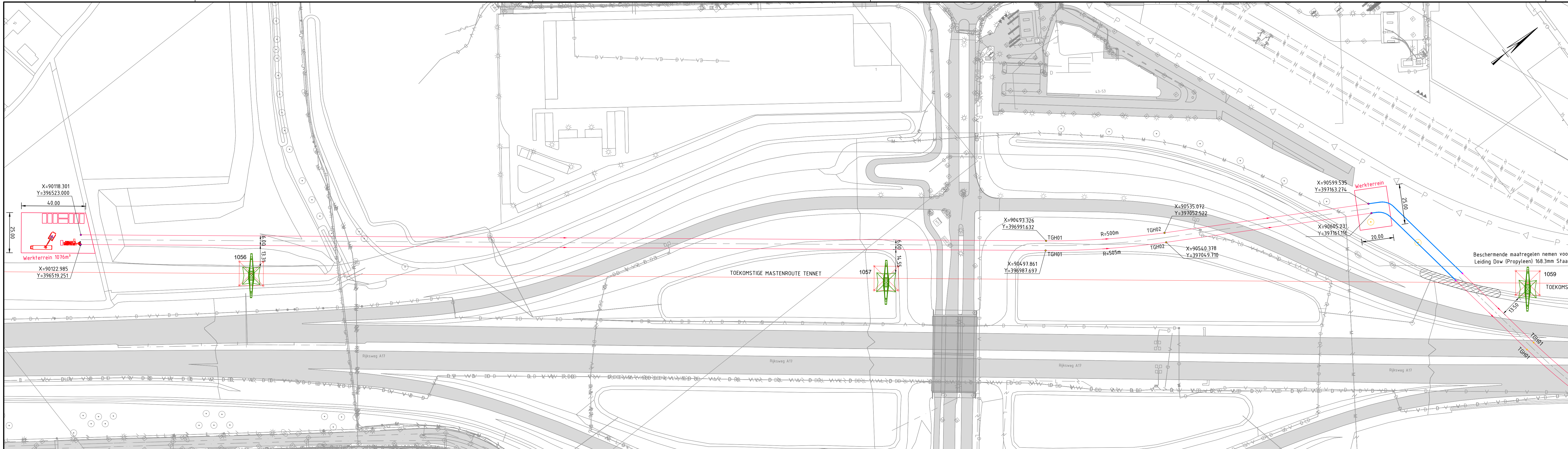
Projectnummer	368722	Tekeningnummer	BW-HDD8.2	Versie	E	Datum van uitgave	11-04-2022	Ontwerpfase	Definitief ontwerp	Contractnummer	
Plaats	Var	Schaal	Zie tekening	Formaat	A1	Kaartje	De Bilt	Get.	BB	Get.	MJ
1	2			Formaat	A1	Kaartje	De Bilt	Get.	BB	Get.	MJ



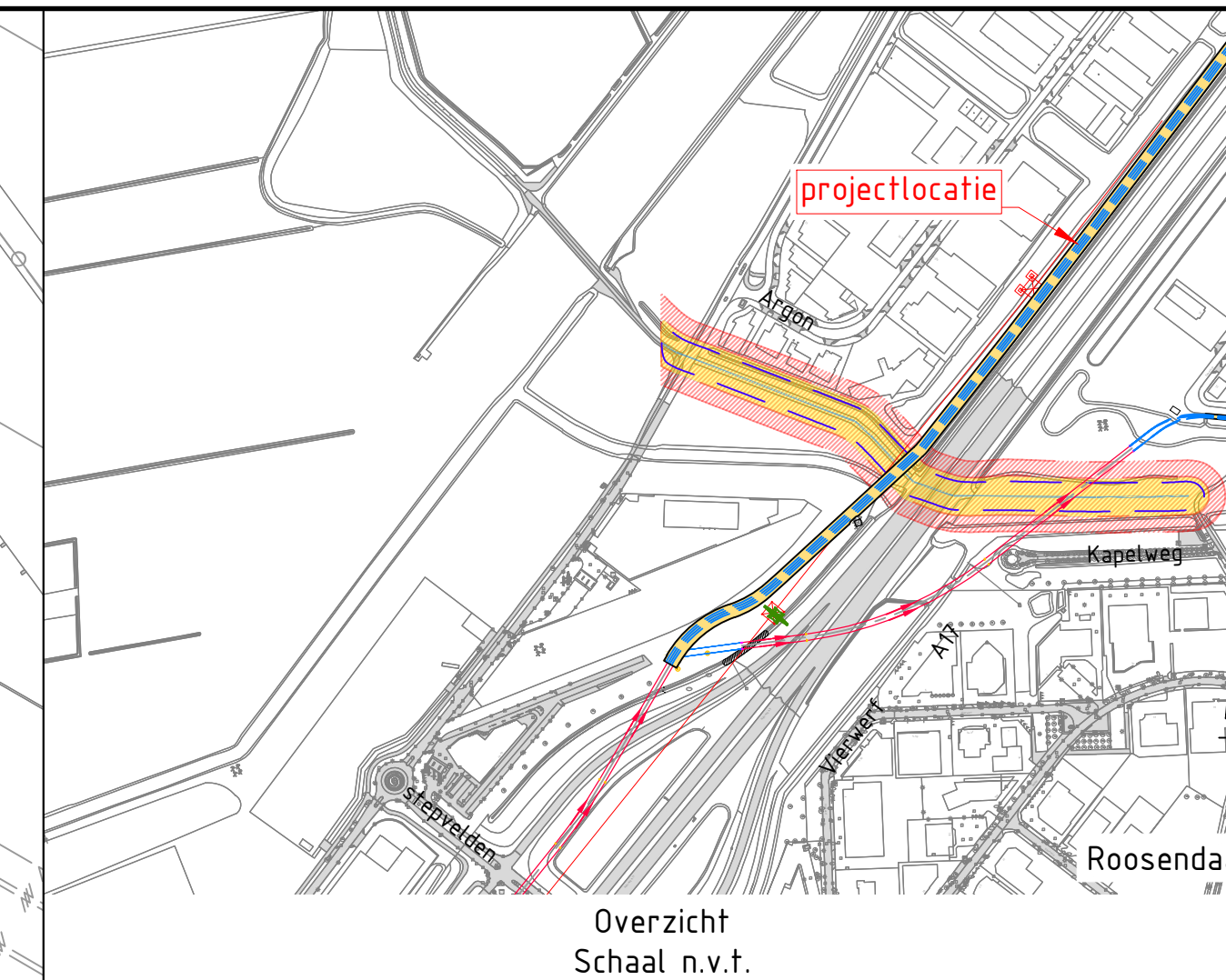
Lengteprofiel van AL-BB02-1C: Schaal 1:1000



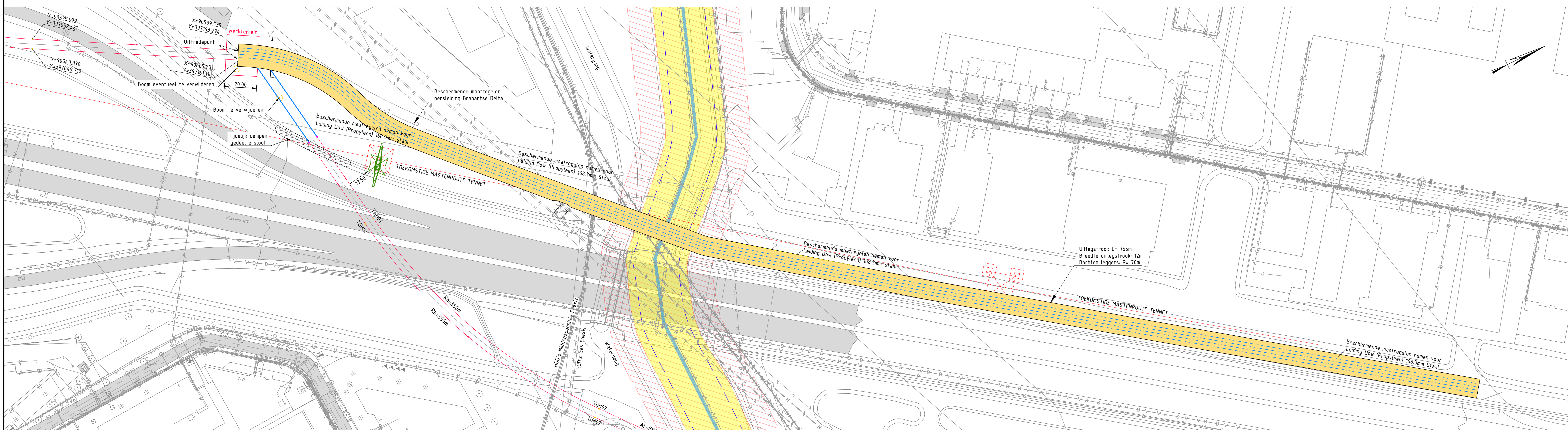
Lengteprofiel van AL-BB02-1D: Schaal 1:1000



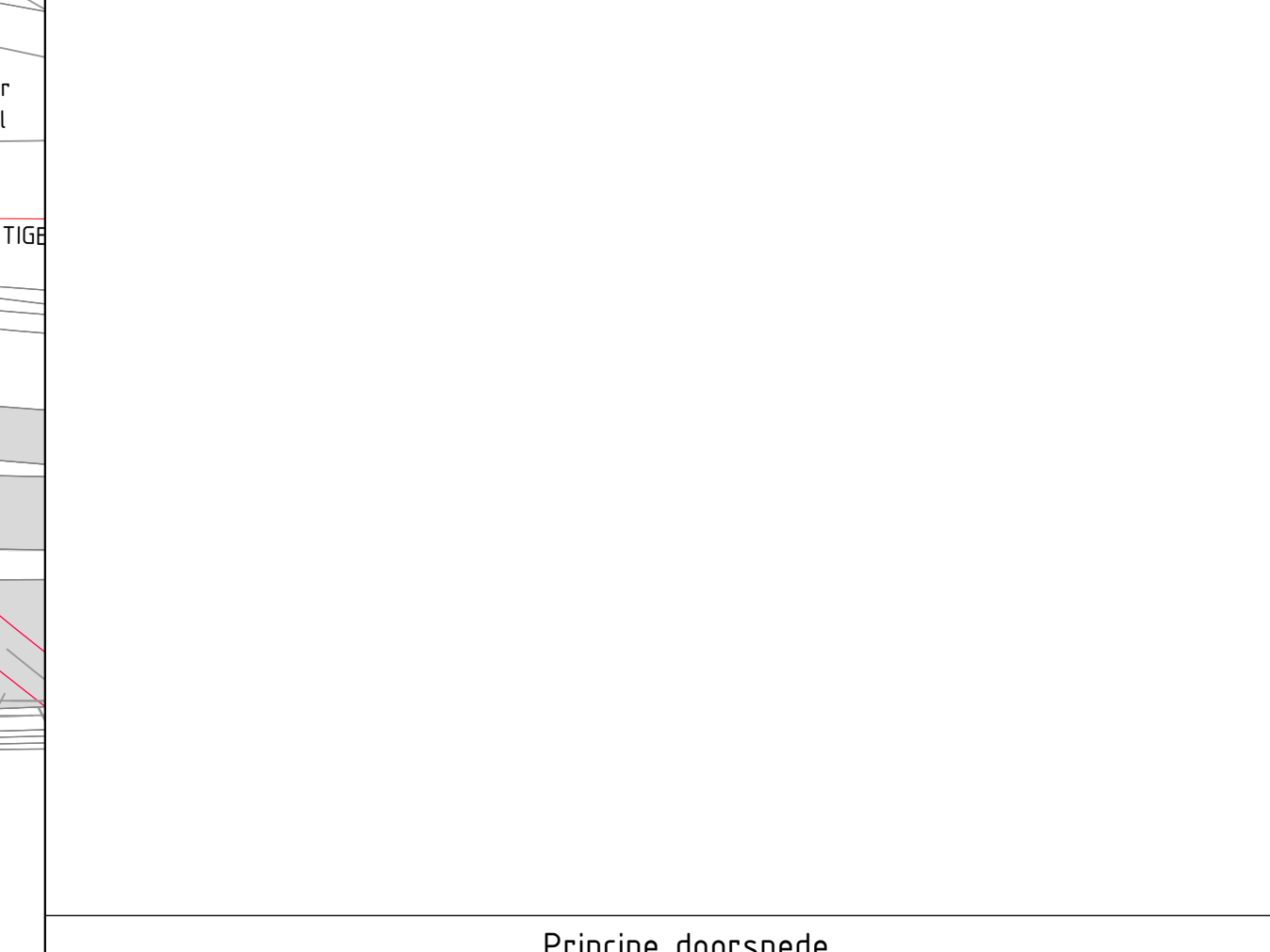
Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal n.v.t.



Uitlegstrook Schaal 1:1000



Principe doorsnede
Schaal 1:10

Legenda

	Kadastrale grens		Verharding (asfalt)
	Leiding gevaarlijke inhoud		Bestaande topo
	Data transport		Bebauing
	Landelijk hoogspanningsnet		16 Locatie sondering met nummer
	Laagspanning		Leidingstrook
	Middenspanning		Verharding/wegen
	Gasleiding hoge druk		Primaire waterkering
	Gasleiding lage druk		Waterkering
	Waterleiding		Waterstaatswerk waterkering
	Drukrietering		Profiel vrije ruimte
	Rolering vrijverval		
	Horizontaal gestuurde boring (HDD)		
	Open ontgraving		
	PVC Open ontgraving		
	Uitlegstrook		

Vastgestelde legger:

	Primaire waterkering
	Waterkering
	Waterstaatswerk waterkering
	Profiel vrije ruimte

Vergunningstekening

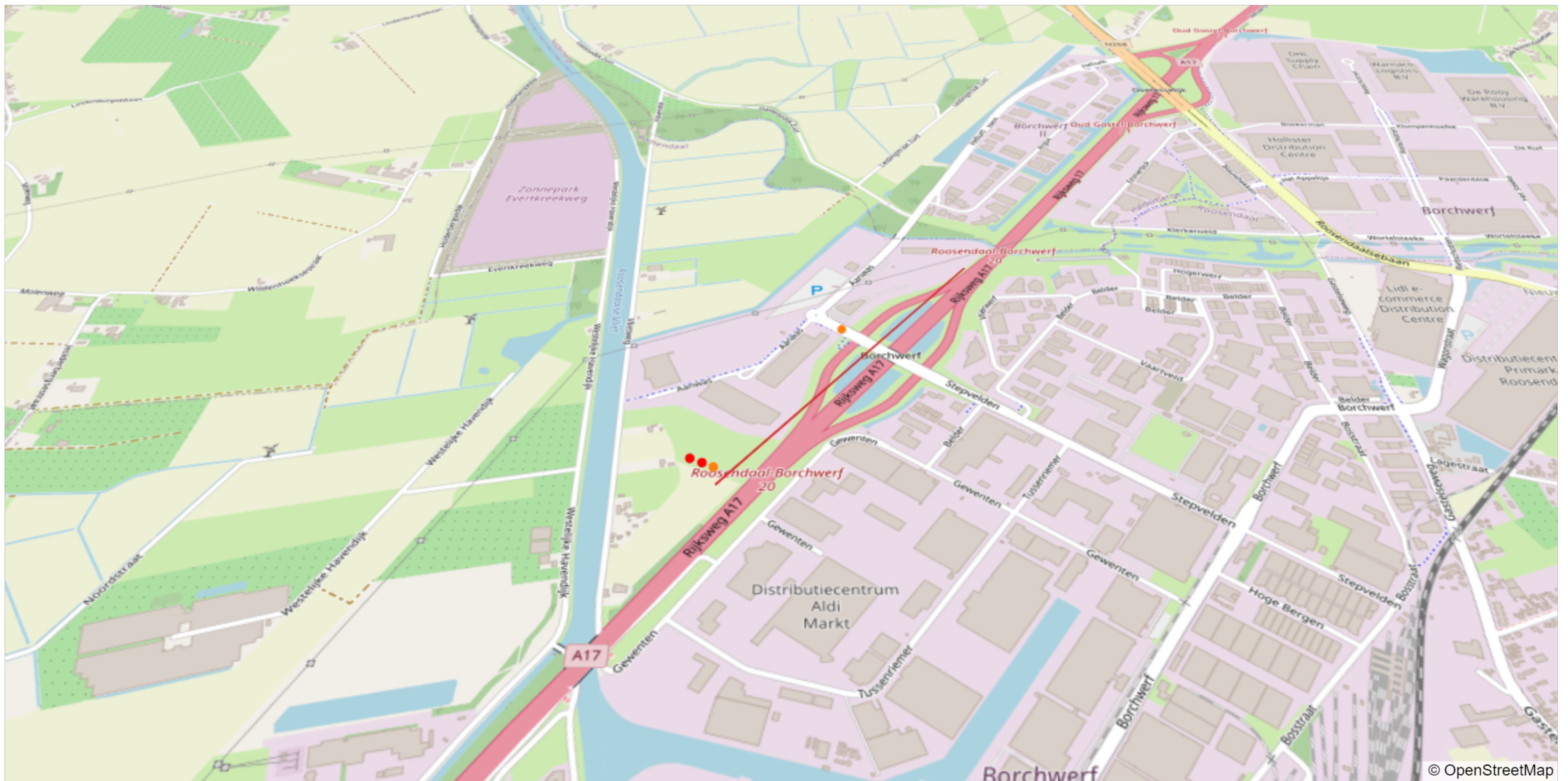
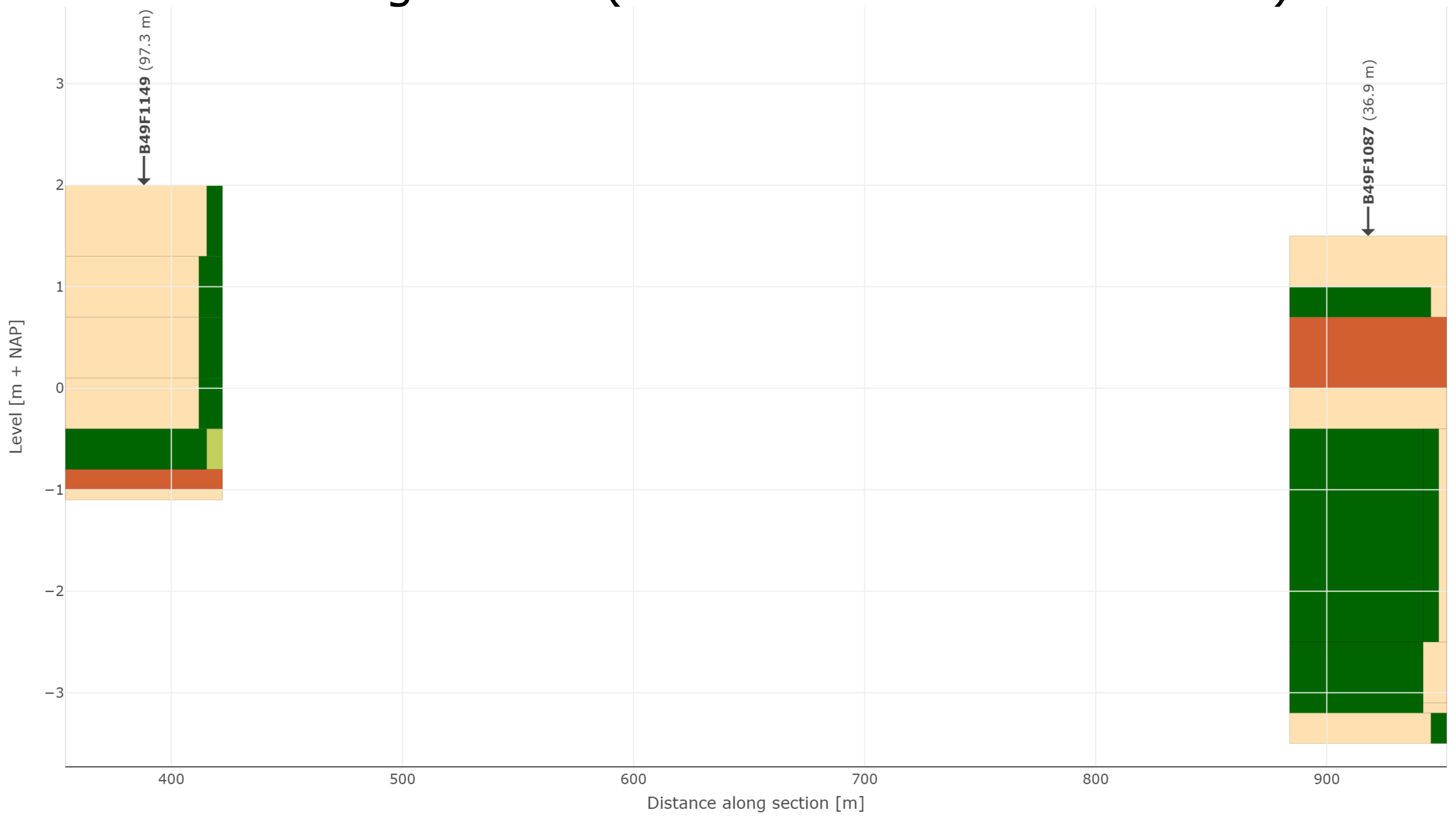
E	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
C	Trace versie 8	11-08-2021	BB	MJ	JD
B	Locatie HDD's	15-07-2021	NJ	MJ	JD
A	Eerste uitgave	05-07-2021	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Get.	Goedg.

TenneT TSO B.V.
HDD's 150 kV ZWO
BW-HDD8.2
Kruising Afrit 20 Uitlegstrook

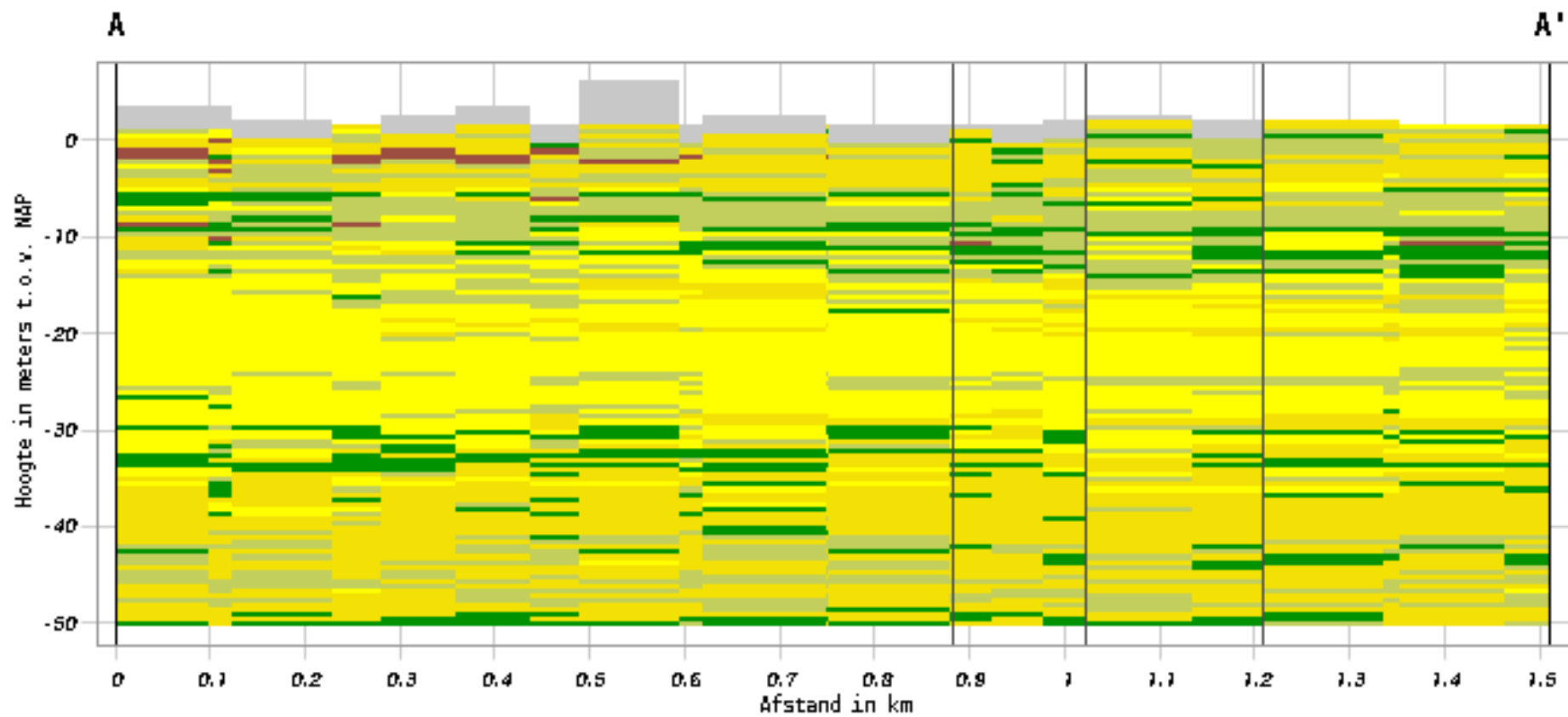
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	BW-HDD8.2	E	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Rijl	Van	Schaal	Formaat	Kaartje	Get.
2	2	Zie tekening	A1	De Bilt	BB MJ JD

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

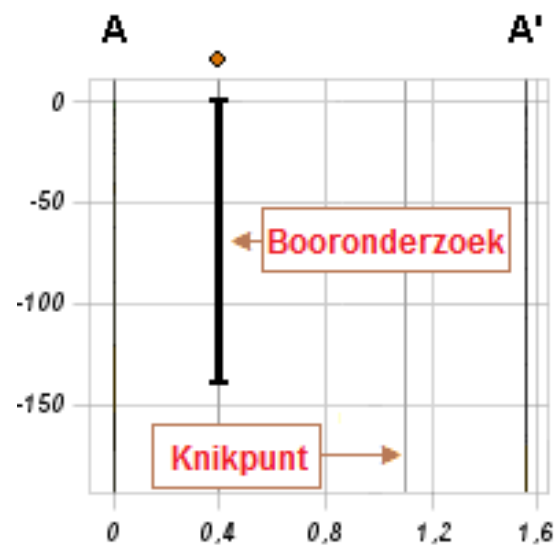
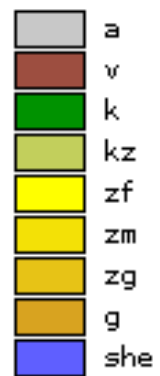
Boringeren BRO (tot 100 m afstand van trace)



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: 14:49:59
Report with version: 20.1.2.31161
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: BW HDD8.2 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	11
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	21
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	24
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	24
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	25
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	25
5	Soil Mechanical Data	26
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	26
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	31
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	36
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	42
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	47
6	Data for Stress Analysis	56
6.1	General Data	56
6.2	Buoyancy Control	56
6.3	Calculation Pulling Force	56
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	58
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	58
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	58
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	58
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	59
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	59
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	59
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	59
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	60
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	60
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	62
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	62
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	62
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	62
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	63
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	63
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	63
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	63
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	64
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	64
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	66
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	66
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	66
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	66
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	67

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	67
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	67
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	67
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	68
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	68
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	70
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	70
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	70
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	70
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	71
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	71
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	71
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	71
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	72
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	72

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 -	1,099	1,041	5,894	9,713	9,793
5 - L -	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000
5 - Z -	9,737	9,672	9,705	9,689	9,606
5 - L -	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000
5 - Z -	9,633	9,351	9,434	9,449	7,005
5 - L -	150,000	160,000	170,000	180,000	190,000
5 - Z -	0,985	1,860	1,867	1,194	1,269
5 - L -	200,000	210,000	220,000	230,000	240,000
5 - Z -	1,247	1,824	1,943	1,614	1,302
5 - L -	250,000	260,000	270,000	280,000	290,000
5 - Z -	1,312	1,345	1,307	1,282	1,856
5 - L -	300,000	310,000	320,000	330,000	340,000
5 - Z -	1,871	2,232	2,683	3,158	4,681
5 - L -	350,000	360,000	370,000	380,000	390,000
5 - Z -	5,916	6,466	6,742	6,932	6,389
5 - L -	400,000	410,000	420,000	430,000	440,000
5 - Z -	5,547	4,675	3,876	3,171	2,847
5 - L -	450,000	460,000	470,000	480,000	490,000
5 - Z -	2,641	2,414	2,256	2,087	2,102
5 - L -	500,000	510,000	520,000	530,000	540,000
5 - Z -	2,184	3,195	6,067	7,933	8,218
5 - L -	550,000	560,000	570,000	580,000	590,000
5 - Z -	8,278	7,941	5,602	3,413	2,346
5 - L -	600,000	610,000	620,000	630,000	640,000
5 - Z -	2,135	2,181	2,291	2,571	2,830
5 - L -	650,000	660,000	670,000	680,000	690,000
5 - Z -	3,202	3,806	4,428	5,144	6,346
5 - L -	700,000	710,000	720,000	730,000	740,000
5 - Z -	6,692	6,606	6,384	5,401	3,135
5 - L -	750,000	760,000	770,000	780,000	790,000
5 - Z -	2,413	2,021	1,510	1,968	1,533
5 - L -	810,000				
5 - Z -	1,533				
4 - L -	0,000	540,000	810,000		
4 - Z -	-0,600	1,000	1,000		
3 - L -	0,000	540,000	810,000		
3 - Z -	-1,050	0,000	0,000		
2 - L -	0,000	810,000			
2 - Z -	-8,500	-8,500			
1 - L -	0,000	810,000			
1 - Z -	-14,000	-14,000			
0 - L -	0,000	810,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	810,000			
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

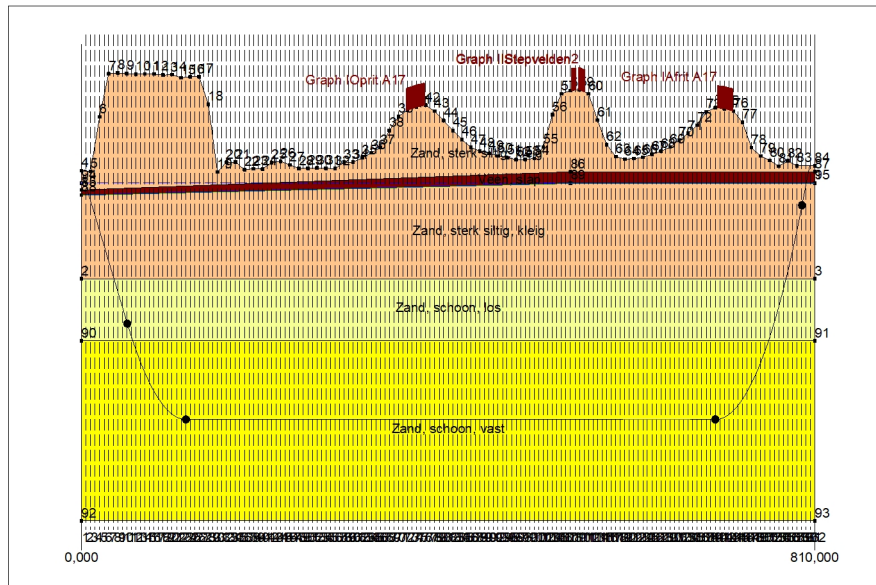
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	25,00	0,00	0,00
Veen, slap	11,00	11,00	1,50	15,00	25,00	25,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	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	Clay	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	5,000	-0,241
2	10,000	-1,580
3	15,000	-2,920
4	20,000	-4,260
5	25,000	-5,600
6	30,000	-6,939
7	35,000	-8,279
8	40,000	-9,619
9	45,000	-10,959
10	50,000	-12,298
11	55,000	-13,597
12	60,000	-14,787
13	65,000	-15,870
14	70,000	-16,845
15	75,000	-17,716
16	80,000	-18,483
17	85,000	-19,146
18	90,000	-19,708
19	95,000	-20,167
20	100,000	-20,526
21	105,000	-20,784
22	110,000	-20,942
23	115,000	-21,000
24	120,000	-21,000
25	125,000	-21,000
26	130,000	-21,000
27	135,000	-21,000
28	140,000	-21,000
29	145,000	-21,000
30	150,000	-21,000
31	155,000	-21,000
32	160,000	-21,000
33	165,000	-21,000
34	170,000	-21,000
35	175,000	-21,000
36	180,000	-21,000
37	185,000	-21,000
38	190,000	-21,000
39	195,000	-21,000
40	200,000	-21,000
41	205,000	-21,000
42	210,000	-21,000
43	215,000	-21,000
44	220,000	-21,000
45	225,000	-21,000
46	230,000	-21,000
47	235,000	-21,000
48	240,000	-21,000
49	245,000	-21,000
50	250,000	-21,000
51	255,000	-21,000
52	260,000	-21,000
53	265,000	-21,000
54	270,000	-21,000
55	275,000	-21,000
56	280,000	-21,000
57	285,000	-21,000
58	290,000	-21,000
59	295,000	-21,000
60	300,000	-21,000
61	305,000	-21,000
62	310,000	-21,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,000	-21,000
64	320,000	-21,000
65	325,000	-21,000
66	330,000	-21,000
67	335,000	-21,000
68	340,000	-21,000
69	345,000	-21,000
70	350,000	-21,000
71	355,000	-21,000
72	360,000	-21,000
73	365,000	-21,000
74	370,000	-21,000
75	375,000	-21,000
76	380,000	-21,000
77	385,000	-21,000
78	390,000	-21,000
79	395,000	-21,000
80	400,000	-21,000
81	405,000	-21,000
82	410,000	-21,000
83	415,000	-21,000
84	420,000	-21,000
85	425,000	-21,000
86	430,000	-21,000
87	435,000	-21,000
88	440,000	-21,000
89	445,000	-21,000
90	450,000	-21,000
91	455,000	-21,000
92	460,000	-21,000
93	465,000	-21,000
94	470,000	-21,000
95	475,000	-21,000
96	480,000	-21,000
97	485,000	-21,000
98	490,000	-21,000
99	495,000	-21,000
100	500,000	-21,000
101	505,000	-21,000
102	510,000	-21,000
103	515,000	-21,000
104	520,000	-21,000
105	525,000	-21,000
106	530,000	-21,000
107	535,000	-21,000
108	540,000	-21,000
109	545,000	-21,000
110	550,000	-21,000
111	555,000	-21,000
112	560,000	-21,000
113	565,000	-21,000
114	570,000	-21,000
115	575,000	-21,000
116	580,000	-21,000
117	585,000	-21,000
118	590,000	-21,000
119	595,000	-21,000
120	600,000	-21,000
121	605,000	-21,000
122	610,000	-21,000
123	615,000	-21,000
124	620,000	-21,000
125	625,000	-21,000
126	630,000	-21,000
127	635,000	-21,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
128	640,000	-21,000
129	645,000	-21,000
130	650,000	-21,000
131	655,000	-21,000
132	660,000	-21,000
133	665,000	-21,000
134	670,000	-21,000
135	675,000	-21,000
136	680,000	-21,000
137	685,000	-21,000
138	690,000	-21,000
139	695,000	-21,000
140	700,000	-21,000
141	705,000	-20,950
142	710,000	-20,800
143	715,000	-20,550
144	720,000	-20,199
145	725,000	-19,748
146	730,000	-19,195
147	735,000	-18,539
148	740,000	-17,781
149	745,000	-16,918
150	750,000	-15,951
151	755,000	-14,877
152	760,000	-13,696
153	765,000	-12,405
154	770,000	-11,003
155	775,000	-9,488
156	780,000	-7,858
157	785,000	-6,110
158	790,000	-4,242
159	795,000	-2,251
160	800,000	-0,181
161	805,000	n.a.
162	810,000	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

Oprit A17		
L start	359,00	[m]
L end	379,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Stepvelden		
L start	541,00	[m]
L end	546,00	[m]
Load model (graph type)	Graph II	
Stepvelden2		
L start	549,00	[m]
L end	556,00	[m]
Load model (graph type)	Graph II	
Afrif A17		
L start	702,00	[m]
L end	719,00	[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	1,099	[m]
X co-ordinate right point	802,480	[m]
Y co-ordinate right point	24,380	[m]
Z co-ordinate right point	1,533	[m]
Angle left	15,0000	[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)	-21,000	[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	600,300	0,000	674,700	5,510	506,000	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	0	2	18	422
2	56	56	36	435
3	210	250	54	448
4	332	489	72	461
5	434	702	90	474
6	535	892	108	487
7	572	946	126	499
8	613	1081	144	512
9	643	1132	162	525
10	673	1179	180	538
11	701	1224	197	550
12	1170	2244	214	561
13	1260	2436	229	571
14	1310	2533	242	580
15	1347	2605	255	587
16	1379	2663	266	594
17	1403	2708	277	599
18	1424	2744	285	603
19	1442	2778	293	605
20	1457	2805	300	607
21	1459	2808	305	608
22	1458	2804	310	607
23	1463	2812	313	605
24	1464	2816	315	603
25	1465	2816	318	600
26	1465	2817	320	598
27	1402	2687	323	595
28	1339	2555	325	593
29	1180	2224	328	590
30	1014	1881	330	588
31	1039	1932	333	585
32	1063	1982	335	583
33	1063	1982	338	580
34	1063	1982	340	578
35	1044	1943	343	575
36	1025	1904	345	573
37	1027	1908	348	570
38	1029	1912	350	568
39	1028	1910	353	565
40	1028	1908	355	563
41	1044	1942	358	560
42	1060	1975	360	558
43	1063	1982	363	555
44	1066	1988	365	553
45	1057	1969	368	550
46	1048	1950	370	548
47	1039	1932	373	545
48	1030	1914	375	543
49	1030	1914	378	540
50	1031	1915	380	538
51	1032	1917	383	535
52	1032	1918	385	533
53	1031	1916	388	530
54	1030	1914	390	528
55	1029	1912	393	525
56	1029	1911	395	523
57	1045	1944	398	520

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	1061	1977	400	518
59	1061	1978	403	515
60	1061	1978	405	513
61	1071	1999	408	510
62	1081	2020	410	508
63	1093	2045	413	505
64	1106	2071	415	503
65	1119	2098	418	500
66	1132	2124	420	498
67	1173	2210	423	495
68	1214	2295	425	493
69	1246	2363	428	490
70	1279	2430	430	488
71	1293	2460	433	485
72	1308	2490	435	483
73	1315	2505	438	480
74	1322	2520	440	478
75	1327	2530	443	475
76	1332	2540	445	473
77	1318	2511	448	470
78	1303	2481	450	468
79	1281	2435	453	465
80	1259	2389	455	463
81	1236	2341	458	460
82	1213	2292	460	458
83	1191	2248	463	455
84	1170	2203	465	453
85	1150	2164	468	450
86	1131	2124	470	448
87	1122	2105	473	445
88	1114	2087	475	443
89	1108	2075	478	440
90	1102	2063	480	438
91	1096	2050	483	435
92	1090	2037	485	433
93	1085	2028	488	430
94	1081	2019	490	428
95	1076	2009	493	425
96	1071	1999	495	423
97	1072	2000	498	420
98	1072	2001	500	418
99	1074	2005	503	415
100	1077	2010	505	413
101	1104	2068	508	410
102	1132	2125	510	408
103	1209	2285	513	405
104	1285	2443	515	403
105	1334	2545	518	400
106	1382	2645	520	398
107	1390	2660	523	395
108	1397	2675	525	393
109	1398	2679	528	390
110	1400	2682	530	388
111	1391	2664	533	385
112	1383	2646	535	383
113	1322	2520	538	380
114	1260	2392	540	378
115	1202	2271	543	375
116	1143	2149	545	373
117	1114	2088	548	370
118	1085	2028	550	368
119	1079	2016	553	365
120	1073	2003	555	363
121	1075	2006	558	360

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
122	1076	2009	560	358
123	1079	2015	563	355
124	1082	2021	565	353
125	1090	2037	568	350
126	1097	2053	570	348
127	1104	2068	573	345
128	1112	2083	575	343
129	1122	2104	578	340
130	1132	2125	580	338
131	1148	2159	583	335
132	1165	2193	585	333
133	1181	2228	588	330
134	1198	2262	590	328
135	1217	2302	593	325
136	1236	2342	595	323
137	1268	2408	598	320
138	1300	2473	600	318
139	1309	2492	603	315
140	1318	2511	605	313
141	1314	2503	607	310
142	1305	2487	608	305
143	1290	2457	607	300
144	1270	2420	606	294
145	1226	2333	603	286
146	1178	2238	599	277
147	1090	2062	594	267
148	996	1874	588	256
149	938	1762	581	243
150	871	1631	572	230
151	790	1466	562	215
152	466	769	551	198
153	426	704	539	181
154	382	632	526	162
155	348	577	511	142
156	279	432	495	121
157	224	349	477	98
158	166	250	458	74
159	111	140	438	48
160	41	41	417	22

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	2	16	18
2	51	51	33	36
3	201	201	49	54
4	332	409	65	72
5	434	614	82	90
6	535	821	98	108
7	572	917	114	126
8	613	1075	131	144
9	643	1130	147	162
10	673	1178	164	180
11	701	1222	179	197
12	1114	2111	194	214
13	1238	2381	207	229
14	1296	2498	220	242
15	1337	2578	230	255
16	1370	2642	240	266
17	1396	2689	249	277
18	1417	2728	256	285
19	1436	2763	262	293
20	1451	2791	267	300
21	1454	2794	271	305

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
22	1453	2791	274	310
23	1458	2799	276	313
24	1460	2803	276	315
25	1460	2804	277	318
26	1460	2804	278	320
27	1398	2675	279	323
28	1334	2544	280	325
29	1176	2214	281	328
30	1011	1872	282	330
31	1035	1923	283	333
32	1059	1973	284	335
33	1059	1973	285	338
34	1059	1973	286	340
35	1041	1934	286	343
36	1022	1895	287	345
37	1024	1899	288	348
38	1026	1903	289	350
39	1025	1901	290	353
40	1024	1900	291	355
41	1040	1933	292	358
42	1056	1966	293	360
43	1059	1972	294	363
44	1062	1979	295	365
45	1053	1960	296	365
46	1044	1941	297	364
47	1035	1923	297	363
48	1027	1905	298	363
49	1027	1906	299	362
50	1027	1906	300	361
51	1028	1908	301	360
52	1029	1910	302	359
53	1028	1907	303	358
54	1027	1905	304	357
55	1026	1903	305	356
56	1025	1902	306	355
57	1041	1935	307	354
58	1057	1968	307	353
59	1057	1968	308	353
60	1058	1969	309	352
61	1068	1990	310	351
62	1077	2010	311	350
63	1090	2036	312	349
64	1102	2061	313	348
65	1115	2088	314	347
66	1128	2115	315	346
67	1169	2200	316	345
68	1209	2284	317	344
69	1242	2352	317	343
70	1275	2419	318	342
71	1289	2449	319	342
72	1303	2479	320	341
73	1310	2494	321	340
74	1317	2508	322	339
75	1322	2518	323	338
76	1327	2529	324	337
77	1313	2499	325	336
78	1299	2470	326	335
79	1277	2424	327	334
80	1255	2378	328	333
81	1232	2330	328	332
82	1208	2282	329	332
83	1187	2238	330	331
84	1166	2193	331	330
85	1147	2154	332	329

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
86	1127	2114	333	328
87	1119	2096	334	327
88	1110	2077	335	326
89	1104	2065	336	325
90	1098	2054	337	324
91	1092	2041	338	323
92	1086	2028	338	322
93	1081	2019	339	322
94	1077	2009	340	321
95	1072	2000	341	320
96	1068	1990	342	319
97	1068	1991	343	318
98	1068	1991	344	317
99	1071	1996	345	316
100	1073	2001	346	315
101	1100	2058	347	314
102	1128	2115	348	313
103	1205	2275	348	312
104	1281	2432	349	312
105	1329	2533	350	311
106	1377	2633	351	310
107	1385	2648	352	309
108	1392	2663	353	308
109	1394	2666	354	307
110	1395	2669	355	306
111	1386	2651	356	305
112	1378	2633	357	304
113	1317	2508	358	303
114	1256	2381	359	302
115	1198	2261	359	301
116	1139	2139	360	301
117	1110	2079	361	300
118	1081	2018	362	299
119	1076	2006	363	298
120	1070	1994	363	297
121	1071	1997	360	296
122	1072	1999	358	295
123	1075	2006	355	294
124	1078	2012	353	293
125	1086	2028	350	292
126	1094	2044	348	291
127	1101	2058	345	291
128	1108	2073	343	290
129	1118	2094	340	289
130	1128	2115	338	288
131	1144	2149	335	287
132	1161	2183	333	286
133	1177	2217	330	285
134	1194	2252	328	284
135	1213	2291	325	283
136	1232	2331	323	282
137	1264	2397	320	281
138	1295	2462	318	281
139	1304	2481	315	280
140	1313	2499	313	279
141	1309	2491	310	277
142	1301	2475	305	275
143	1285	2445	300	271
144	1265	2407	294	266
145	1221	2319	286	260
146	1172	2223	277	252
147	1083	2046	267	244
148	988	1855	256	234
149	928	1738	243	224

Vertical no.	Drilling fluid pressures pre-ream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
150	857	1580	230	211
151	758	1370	215	198
152	465	767	198	184
153	425	701	181	168
154	380	627	162	151
155	344	565	142	132
156	279	429	121	113
157	224	329	98	92
158	166	220	74	69
159	111	115	48	45
160	41	41	22	21

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	2	16	16
2	59	59	32	33
3	147	147	49	49
4	303	303	65	65
5	434	469	81	82
6	535	651	97	98
7	572	753	114	114
8	612	915	130	131
9	643	1029	146	147
10	673	1117	162	164
11	701	1192	178	179
12	962	1571	192	194
13	1181	1904	206	207
14	1260	2069	218	220
15	1310	2191	229	230
16	1349	2290	238	240
17	1378	2368	247	249
18	1401	2431	254	256
19	1422	2486	260	262
20	1437	2528	265	267
21	1441	2543	269	271
22	1440	2546	271	274
23	1445	2557	273	276
24	1447	2561	273	276
25	1447	2562	274	277
26	1447	2563	275	278
27	1385	2437	276	279
28	1323	2310	277	280
29	1166	1993	277	281
30	1002	1668	278	282
31	1026	1716	279	283
32	1050	1764	280	284
33	1050	1764	281	285
34	1050	1764	281	286
35	1032	1728	282	286
36	1013	1691	283	287
37	1015	1695	284	288
38	1017	1699	285	289
39	1016	1698	285	290
40	1015	1697	286	291
41	1031	1728	287	292
42	1047	1759	288	293
43	1050	1766	288	294
44	1053	1773	289	295
45	1044	1755	290	296
46	1035	1737	291	297
47	1027	1720	292	297
48	1018	1703	292	298
49	1018	1704	293	299

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
50	1018	1705	294	300
51	1019	1707	295	301
52	1020	1709	296	302
53	1019	1707	296	303
54	1018	1705	297	304
55	1017	1703	298	305
56	1016	1702	299	306
57	1032	1734	300	307
58	1048	1765	300	307
59	1048	1766	301	308
60	1048	1767	302	309
61	1058	1787	303	310
62	1068	1806	303	311
63	1080	1831	304	312
64	1092	1855	305	313
65	1105	1881	306	314
66	1118	1907	307	315
67	1159	1989	307	316
68	1199	2070	308	317
69	1231	2136	309	317
70	1263	2202	310	318
71	1278	2231	311	319
72	1292	2260	311	320
73	1299	2274	312	321
74	1306	2289	313	322
75	1311	2299	314	323
76	1316	2309	315	324
77	1301	2281	315	325
78	1287	2253	316	325
79	1266	2209	317	324
80	1244	2164	318	323
81	1221	2118	318	323
82	1198	2072	319	322
83	1177	2029	320	321
84	1155	1987	321	320
85	1136	1949	322	319
86	1117	1911	322	319
87	1109	1894	323	318
88	1100	1876	324	317
89	1094	1865	325	316
90	1089	1854	324	316
91	1083	1842	323	315
92	1076	1830	322	314
93	1072	1822	322	313
94	1068	1813	321	312
95	1063	1804	320	312
96	1058	1795	319	311
97	1059	1796	318	310
98	1059	1797	317	309
99	1061	1801	316	308
100	1063	1806	315	308
101	1091	1861	314	307
102	1118	1916	313	306
103	1194	2070	312	305
104	1269	2223	312	304
105	1318	2322	311	304
106	1365	2420	310	303
107	1372	2435	309	302
108	1380	2450	308	301
109	1381	2453	307	301
110	1383	2456	306	300
111	1374	2439	305	299
112	1366	2421	304	298
113	1306	2298	303	297

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
114	1245	2175	302	297
115	1187	2058	301	296
116	1129	1940	301	295
117	1101	1883	300	294
118	1072	1825	299	293
119	1066	1813	298	293
120	1060	1802	297	292
121	1062	1804	296	291
122	1063	1807	295	290
123	1066	1813	294	289
124	1069	1819	293	289
125	1076	1834	292	288
126	1084	1849	291	287
127	1091	1863	291	286
128	1098	1877	290	286
129	1108	1897	289	285
130	1118	1918	288	284
131	1134	1950	287	283
132	1150	1983	286	282
133	1167	2016	285	282
134	1183	2049	284	281
135	1202	2088	283	280
136	1221	2126	282	279
137	1252	2190	281	278
138	1284	2253	281	278
139	1293	2272	280	277
140	1301	2290	279	276
141	1297	2280	277	275
142	1289	2260	275	272
143	1272	2221	271	269
144	1252	2171	266	264
145	1206	2071	260	258
146	1156	1958	252	251
147	1066	1767	244	242
148	969	1563	234	233
149	903	1424	224	222
150	820	1261	211	210
151	672	1033	198	197
152	463	741	184	183
153	422	658	168	167
154	376	563	151	150
155	332	472	132	132
156	279	367	113	112
157	224	270	92	91
158	166	173	69	69
159	86	86	45	45
160	31	31	21	20

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	15	2	6,40	sufficient
2	31	16	1,95	sufficient
3	46	29	1,58	sufficient
4	62	43	1,45	sufficient
5	77	56	1,38	sufficient
6	92	69	1,33	sufficient
7	108	83	1,30	sufficient
8	123	96	1,28	sufficient
9	139	110	1,27	sufficient
10	154	123	1,25	sufficient
11	169	136	1,24	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
12	183	148	1,24	sufficient
13	195	159	1,23	sufficient
14	206	168	1,23	sufficient
15	217	177	1,22	sufficient
16	225	185	1,22	sufficient
17	233	191	1,22	sufficient
18	240	197	1,22	sufficient
19	245	202	1,21	sufficient
20	249	205	1,21	sufficient
21	252	208	1,21	sufficient
22	254	209	1,21	sufficient
23	255	210	1,21	sufficient
24	255	210	1,21	sufficient
25	255	210	1,21	sufficient
26	255	210	1,21	sufficient
27	255	210	1,21	sufficient
28	255	210	1,21	sufficient
29	255	210	1,21	sufficient
30	255	210	1,21	sufficient
31	255	210	1,21	sufficient
32	255	210	1,21	sufficient
33	255	210	1,21	sufficient
34	255	210	1,21	sufficient
35	255	210	1,21	sufficient
36	255	210	1,21	sufficient
37	255	210	1,21	sufficient
38	255	210	1,21	sufficient
39	255	210	1,21	sufficient
40	255	210	1,21	sufficient
41	255	210	1,22	sufficient
42	255	210	1,22	sufficient
43	255	210	1,22	sufficient
44	255	210	1,22	sufficient
45	255	210	1,22	sufficient
46	255	210	1,22	sufficient
47	255	210	1,22	sufficient
48	255	210	1,22	sufficient
49	255	210	1,22	sufficient
50	255	210	1,22	sufficient
51	256	210	1,22	sufficient
52	256	210	1,22	sufficient
53	256	210	1,22	sufficient
54	256	210	1,22	sufficient
55	256	210	1,22	sufficient
56	256	210	1,22	sufficient
57	256	210	1,22	sufficient
58	256	210	1,22	sufficient
59	256	210	1,22	sufficient
60	256	210	1,22	sufficient
61	256	210	1,22	sufficient
62	256	210	1,22	sufficient
63	256	210	1,22	sufficient
64	256	210	1,22	sufficient
65	256	210	1,22	sufficient
66	256	210	1,22	sufficient
67	256	210	1,22	sufficient
68	256	210	1,22	sufficient
69	256	210	1,22	sufficient
70	256	210	1,22	sufficient
71	256	210	1,22	sufficient
72	256	210	1,22	sufficient
73	256	210	1,22	sufficient
74	256	210	1,22	sufficient
75	256	210	1,22	sufficient

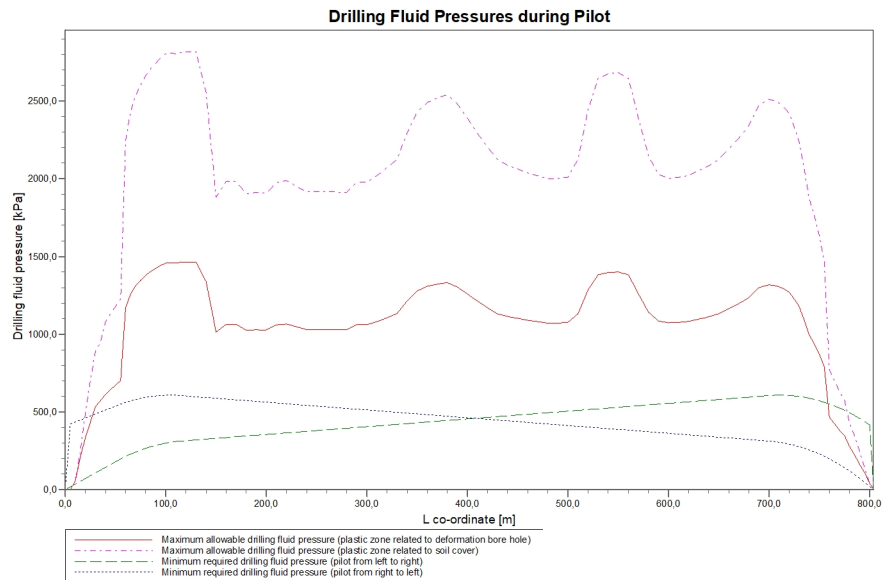
Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
76	256	210	1,22	sufficient
77	256	210	1,22	sufficient
78	256	210	1,22	sufficient
79	256	210	1,22	sufficient
80	256	210	1,22	sufficient
81	257	210	1,22	sufficient
82	257	210	1,22	sufficient
83	257	210	1,22	sufficient
84	257	210	1,22	sufficient
85	257	210	1,22	sufficient
86	257	210	1,22	sufficient
87	257	210	1,22	sufficient
88	257	210	1,22	sufficient
89	257	210	1,22	sufficient
90	257	210	1,22	sufficient
91	257	210	1,22	sufficient
92	257	210	1,22	sufficient
93	257	210	1,22	sufficient
94	257	210	1,22	sufficient
95	257	210	1,22	sufficient
96	257	210	1,22	sufficient
97	257	210	1,22	sufficient
98	257	210	1,22	sufficient
99	257	210	1,22	sufficient
100	257	210	1,22	sufficient
101	257	210	1,22	sufficient
102	257	210	1,22	sufficient
103	257	210	1,23	sufficient
104	257	210	1,23	sufficient
105	257	210	1,23	sufficient
106	257	210	1,23	sufficient
107	257	210	1,23	sufficient
108	257	210	1,23	sufficient
109	257	210	1,23	sufficient
110	257	210	1,23	sufficient
111	258	210	1,23	sufficient
112	258	210	1,23	sufficient
113	258	210	1,23	sufficient
114	258	210	1,23	sufficient
115	258	210	1,23	sufficient
116	258	210	1,23	sufficient
117	258	210	1,23	sufficient
118	258	210	1,23	sufficient
119	258	210	1,23	sufficient
120	258	210	1,23	sufficient
121	258	210	1,23	sufficient
122	258	210	1,23	sufficient
123	258	210	1,23	sufficient
124	258	210	1,23	sufficient
125	258	210	1,23	sufficient
126	258	210	1,23	sufficient
127	258	210	1,23	sufficient
128	258	210	1,23	sufficient
129	258	210	1,23	sufficient
130	258	210	1,23	sufficient
131	258	210	1,23	sufficient
132	258	210	1,23	sufficient
133	258	210	1,23	sufficient
134	258	210	1,23	sufficient
135	258	210	1,23	sufficient
136	258	210	1,23	sufficient
137	258	210	1,23	sufficient
138	258	210	1,23	sufficient
139	258	210	1,23	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
140	258	210	1,23	sufficient
141	258	210	1,23	sufficient
142	256	208	1,23	sufficient
143	253	206	1,23	sufficient
144	249	202	1,23	sufficient
145	244	197	1,24	sufficient
146	238	192	1,24	sufficient
147	230	185	1,24	sufficient
148	222	178	1,25	sufficient
149	212	169	1,25	sufficient
150	201	160	1,26	sufficient
151	188	149	1,27	sufficient
152	175	137	1,28	sufficient
153	160	124	1,29	sufficient
154	144	110	1,31	sufficient
155	127	95	1,33	sufficient
156	108	79	1,37	sufficient
157	88	61	1,44	sufficient
158	66	42	1,56	sufficient
159	44	23	1,93	sufficient
160	20	2	10,90	sufficient

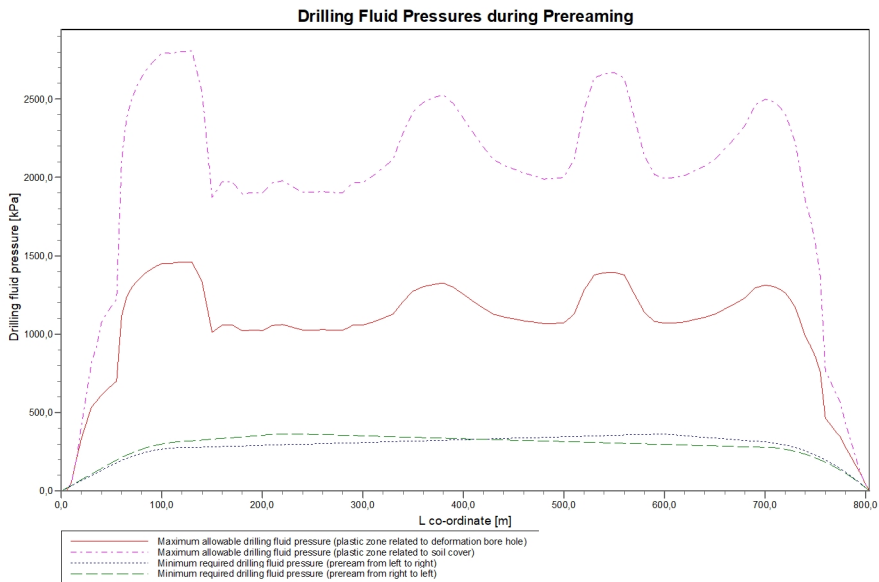
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

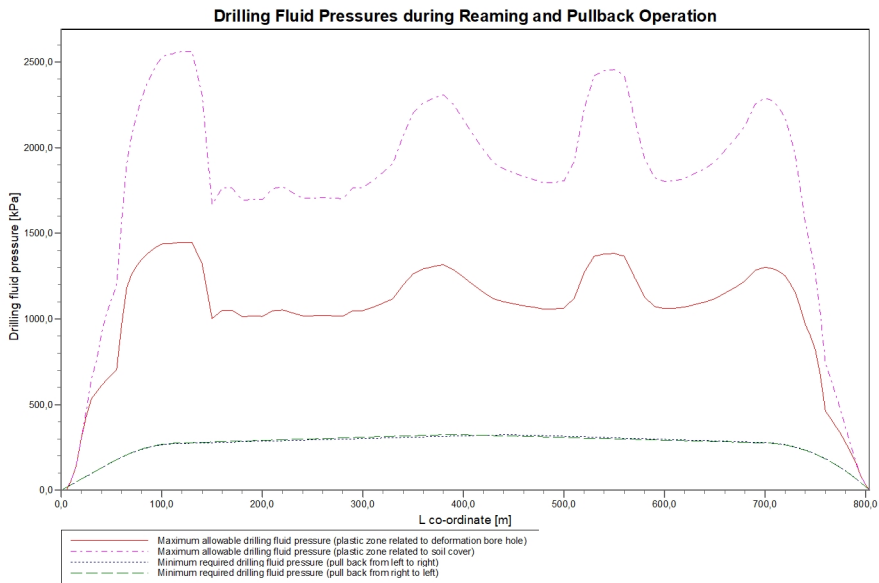
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



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	43	20	15	20	0	187
2	97	29	22	29	0	456
3	453	86	30	40	0	1349
4	742	143	30	40	0	2245
5	975	191	24	33	0	2995
6	1205	239	20	27	0	3744
7	1272	253	17	23	0	6379
8	1363	266	15	20	0	7087
9	1413	277	14	19	0	7395
10	1461	289	13	18	0	7702
11	1508	300	13	17	0	11547
12	3094	311	13	17	0	14594
13	3194	323	13	17	0	15164
14	3284	334	13	17	0	15678
15	3360	344	13	17	0	16118
16	3426	352	13	17	0	16505
17	3479	359	13	17	0	16810
18	3522	364	13	17	0	17062
19	3564	369	13	17	0	17308
20	3597	373	13	17	0	17502
21	3599	374	13	17	0	17514
22	3592	373	13	17	0	17475
23	3603	374	13	17	0	17537
24	3608	375	13	17	0	17570
25	3609	375	13	17	0	17574
26	3610	375	13	17	0	17579
27	3434	353	13	17	0	16547
28	3257	331	13	17	0	15516
29	2811	277	13	17	0	12979
30	2348	222	13	17	0	10442
31	2416	230	13	17	0	10808
32	2483	238	13	17	0	11175
33	2484	238	13	17	0	11175
34	2484	238	13	17	0	11176
35	2431	232	13	17	0	10891
36	2378	226	13	17	0	10605
37	2384	227	13	17	0	10635
38	2389	227	13	17	0	10664
39	2387	227	13	17	0	10653
40	2385	227	13	17	0	10641
41	2430	232	13	17	0	10883
42	2474	237	13	17	0	11125
43	2483	238	13	17	0	11174

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	2492	239	13	17	0	11224
45	2467	236	13	17	0	11084
46	2441	233	13	17	0	10945
47	2417	230	13	17	0	10813
48	2392	228	13	17	0	10681
49	2393	228	13	17	0	10684
50	2393	228	13	17	0	10688
51	2396	228	13	17	0	10701
52	2398	228	13	17	0	10714
53	2395	228	13	17	0	10697
54	2392	228	13	17	0	10681
55	2390	227	13	17	0	10669
56	2388	227	13	17	0	10658
57	2433	232	13	17	0	10899
58	2477	237	13	17	0	11140
59	2478	237	13	17	0	11145
60	2479	238	13	17	0	11151
61	2507	241	13	17	0	11302
62	2535	244	13	17	0	11453
63	2569	248	13	17	0	11642
64	2604	252	13	17	0	11831
65	2640	256	13	17	0	12031
66	2676	261	13	17	0	12230
67	2792	274	13	18	0	12870
68	2906	288	13	18	0	13511
69	2998	299	13	18	0	14030
70	3089	310	13	18	0	14549
71	3129	315	13	18	0	14780
72	3170	320	13	18	2	15011
73	3190	323	13	18	2	15127
74	3210	325	13	18	2	15242
75	3223	327	13	18	2	15321
76	3237	328	13	18	0	15401
77	3197	324	13	18	0	15171
78	3157	319	13	18	0	14942
79	3095	311	13	18	0	14586
80	3033	303	13	18	0	14231
81	2968	296	13	18	0	13863
82	2903	288	13	18	0	13495
83	2843	281	13	18	0	13158
84	2783	273	13	18	0	12821
85	2729	267	13	18	0	12523
86	2675	261	13	18	0	12226
87	2651	258	13	18	0	12089
88	2626	255	13	18	0	11951
89	2610	253	13	18	0	11864
90	2594	251	13	18	0	11776
91	2576	249	13	18	0	11680
92	2559	247	13	18	0	11584
93	2546	245	13	18	0	11517
94	2534	244	13	18	0	11449
95	2521	242	13	18	0	11377
96	2508	241	13	18	0	11305
97	2509	241	13	18	0	11311
98	2510	241	13	18	0	11317
99	2516	242	13	18	0	11350
100	2522	243	13	18	0	11384
101	2600	252	13	18	0	11809
102	2677	261	13	18	0	12234
103	2894	287	13	18	0	13442
104	3107	312	13	18	0	14651
105	3243	329	13	18	0	15436
106	3379	346	13	18	0	16221
107	3399	349	13	18	0	16340
108	3419	351	13	18	0	16459

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	3424	352	13	18	0	16485
110	3428	352	13	18	0	16510
111	3404	349	13	18	0	16368
112	3380	346	13	18	0	16226
113	3210	325	13	18	0	15241
114	3038	304	13	18	0	14256
115	2874	284	13	18	0	13335
116	2709	265	13	18	0	12413
117	2628	255	13	18	0	11964
118	2546	245	13	18	0	11514
119	2530	243	13	18	0	11426
120	2513	242	13	18	0	11337
121	2517	242	13	18	0	11356
122	2521	242	13	18	0	11376
123	2529	243	13	18	0	11422
124	2537	244	13	18	0	11468
125	2559	247	13	18	0	11586
126	2581	249	13	18	0	11704
127	2600	252	13	18	0	11813
128	2620	254	13	18	0	11922
129	2649	257	13	18	0	12079
130	2677	261	13	18	0	12235
131	2723	266	13	18	0	12489
132	2769	272	13	18	0	12744
133	2816	277	13	18	0	13006
134	2863	283	13	18	0	13268
135	2916	289	13	18	0	13569
136	2970	296	13	18	0	13871
137	3059	307	13	18	0	14377
138	3147	317	13	18	0	14883
139	3173	320	13	18	0	15029
140	3198	324	13	18	0	15174
141	3187	322	13	18	2	15112
142	3167	320	13	18	2	14999
143	3129	315	13	18	2	14776
144	3080	309	13	17	0	14502
145	2966	295	13	17	0	13856
146	2842	280	13	17	0	13157
147	2609	253	13	17	0	11865
148	2360	224	13	17	0	10520
149	2219	208	13	17	0	9772
150	2065	191	13	17	0	8969
151	1924	176	13	17	0	8251
152	894	160	13	17	0	6698
153	817	144	13	18	0	3838
154	734	127	13	18	0	3379
155	687	117	14	18	0	3124
156	558	106	14	19	0	1659
157	449	84	14	19	0	1323
158	330	62	14	19	0	968
159	185	42	31	42	0	655
160	52	21	16	21	0	328

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	87	1185	975	830	0,05	7,5
2	144	12496	5444	8747	0,05	7,5
3	453	27185	22482	19030	0,05	7,5
4	742	40786	36358	28550	0,05	7,5
5	975	51701	47419	36191	0,05	7,5
6	1205	60751	58144	42526	0,05	7,5
7	1272	50892	61256	35625	0,05	7,5
8	1363	51650	55260	36155	0,05	7,5
9	1413	52825	51081	36977	0,05	7,5
10	1461	58714	52266	41100	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]
11	1508	282265	53384	197586	0,05	7,5
12	3094	333848	156770	233694	0,05	7,5
13	3194	340773	328860	238541	0,05	7,5
14	3284	346937	335197	242856	0,05	7,5
15	3360	352135	340538	246495	0,05	7,5
16	3426	356651	345174	249655	0,05	7,5
17	3479	360182	348798	252128	0,05	7,5
18	3522	363083	351772	254158	0,05	7,5
19	3564	365897	354658	256128	0,05	7,5
20	3597	368104	356920	257673	0,05	7,5
21	3599	368240	357059	257768	0,05	7,5
22	3592	367789	356597	257453	0,05	7,5
23	3603	368500	357325	257950	0,05	7,5
24	3608	368874	357708	258211	0,05	7,5
25	3609	368921	357757	258245	0,05	7,5
26	3610	368968	357805	258278	0,05	7,5
27	3434	357124	345660	249987	0,05	7,5
28	3257	344960	333165	241472	0,05	7,5
29	2811	313465	300703	219425	0,05	7,5
30	2348	279219	265170	195453	0,05	7,5
31	2416	284366	270529	199056	0,05	7,5
32	2483	289439	275805	202607	0,05	7,5
33	2484	289450	275816	202615	0,05	7,5
34	2484	289461	275828	202623	0,05	7,5
35	2431	285513	271723	199859	0,05	7,5
36	2378	281521	267568	197064	0,05	7,5
37	2384	281934	267998	197354	0,05	7,5
38	2389	282347	268429	197643	0,05	7,5
39	2387	282187	268262	197531	0,05	7,5
40	2385	282027	268095	197419	0,05	7,5
41	2430	285402	271608	199781	0,05	7,5
42	2474	288755	275094	202128	0,05	7,5
43	2483	289434	275800	202604	0,05	7,5
44	2492	290112	276505	203079	0,05	7,5
45	2467	288195	274512	201737	0,05	7,5
46	2441	286268	272508	200387	0,05	7,5
47	2417	284430	270596	199101	0,05	7,5
48	2392	282582	268673	197808	0,05	7,5
49	2393	282631	268723	197841	0,05	7,5
50	2393	282679	268774	197875	0,05	7,5
51	2396	282863	268965	198004	0,05	7,5
52	2398	283047	269157	198133	0,05	7,5
53	2395	282812	268913	197969	0,05	7,5
54	2392	282577	268668	197804	0,05	7,5
55	2390	282419	268503	197693	0,05	7,5
56	2388	282261	268339	197583	0,05	7,5
57	2433	285626	271840	199938	0,05	7,5
58	2477	288959	275306	202271	0,05	7,5
59	2478	289035	275386	202325	0,05	7,5
60	2479	289112	275465	202378	0,05	7,5
61	2507	291188	277622	203832	0,05	7,5
62	2535	293252	279766	205277	0,05	7,5
63	2569	295818	282429	207072	0,05	7,5
64	2604	298366	285071	208856	0,05	7,5
65	2640	301031	287835	210722	0,05	7,5
66	2676	303677	290577	212574	0,05	7,5
67	2792	312064	299255	218445	0,05	7,5
68	2906	320275	307738	224193	0,05	7,5
69	2998	326811	314481	228768	0,05	7,5
70	3089	333244	321110	233271	0,05	7,5
71	3129	336072	324022	235251	0,05	7,5
72	3170	338882	326914	237217	0,05	7,5
73	3190	340280	328352	238196	0,05	7,5
74	3210	341674	329786	239172	0,05	7,5
75	3223	342628	330767	239839	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]
76	3237	343580	331746	240506	0,05	7,5
77	3197	340818	328906	238573	0,05	7,5
78	3157	338039	326047	236627	0,05	7,5
79	3095	333698	321578	233589	0,05	7,5
80	3033	329312	317059	230518	0,05	7,5
81	2968	324720	312325	227304	0,05	7,5
82	2903	320076	307533	224053	0,05	7,5
83	2843	315773	303088	221041	0,05	7,5
84	2783	311422	298592	217996	0,05	7,5
85	2729	307542	294577	215279	0,05	7,5
86	2675	303622	290519	212535	0,05	7,5
87	2651	301801	288633	211261	0,05	7,5
88	2626	299972	286737	209980	0,05	7,5
89	2610	298800	285522	209160	0,05	7,5
90	2594	297625	284304	208338	0,05	7,5
91	2576	296327	282957	207429	0,05	7,5
92	2559	295025	281606	206517	0,05	7,5
93	2546	294112	280659	205878	0,05	7,5
94	2534	293197	279709	205238	0,05	7,5
95	2521	292217	278691	204552	0,05	7,5
96	2508	291234	277670	203864	0,05	7,5
97	2509	291310	277749	203917	0,05	7,5
98	2510	291386	277828	203970	0,05	7,5
99	2516	291848	278308	204293	0,05	7,5
100	2522	292309	278786	204616	0,05	7,5
101	2600	298062	284757	208644	0,05	7,5
102	2677	303729	290630	212610	0,05	7,5
103	2894	319403	306838	223582	0,05	7,5
104	3107	334489	322392	234142	0,05	7,5
105	3243	344003	332181	240802	0,05	7,5
106	3379	353312	341747	247319	0,05	7,5
107	3399	354710	343181	248297	0,05	7,5
108	3419	356103	344611	249272	0,05	7,5
109	3424	356397	344913	249478	0,05	7,5
110	3428	356691	345216	249684	0,05	7,5
111	3404	355036	343516	248525	0,05	7,5
112	3380	353374	341810	247362	0,05	7,5
113	3210	341663	329775	239164	0,05	7,5
114	3038	329623	317380	230736	0,05	7,5
115	2874	318030	305420	222621	0,05	7,5
116	2709	306091	293076	214264	0,05	7,5
117	2628	300135	286906	210095	0,05	7,5
118	2546	294083	280629	205858	0,05	7,5
119	2530	292875	279374	205012	0,05	7,5
120	2513	291662	278115	204164	0,05	7,5
121	2517	291927	278390	204349	0,05	7,5
122	2521	292192	278665	204534	0,05	7,5
123	2529	292823	279321	204976	0,05	7,5
124	2537	293454	279975	205418	0,05	7,5
125	2559	295054	281636	206538	0,05	7,5
126	2581	296648	283290	207653	0,05	7,5
127	2600	298115	284812	208681	0,05	7,5
128	2620	299578	286328	209704	0,05	7,5
129	2649	301668	288495	211167	0,05	7,5
130	2677	303747	290648	212623	0,05	7,5
131	2723	307098	294118	214968	0,05	7,5
132	2769	310420	297555	217294	0,05	7,5
133	2816	313812	301062	219668	0,05	7,5
134	2863	317175	304537	222023	0,05	7,5
135	2916	321012	308498	224708	0,05	7,5
136	2970	324812	312420	227369	0,05	7,5
137	3059	331114	318916	231780	0,05	7,5
138	3147	337322	325308	236125	0,05	7,5
139	3173	339092	327130	237364	0,05	7,5
140	3198	340855	328944	238598	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]
141	3187	340107	328175	238075	0,05	7,5
142	3167	338734	326762	237114	0,05	7,5
143	3129	336029	323978	235220	0,05	7,5
144	3080	332670	320519	232869	0,05	7,5
145	2966	324636	312237	227245	0,05	7,5
146	2842	315770	303085	221039	0,05	7,5
147	2609	298836	285559	209185	0,05	7,5
148	2360	280352	266351	196247	0,05	7,5
149	2219	269639	255173	188747	0,05	7,5
150	2065	257760	242736	180432	0,05	7,5
151	1924	246745	124351	172721	0,05	7,5
152	894	215572	37359	150900	0,05	7,5
153	817	52334	35128	36633	0,05	7,5
154	734	35099	32624	24569	0,05	7,5
155	687	33733	30453	23613	0,05	7,5
156	558	31825	27350	22277	0,05	7,5
157	449	26737	22022	18716	0,05	7,5
158	330	21084	16187	14759	0,05	7,5
159	219	15919	10773	11143	0,05	7,5
160	83	3112	761	2179	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n} ;max = 375 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 42 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n} ;max = 42 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)		
only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 368968 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)		
only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 737936 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	43	20	15	20	0	187
2	97	29	22	29	0	456
3	453	86	30	40	0	1349
4	742	143	30	40	0	2245
5	975	191	24	33	0	2995
6	1205	239	20	27	0	3744
7	1272	253	17	23	0	6379
8	1363	266	15	20	0	7087
9	1413	277	14	19	0	7395
10	1461	289	13	18	0	7702
11	1508	300	13	17	0	11547
12	3094	311	13	17	0	14594
13	3194	323	13	17	0	15164
14	3284	334	13	17	0	15678
15	3360	344	13	17	0	16118

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]
16	3426	352	13	17	0	16505
17	3479	359	13	17	0	16810
18	3522	364	13	17	0	17062
19	3564	369	13	17	0	17308
20	3597	373	13	17	0	17502
21	3599	374	13	17	0	17514
22	3592	373	13	17	0	17475
23	3603	374	13	17	0	17537
24	3608	375	13	17	0	17570
25	3609	375	13	17	0	17574
26	3610	375	13	17	0	17579
27	3434	353	13	17	0	16547
28	3257	331	13	17	0	15516
29	2811	277	13	17	0	12979
30	2348	222	13	17	0	10442
31	2416	230	13	17	0	10808
32	2483	238	13	17	0	11175
33	2484	238	13	17	0	11175
34	2484	238	13	17	0	11176
35	2431	232	13	17	0	10891
36	2378	226	13	17	0	10605
37	2384	227	13	17	0	10635
38	2389	227	13	17	0	10664
39	2387	227	13	17	0	10653
40	2385	227	13	17	0	10641
41	2430	232	13	17	0	10883
42	2474	237	13	17	0	11125
43	2483	238	13	17	0	11174
44	2492	239	13	17	0	11224
45	2467	236	13	17	0	11084
46	2441	233	13	17	0	10945
47	2417	230	13	17	0	10813
48	2392	228	13	17	0	10681
49	2393	228	13	17	0	10684
50	2393	228	13	17	0	10688
51	2396	228	13	17	0	10701
52	2398	228	13	17	0	10714
53	2395	228	13	17	0	10697
54	2392	228	13	17	0	10681
55	2390	227	13	17	0	10669
56	2388	227	13	17	0	10658
57	2433	232	13	17	0	10899
58	2477	237	13	17	0	11140
59	2478	237	13	17	0	11145
60	2479	238	13	17	0	11151
61	2507	241	13	17	0	11302
62	2535	244	13	17	0	11453
63	2569	248	13	17	0	11642
64	2604	252	13	17	0	11831
65	2640	256	13	17	0	12031
66	2676	261	13	17	0	12230
67	2792	274	13	18	0	12870
68	2906	288	13	18	0	13511
69	2998	299	13	18	0	14030
70	3089	310	13	18	0	14549
71	3129	315	13	18	0	14780
72	3170	320	13	18	2	15011
73	3190	323	13	18	2	15127
74	3210	325	13	18	2	15242
75	3223	327	13	18	2	15321
76	3237	328	13	18	0	15401
77	3197	324	13	18	0	15171
78	3157	319	13	18	0	14942
79	3095	311	13	18	0	14586
80	3033	303	13	18	0	14231

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]
81	2968	296	13	18	0	13863
82	2903	288	13	18	0	13495
83	2843	281	13	18	0	13158
84	2783	273	13	18	0	12821
85	2729	267	13	18	0	12523
86	2675	261	13	18	0	12226
87	2651	258	13	18	0	12089
88	2626	255	13	18	0	11951
89	2610	253	13	18	0	11864
90	2594	251	13	18	0	11776
91	2576	249	13	18	0	11680
92	2559	247	13	18	0	11584
93	2546	245	13	18	0	11517
94	2534	244	13	18	0	11449
95	2521	242	13	18	0	11377
96	2508	241	13	18	0	11305
97	2509	241	13	18	0	11311
98	2510	241	13	18	0	11317
99	2516	242	13	18	0	11350
100	2522	243	13	18	0	11384
101	2600	252	13	18	0	11809
102	2677	261	13	18	0	12234
103	2894	287	13	18	0	13442
104	3107	312	13	18	0	14651
105	3243	329	13	18	0	15436
106	3379	346	13	18	0	16221
107	3399	349	13	18	0	16340
108	3419	351	13	18	0	16459
109	3424	352	13	18	0	16485
110	3428	352	13	18	0	16510
111	3404	349	13	18	0	16368
112	3380	346	13	18	0	16226
113	3210	325	13	18	0	15241
114	3038	304	13	18	0	14256
115	2874	284	13	18	0	13335
116	2709	265	13	18	0	12413
117	2628	255	13	18	0	11964
118	2546	245	13	18	0	11514
119	2530	243	13	18	0	11426
120	2513	242	13	18	0	11337
121	2517	242	13	18	0	11356
122	2521	242	13	18	0	11376
123	2529	243	13	18	0	11422
124	2537	244	13	18	0	11468
125	2559	247	13	18	0	11586
126	2581	249	13	18	0	11704
127	2600	252	13	18	0	11813
128	2620	254	13	18	0	11922
129	2649	257	13	18	0	12079
130	2677	261	13	18	0	12235
131	2723	266	13	18	0	12489
132	2769	272	13	18	0	12744
133	2816	277	13	18	0	13006
134	2863	283	13	18	0	13268
135	2916	289	13	18	0	13569
136	2970	296	13	18	0	13871
137	3059	307	13	18	0	14377
138	3147	317	13	18	0	14883
139	3173	320	13	18	0	15029
140	3198	324	13	18	0	15174
141	3187	322	13	18	2	15112
142	3167	320	13	18	2	14999
143	3129	315	13	18	2	14776
144	3080	309	13	17	0	14502
145	2966	295	13	17	0	13856

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]
146	2842	280	13	17	0	13157
147	2609	253	13	17	0	11865
148	2360	224	13	17	0	10520
149	2219	208	13	17	0	9772
150	2065	191	13	17	0	8969
151	1924	176	13	17	0	8251
152	894	160	13	17	0	6698
153	817	144	13	18	0	3838
154	734	127	13	18	0	3379
155	687	117	14	18	0	3124
156	558	106	14	19	0	1659
157	449	84	14	19	0	1323
158	330	62	14	19	0	968
159	185	42	31	42	0	655
160	52	21	16	21	0	328

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	87	1185	975	830	0,05	7,5
2	144	12496	5444	8747	0,05	7,5
3	453	27185	22482	19030	0,05	7,5
4	742	40786	36358	28550	0,05	7,5
5	975	51701	47419	36191	0,05	7,5
6	1205	60751	58144	42526	0,05	7,5
7	1272	50892	61256	35625	0,05	7,5
8	1363	51650	55260	36155	0,05	7,5
9	1413	52825	51081	36977	0,05	7,5
10	1461	58714	52266	41100	0,05	7,5
11	1508	282265	53384	197586	0,05	7,5
12	3094	333848	156770	233694	0,05	7,5
13	3194	340773	328860	238541	0,05	7,5
14	3284	346937	335197	242856	0,05	7,5
15	3360	352135	340538	246495	0,05	7,5
16	3426	356651	345174	249655	0,05	7,5
17	3479	360182	348798	252128	0,05	7,5
18	3522	363083	351772	254158	0,05	7,5
19	3564	365897	354658	256128	0,05	7,5
20	3597	368104	356920	257673	0,05	7,5
21	3599	368240	357059	257768	0,05	7,5
22	3592	367789	356597	257453	0,05	7,5
23	3603	368500	357325	257950	0,05	7,5
24	3608	368874	357708	258211	0,05	7,5
25	3609	368921	357757	258245	0,05	7,5
26	3610	368968	357805	258278	0,05	7,5
27	3434	357124	345660	249987	0,05	7,5
28	3257	344960	333165	241472	0,05	7,5
29	2811	313465	300703	219425	0,05	7,5
30	2348	279219	265170	195453	0,05	7,5
31	2416	284366	270529	199056	0,05	7,5
32	2483	289439	275805	202607	0,05	7,5
33	2484	289450	275816	202615	0,05	7,5
34	2484	289461	275828	202623	0,05	7,5
35	2431	285513	271723	199859	0,05	7,5
36	2378	281521	267568	197064	0,05	7,5
37	2384	281934	267998	197354	0,05	7,5
38	2389	282347	268429	197643	0,05	7,5
39	2387	282187	268262	197531	0,05	7,5
40	2385	282027	268095	197419	0,05	7,5
41	2430	285402	271608	199781	0,05	7,5
42	2474	288755	275094	202128	0,05	7,5
43	2483	289434	275800	202604	0,05	7,5
44	2492	290112	276505	203079	0,05	7,5
45	2467	288195	274512	201737	0,05	7,5
46	2441	286268	272508	200387	0,05	7,5
47	2417	284430	270596	199101	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]
48	2392	282582	268673	197808	0,05	7,5
49	2393	282631	268723	197841	0,05	7,5
50	2393	282679	268774	197875	0,05	7,5
51	2396	282863	268965	198004	0,05	7,5
52	2398	283047	269157	198133	0,05	7,5
53	2395	282812	268913	197969	0,05	7,5
54	2392	282577	268668	197804	0,05	7,5
55	2390	282419	268503	197693	0,05	7,5
56	2388	282261	268339	197583	0,05	7,5
57	2433	285626	271840	199938	0,05	7,5
58	2477	288959	275306	202271	0,05	7,5
59	2478	289035	275386	202325	0,05	7,5
60	2479	289112	275465	202378	0,05	7,5
61	2507	291188	277622	203832	0,05	7,5
62	2535	293252	279766	205277	0,05	7,5
63	2569	295818	282429	207072	0,05	7,5
64	2604	298366	285071	208856	0,05	7,5
65	2640	301031	287835	210722	0,05	7,5
66	2676	303677	290577	212574	0,05	7,5
67	2792	312064	299255	218445	0,05	7,5
68	2906	320275	307738	224193	0,05	7,5
69	2998	326811	314481	228768	0,05	7,5
70	3089	333244	321110	233271	0,05	7,5
71	3129	336072	324022	235251	0,05	7,5
72	3170	338882	326914	237217	0,05	7,5
73	3190	340280	328352	238196	0,05	7,5
74	3210	341674	329786	239172	0,05	7,5
75	3223	342628	330767	239839	0,05	7,5
76	3237	343580	331746	240506	0,05	7,5
77	3197	340818	328906	238573	0,05	7,5
78	3157	338039	326047	236627	0,05	7,5
79	3095	333698	321578	233589	0,05	7,5
80	3033	329312	317059	230518	0,05	7,5
81	2968	324720	312325	227304	0,05	7,5
82	2903	320076	307533	224053	0,05	7,5
83	2843	315773	303088	221041	0,05	7,5
84	2783	311422	298592	217996	0,05	7,5
85	2729	307542	294577	215279	0,05	7,5
86	2675	303622	290519	212535	0,05	7,5
87	2651	301801	288633	211261	0,05	7,5
88	2626	299972	286737	209980	0,05	7,5
89	2610	298800	285522	209160	0,05	7,5
90	2594	297625	284304	208338	0,05	7,5
91	2576	296327	282957	207429	0,05	7,5
92	2559	295025	281606	206517	0,05	7,5
93	2546	294112	280659	205878	0,05	7,5
94	2534	293197	279709	205238	0,05	7,5
95	2521	292217	278691	204552	0,05	7,5
96	2508	291234	277670	203864	0,05	7,5
97	2509	291310	277749	203917	0,05	7,5
98	2510	291386	277828	203970	0,05	7,5
99	2516	291848	278308	204293	0,05	7,5
100	2522	292309	278786	204616	0,05	7,5
101	2600	298062	284757	208644	0,05	7,5
102	2677	303729	290630	212610	0,05	7,5
103	2894	319403	306838	223582	0,05	7,5
104	3107	334489	322392	234142	0,05	7,5
105	3243	344003	332181	240802	0,05	7,5
106	3379	353312	341747	247319	0,05	7,5
107	3399	354710	343181	248297	0,05	7,5
108	3419	356103	344611	249272	0,05	7,5
109	3424	356397	344913	249478	0,05	7,5
110	3428	356691	345216	249684	0,05	7,5
111	3404	355036	343516	248525	0,05	7,5
112	3380	353374	341810	247362	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]
113	3210	341663	329775	239164	0,05	7,5
114	3038	329623	317380	230736	0,05	7,5
115	2874	318030	305420	222621	0,05	7,5
116	2709	306091	293076	214264	0,05	7,5
117	2628	300135	286906	210095	0,05	7,5
118	2546	294083	280629	205858	0,05	7,5
119	2530	292875	279374	205012	0,05	7,5
120	2513	291662	278115	204164	0,05	7,5
121	2517	291927	278390	204349	0,05	7,5
122	2521	292192	278665	204534	0,05	7,5
123	2529	292823	279321	204976	0,05	7,5
124	2537	293454	279975	205418	0,05	7,5
125	2559	295054	281636	206538	0,05	7,5
126	2581	296648	283290	207653	0,05	7,5
127	2600	298115	284812	208681	0,05	7,5
128	2620	299578	286328	209704	0,05	7,5
129	2649	301668	288495	211167	0,05	7,5
130	2677	303747	290648	212623	0,05	7,5
131	2723	307098	294118	214968	0,05	7,5
132	2769	310420	297555	217294	0,05	7,5
133	2816	313812	301062	219668	0,05	7,5
134	2863	317175	304537	222023	0,05	7,5
135	2916	321012	308498	224708	0,05	7,5
136	2970	324812	312420	227369	0,05	7,5
137	3059	331114	318916	231780	0,05	7,5
138	3147	337322	325308	236125	0,05	7,5
139	3173	339092	327130	237364	0,05	7,5
140	3198	340855	328944	238598	0,05	7,5
141	3187	340107	328175	238075	0,05	7,5
142	3167	338734	326762	237114	0,05	7,5
143	3129	336029	323978	235220	0,05	7,5
144	3080	332670	320519	232869	0,05	7,5
145	2966	324636	312237	227245	0,05	7,5
146	2842	315770	303085	221039	0,05	7,5
147	2609	298836	285559	209185	0,05	7,5
148	2360	280352	266351	196247	0,05	7,5
149	2219	269639	255173	188747	0,05	7,5
150	2065	257760	242736	180432	0,05	7,5
151	1924	246745	124351	172721	0,05	7,5
152	894	215572	37359	150900	0,05	7,5
153	817	52334	35128	36633	0,05	7,5
154	734	35099	32624	24569	0,05	7,5
155	687	33733	30453	23613	0,05	7,5
156	558	31825	27350	22277	0,05	7,5
157	449	26737	22022	18716	0,05	7,5
158	330	21084	16187	14759	0,05	7,5
159	219	15919	10773	11143	0,05	7,5
160	83	3112	761	2179	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 375 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 42 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 42 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 368968 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 737936 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	43	20	15	20	0	187
2	97	29	22	29	0	456
3	453	86	30	40	0	1349
4	742	143	30	40	0	2245
5	975	191	24	33	0	2995
6	1205	239	20	27	0	3744
7	1272	253	17	23	0	6379
8	1363	266	15	20	0	7087
9	1413	277	14	19	0	7395
10	1461	289	13	18	0	7702
11	1508	300	13	17	0	11547
12	3094	311	13	17	0	14594
13	3194	323	13	17	0	15164
14	3284	334	13	17	0	15678
15	3360	344	13	17	0	16118
16	3426	352	13	17	0	16505
17	3479	359	13	17	0	16810
18	3522	364	13	17	0	17062
19	3564	369	13	17	0	17308
20	3597	373	13	17	0	17502
21	3599	374	13	17	0	17514
22	3592	373	13	17	0	17475
23	3603	374	13	17	0	17537
24	3608	375	13	17	0	17570
25	3609	375	13	17	0	17574
26	3610	375	13	17	0	17579
27	3434	353	13	17	0	16547
28	3257	331	13	17	0	15516
29	2811	277	13	17	0	12979
30	2348	222	13	17	0	10442
31	2416	230	13	17	0	10808
32	2483	238	13	17	0	11175
33	2484	238	13	17	0	11175
34	2484	238	13	17	0	11176
35	2431	232	13	17	0	10891
36	2378	226	13	17	0	10605
37	2384	227	13	17	0	10635
38	2389	227	13	17	0	10664
39	2387	227	13	17	0	10653
40	2385	227	13	17	0	10641
41	2430	232	13	17	0	10883
42	2474	237	13	17	0	11125
43	2483	238	13	17	0	11174
44	2492	239	13	17	0	11224
45	2467	236	13	17	0	11084
46	2441	233	13	17	0	10945
47	2417	230	13	17	0	10813
48	2392	228	13	17	0	10681
49	2393	228	13	17	0	10684
50	2393	228	13	17	0	10688
51	2396	228	13	17	0	10701
52	2398	228	13	17	0	10714
53	2395	228	13	17	0	10697
54	2392	228	13	17	0	10681

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]
55	2390	227	13	17	0	10669
56	2388	227	13	17	0	10658
57	2433	232	13	17	0	10899
58	2477	237	13	17	0	11140
59	2478	237	13	17	0	11145
60	2479	238	13	17	0	11151
61	2507	241	13	17	0	11302
62	2535	244	13	17	0	11453
63	2569	248	13	17	0	11642
64	2604	252	13	17	0	11831
65	2640	256	13	17	0	12031
66	2676	261	13	17	0	12230
67	2792	274	13	18	0	12870
68	2906	288	13	18	0	13511
69	2998	299	13	18	0	14030
70	3089	310	13	18	0	14549
71	3129	315	13	18	0	14780
72	3170	320	13	18	2	15011
73	3190	323	13	18	2	15127
74	3210	325	13	18	2	15242
75	3223	327	13	18	2	15321
76	3237	328	13	18	0	15401
77	3197	324	13	18	0	15171
78	3157	319	13	18	0	14942
79	3095	311	13	18	0	14586
80	3033	303	13	18	0	14231
81	2968	296	13	18	0	13863
82	2903	288	13	18	0	13495
83	2843	281	13	18	0	13158
84	2783	273	13	18	0	12821
85	2729	267	13	18	0	12523
86	2675	261	13	18	0	12226
87	2651	258	13	18	0	12089
88	2626	255	13	18	0	11951
89	2610	253	13	18	0	11864
90	2594	251	13	18	0	11776
91	2576	249	13	18	0	11680
92	2559	247	13	18	0	11584
93	2546	245	13	18	0	11517
94	2534	244	13	18	0	11449
95	2521	242	13	18	0	11377
96	2508	241	13	18	0	11305
97	2509	241	13	18	0	11311
98	2510	241	13	18	0	11317
99	2516	242	13	18	0	11350
100	2522	243	13	18	0	11384
101	2600	252	13	18	0	11809
102	2677	261	13	18	0	12234
103	2894	287	13	18	0	13442
104	3107	312	13	18	0	14651
105	3243	329	13	18	0	15436
106	3379	346	13	18	0	16221
107	3399	349	13	18	0	16340
108	3419	351	13	18	0	16459
109	3424	352	13	18	0	16485
110	3428	352	13	18	0	16510
111	3404	349	13	18	0	16368
112	3380	346	13	18	0	16226
113	3210	325	13	18	0	15241
114	3038	304	13	18	0	14256
115	2874	284	13	18	0	13335
116	2709	265	13	18	0	12413
117	2628	255	13	18	0	11964
118	2546	245	13	18	0	11514
119	2530	243	13	18	0	11426

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]
120	2513	242	13	18	0	11337
121	2517	242	13	18	0	11356
122	2521	242	13	18	0	11376
123	2529	243	13	18	0	11422
124	2537	244	13	18	0	11468
125	2559	247	13	18	0	11586
126	2581	249	13	18	0	11704
127	2600	252	13	18	0	11813
128	2620	254	13	18	0	11922
129	2649	257	13	18	0	12079
130	2677	261	13	18	0	12235
131	2723	266	13	18	0	12489
132	2769	272	13	18	0	12744
133	2816	277	13	18	0	13006
134	2863	283	13	18	0	13268
135	2916	289	13	18	0	13569
136	2970	296	13	18	0	13871
137	3059	307	13	18	0	14377
138	3147	317	13	18	0	14883
139	3173	320	13	18	0	15029
140	3198	324	13	18	0	15174
141	3187	322	13	18	2	15112
142	3167	320	13	18	2	14999
143	3129	315	13	18	2	14776
144	3080	309	13	17	0	14502
145	2966	295	13	17	0	13856
146	2842	280	13	17	0	13157
147	2609	253	13	17	0	11865
148	2360	224	13	17	0	10520
149	2219	208	13	17	0	9772
150	2065	191	13	17	0	8969
151	1924	176	13	17	0	8251
152	894	160	13	17	0	6698
153	817	144	13	18	0	3838
154	734	127	13	18	0	3379
155	687	117	14	18	0	3124
156	558	106	14	19	0	1659
157	449	84	14	19	0	1323
158	330	62	14	19	0	968
159	185	42	31	42	0	655
160	52	21	16	21	0	328

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	87	1185	975	830	0,05	7,5
2	144	12496	5444	8747	0,05	7,5
3	453	27185	22482	19030	0,05	7,5
4	742	40786	36358	28550	0,05	7,5
5	975	51701	47419	36191	0,05	7,5
6	1205	60751	58144	42526	0,05	7,5
7	1272	50892	61256	35625	0,05	7,5
8	1363	51650	55260	36155	0,05	7,5
9	1413	52825	51081	36977	0,05	7,5
10	1461	58714	52266	41100	0,05	7,5
11	1508	282265	53384	197586	0,05	7,5
12	3094	333848	156770	233694	0,05	7,5
13	3194	340773	328860	238541	0,05	7,5
14	3284	346937	335197	242856	0,05	7,5
15	3360	352135	340538	246495	0,05	7,5
16	3426	356651	345174	249655	0,05	7,5
17	3479	360182	348798	252128	0,05	7,5
18	3522	363083	351772	254158	0,05	7,5
19	3564	365897	354658	256128	0,05	7,5
20	3597	368104	356920	257673	0,05	7,5
21	3599	368240	357059	257768	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	3592	367789	356597	257453	0,05	7,5
23	3603	368500	357325	257950	0,05	7,5
24	3608	368874	357708	258211	0,05	7,5
25	3609	368921	357757	258245	0,05	7,5
26	3610	368968	357805	258278	0,05	7,5
27	3434	357124	345660	249987	0,05	7,5
28	3257	344960	333165	241472	0,05	7,5
29	2811	313465	300703	219425	0,05	7,5
30	2348	279219	265170	195453	0,05	7,5
31	2416	284366	270529	199056	0,05	7,5
32	2483	289439	275805	202607	0,05	7,5
33	2484	289450	275816	202615	0,05	7,5
34	2484	289461	275828	202623	0,05	7,5
35	2431	285513	271723	199859	0,05	7,5
36	2378	281521	267568	197064	0,05	7,5
37	2384	281934	267998	197354	0,05	7,5
38	2389	282347	268429	197643	0,05	7,5
39	2387	282187	268262	197531	0,05	7,5
40	2385	282027	268095	197419	0,05	7,5
41	2430	285402	271608	199781	0,05	7,5
42	2474	288755	275094	202128	0,05	7,5
43	2483	289434	275800	202604	0,05	7,5
44	2492	290112	276505	203079	0,05	7,5
45	2467	288195	274512	201737	0,05	7,5
46	2441	286268	272508	200387	0,05	7,5
47	2417	284430	270596	199101	0,05	7,5
48	2392	282582	268673	197808	0,05	7,5
49	2393	282631	268723	197841	0,05	7,5
50	2393	282679	268774	197875	0,05	7,5
51	2396	282863	268965	198004	0,05	7,5
52	2398	283047	269157	198133	0,05	7,5
53	2395	282812	268913	197969	0,05	7,5
54	2392	282577	268668	197804	0,05	7,5
55	2390	282419	268503	197693	0,05	7,5
56	2388	282261	268339	197583	0,05	7,5
57	2433	285626	271840	199938	0,05	7,5
58	2477	288959	275306	202271	0,05	7,5
59	2478	289035	275386	202325	0,05	7,5
60	2479	289112	275465	202378	0,05	7,5
61	2507	291188	277622	203832	0,05	7,5
62	2535	293252	279766	205277	0,05	7,5
63	2569	295818	282429	207072	0,05	7,5
64	2604	298366	285071	208856	0,05	7,5
65	2640	301031	287835	210722	0,05	7,5
66	2676	303677	290577	212574	0,05	7,5
67	2792	312064	299255	218445	0,05	7,5
68	2906	320275	307738	224193	0,05	7,5
69	2998	326811	314481	228768	0,05	7,5
70	3089	333244	321110	233271	0,05	7,5
71	3129	336072	324022	235251	0,05	7,5
72	3170	338882	326914	237217	0,05	7,5
73	3190	340280	328352	238196	0,05	7,5
74	3210	341674	329786	239172	0,05	7,5
75	3223	342628	330767	239839	0,05	7,5
76	3237	343580	331746	240506	0,05	7,5
77	3197	340818	328906	238573	0,05	7,5
78	3157	338039	326047	236627	0,05	7,5
79	3095	333698	321578	233589	0,05	7,5
80	3033	329312	317059	230518	0,05	7,5
81	2968	324720	312325	227304	0,05	7,5
82	2903	320076	307533	224053	0,05	7,5
83	2843	315773	303088	221041	0,05	7,5
84	2783	311422	298592	217996	0,05	7,5
85	2729	307542	294577	215279	0,05	7,5
86	2675	303622	290519	212535	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]
87	2651	301801	288633	211261	0,05	7,5
88	2626	299972	286737	209980	0,05	7,5
89	2610	298800	285522	209160	0,05	7,5
90	2594	297625	284304	208338	0,05	7,5
91	2576	296327	282957	207429	0,05	7,5
92	2559	295025	281606	206517	0,05	7,5
93	2546	294112	280659	205878	0,05	7,5
94	2534	293197	279709	205238	0,05	7,5
95	2521	292217	278691	204552	0,05	7,5
96	2508	291234	277670	203864	0,05	7,5
97	2509	291310	277749	203917	0,05	7,5
98	2510	291386	277828	203970	0,05	7,5
99	2516	291848	278308	204293	0,05	7,5
100	2522	292309	278786	204616	0,05	7,5
101	2600	298062	284757	208644	0,05	7,5
102	2677	303729	290630	212610	0,05	7,5
103	2894	319403	306838	223582	0,05	7,5
104	3107	334489	322392	234142	0,05	7,5
105	3243	344003	332181	240802	0,05	7,5
106	3379	353312	341747	247319	0,05	7,5
107	3399	354710	343181	248297	0,05	7,5
108	3419	356103	344611	249272	0,05	7,5
109	3424	356397	344913	249478	0,05	7,5
110	3428	356691	345216	249684	0,05	7,5
111	3404	355036	343516	248525	0,05	7,5
112	3380	353374	341810	247362	0,05	7,5
113	3210	341663	329775	239164	0,05	7,5
114	3038	329623	317380	230736	0,05	7,5
115	2874	318030	305420	222621	0,05	7,5
116	2709	306091	293076	214264	0,05	7,5
117	2628	300135	286906	210095	0,05	7,5
118	2546	294083	280629	205858	0,05	7,5
119	2530	292875	279374	205012	0,05	7,5
120	2513	291662	278115	204164	0,05	7,5
121	2517	291927	278390	204349	0,05	7,5
122	2521	292192	278665	204534	0,05	7,5
123	2529	292823	279321	204976	0,05	7,5
124	2537	293454	279975	205418	0,05	7,5
125	2559	295054	281636	206538	0,05	7,5
126	2581	296648	283290	207653	0,05	7,5
127	2600	298115	284812	208681	0,05	7,5
128	2620	299578	286328	209704	0,05	7,5
129	2649	301668	288495	211167	0,05	7,5
130	2677	303747	290648	212623	0,05	7,5
131	2723	307098	294118	214968	0,05	7,5
132	2769	310420	297555	217294	0,05	7,5
133	2816	313812	301062	219668	0,05	7,5
134	2863	317175	304537	222023	0,05	7,5
135	2916	321012	308498	224708	0,05	7,5
136	2970	324812	312420	227369	0,05	7,5
137	3059	331114	318916	231780	0,05	7,5
138	3147	337322	325308	236125	0,05	7,5
139	3173	339092	327130	237364	0,05	7,5
140	3198	340855	328944	238598	0,05	7,5
141	3187	340107	328175	238075	0,05	7,5
142	3167	338734	326762	237114	0,05	7,5
143	3129	336029	323978	235220	0,05	7,5
144	3080	332670	320519	232869	0,05	7,5
145	2966	324636	312237	227245	0,05	7,5
146	2842	315770	303085	221039	0,05	7,5
147	2609	298836	285559	209185	0,05	7,5
148	2360	280352	266351	196247	0,05	7,5
149	2219	269639	255173	188747	0,05	7,5
150	2065	257760	242736	180432	0,05	7,5
151	1924	246745	124351	172721	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]
152	894	215572	37359	150900	0,05	7,5
153	817	52334	35128	36633	0,05	7,5
154	734	35099	32624	24569	0,05	7,5
155	687	33733	30453	23613	0,05	7,5
156	558	31825	27350	22277	0,05	7,5
157	449	26737	22022	18716	0,05	7,5
158	330	21084	16187	14759	0,05	7,5
159	219	15919	10773	11143	0,05	7,5
160	83	3112	761	2179	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 375 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 42 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 42 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 368968 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 737936 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	43	20	15	20	0	187
2	97	29	22	29	0	456
3	453	86	30	40	0	1349
4	742	143	30	40	0	2245
5	975	191	24	33	0	2995
6	1205	239	20	27	0	3744
7	1272	253	17	23	0	6379
8	1363	266	15	20	0	7087
9	1413	277	14	19	0	7395
10	1461	289	13	18	0	7702
11	1508	300	13	17	0	11547
12	3094	311	13	17	0	14594
13	3194	323	13	17	0	15164
14	3284	334	13	17	0	15678
15	3360	344	13	17	0	16118
16	3426	352	13	17	0	16505
17	3479	359	13	17	0	16810
18	3522	364	13	17	0	17062
19	3564	369	13	17	0	17308
20	3597	373	13	17	0	17502
21	3599	374	13	17	0	17514
22	3592	373	13	17	0	17475
23	3603	374	13	17	0	17537
24	3608	375	13	17	0	17570
25	3609	375	13	17	0	17574
26	3610	375	13	17	0	17579

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	3434	353	13	17	0	16547
28	3257	331	13	17	0	15516
29	2811	277	13	17	0	12979
30	2348	222	13	17	0	10442
31	2416	230	13	17	0	10808
32	2483	238	13	17	0	11175
33	2484	238	13	17	0	11175
34	2484	238	13	17	0	11176
35	2431	232	13	17	0	10891
36	2378	226	13	17	0	10605
37	2384	227	13	17	0	10635
38	2389	227	13	17	0	10664
39	2387	227	13	17	0	10653
40	2385	227	13	17	0	10641
41	2430	232	13	17	0	10883
42	2474	237	13	17	0	11125
43	2483	238	13	17	0	11174
44	2492	239	13	17	0	11224
45	2467	236	13	17	0	11084
46	2441	233	13	17	0	10945
47	2417	230	13	17	0	10813
48	2392	228	13	17	0	10681
49	2393	228	13	17	0	10684
50	2393	228	13	17	0	10688
51	2396	228	13	17	0	10701
52	2398	228	13	17	0	10714
53	2395	228	13	17	0	10697
54	2392	228	13	17	0	10681
55	2390	227	13	17	0	10669
56	2388	227	13	17	0	10658
57	2433	232	13	17	0	10899
58	2477	237	13	17	0	11140
59	2478	237	13	17	0	11145
60	2479	238	13	17	0	11151
61	2507	241	13	17	0	11302
62	2535	244	13	17	0	11453
63	2569	248	13	17	0	11642
64	2604	252	13	17	0	11831
65	2640	256	13	17	0	12031
66	2676	261	13	17	0	12230
67	2792	274	13	18	0	12870
68	2906	288	13	18	0	13511
69	2998	299	13	18	0	14030
70	3089	310	13	18	0	14549
71	3129	315	13	18	0	14780
72	3170	320	13	18	2	15011
73	3190	323	13	18	2	15127
74	3210	325	13	18	2	15242
75	3223	327	13	18	2	15321
76	3237	328	13	18	0	15401
77	3197	324	13	18	0	15171
78	3157	319	13	18	0	14942
79	3095	311	13	18	0	14586
80	3033	303	13	18	0	14231
81	2968	296	13	18	0	13863
82	2903	288	13	18	0	13495
83	2843	281	13	18	0	13158
84	2783	273	13	18	0	12821
85	2729	267	13	18	0	12523
86	2675	261	13	18	0	12226
87	2651	258	13	18	0	12089
88	2626	255	13	18	0	11951
89	2610	253	13	18	0	11864
90	2594	251	13	18	0	11776
91	2576	249	13	18	0	11680

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]
92	2559	247	13	18	0	11584
93	2546	245	13	18	0	11517
94	2534	244	13	18	0	11449
95	2521	242	13	18	0	11377
96	2508	241	13	18	0	11305
97	2509	241	13	18	0	11311
98	2510	241	13	18	0	11317
99	2516	242	13	18	0	11350
100	2522	243	13	18	0	11384
101	2600	252	13	18	0	11809
102	2677	261	13	18	0	12234
103	2894	287	13	18	0	13442
104	3107	312	13	18	0	14651
105	3243	329	13	18	0	15436
106	3379	346	13	18	0	16221
107	3399	349	13	18	0	16340
108	3419	351	13	18	0	16459
109	3424	352	13	18	0	16485
110	3428	352	13	18	0	16510
111	3404	349	13	18	0	16368
112	3380	346	13	18	0	16226
113	3210	325	13	18	0	15241
114	3038	304	13	18	0	14256
115	2874	284	13	18	0	13335
116	2709	265	13	18	0	12413
117	2628	255	13	18	0	11964
118	2546	245	13	18	0	11514
119	2530	243	13	18	0	11426
120	2513	242	13	18	0	11337
121	2517	242	13	18	0	11356
122	2521	242	13	18	0	11376
123	2529	243	13	18	0	11422
124	2537	244	13	18	0	11468
125	2559	247	13	18	0	11586
126	2581	249	13	18	0	11704
127	2600	252	13	18	0	11813
128	2620	254	13	18	0	11922
129	2649	257	13	18	0	12079
130	2677	261	13	18	0	12235
131	2723	266	13	18	0	12489
132	2769	272	13	18	0	12744
133	2816	277	13	18	0	13006
134	2863	283	13	18	0	13268
135	2916	289	13	18	0	13569
136	2970	296	13	18	0	13871
137	3059	307	13	18	0	14377
138	3147	317	13	18	0	14883
139	3173	320	13	18	0	15029
140	3198	324	13	18	0	15174
141	3187	322	13	18	2	15112
142	3167	320	13	18	2	14999
143	3129	315	13	18	2	14776
144	3080	309	13	17	0	14502
145	2966	295	13	17	0	13856
146	2842	280	13	17	0	13157
147	2609	253	13	17	0	11865
148	2360	224	13	17	0	10520
149	2219	208	13	17	0	9772
150	2065	191	13	17	0	8969
151	1924	176	13	17	0	8251
152	894	160	13	17	0	6698
153	817	144	13	18	0	3838
154	734	127	13	18	0	3379
155	687	117	14	18	0	3124
156	558	106	14	19	0	1659

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]
157	449	84	14	19	0	1323
158	330	62	14	19	0	968
159	185	42	31	42	0	655
160	52	21	16	21	0	328

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	87	1185	975	830	0,05	7,5
2	144	12496	5444	8747	0,05	7,5
3	453	27185	22482	19030	0,05	7,5
4	742	40786	36358	28550	0,05	7,5
5	975	51701	47419	36191	0,05	7,5
6	1205	60751	58144	42526	0,05	7,5
7	1272	50892	61256	35625	0,05	7,5
8	1363	51650	55260	36155	0,05	7,5
9	1413	52825	51081	36977	0,05	7,5
10	1461	58714	52266	41100	0,05	7,5
11	1508	282265	53384	197586	0,05	7,5
12	3094	333848	156770	233694	0,05	7,5
13	3194	340773	328860	238541	0,05	7,5
14	3284	346937	335197	242856	0,05	7,5
15	3360	352135	340538	246495	0,05	7,5
16	3426	356651	345174	249655	0,05	7,5
17	3479	360182	348798	252128	0,05	7,5
18	3522	363083	351772	254158	0,05	7,5
19	3564	365897	354658	256128	0,05	7,5
20	3597	368104	356920	257673	0,05	7,5
21	3599	368240	357059	257768	0,05	7,5
22	3592	367789	356597	257453	0,05	7,5
23	3603	368500	357325	257950	0,05	7,5
24	3608	368874	357708	258211	0,05	7,5
25	3609	368921	357757	258245	0,05	7,5
26	3610	368968	357805	258278	0,05	7,5
27	3434	357124	345660	249987	0,05	7,5
28	3257	344960	333165	241472	0,05	7,5
29	2811	313465	300703	219425	0,05	7,5
30	2348	279219	265170	195453	0,05	7,5
31	2416	284366	270529	199056	0,05	7,5
32	2483	289439	275805	202607	0,05	7,5
33	2484	289450	275816	202615	0,05	7,5
34	2484	289461	275828	202623	0,05	7,5
35	2431	285513	271723	199859	0,05	7,5
36	2378	281521	267568	197064	0,05	7,5
37	2384	281934	267998	197354	0,05	7,5
38	2389	282347	268429	197643	0,05	7,5
39	2387	282187	268262	197531	0,05	7,5
40	2385	282027	268095	197419	0,05	7,5
41	2430	285402	271608	199781	0,05	7,5
42	2474	288755	275094	202128	0,05	7,5
43	2483	289434	275800	202604	0,05	7,5
44	2492	290112	276505	203079	0,05	7,5
45	2467	288195	274512	201737	0,05	7,5
46	2441	286268	272508	200387	0,05	7,5
47	2417	284430	270596	199101	0,05	7,5
48	2392	282582	268673	197808	0,05	7,5
49	2393	282631	268723	197841	0,05	7,5
50	2393	282679	268774	197875	0,05	7,5
51	2396	282863	268965	198004	0,05	7,5
52	2398	283047	269157	198133	0,05	7,5
53	2395	282812	268913	197969	0,05	7,5
54	2392	282577	268668	197804	0,05	7,5
55	2390	282419	268503	197693	0,05	7,5
56	2388	282261	268339	197583	0,05	7,5
57	2433	285626	271840	199938	0,05	7,5
58	2477	288959	275306	202271	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]
59	2478	289035	275386	202325	0,05	7,5
60	2479	289112	275465	202378	0,05	7,5
61	2507	291188	277622	203832	0,05	7,5
62	2535	293252	279766	205277	0,05	7,5
63	2569	295818	282429	207072	0,05	7,5
64	2604	298366	285071	208856	0,05	7,5
65	2640	301031	287835	210722	0,05	7,5
66	2676	303677	290577	212574	0,05	7,5
67	2792	312064	299255	218445	0,05	7,5
68	2906	320275	307738	224193	0,05	7,5
69	2998	326811	314481	228768	0,05	7,5
70	3089	333244	321110	233271	0,05	7,5
71	3129	336072	324022	235251	0,05	7,5
72	3170	338882	326914	237217	0,05	7,5
73	3190	340280	328352	238196	0,05	7,5
74	3210	341674	329786	239172	0,05	7,5
75	3223	342628	330767	239839	0,05	7,5
76	3237	343580	331746	240506	0,05	7,5
77	3197	340818	328906	238573	0,05	7,5
78	3157	338039	326047	236627	0,05	7,5
79	3095	333698	321578	233589	0,05	7,5
80	3033	329312	317059	230518	0,05	7,5
81	2968	324720	312325	227304	0,05	7,5
82	2903	320076	307533	224053	0,05	7,5
83	2843	315773	303088	221041	0,05	7,5
84	2783	311422	298592	217996	0,05	7,5
85	2729	307542	294577	215279	0,05	7,5
86	2675	303622	290519	212535	0,05	7,5
87	2651	301801	288633	211261	0,05	7,5
88	2626	299972	286737	209980	0,05	7,5
89	2610	298800	285522	209160	0,05	7,5
90	2594	297625	284304	208338	0,05	7,5
91	2576	296327	282957	207429	0,05	7,5
92	2559	295025	281606	206517	0,05	7,5
93	2546	294112	280659	205878	0,05	7,5
94	2534	293197	279709	205238	0,05	7,5
95	2521	292217	278691	204552	0,05	7,5
96	2508	291234	277670	203864	0,05	7,5
97	2509	291310	277749	203917	0,05	7,5
98	2510	291386	277828	203970	0,05	7,5
99	2516	291848	278308	204293	0,05	7,5
100	2522	292309	278786	204616	0,05	7,5
101	2600	298062	284757	208644	0,05	7,5
102	2677	303729	290630	212610	0,05	7,5
103	2894	319403	306838	223582	0,05	7,5
104	3107	334489	322392	234142	0,05	7,5
105	3243	344003	332181	240802	0,05	7,5
106	3379	353312	341747	247319	0,05	7,5
107	3399	354710	343181	248297	0,05	7,5
108	3419	356103	344611	249272	0,05	7,5
109	3424	356397	344913	249478	0,05	7,5
110	3428	356691	345216	249684	0,05	7,5
111	3404	355036	343516	248525	0,05	7,5
112	3380	353374	341810	247362	0,05	7,5
113	3210	341663	329775	239164	0,05	7,5
114	3038	329623	317380	230736	0,05	7,5
115	2874	318030	305420	222621	0,05	7,5
116	2709	306091	293076	214264	0,05	7,5
117	2628	300135	286906	210095	0,05	7,5
118	2546	294083	280629	205858	0,05	7,5
119	2530	292875	279374	205012	0,05	7,5
120	2513	291662	278115	204164	0,05	7,5
121	2517	291927	278390	204349	0,05	7,5
122	2521	292192	278665	204534	0,05	7,5
123	2529	292823	279321	204976	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]
124	2537	293454	279975	205418	0,05	7,5
125	2559	295054	281636	206538	0,05	7,5
126	2581	296648	283290	207653	0,05	7,5
127	2600	298115	284812	208681	0,05	7,5
128	2620	299578	286328	209704	0,05	7,5
129	2649	301668	288495	211167	0,05	7,5
130	2677	303747	290648	212623	0,05	7,5
131	2723	307098	294118	214968	0,05	7,5
132	2769	310420	297555	217294	0,05	7,5
133	2816	313812	301062	219668	0,05	7,5
134	2863	317175	304537	222023	0,05	7,5
135	2916	321012	308498	224708	0,05	7,5
136	2970	324812	312420	227369	0,05	7,5
137	3059	331114	318916	231780	0,05	7,5
138	3147	337322	325308	236125	0,05	7,5
139	3173	339092	327130	237364	0,05	7,5
140	3198	340855	328944	238598	0,05	7,5
141	3187	340107	328175	238075	0,05	7,5
142	3167	338734	326762	237114	0,05	7,5
143	3129	336029	323978	235220	0,05	7,5
144	3080	332670	320519	232869	0,05	7,5
145	2966	324636	312237	227245	0,05	7,5
146	2842	315770	303085	221039	0,05	7,5
147	2609	298836	285559	209185	0,05	7,5
148	2360	280352	266351	196247	0,05	7,5
149	2219	269639	255173	188747	0,05	7,5
150	2065	257760	242736	180432	0,05	7,5
151	1924	246745	124351	172721	0,05	7,5
152	894	215572	37359	150900	0,05	7,5
153	817	52334	35128	36633	0,05	7,5
154	734	35099	32624	24569	0,05	7,5
155	687	33733	30453	23613	0,05	7,5
156	558	31825	27350	22277	0,05	7,5
157	449	26737	22022	18716	0,05	7,5
158	330	21084	16187	14759	0,05	7,5
159	219	15919	10773	11143	0,05	7,5
160	83	3112	761	2179	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 375 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 42 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 42 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 368968 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 737936 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 m)		Vertical 2 (L=10 m)		Vertical 3 (L=15 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,966	0,000	4,860	0,000	11,014
4	0,066	0,067	0,065	0,066	0,147	0,148
3	5,038	15,020	4,933	14,952	11,074	19,995
2	15,012	18,351	14,970	18,316	17,952	20,824
1	91,753	135,346	91,579	135,228	104,120	144,017

Layer number	Vertical 4 (L=20 m)		Vertical 5 (L=25 m)		Vertical 6 (L=30 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	16,365	0,000	20,273	0,000	24,000
4	0,218	0,219	0,270	0,271	0,320	0,321
3	16,420	24,734	20,326	28,307	24,051	31,770
2	20,504	23,061	22,308	24,679	23,977	26,197
1	115,305	152,300	123,394	158,512	130,984	164,489

Layer number	Vertical 7 (L=35 m)		Vertical 8 (L=40 m)		Vertical 9 (L=45 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	24,061	0,000	24,122	0,000	24,052
4	0,321	0,321	0,322	0,322	0,321	0,321
3	24,112	31,837	24,174	31,904	24,105	31,849
2	24,009	26,226	24,040	26,255	24,014	26,231
1	131,128	164,605	131,273	164,720	131,155	164,626

Layer number	Vertical 10 (L=50 m)		Vertical 11 (L=55 m)		Vertical 12 (L=60 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	23,982	0,000	23,904	0,000	23,826
4	0,320	0,320	0,319	0,319	0,318	0,318
3	24,036	31,795	23,958	31,732	23,880	31,669
2	23,989	26,207	23,959	26,180	23,929	26,153
1	131,037	164,532	130,902	164,424	130,766	164,316

Layer number	Vertical 13 (L=65 m)		Vertical 14 (L=70 m)		Vertical 15 (L=75 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	23,842	0,000	23,858	0,000	23,826
4	0,318	0,319	0,318	0,319	0,318	0,318
3	23,897	31,694	23,913	31,719	23,883	31,700
2	23,941	26,164	23,953	26,175	23,944	26,167
1	130,820	164,359	130,874	164,402	130,833	164,370

Layer number	Vertical 16 (L=80 m)		Vertical 17 (L=85 m)		Vertical 18 (L=90 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	23,795	0,000	23,699	0,000	23,604
4	0,317	0,318	0,316	0,317	0,315	0,315
3	23,852	31,681	23,757	31,602	23,662	31,523
2	23,935	26,158	23,898	26,124	23,861	26,090
1	130,792	164,337	130,622	164,201	130,451	164,065

Layer number	Vertical 19 (L=95 m)		Vertical 20 (L=100 m)		Vertical 21 (L=105 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	23,614	0,000	23,624	0,000	23,336
4	0,315	0,316	0,315	0,316	0,311	0,312
3	23,672	31,543	23,683	31,563	23,396	31,305
2	23,870	26,099	23,879	26,107	23,757	25,996
1	130,494	164,099	130,536	164,133	129,978	163,690

Layer number	Vertical 22 (L=110 m)		Vertical 23 (L=115 m)		Vertical 24 (L=120 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	23,047	0,000	23,111	0,000	23,176
4	0,307	0,308	0,308	0,309	0,309	0,310
3	23,107	31,047	23,172	31,117	23,237	31,187
2	23,634	25,884	23,668	25,914	23,701	25,944
1	129,418	163,245	129,570	163,366	129,722	163,487

Layer number	Vertical 25 (L=125 m)		Vertical 26 (L=130 m)		Vertical 27 (L=135 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	23,174	0,000	23,173	0,000	20,757
4	0,309	0,310	0,309	0,310	0,277	0,278
3	23,236	31,196	23,235	31,205	20,822	28,982
2	23,705	25,948	23,710	25,952	22,639	24,978
1	129,742	163,502	129,761	163,517	124,892	159,681

Layer number	Vertical 28 (L=140 m)		Vertical 29 (L=145 m)		Vertical 30 (L=150 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	18,268	0,000	11,740	0,000	4,020
4	0,244	0,244	0,157	0,158	0,054	0,055
3	18,336	26,716	11,816	20,917	4,121	14,676
2	21,516	23,965	18,465	21,268	14,796	18,174
1	119,826	155,750	106,339	145,630	90,872	134,751

Layer number	Vertical 31 (L=155 m)		Vertical 32 (L=160 m)		Vertical 33 (L=165 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	5,264	0,000	6,438	0,000	6,425
4	0,070	0,071	0,086	0,087	0,086	0,087
3	5,359	15,613	6,529	16,536	6,517	16,538
2	15,380	18,653	15,943	19,119	15,944	19,120
1	93,264	136,375	95,596	137,980	95,601	137,984

Layer number	Vertical 34 (L=170 m)		Vertical 35 (L=175 m)		Vertical 36 (L=180 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	6,413	0,000	5,474	0,000	4,493
4	0,086	0,087	0,073	0,074	0,060	0,061
3	6,505	16,540	5,571	15,822	4,595	15,095
2	15,945	19,121	15,508	18,759	15,059	18,389
1	95,606	137,987	93,793	136,738	91,945	135,477

Layer number	Vertical 37 (L=185 m)		Vertical 38 (L=190 m)		Vertical 39 (L=195 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,578	0,000	4,663	0,000	4,607
4	0,061	0,062	0,062	0,064	0,061	0,063
3	4,681	15,170	4,766	15,246	4,712	15,216
2	15,106	18,427	15,153	18,466	15,135	18,451
1	92,137	135,607	92,329	135,738	92,255	135,687

Layer number	Vertical 40 (L=200 m)		Vertical 41 (L=205 m)		Vertical 42 (L=210 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,551	0,000	5,341	0,000	6,094
4	0,061	0,062	0,071	0,073	0,081	0,083
3	4,657	15,187	5,455	15,802	6,226	16,412
2	15,117	18,436	15,496	18,748	15,868	19,057
1	92,181	135,637	93,742	136,703	95,283	137,764

Layer number	Vertical 43 (L=215 m)		Vertical 44 (L=220 m)		Vertical 45 (L=225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	6,214	0,000	6,334	0,000	5,849
4	0,083	0,085	0,084	0,087	0,078	0,081
3	6,369	16,536	6,511	16,659	6,052	16,310
2	15,942	19,119	16,016	19,181	15,806	19,005
1	95,594	137,979	95,904	138,194	95,026	137,586

Layer number	Vertical 46 (L=230 m)		Vertical 47 (L=235 m)		Vertical 48 (L=240 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	5,353	0,000	4,871	0,000	4,375
4	0,071	0,074	0,065	0,068	0,058	0,062
3	5,585	15,959	5,131	15,625	4,668	15,288
2	15,593	18,828	15,387	18,659	15,180	18,488
1	94,141	136,976	93,294	136,395	92,438	135,812

Layer number	Vertical 49 (L=245 m)		Vertical 50 (L=250 m)		Vertical 51 (L=255 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,346	0,000	4,317	0,000	4,322
4	0,058	0,062	0,058	0,062	0,058	0,063
3	4,664	15,297	4,660	15,306	4,690	15,339
2	15,185	18,492	15,190	18,497	15,211	18,514
1	92,461	135,827	92,483	135,842	92,569	135,900

Layer number	Vertical 52 (L=260 m)		Vertical 53 (L=265 m)		Vertical 54 (L=270 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,327	0,000	4,227	0,000	4,127
4	0,058	0,063	0,056	0,062	0,055	0,061
3	4,719	15,373	4,646	15,330	4,573	15,287
2	15,232	18,531	15,206	18,509	15,179	18,487
1	92,654	135,959	92,545	135,884	92,436	135,810

Layer number	Vertical 55 (L=275 m)		Vertical 56 (L=280 m)		Vertical 57 (L=285 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,045	0,000	3,963	0,000	4,764
4	0,054	0,060	0,053	0,060	0,064	0,070
3	4,518	15,259	4,463	15,230	5,267	15,842
2	15,161	18,473	15,143	18,458	15,521	18,769
1	92,363	135,760	92,289	135,710	93,845	136,773

Layer number	Vertical 58 (L=290 m)		Vertical 59 (L=295 m)		Vertical 60 (L=300 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	5,532	0,000	5,512	0,000	5,492
4	0,074	0,081	0,073	0,081	0,073	0,081
3	6,040	16,449	6,044	16,463	6,047	16,477
2	15,890	19,075	15,898	19,082	15,907	19,089
1	95,376	137,828	95,411	137,853	95,446	137,877

Layer number	Vertical 61 (L=305 m)		Vertical 62 (L=310 m)		Vertical 63 (L=315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	5,947	0,000	6,394	0,000	6,951
4	0,079	0,087	0,085	0,093	0,093	0,101
3	6,515	16,855	6,974	17,231	7,542	17,698
2	16,134	19,279	16,358	19,467	16,633	19,699
1	96,394	138,535	97,333	139,189	98,494	140,004

Layer number	Vertical 64 (L=320 m)		Vertical 65 (L=325 m)		Vertical 66 (L=330 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,498	0,000	8,064	0,000	8,621
4	0,100	0,108	0,108	0,116	0,115	0,123
3	8,099	18,162	8,677	18,647	9,245	19,130
2	16,905	19,928	17,186	20,167	17,462	20,404
1	99,642	140,814	100,837	141,662	102,018	142,505

Layer number	Vertical 67 (L=335 m)		Vertical 68 (L=340 m)		Vertical 69 (L=345 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	10,429	0,000	12,160	0,000	13,514
4	0,139	0,147	0,162	0,170	0,180	0,188
3	11,044	20,661	12,772	22,164	14,129	23,364
2	18,323	21,145	19,145	21,861	19,787	22,425
1	105,725	145,182	109,306	147,810	112,126	149,907

Layer number	Vertical 70 (L=350 m)		Vertical 71 (L=355 m)		Vertical 72 (L=360 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	14,834	0,000	15,395	0,000	15,951
4	0,198	0,206	0,205	0,214	0,213	0,221
3	15,454	24,548	16,028	25,070	16,596	25,590
2	20,408	22,975	20,678	23,216	20,945	23,453
1	114,876	151,975	116,078	152,886	117,267	153,790

Layer number	Vertical 73 (L=365 m)		Vertical 74 (L=370 m)		Vertical 75 (L=375 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	16,213	0,000	16,473	0,000	16,642
4	0,216	0,225	0,220	0,229	0,222	0,231
3	16,873	25,849	17,148	26,107	17,333	26,284
2	21,077	23,571	21,208	23,689	21,298	23,769
1	117,857	154,241	118,445	154,690	118,846	154,998

Layer number	Vertical 76 (L=380 m)		Vertical 77 (L=385 m)		Vertical 78 (L=390 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	16,811	0,000	16,207	0,000	15,597
4	0,224	0,234	0,216	0,226	0,208	0,218
3	17,518	26,460	16,938	25,948	16,354	25,434
2	21,387	23,849	21,128	23,617	20,865	23,382
1	119,246	155,305	118,084	154,415	116,911	153,519

Layer number	Vertical 79 (L=395 m)		Vertical 80 (L=400 m)		Vertical 81 (L=405 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	14,658	0,000	13,703	0,000	12,698
4	0,195	0,206	0,183	0,194	0,169	0,181
3	15,444	24,632	14,521	23,824	13,549	22,979
2	20,451	23,014	20,029	22,640	19,583	22,245
1	115,069	152,121	113,198	150,711	111,227	149,236

Layer number	Vertical 82 (L=410 m)		Vertical 83 (L=415 m)		Vertical 84 (L=420 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,672	0,000	10,709	0,000	9,724
4	0,156	0,167	0,143	0,155	0,130	0,143
3	12,560	22,127	11,635	21,339	10,691	20,543
2	19,126	21,844	18,697	21,470	18,258	21,089
1	109,220	147,746	107,348	146,368	105,443	144,977

Layer number	Vertical 85 (L=425 m)		Vertical 86 (L=430 m)		Vertical 87 (L=435 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	8,829	0,000	7,911	0,000	7,460
4	0,118	0,131	0,105	0,120	0,099	0,114
3	9,839	19,835	8,968	19,119	8,552	18,788
2	17,862	20,746	17,456	20,399	17,266	20,236
1	103,732	143,737	101,993	142,487	101,181	141,907

Layer number	Vertical 88 (L=440 m)		Vertical 89 (L=445 m)		Vertical 90 (L=450 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,001	0,000	6,692	0,000	6,378
4	0,093	0,108	0,089	0,105	0,085	0,101
3	8,131	18,454	7,855	18,241	7,576	18,027
2	17,074	20,073	16,951	19,967	16,826	19,862
1	100,363	141,325	99,837	140,952	99,309	140,578

Layer number	Vertical 91 (L=455 m)		Vertical 92 (L=460 m)		Vertical 93 (L=465 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	6,033	0,000	5,682	0,000	5,422
4	0,080	0,097	0,076	0,093	0,072	0,090
3	7,268	17,790	6,956	17,553	6,732	17,387
2	16,688	19,745	16,548	19,627	16,450	19,545
1	98,724	140,166	98,136	139,752	97,723	139,462

Layer number	Vertical 94 (L=470 m)		Vertical 95 (L=475 m)		Vertical 96 (L=480 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	5,159	0,000	4,877	0,000	4,591
4	0,069	0,087	0,065	0,084	0,061	0,080
3	6,506	17,221	6,263	17,042	6,018	16,863
2	16,352	19,462	16,246	19,373	16,139	19,283
1	97,308	139,172	96,863	138,861	96,415	138,549

Layer number	Vertical 97 (L=485 m)		Vertical 98 (L=490 m)		Vertical 99 (L=495 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,570	0,000	4,549	0,000	4,625
4	0,061	0,080	0,061	0,080	0,062	0,082
3	6,021	16,877	6,024	16,891	6,118	16,975
2	16,147	19,290	16,155	19,297	16,206	19,339
1	96,450	138,573	96,485	138,597	96,695	138,744

Layer number	Vertical 100 (L=500 m)		Vertical 101 (L=505 m)		Vertical 102 (L=510 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,700	0,000	6,070	0,000	7,366
4	0,063	0,083	0,081	0,100	0,098	0,117
3	6,212	17,059	7,523	18,106	8,779	19,139
2	16,256	19,381	16,872	19,901	17,468	20,408
1	96,904	138,890	99,506	140,717	102,041	142,521

Layer number	Vertical 103 (L=515 m)		Vertical 104 (L=520 m)		Vertical 105 (L=525 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	10,848	0,000	14,065	0,000	16,047
4	0,145	0,162	0,188	0,204	0,214	0,230
3	12,160	22,004	15,318	24,778	17,279	26,539
2	19,059	21,786	20,527	23,081	21,427	23,885
1	108,928	147,531	115,405	152,376	119,424	155,442

Layer number	Vertical 106 (L=530 m)		Vertical 107 (L=535 m)		Vertical 108 (L=540 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	17,969	0,000	18,232	0,000	18,495
4	0,240	0,256	0,243	0,259	0,247	0,263
3	19,186	28,270	19,462	28,531	19,737	28,791
2	22,290	24,662	22,419	24,778	22,546	24,894
1	123,312	158,448	123,892	158,900	124,469	159,351

Layer number	Vertical 109 (L=545 m)		Vertical 110 (L=550 m)		Vertical 111 (L=555 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	18,556	0,000	18,617	0,000	18,272
4	0,247	0,264	0,248	0,265	0,244	0,260
3	19,797	28,846	19,858	28,901	19,518	28,592
2	22,573	24,918	22,600	24,943	22,448	24,805
1	124,591	159,446	124,713	159,541	124,027	159,005

Layer number	Vertical 112 (L=560 m)		Vertical 113 (L=565 m)		Vertical 114 (L=570 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	17,924	0,000	15,465	0,000	12,902
4	0,239	0,256	0,206	0,223	0,172	0,190
3	19,176	28,282	16,761	26,105	14,256	23,881
2	22,296	24,667	21,207	23,688	20,059	22,666
1	123,337	158,468	118,440	154,687	113,331	150,811

Layer number	Vertical 115 (L=575 m)		Vertical 116 (L=580 m)		Vertical 117 (L=585 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	10,383	0,000	7,698	0,000	6,303
4	0,138	0,157	0,103	0,123	0,084	0,105
3	11,806	21,752	9,221	19,570	7,895	18,484
2	18,922	21,666	17,712	20,618	17,092	20,087
1	108,332	147,091	103,090	143,274	100,436	141,377

Layer number	Vertical 118 (L=590 m)		Vertical 119 (L=595 m)		Vertical 120 (L=600 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,826	0,000	4,521	0,000	4,210
4	0,064	0,087	0,060	0,083	0,056	0,079
3	6,510	17,382	6,228	17,162	5,942	16,941
2	16,447	19,542	16,317	19,432	16,185	19,322
1	97,710	139,453	97,162	139,070	96,610	138,685

Layer number	Vertical 121 (L=605 m)		Vertical 122 (L=610 m)		Vertical 123 (L=615 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,278	0,000	4,346	0,000	4,507
4	0,057	0,080	0,058	0,081	0,060	0,083
3	6,005	16,989	6,067	17,037	6,216	17,152
2	16,214	19,346	16,243	19,370	16,311	19,428
1	96,731	138,769	96,851	138,853	97,138	139,053

Layer number	Vertical 124 (L=620 m)		Vertical 125 (L=625 m)		Vertical 126 (L=630 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,667	0,000	5,068	0,000	5,461
4	0,062	0,085	0,068	0,090	0,073	0,095
3	6,364	17,267	6,736	17,559	7,102	17,849
2	16,379	19,485	16,552	19,630	16,722	19,774
1	97,424	139,253	98,149	139,761	98,869	140,268

Layer number	Vertical 127 (L=635 m)		Vertical 128 (L=640 m)		Vertical 129 (L=645 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	5,818	0,000	6,170	0,000	6,667
4	0,078	0,099	0,082	0,104	0,089	0,110
3	7,438	18,116	7,769	18,382	8,239	18,763
2	16,878	19,906	17,033	20,037	17,252	20,224
1	99,530	140,734	100,186	141,199	101,122	141,865

Layer number	Vertical 130 (L=650 m)		Vertical 131 (L=655 m)		Vertical 132 (L=660 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	7,154	0,000	7,929	0,000	8,685
4	0,095	0,116	0,106	0,126	0,116	0,136
3	8,703	19,142	9,443	19,753	10,168	20,360
2	17,469	20,410	17,816	20,707	18,156	21,000
1	102,049	142,527	103,536	143,596	105,002	144,656

Layer number	Vertical 133 (L=665 m)		Vertical 134 (L=670 m)		Vertical 135 (L=675 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,447	0,000	10,194	0,000	11,037
4	0,126	0,145	0,136	0,155	0,147	0,166
3	10,902	20,980	11,624	21,596	12,441	22,299
2	18,500	21,298	18,837	21,592	19,218	21,925
1	106,491	145,741	107,959	146,817	109,625	148,046

Layer number	Vertical 136 (L=680 m)		Vertical 137 (L=685 m)		Vertical 138 (L=690 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,864	0,000	13,222	0,000	14,546
4	0,158	0,177	0,176	0,194	0,194	0,211
3	13,245	22,996	14,568	24,156	15,861	25,301
2	19,592	22,253	20,203	22,794	20,797	23,321
1	111,266	149,265	113,968	151,290	116,607	153,288

Layer number	Vertical 139 (L=695 m)		Vertical 140 (L=700 m)		Vertical 141 (L=705 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	14,921	0,000	15,294	0,000	15,202
4	0,199	0,216	0,204	0,221	0,203	0,220
3	16,229	25,629	16,594	25,955	16,503	25,874
2	20,965	23,471	21,131	23,620	21,090	23,583
1	117,356	153,858	118,100	154,426	117,915	154,285

Layer number	Vertical 142 (L=710 m)		Vertical 143 (L=715 m)		Vertical 144 (L=720 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	15,109	0,000	14,869	0,000	14,628
4	0,201	0,219	0,198	0,216	0,195	0,213
3	16,413	25,793	16,178	25,583	15,942	25,373
2	21,049	23,546	20,942	23,450	20,834	23,354
1	117,730	154,144	117,252	153,779	116,772	153,413

Layer number	Vertical 145 (L=725 m)		Vertical 146 (L=730 m)		Vertical 147 (L=735 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	13,550	0,000	12,449	0,000	9,811
4	0,181	0,199	0,166	0,184	0,131	0,150
3	14,888	24,438	13,814	23,494	11,254	21,280
2	20,351	22,924	19,855	22,486	18,664	21,441
1	114,621	151,783	112,429	150,135	107,206	146,264

Layer number	Vertical 148 (L=740 m)		Vertical 149 (L=745 m)		Vertical 150 (L=750 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	6,980	0,000	6,018	0,000	5,017
4	0,093	0,114	0,080	0,102	0,067	0,089
3	8,537	19,006	7,626	18,267	6,688	17,521
2	17,392	20,343	16,966	19,981	16,530	19,611
1	101,716	142,289	99,903	140,998	98,056	139,696

Layer number	Vertical 151 (L=755 m)		Vertical 152 (L=760 m)		Vertical 153 (L=765 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	4,452	0,000	3,868	0,000	3,072
4	0,059	0,082	0,052	0,075	0,041	0,066
3	6,165	17,113	5,630	16,702	4,913	16,162
2	16,288	19,408	16,042	19,202	15,716	18,931
1	97,039	138,984	96,011	138,268	94,654	137,330

Layer number	Vertical 154 (L=770 m)		Vertical 155 (L=775 m)		Vertical 156 (L=780 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	2,220	0,000	2,987	0,000	3,707
4	0,030	0,056	0,040	0,064	0,049	0,073
3	4,169	15,618	4,837	16,106	5,483	16,590
2	15,384	18,656	15,682	18,903	15,975	19,146
1	93,278	136,385	94,512	137,232	95,731	138,074

Layer number	Vertical 157 (L=785 m)		Vertical 158 (L=790 m)		Vertical 159 (L=795 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	3,024	0,000	2,300	0,000	2,300
4	0,040	0,065	0,031	0,056	0,031	0,056
3	4,870	16,131	4,237	15,668	4,237	15,668
2	15,697	18,915	15,414	18,681	15,414	18,681
1	94,574	137,274	93,403	136,470	93,403	136,470

Layer number	Vertical 160 (L=800 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	2,300
4	0,031	0,056
3	4,237	15,668
2	15,414	18,681
1	93,403	136,470

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 = 192808 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	249
T2	52	245
T3	118	258

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	703	223
T5	801	239
T6	810	238

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 = 810 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 = 42 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 = 368968 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

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

In the calculation 5 load combinations are considered:

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

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

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,33 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,61	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0175 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 5,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,84 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,62	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,29	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,84	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)	4,61	4,72	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,67	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,84	3,84

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,8 mm (2,49% 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 325 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 221 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1780 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 210 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 = 810 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 = 42 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 = 368968 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,33 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,61	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0175 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 5,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,84 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,62	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,29	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,84	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)	4,61	4,72	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,67	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,84	3,84

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,8 mm (2,49% 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 325 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 221 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1780 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 210 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 = 810 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 = 42 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 = 368968 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,33 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,61	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0175 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 5,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,84 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,62	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,29	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,84	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)	4,61	4,72	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,67	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,84	3,84

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,8 mm (2,49% 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 325 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 221 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1780 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 210 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 = 810 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 = 42 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 = 368968 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 4,33 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	4,61	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 4,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 4,72 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0175 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,67 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 0,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 5,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 3,84 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,62	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	5,29	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	3,84	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)	4,61	4,72	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,67	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	3,84	3,84

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 7,8 mm (2,49% 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 325 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 221 kN/m². The maximum allowable pressure becomes 1780 kN/m².

In operation, the water pressure at the lowest point of the drilling gives an external pressure. The maximum water pressure equals 210 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report

D.2 002.678.20 1030745 6 Vergunningsrapportage B

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

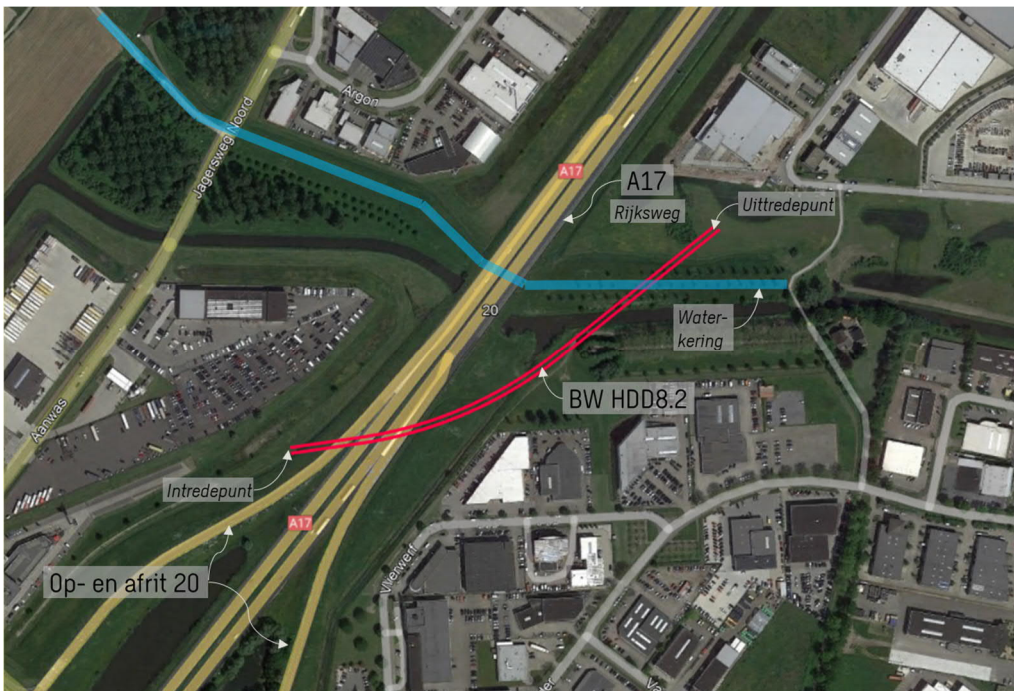
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen 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 (althoewel 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.

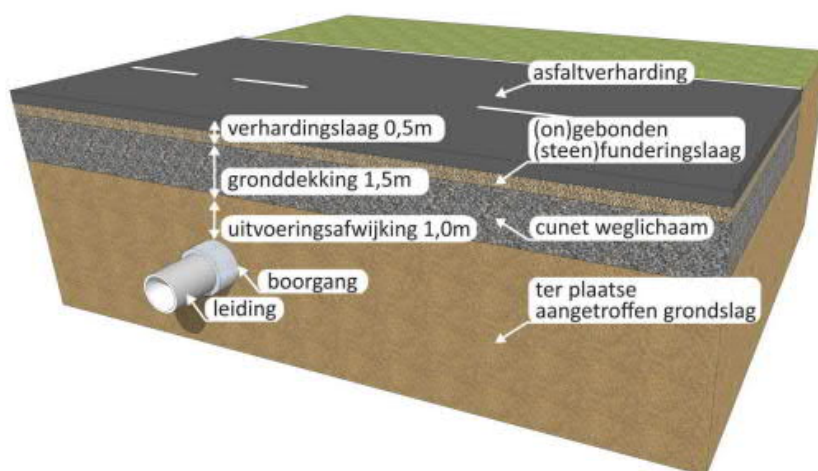
Tenslotte zou de boring onder de waterkering nabij mast 11 uitkomen bij de drukgevoelige persleiding, een andere 150kV-kabelverbinding die onder de A17 door geboord is, én een A-watergang gelegen tussen mast 11 en de A17. De beperkte ruimte maakt een uitvoering met twee haakse boringen niet realistisch.

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 muddrukberendingen 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

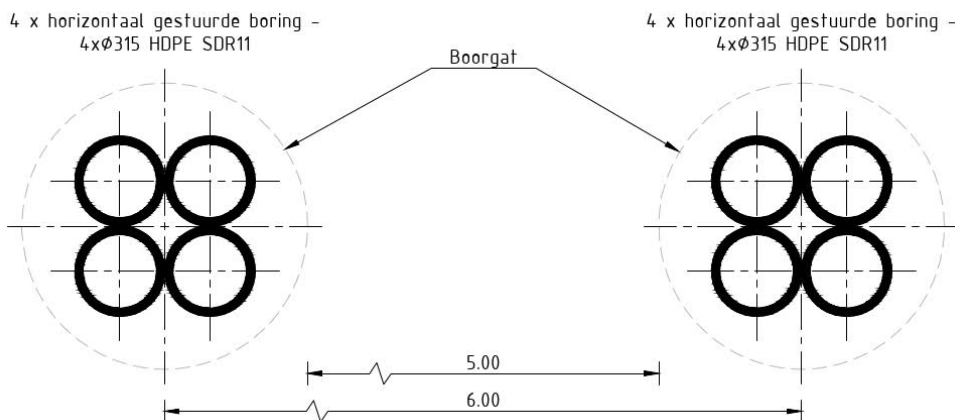
RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

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

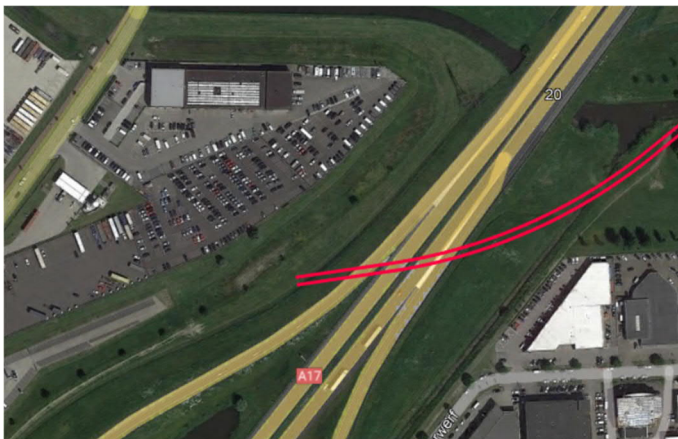
Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- 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

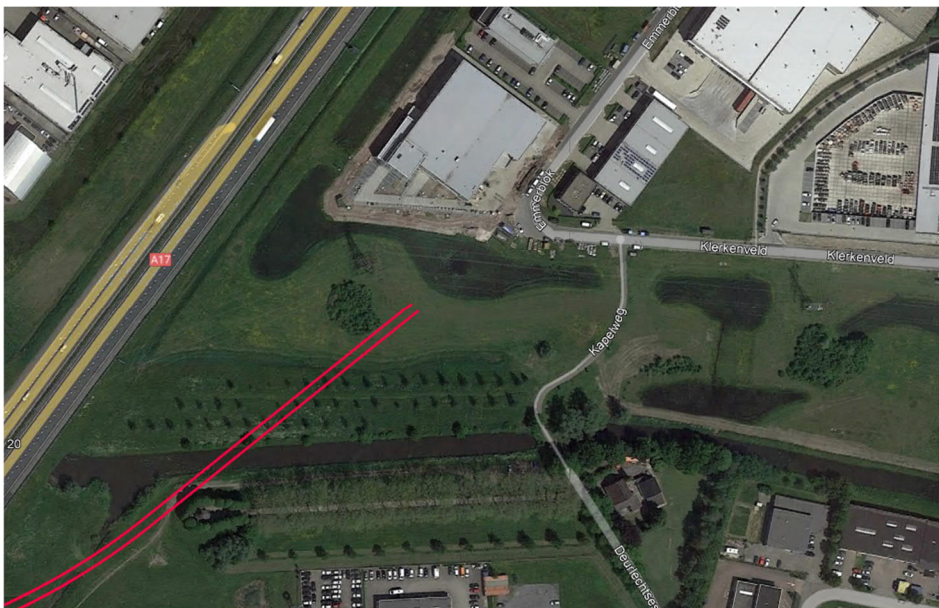
Het uittredepunt ligt aan de noordzijde van het tracé nabij hoogspanningsmast RSD-WDT-150-11 van TenneT (zie figuur 5). Hier dient rekening te worden gehouden met werken onder of nabij de hoogspanningsroute. De locatie is bereikbaar via het bedrijventerrein aan de Klerkenveld.

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.

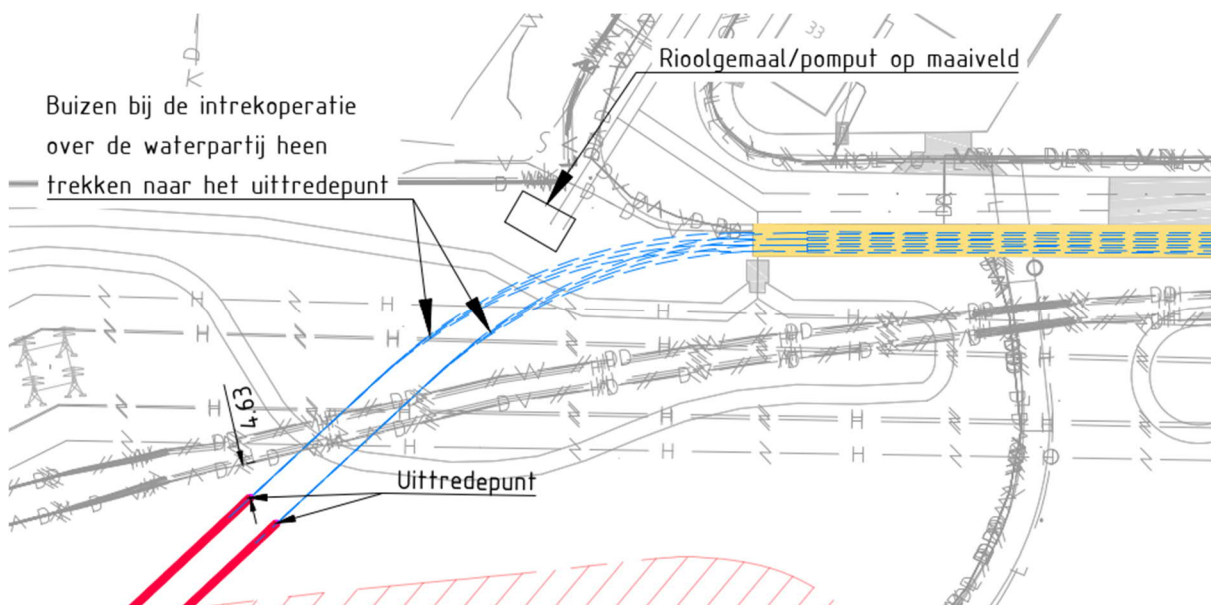
In de as-built tekening van de HDD-bundel is zichtbaar dat het intredepunt van de HDD-bundel nabij het uittredepunt van de nieuwe HDD's ligt. Hieruit maken

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

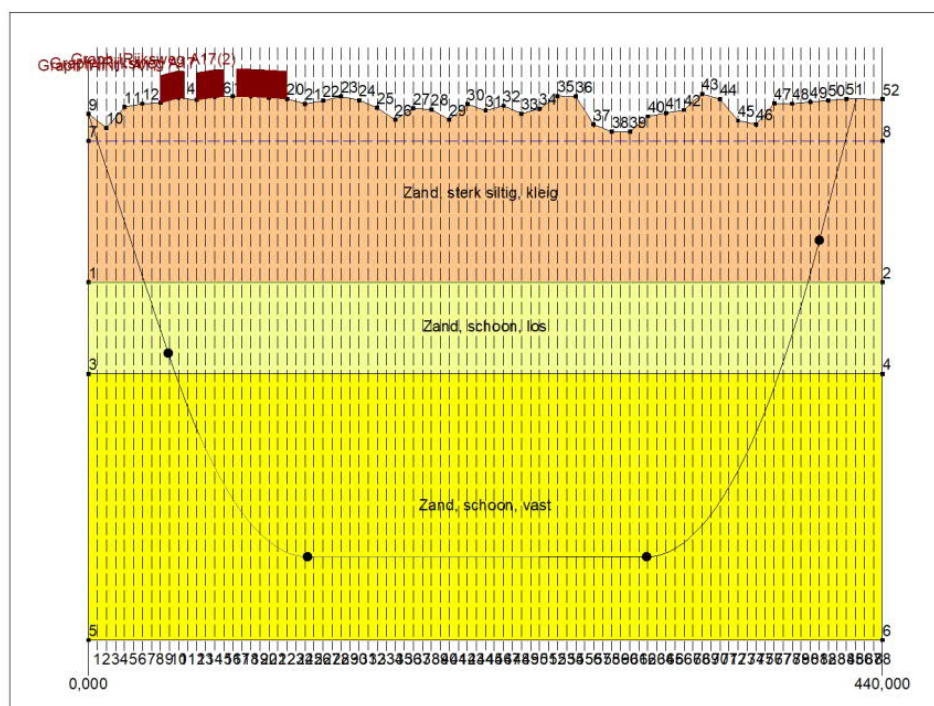
4. Berekeningsresultaten

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 Trekrachtberekening

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.

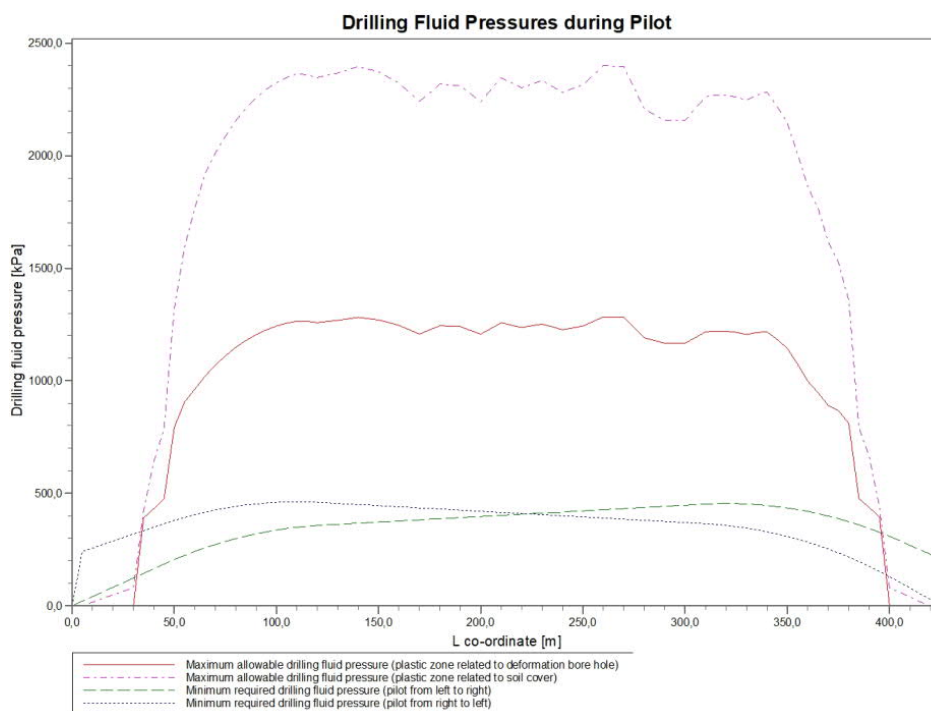
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

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 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

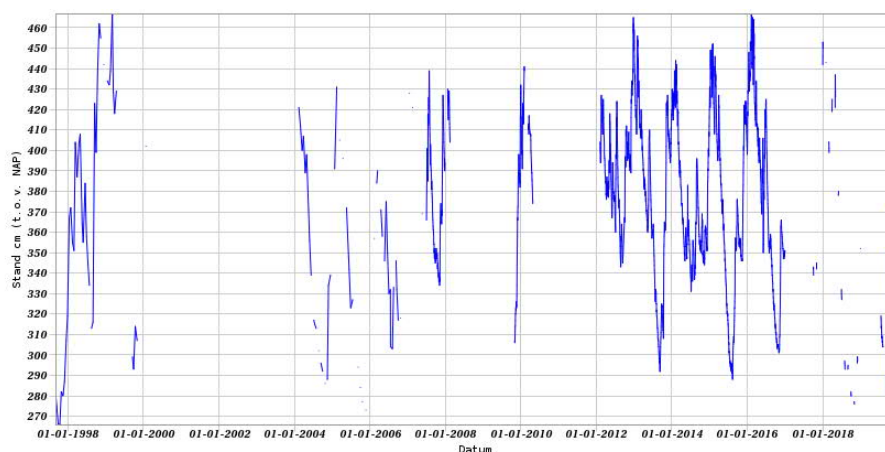
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 260 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

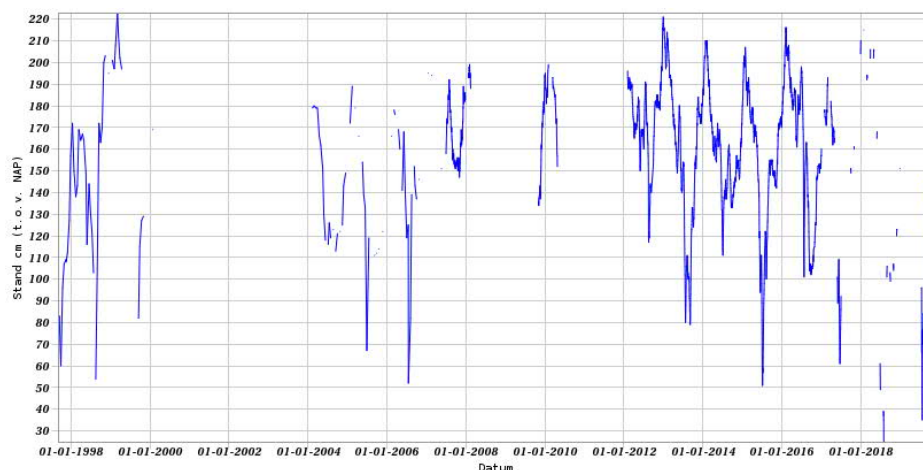
Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende 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 te 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.

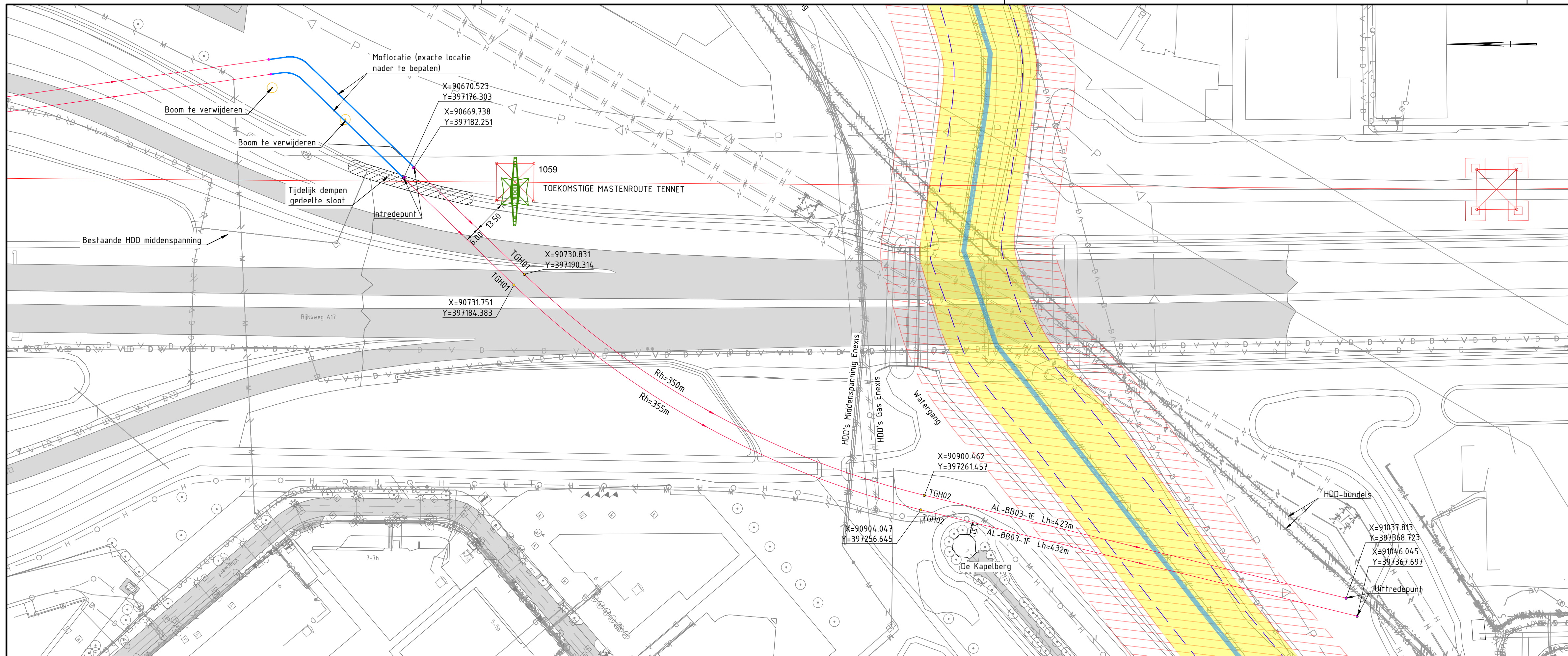
Dit rapport betreft de kruising met de snelweg A17 en de regionale waterkering in beheer bij waterschap Brabantse Delta. De kruising (met codering BW HDD8.3) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat en waterschap Brabantse Delta, waarbij het ontwerp en berekeningen moeten zijn uitgevoerd conform NEN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

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

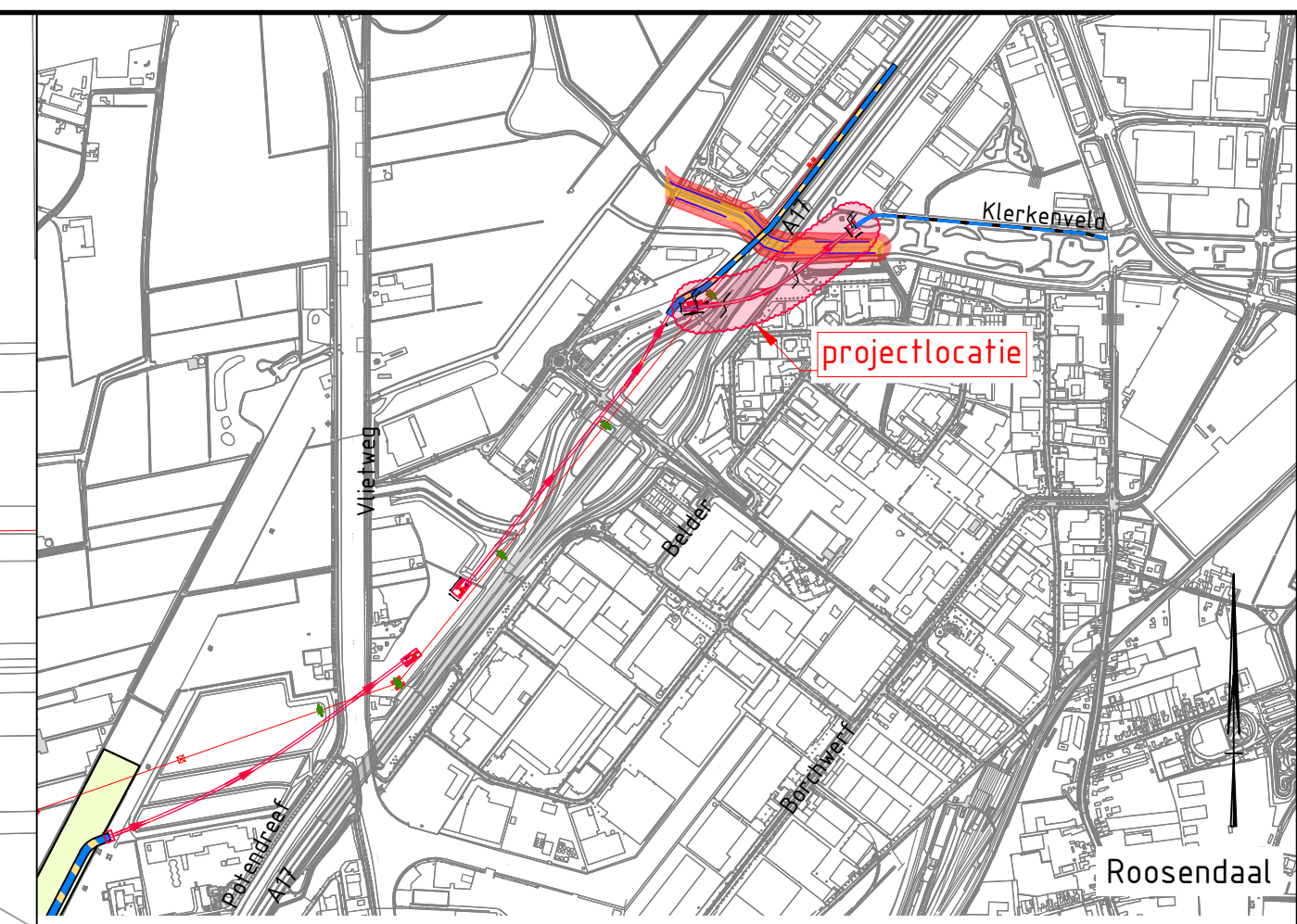
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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.

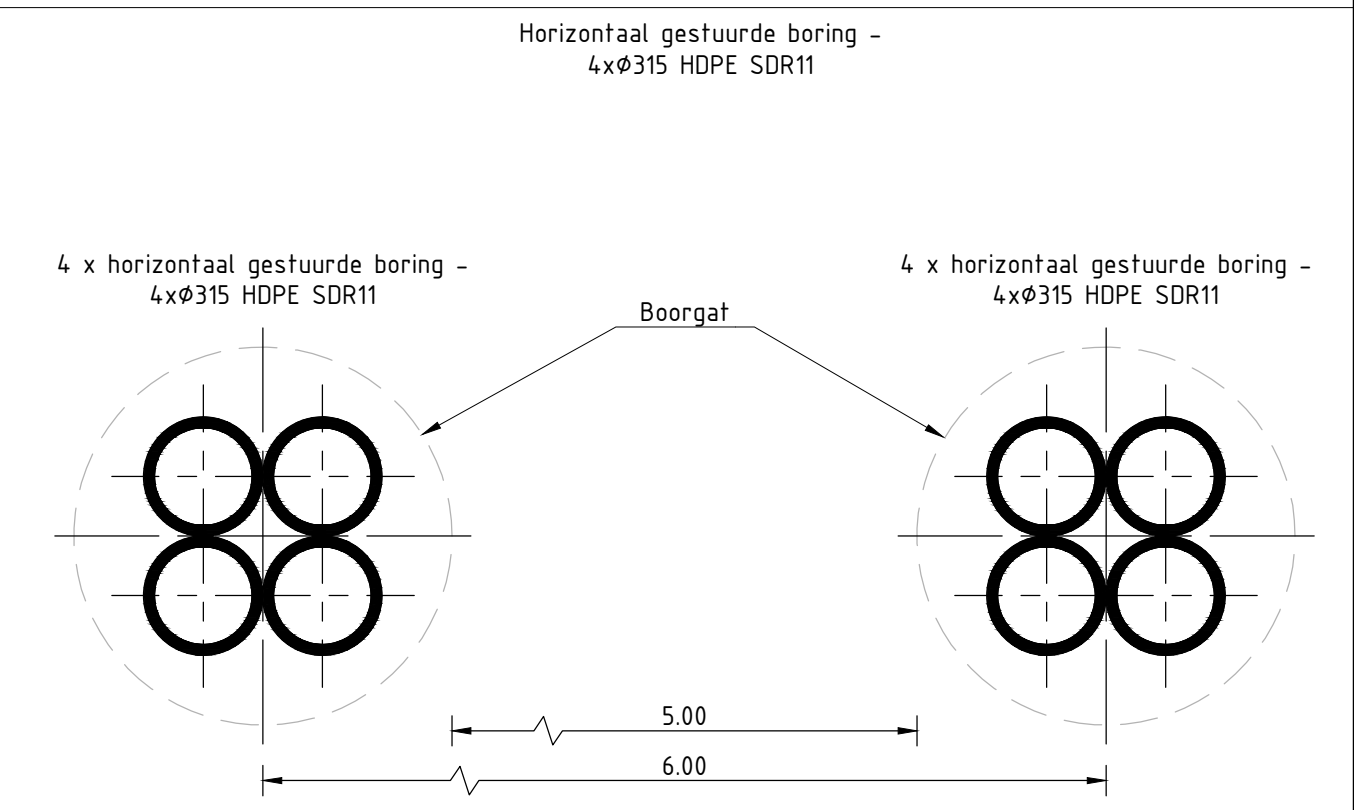
Bijlage 1 – Ontwerptekening



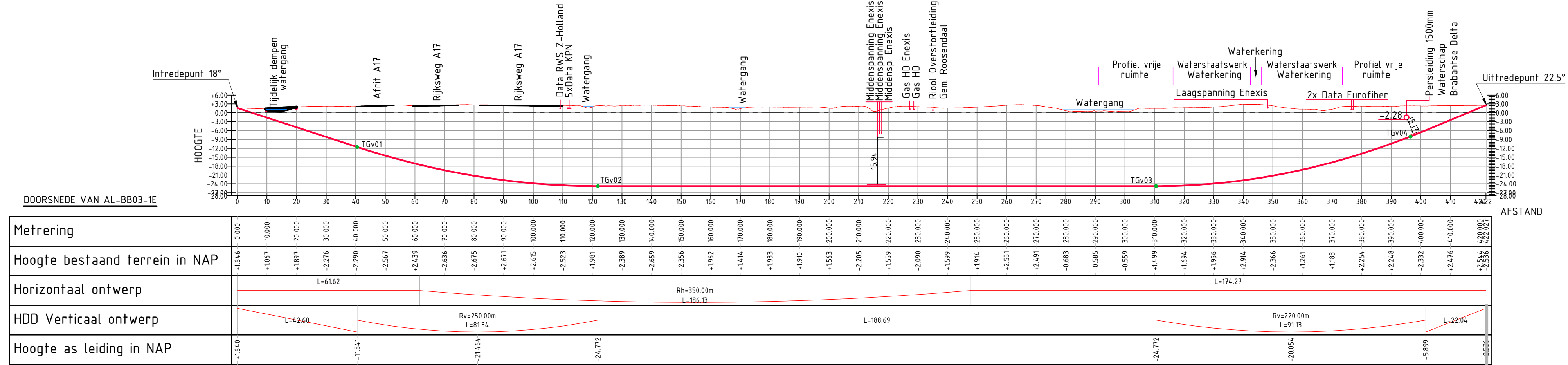
Bovenaanzicht schaal 1:1000



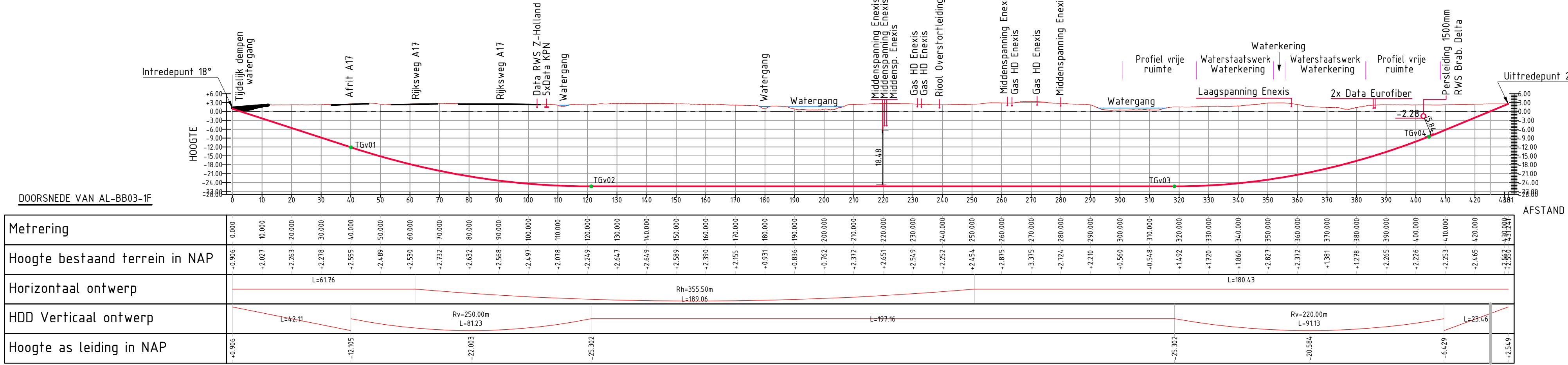
Overzicht Schaal n.v.t.



Principe doorsnede Schaal 1:20



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



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

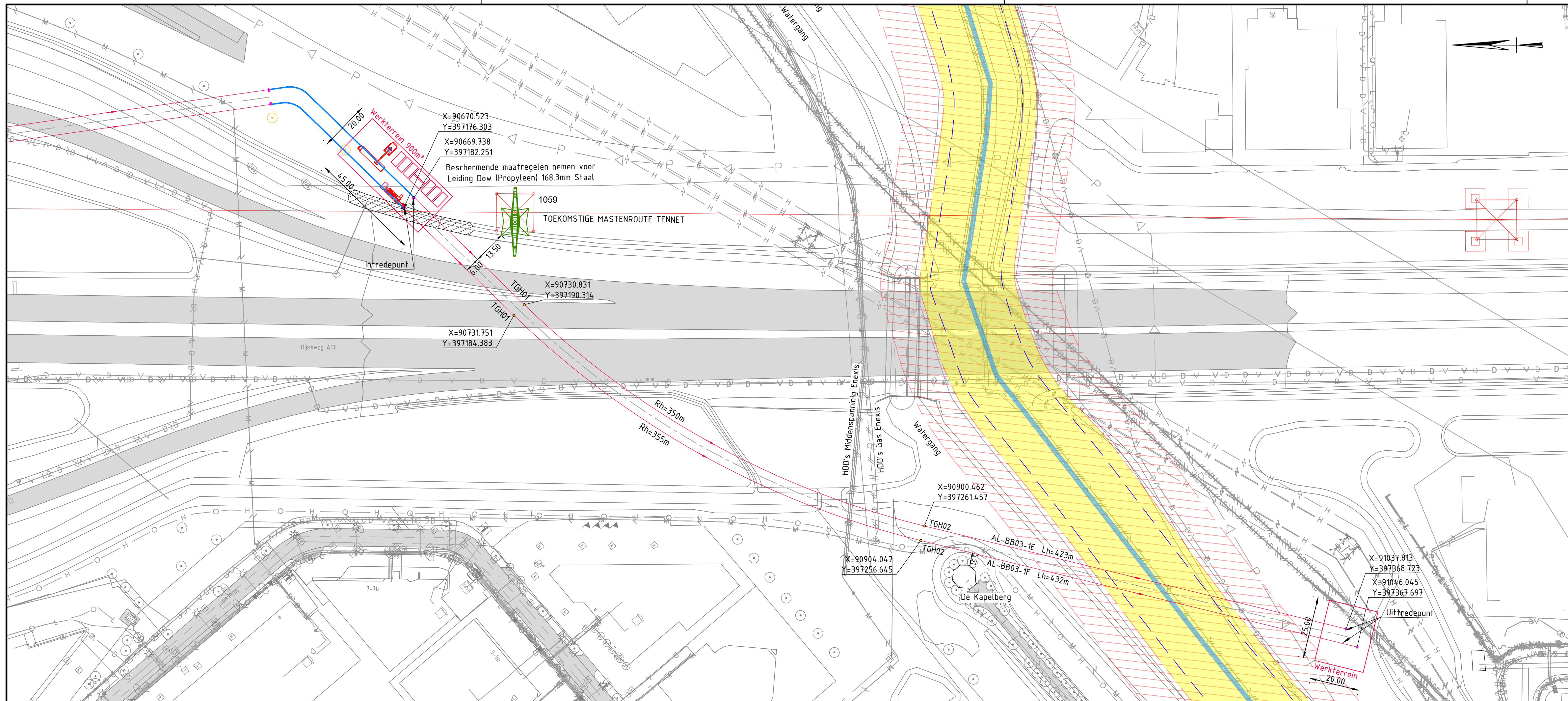
Legenda



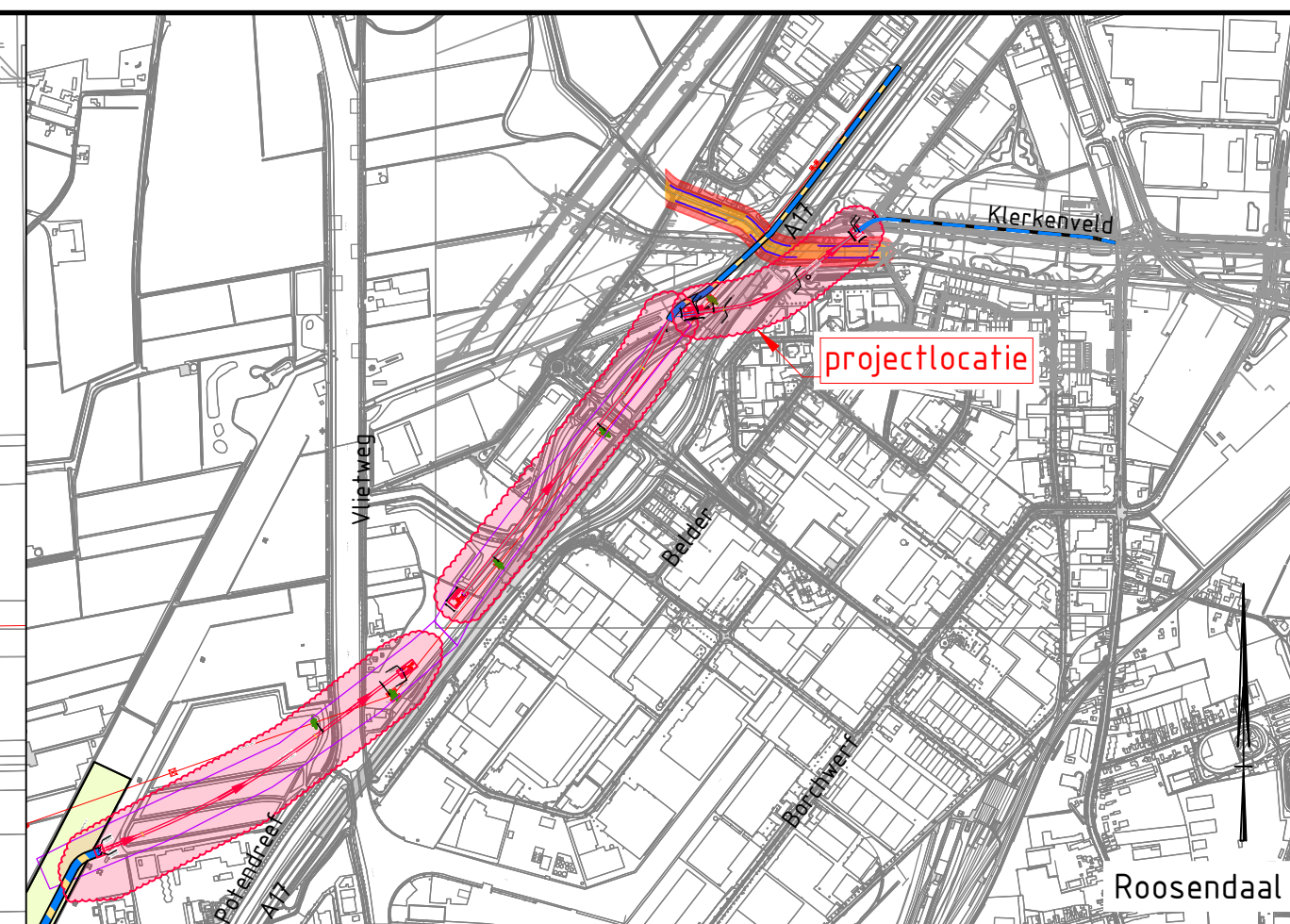
Vergunningstekening

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.

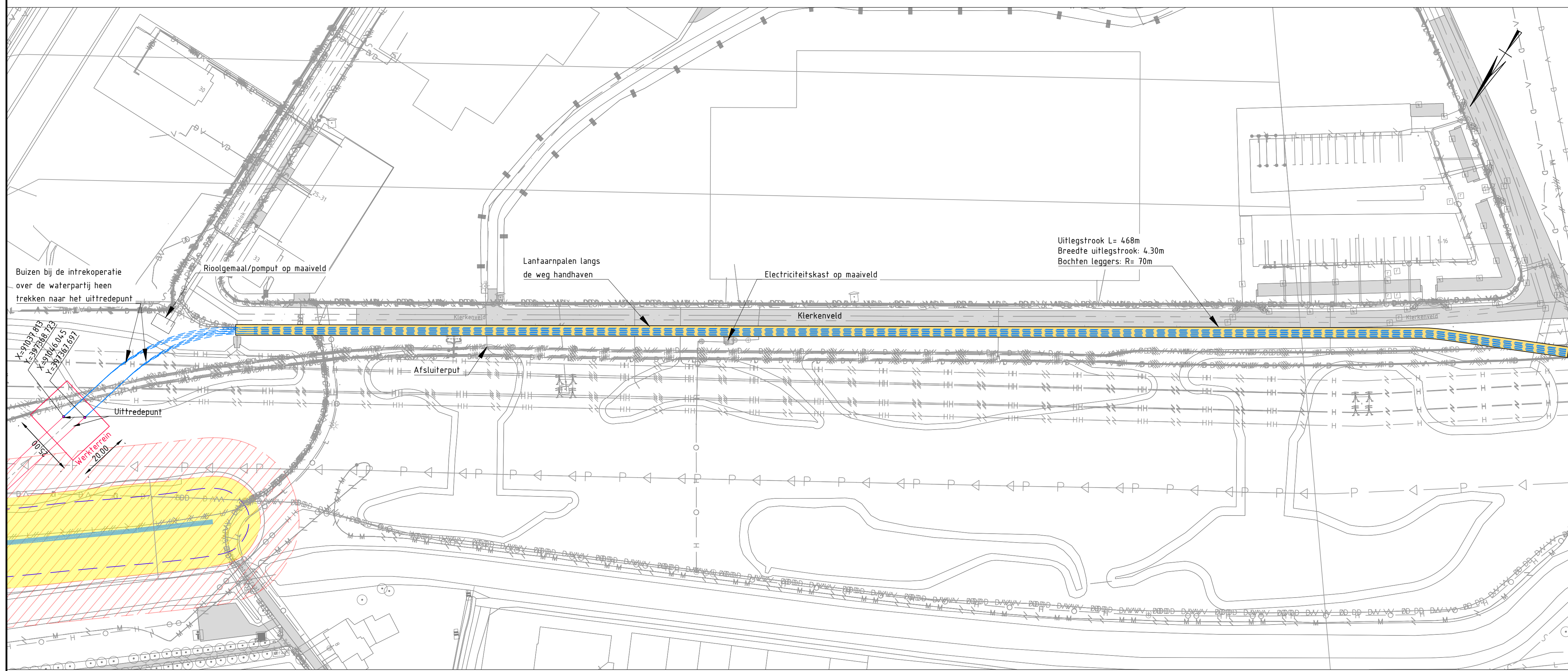
Ondraagster					
TenneT TSO B.V.					
Project HDD's 150 kv ZWO					
Onderdeel BW-HDD8.3 Borchwerf kruising A17					
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	BW-HDD8.3	E	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Bld	Van	Schaal	Format	Kortoor	Get. Geç. Goedg.
1	2	Zie tekening	A1	De Blit	BB MJ JD



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 Bilt	BB	MJ
				JD	

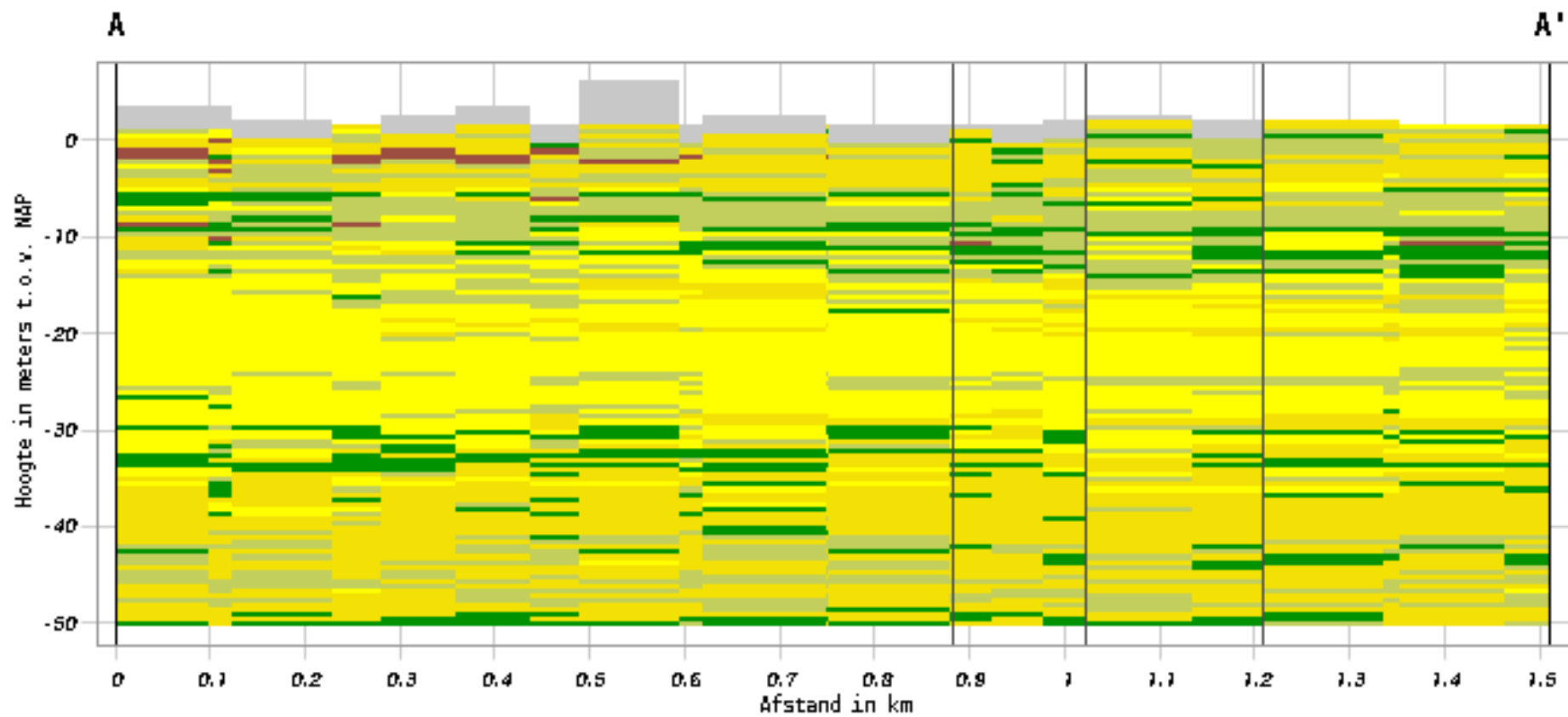
www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

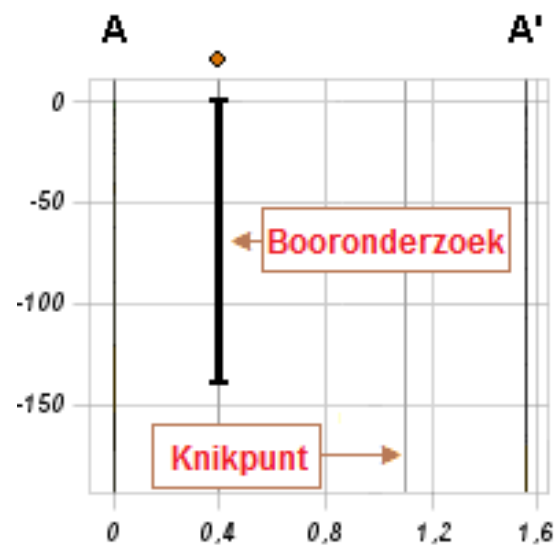
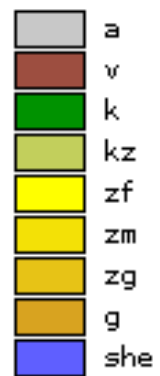
Boringen BRO (tot 300 m afstand van trace)



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

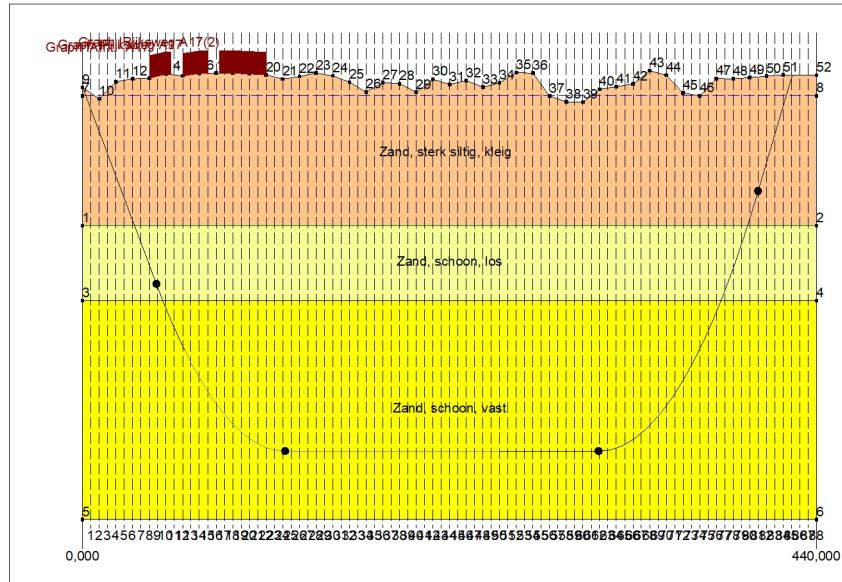
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, sterk siltig, kleig	18,00	20,00	0,00	25,00	0,00	0,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00

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	-	-

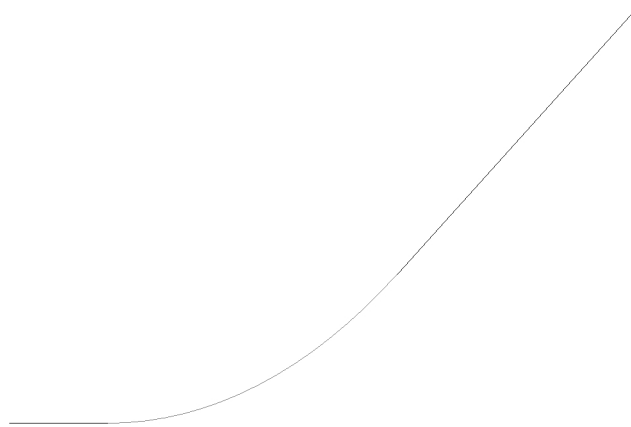
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, sterk siltig, kleig	-	-	0,20
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Zand, schoon, vast	-	-	0,30

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

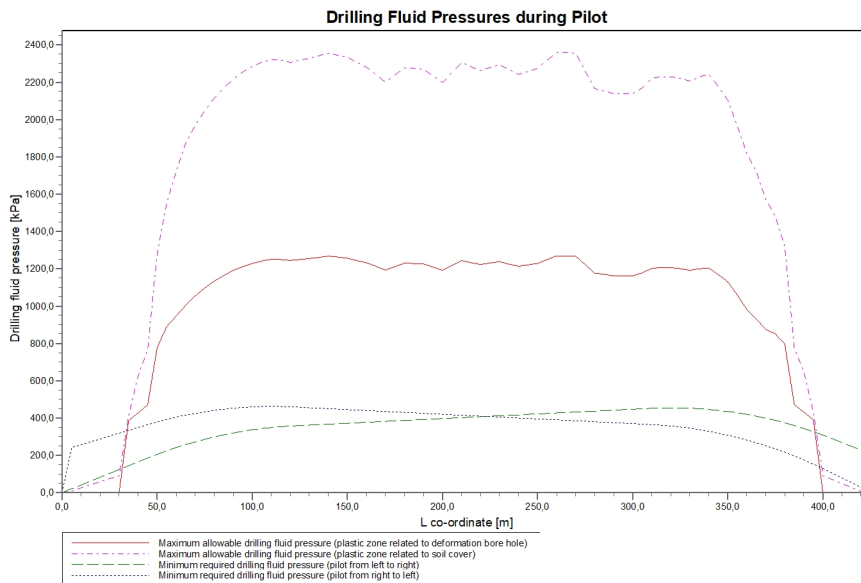
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	18	10	1,80	sufficient
2	36	26	1,37	sufficient
3	54	43	1,27	sufficient
4	72	59	1,23	sufficient
5	90	75	1,20	sufficient
6	108	91	1,19	sufficient
7	126	108	1,17	sufficient
8	144	124	1,17	sufficient
9	162	140	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

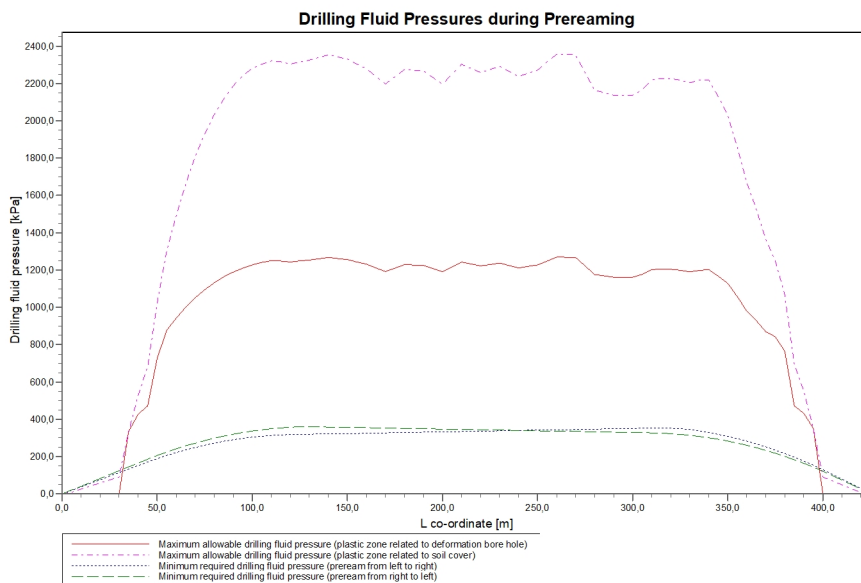
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

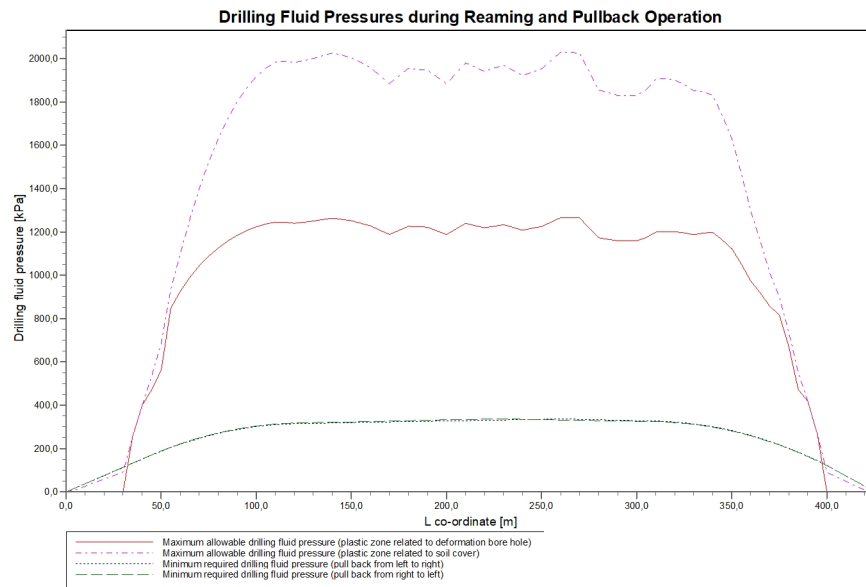
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



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:

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

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

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

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	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:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	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:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	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):

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

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:

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

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

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,02	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	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
--	---	------	-------------------

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:

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

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	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

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

D.3 002.678.20 1030746 7 Vergunningsrapportage O

Kruising Rijksweg A17 en de Parallelweg

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat



Verantwoording

Titel: Kruising Rijksweg A17 en de Parallelweg
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22764
Versie: D1

Datum:

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	6
2.4	Diepteligging	7
2.5	Inwendige overdruk	8
2.6	Grondwaterstand	8
2.7	Belasting- en ondersteuningshoek	8
2.8	Importatiefactor	9
2.9	Geotechnische parameters	9
2.10	Boortechnische gegevens	10
2.11	Verkeersbelasting	10
2.12	Boogstralen	10
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	18
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 Pipeline	23

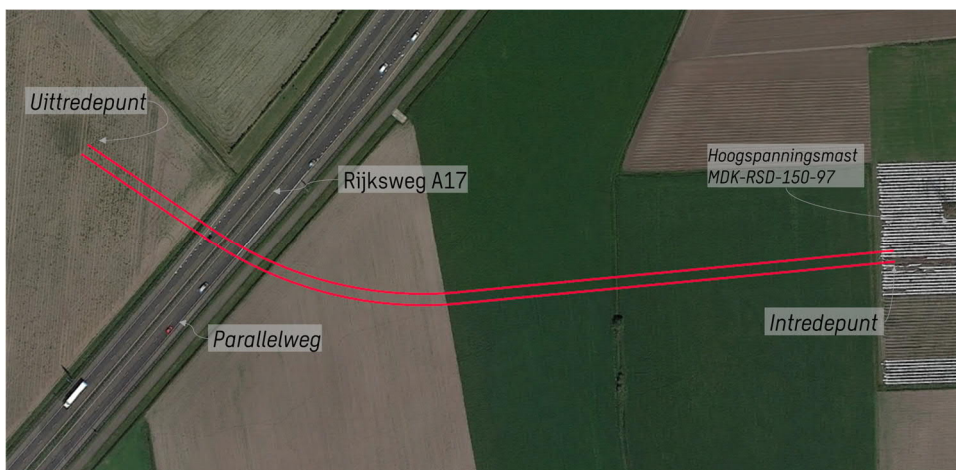
1. Inleiding

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 Rijksweg A17 en de Parallelweg bij Oud Gastel. De kruising (met codering OG HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en de Richtlijn Boortechnieken.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten oosten van de A17 en eindigt in het bouwland aan de westzijde van de A17 (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.



Figuur 1 Overzicht situatie OD HDD1

De twee HDD's liggen naast elkaar, met een dagmaat van 5 meter tussen de boorgaten. De HDD's hebben een lengte van circa 455 m en een maximale diepte van NAP -12 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van oost

naar west: drie categorie B watergangen (OWL14998, OWL14304 en OWL14291), de Parallelweg, Rijksweg A17 en een gevaarlijke stof leiding van DOW Benelux. Bij het uittredepunt zullen de kabels in de toekomst aansluiten op een nog te plaatsen nieuwe hoogspanningsmast. Aan de westzijde van het tracé loopt de leidingenstraat van LSned.

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 OD HDD1, tekeningnummer OD-HDD1 versie D, d.d. 11-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 21O045920 en 21O045921 opgevraagd d.d. 04-04-2022;
- Legger waterschap Brabantse Delta, website:
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=fd76082880324620845b0001369d019a>.

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;
- 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.

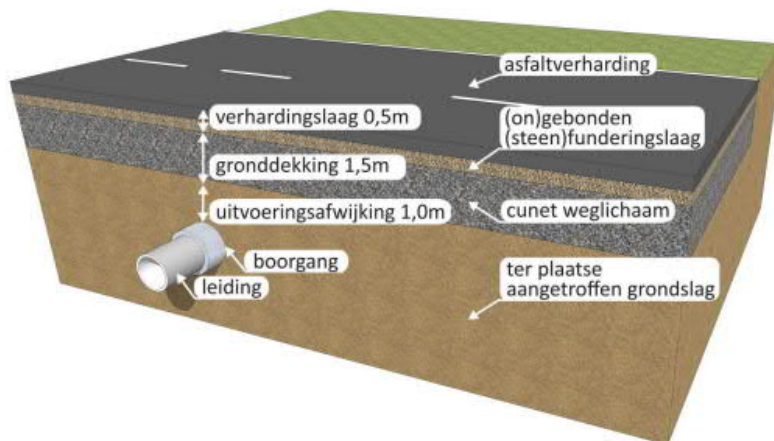
- De minimale dagmaat tot bestaande en nieuwe boringen conform de Richtlijn Boortechnieken is:
 - De minimale dagmaat bij een kruising met een bestaande HDD-boring is 5,0 meter, onafhankelijk van de grondslag;
 - De minimale dagmaat in zandgrond bij parallelligging tot een bestaande HDD-boring is 5,0 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 ondergrond bestaat uit zand en kleig silt. Hierdoor 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 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding A17 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 Rijksweg A17 liggen op een minimale afstand van 16 m ten opzichte van de HDD's. Dit voldoet aan de eisen.
- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen is conform VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019 minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden.
 - De HDD's kruisen een leiding van DOW Benelux. De HDD's houden een minimale hart of hart afstand aan van 9,53 m. Dit voldoet aan de minimale dagmaat van 5 m uit de VELIN richtlijn.
- Kabels en leidingen dienen watergangen te kruisen op minimaal 2 meter afstand onder de waterbodem (Algemene regels waterschap Brabantse Delta, 2020).
 - De HDD's kruisen de drie watergangen van oost naar west (OWL14998, OWL14304 en OWL14291) op een afstand van 3,74 m, 14,28 m en 14,14 m. Dit voldoet aan de eisen.



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

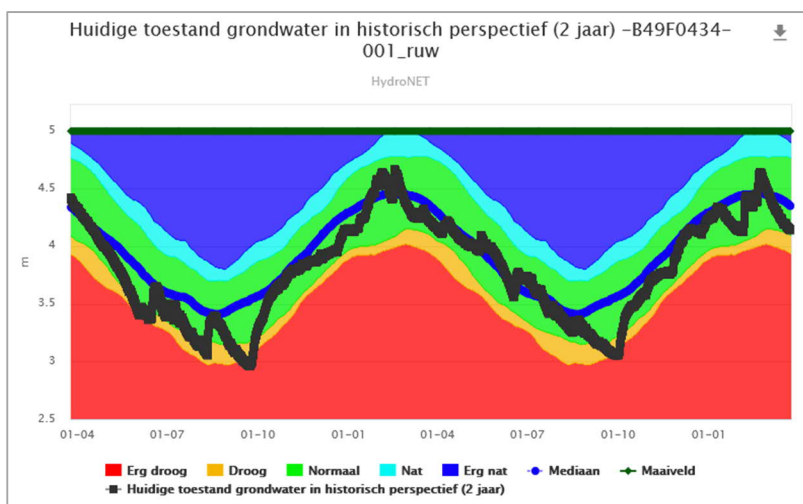
2.5 Inwendige overdruk

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

2.6 Grondwaterstand

Via HydroNet zijn grondwaterstandmetingen op circa 1,5 km afstand gevonden. De grondwaterstand fluctueert door het jaar heen, maar heeft een gemiddelde hoogste grondwaterstand van NAP 4,5 m, of 0,5 m-mv (zie figuur 3).

Uit de BRO Grondwaterspiegeldiepte 2021 van DINOlaket komt een minimale grondwaterstand van 0,95 m-mv. Voor deze rapportage nemen wij een gemiddelde grondwaterstand aan van NAP 4,3 m.



Figuur 3 Grondwaterstand op 1,5 km afstand van BW HDD8.2

2.7 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°.

2.8 Importantiefactor

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

2.9 Geotechnische parameters

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

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

ID-nummer	Type	Diepte [NAP m]	Afstand tot boortrace [m]
B49F0259	Boring	-29	340
B49F1331	Boring	0	430
B49F0117	Boring	-29	150
B49F1334	Boring	0	260
B49F0302	Boring	-21	180
B49F1333	Boring	0	430
CPT34900	Sondering	-17	130

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa -13,2 m NAP van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit afwisselend lagen zand en kleilig silt, zoals geobserveerd in de sonderingen en boringen. Hoewel de boringen en sonderingen een uniform beeld van de ondergrond weergeven, zijn er slechts 6 boringen en 1 sondering beschikbaar, gemiddeld op ruim 200 m afstand van het geplande boortracé. Hieruit wordt geconcludeerd dat aanvullend grondonderzoek noodzakelijk is om de ondergrond met grotere nauwkeurigheid vast te stellen.

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]
4,1	0,5	Zand; schoon; los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
0,5	-3,9	Kleiig silt	18	20	0,0	25,0	0,0	12000
-3,9	-7,3	Zand, schoon, matig	18	20	0,0	32,5	0,0	60000
-7,3	-13,2	Kleiig silt	18	20	0,0	25,0	0,0	12000
-13,2	-30,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	75000

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]
4,1	0,5	Zand; schoon; los	17	19	0,0	30,0	0,0	15000
0,5	-3,9	Kleiig silt	18	20	0,0	25,0	0,0	12000
-3,9	-7,3	Zand, schoon, matig	18	20	0,0	32,5	0,0	60000
-7,3	-13,2	Kleiig silt	18	20	0,0	25,0	0,0	12000
-13,2	-30,0	Zand, schoon, vast	19	21	0,0	35,0	0,0	75000

2.10 Boortechnische gegevens

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

2.11 Verkeersbelasting

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

2.12 Boogstralen

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

In dit ontwerp is sprake van een horizontale bocht en een verticale bocht beiden met een boogstraal van 200 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 tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken.

Tabel 2-2 afwijkingstoleranties HDD

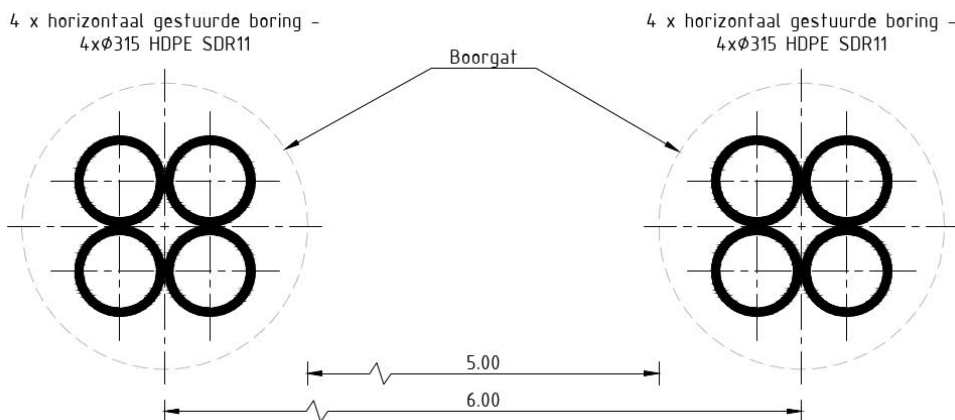
RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

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: 455 m;
- maximale diepte hart boorgat: NAP -12 m;
- intredehoek: 20°;
- uittredehoek: 20°;
- horizontale boogstralen: 200 m;
- verticale boogstralen: 200 m;
- gecombineerde boogstralen: n.v.t.



Figuur 4 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'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 de snelweg loodrecht en op voldoende diepte te kruisen;
- 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 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

Het intredepunt ligt aan de oostzijde van de A17 in het bouwland op circa 25 m afstand van hoogspanningsmast 97 in het mastenracé MDK-RSD 150 kV (zie figuur 5). De locatie is bereikbaar vanaf het Kromstraatje via het perceel van Sep-Vermeulen B.V. Bij het intredepunt dient de aannemer rekening te houden met het werken nabij en onder hoogspanningsmasten.



Figuur 5 Intredepunt OG HDD1

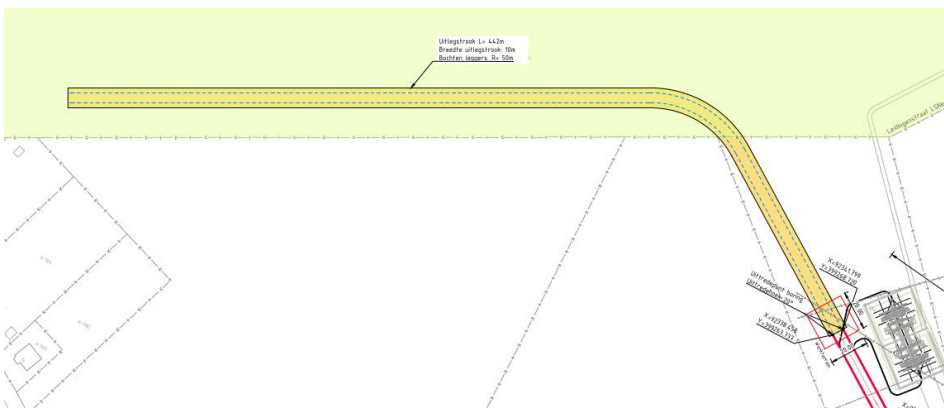
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in bouwland aan de westzijde van de A17 (zie figuur 6). De locatie is bereikbaar via de Slotstraat en de leidingstraat van LSNed. Het uittredepunt ligt op circa 15 m van een toekomstig geprojecteerde hoogspanningsmast.

De uitlegstrook ligt aan de westzijde van het boortracé in de leidingenstraat van LSNed (zie figuur 7).



Figuur 6 Uittredepunt OG HDD1



Figuur 7 Uitlegstrook OG HDD1

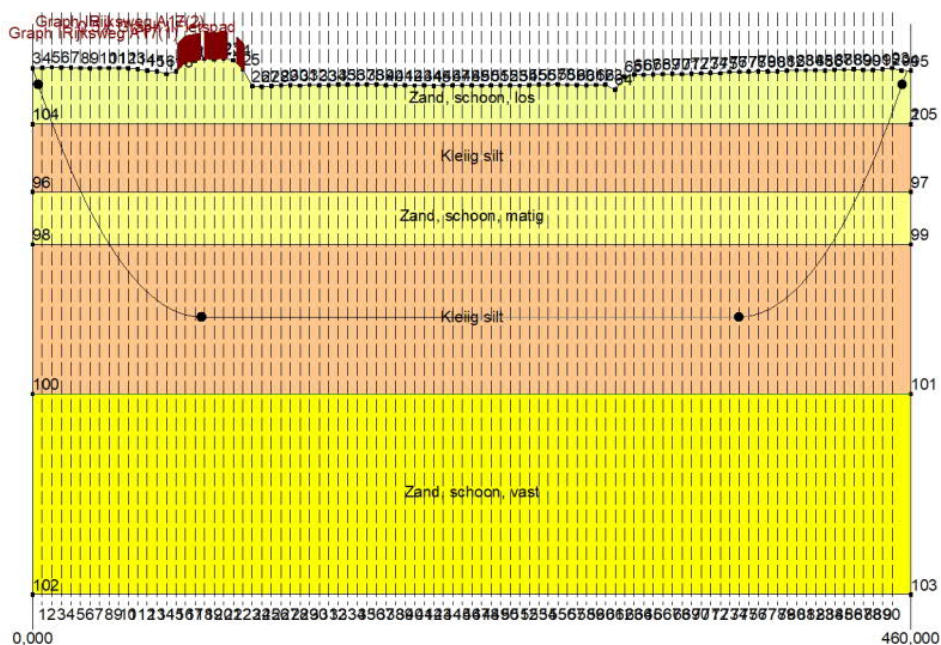
4. Berekeningsresultaten

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 en de resultaten dus van toepassing zijn voor beide HDD's.

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 de HDD's

4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt $377 \cdot 1,8 = 679$ kN bij niet-gevulde gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $7,47$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

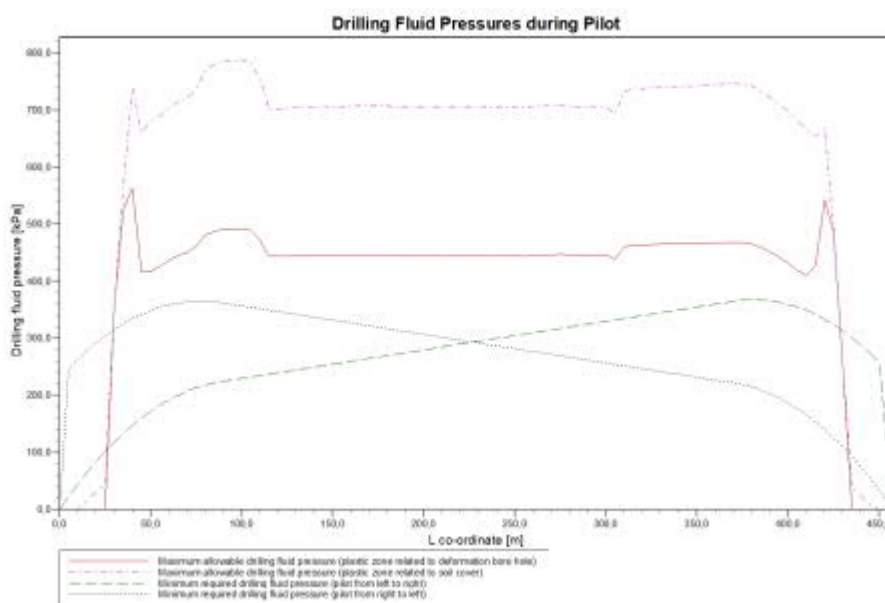
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $6,03$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $12,2$ mm ($3,88\% \times D_0$) optreedt. Toelaatbaar is een maximale deflectie van $25,2$ mm ($8\% \times S \times D_0$).

4.3 Muddrukberekening

Bij de geplande diepteligging van de HDD's bestaat tijdens de pilotboring, het ruimen en tijdens de intrekoperatie, getuige de berekeningsresultaten, de kans op muduitbraak in de laatste 25 m van het tracé. Geadviseerd wordt bij nadering van het uittredpunt, bij met name de voor muduitbraak maatgevende pilotboring, de druk op de boorspoeling te verminderen.



Figuur 9 Muddrukberekening tijdens pilot fase

4.4 Implosie

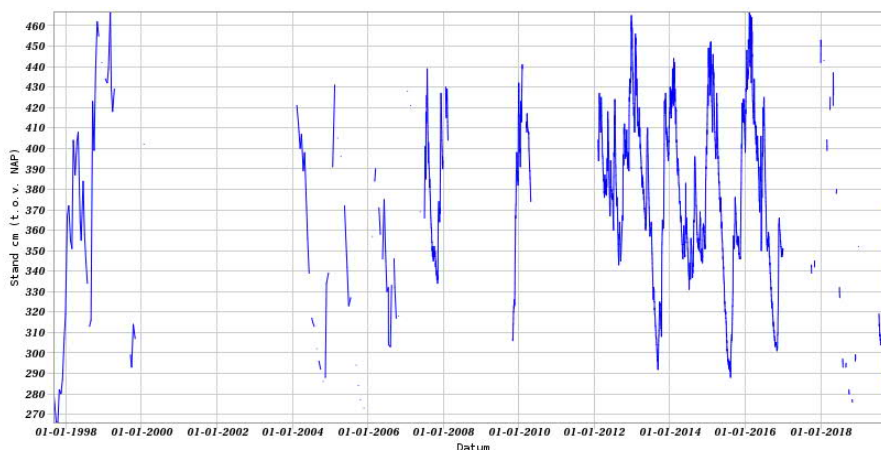
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 125 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

4.5 Kwelweg

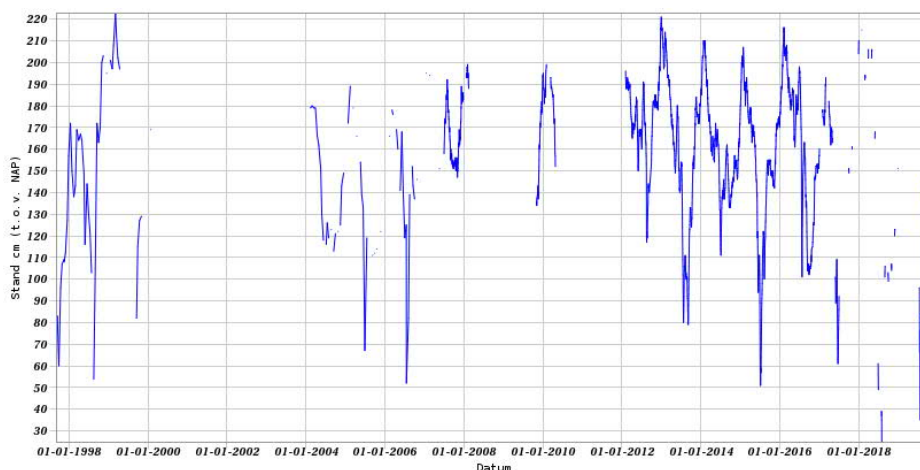
Langs een HDD kan op twee wijzen kwel ontstaan. Ten eerste kan kwel ontstaan indien sprake is van overspannen water in de diepere grondlagen. In dat geval is de stijghoogte in het diepere watervoerende pakket hoger dan de freatische waterstand. Ten tweede kan kwel ontstaan indien een HDD twee verschillende 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 2 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 10 Freatische grondwaterstand B30H0125-001 uit Dinoloket, filter op NAP -0,7 m



Figuur 11 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.

De HDD kruist drie watergangen. Wij verwachten tot de watergangen hetzelfde grondwaterregime hebben. Hierdoor valt geen kwel te verwachten.

5. Risico's en aandachtspunten

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

- Werken in de nabijheid van een hoogspanningsmast van TenneT bij het intredepunt. De afstand tot de fundering van hoogspanningsmast MDK-RSD-150-97 bedraagt circa 25 meter. Het heeft de voorkeur om de HDD die het meest dichtbij de mast ligt als eerste uit te voeren, zodat deze in ieder geval voldoende afstand heeft tot de fundering van de mast;
- Uitlegstrook: de mantelbuizen worden uitgelegd aan de westzijde van de HDD in bouwlanden in de leidingenstraat van LSNed. De aannemer dient dit met LSNed af te stemmen;
- Om de werkterreinen te betreden zullen bouwinritten nodig zijn en de aannemer dient de benodigde verkeersplannen met de gemeente te bespreken;
- Spiegellassen aanbrengen conform NEN7200;
- Bij het spiegellassen van de leidingdelen dienen alle inwendige lasrillen verwijderd te worden; in overleg met de toezichthouder moeten de verwijderde lasrillen aangetoond kunnen worden;
- TenneT schrijft het gebruik van een gyroscoop als plaatsbepalingssysteem tijdens de pilotboring voor;
- Afwijking van de boorlijn heeft consequenties voor de daarna volgende HDD. De aannemer dient daarom na de pilotboring te controleren of de volgende HDD nog aangepast moeten worden. Ook dient de aannemer rekening te houden met de volgorde van uitvoeren in verband met afstanden tot obstakels, zoals hoogspanningsmasten.

6. Conclusie

6.1 Algemeen

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

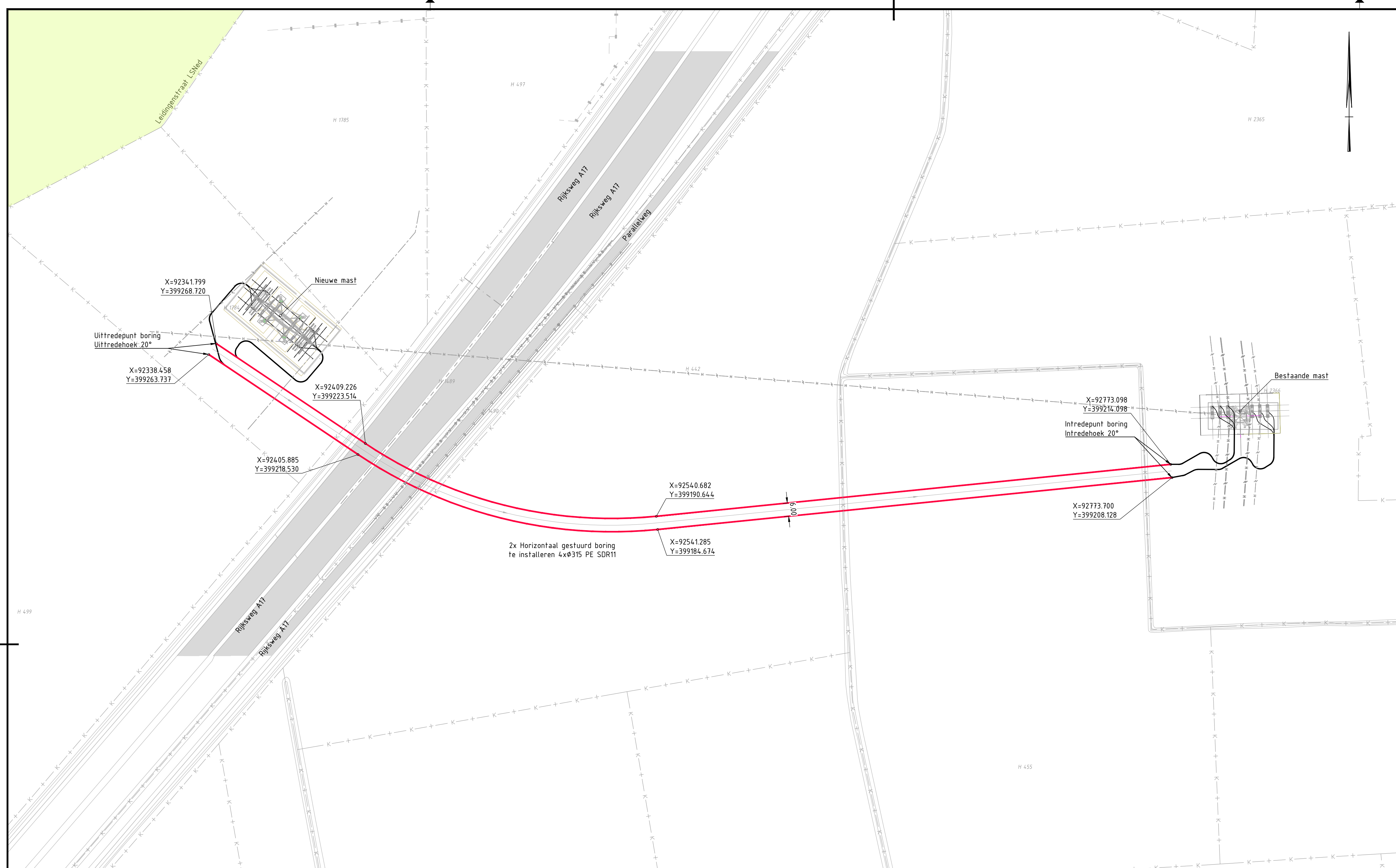
De rapportage betreft de kruising met de A17 en de Parallelweg bij Oud Gastel. Dit document betreft de vergunningsrapportage voor Rijkswaterstaat. Het ontwerp en berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020, de Richtlijn Boortechnieken (2019) en de beleidsregels van Rijkswaterstaat.

6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

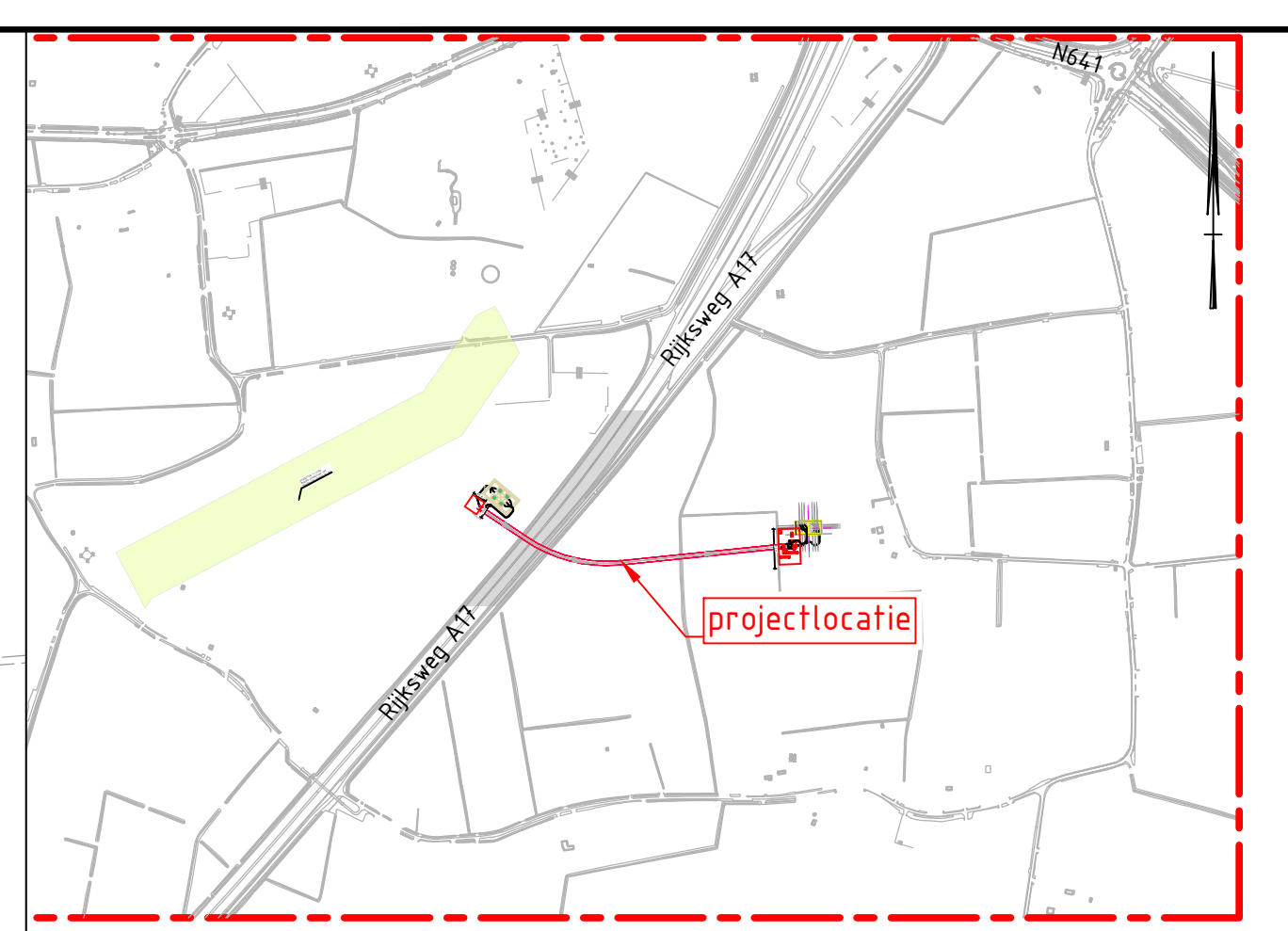
De HDD's, weergegeven op de tekeningen die zijn bijgevoegd als bijlage 1, zijn ontworpen en berekend volgens de vigerende eisen.

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.

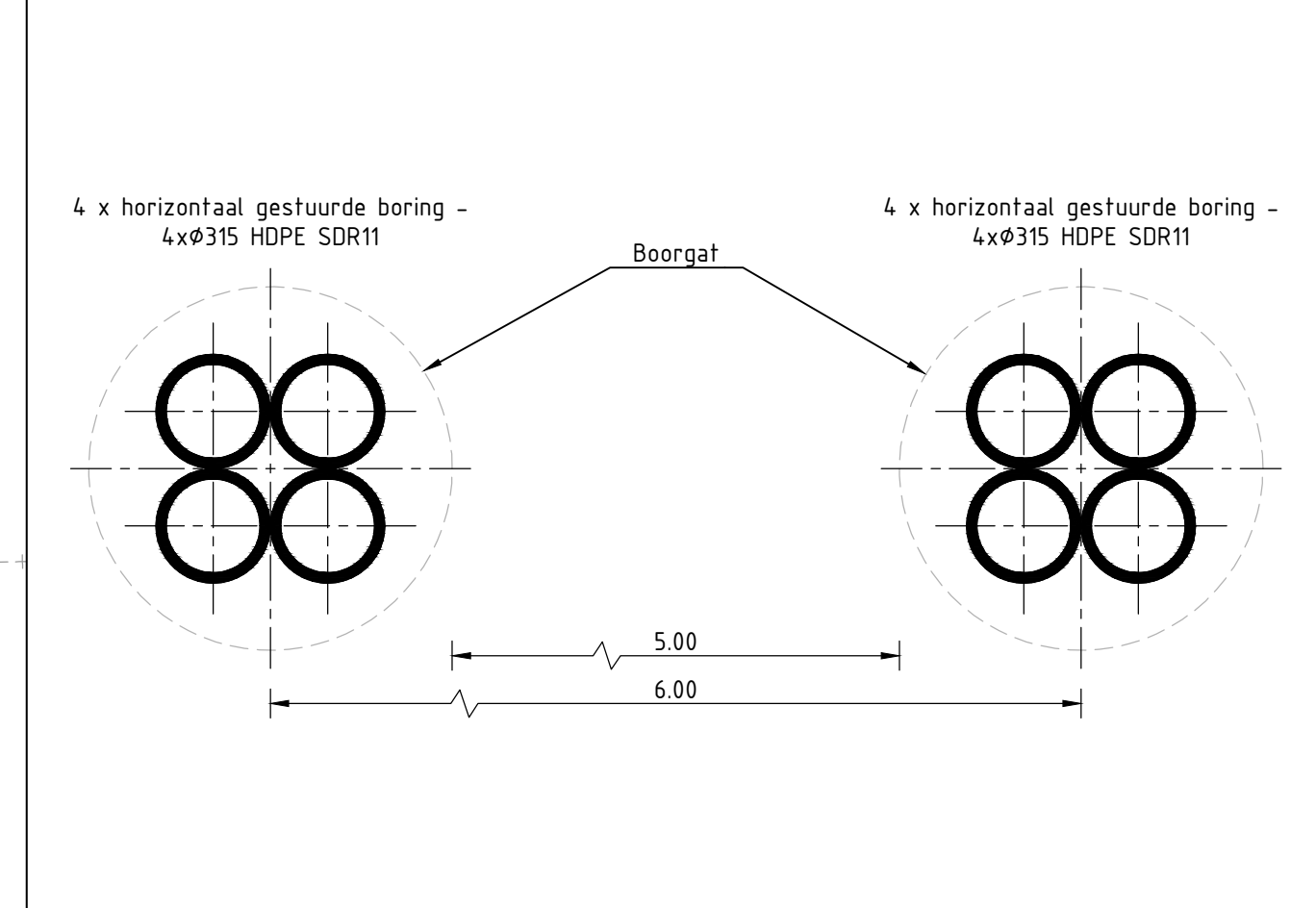
Bijlage 1 – Ontwerptekening



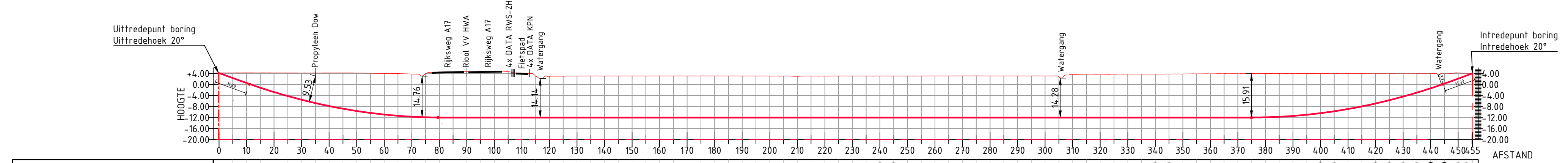
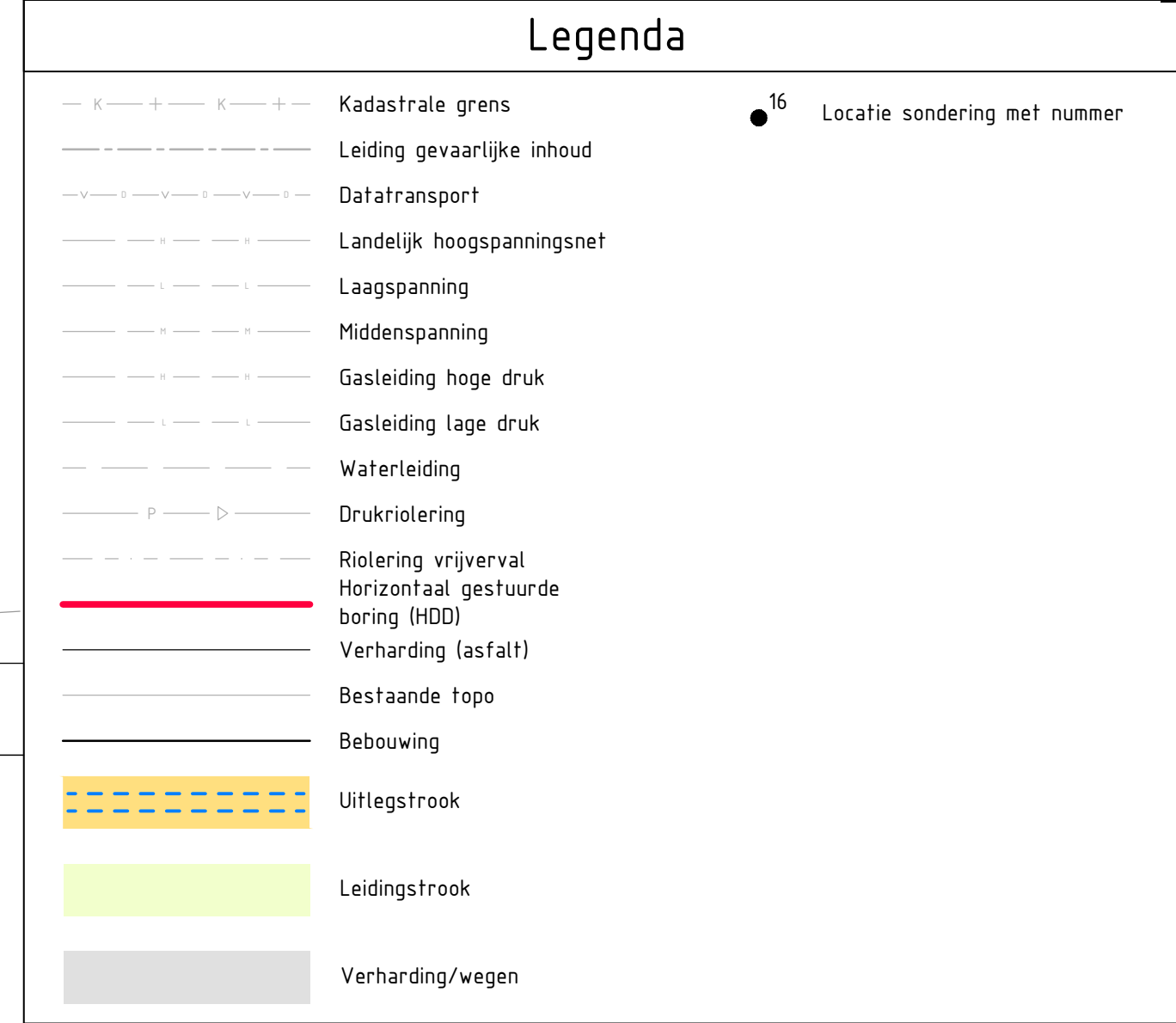
Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal 1:10.000



Principe doorsnede
Schaal 1:20



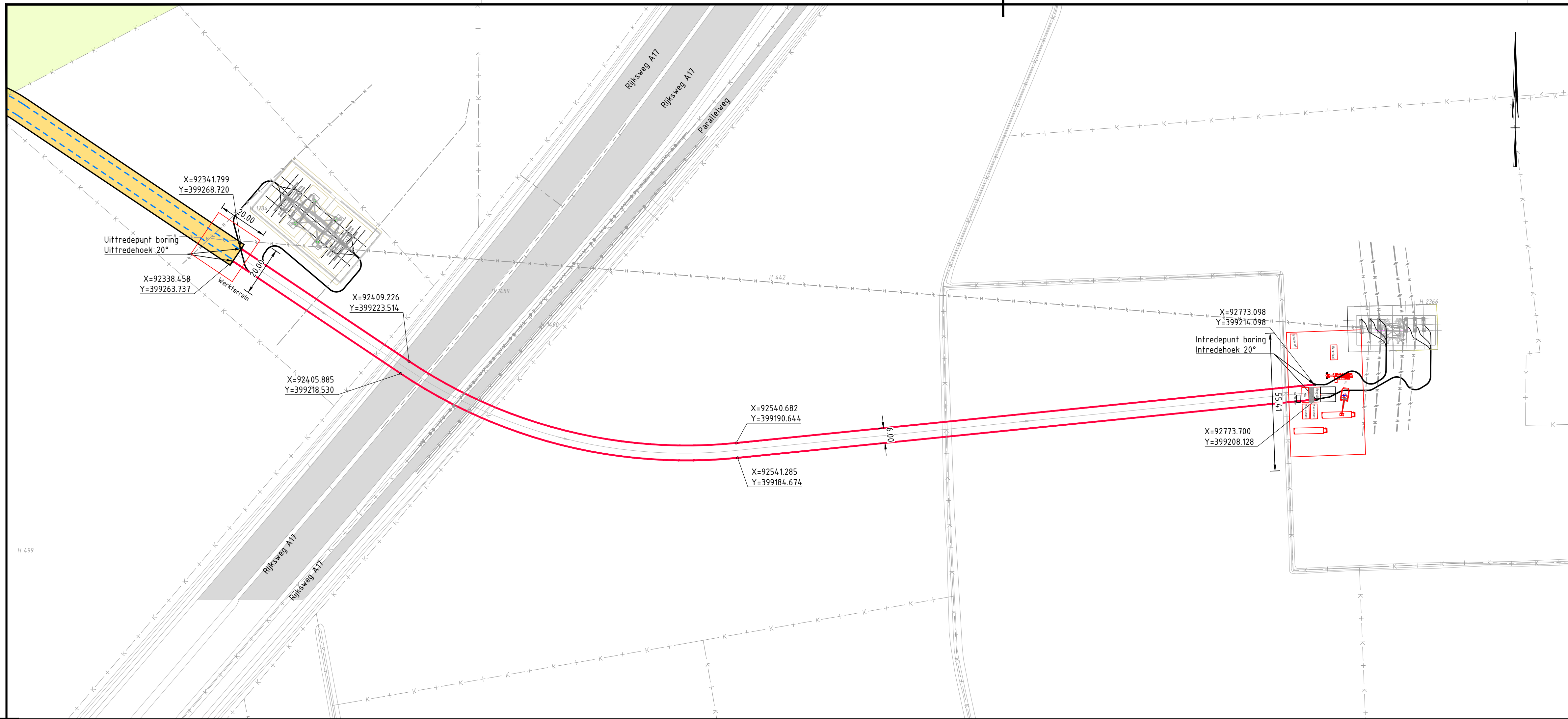
Metrering	0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000 35.000 40.000 45.000 50.000 55.000 60.000 65.000 70.000 75.000 80.000 85.000 90.000 95.000 100.000 105.000 110.000 115.000 120.000 125.000 130.000 135.000 140.000 145.000 150.000 155.000 160.000 165.000 170.000 175.000 180.000 185.000 190.000 195.000 200.000 205.000 210.000 215.000 220.000 225.000 230.000 235.000 240.000 245.000 250.000 255.000 260.000 265.000 270.000 275.000 280.000 285.000 290.000 295.000 300.000 305.000 310.000 315.000 320.000 325.000 330.000 335.000 340.000 345.000 350.000 355.000 360.000 365.000 370.000 375.000 380.000 385.000 390.000 395.000 400.000 405.000 410.000 415.000 420.000 425.000 430.000 435.000 440.000 445.000 450.000 450.55
Hoogte bestaand terrein	+4.726 +4.585 +4.509 +4.426 +4.338 +4.247 +4.154 +4.059 +3.964 +3.870 +3.777 +3.684 +3.592 +3.501 +3.410 +3.320 +3.230 +3.141 +3.052 +2.964 +2.877 +2.791 +2.706 +2.622 +2.539 +2.457 +2.376 +2.296 +2.217 +2.139 +2.062 +1.987 +1.914 +1.842 +1.772 +1.704 +1.638 +1.574 +1.512 +1.452 +1.394 +1.338 +1.284 +1.232 +1.182 +1.134 +1.088 +1.044 +1.002 +0.962 +0.924 +0.888 +0.854 +0.822 +0.792 +0.764 +0.738 +0.714 +0.692 +0.672 +0.654 +0.638 +0.624 +0.612 +0.602 +0.594 +0.588 +0.584 +0.582 +0.582 +0.584 +0.588 +0.594 +0.602 +0.612 +0.624 +0.638 +0.654 +0.672 +0.692 +0.714 +0.738 +0.764 +0.792 +0.822 +0.854 +0.888 +0.924 +0.962 +1.002 +1.044 +1.088 +1.134 +1.182 +1.232 +1.284 +1.338 +1.394 +1.452 +1.512 +1.574 +1.638 +1.704 +1.772 +1.842 +1.914 +1.987 +2.062 +2.139 +2.217 +2.296 +2.376 +2.457 +2.539 +2.622 +2.706 +2.791 +2.877 +2.964 +3.052 +3.141 +3.230 +3.320 +3.410 +3.501 +3.592 +3.684 +3.777 +3.870 +3.964 +4.059 +4.154 +4.247 +4.338 +4.426 +4.509 +4.585 +4.726
Horizontaal ontwerp	L=82.26 Rh=200.00m L=138.24 P=0.00% L=794.22 Rh=200.00m L=72.79 P=36.46% L=79.92
Verticaal ontwerp	P=36.46% L=82.26 Rh=200.00m L=138.24 P=0.00% L=794.22 Rh=200.00m L=72.79 P=36.46% L=79.92
Hoogte as leiding	+4.126 +4.041 +3.954 +3.866 +3.777 +3.686 +3.594 +3.503 +3.413 +3.323 +3.233 +3.143 +3.053 +2.963 +2.873 +2.783 +2.693 +2.603 +2.513 +2.423 +2.333 +2.243 +2.153 +2.063 +1.973 +1.883 +1.793 +1.703 +1.613 +1.523 +1.433 +1.343 +1.253 +1.163 +1.073 +0.983 +0.893 +0.803 +0.713 +0.623 +0.533 +0.443 +0.353 +0.263 +0.173 +0.083 -0.007 -0.097 -0.187 -0.277 -0.367 -0.457 -0.547 -0.637 -0.727 -0.817 -0.907 -0.997 -1.087 -1.177 -1.267 -1.357 -1.447 -1.537 -1.627 -1.717 -1.807 -1.897 -1.987 -2.077 -2.167 -2.257 -2.347 -2.437 -2.527 -2.617 -2.707 -2.797 -2.887 -2.977 -3.067 -3.157 -3.247 -3.337 -3.427 -3.517 -3.607 -3.697 -3.787 -3.877 -3.967 -4.057 -4.147 -4.237 -4.327 -4.417 -4.507 -4.597 -4.687 -4.777 -4.867 -4.957 -5.047 -5.137 -5.227 -5.317 -5.407 -5.497 -5.587 -5.677 -5.767 -5.857 -5.947 -6.037 -6.127 -6.217 -6.307 -6.397 -6.487 -6.577 -6.667 -6.757 -6.847 -6.937 -7.027 -7.117 -7.207 -7.297 -7.387 -7.477 -7.567 -7.657 -7.747 -7.837 -7.927 -8.017 -8.107 -8.197 -8.287 -8.377 -8.467 -8.557 -8.647 -8.737 -8.827 -8.917 -9.007 -9.097 -9.187 -9.277 -9.367 -9.457 -9.547 -9.637 -9.727 -9.817 -9.907 -9.997 -10.087 -10.177 -10.267 -10.357 -10.447 -10.537 -10.627 -10.717 -10.807 -10.897 -10.987 -11.077 -11.167 -11.257 -11.347 -11.437 -11.527 -11.617 -11.707 -11.797 -11.887 -11.977 -12.067 -12.157 -12.247 -12.337 -12.427 -12.517 -12.607 -12.697 -12.787 -12.877 -12.967 -13.057 -13.147 -13.237 -13.327 -13.417 -13.507 -13.597 -13.687 -13.777 -13.867 -13.957 -14.047 -14.137 -14.227 -14.317 -14.407 -14.497 -14.587 -14.677 -14.767 -14.857 -14.947 -15.037 -15.127 -15.217 -15.307 -15.397 -15.487 -15.577 -15.667 -15.757 -15.847 -15.937 -16.027 -16.117 -16.207 -16.297 -16.387 -16.477 -16.567 -16.657 -16.747 -16.837 -16.927 -17.017 -17.107 -17.197 -17.287 -17.377 -17.467 -17.557 -17.647 -17.737 -17.827 -17.917 -18.007 -18.097 -18.187 -18.277 -18.367 -18.457 -18.547 -18.637 -18.727 -18.817 -18.907 -18.997 -19.087 -19.177 -19.267 -19.357 -19.447 -19.537 -19.627 -19.717 -19.807 -19.897 -19.987 -20.077 -20.167 -20.257 -20.347 -20.437 -20.527 -20.617 -20.707 -20.797 -20.887 -20.977 -21.067 -21.157 -21.247 -21.337 -21.427 -21.517 -21.607 -21.697 -21.787 -21.877 -21.967 -22.057 -22.147 -22.237 -22.327 -22.417 -22.507 -22.597 -22.687 -22.777 -22.867 -22.957 -23.047 -23.137 -23.227 -23.317 -23.407 -23.497 -23.587 -23.677 -23.767 -23.857 -23.947 -24.037 -24.127 -24.217 -24.307 -24.397 -24.487 -24.577 -24.667 -24.757 -24.847 -24.937 -25.027 -25.117 -25.207 -25.297 -25.387 -25.477 -25.567 -25.657 -25.747 -25.837 -25.927 -26.017 -26.107 -26.197 -26.287 -26.377 -26.467 -26.557 -26.647 -26.737 -26.827 -26.917 -27.007 -27.097 -27.187 -27.277 -27.367 -27.457 -27.547 -27.637 -27.727 -27.817 -27.907 -28.000

Langsdoorsnede HDD schaal 1:1000

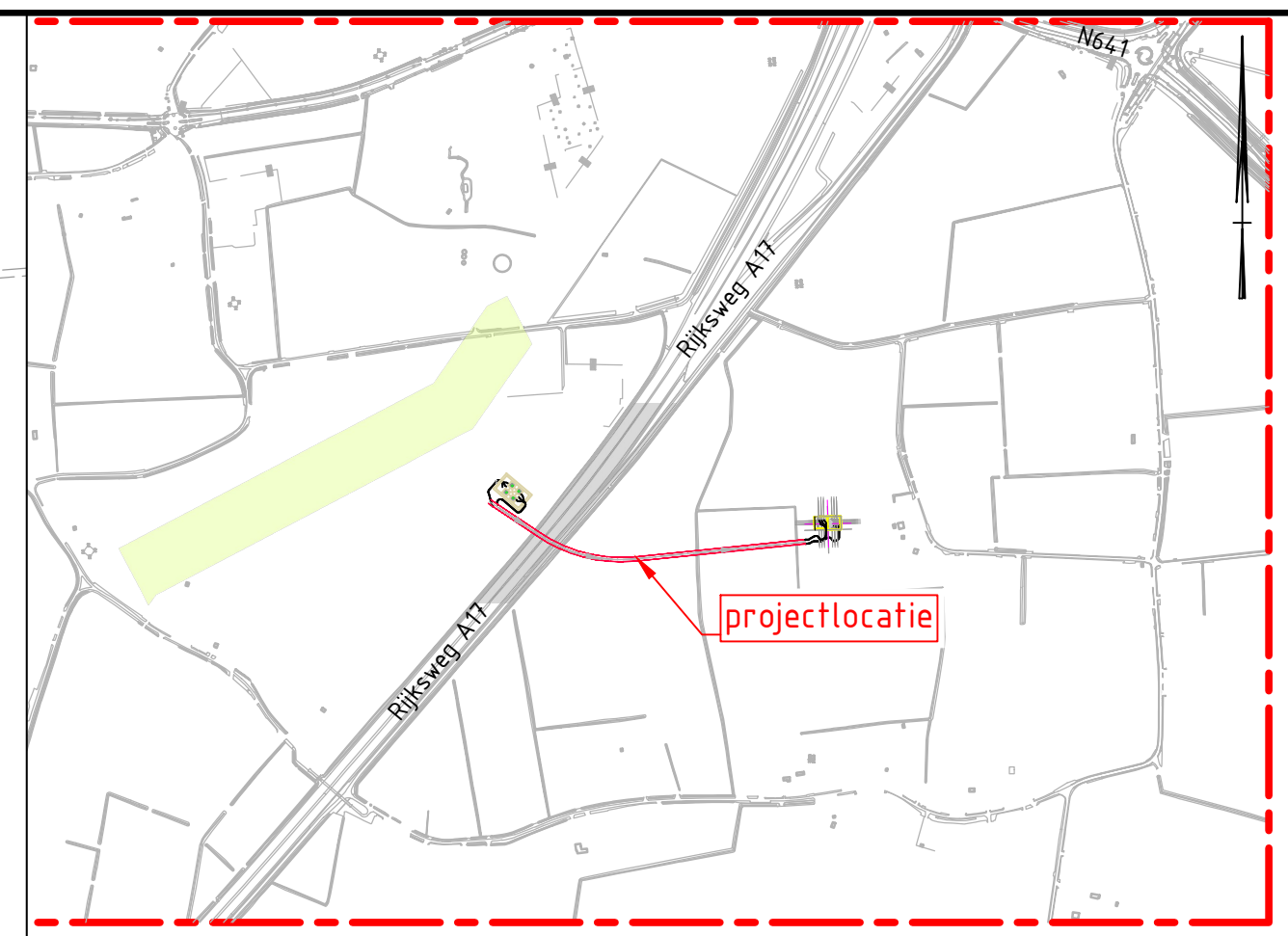
Vergunningstekening

C	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
B	HDD's nieuw trace	01-03-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Geç.	Goedg.

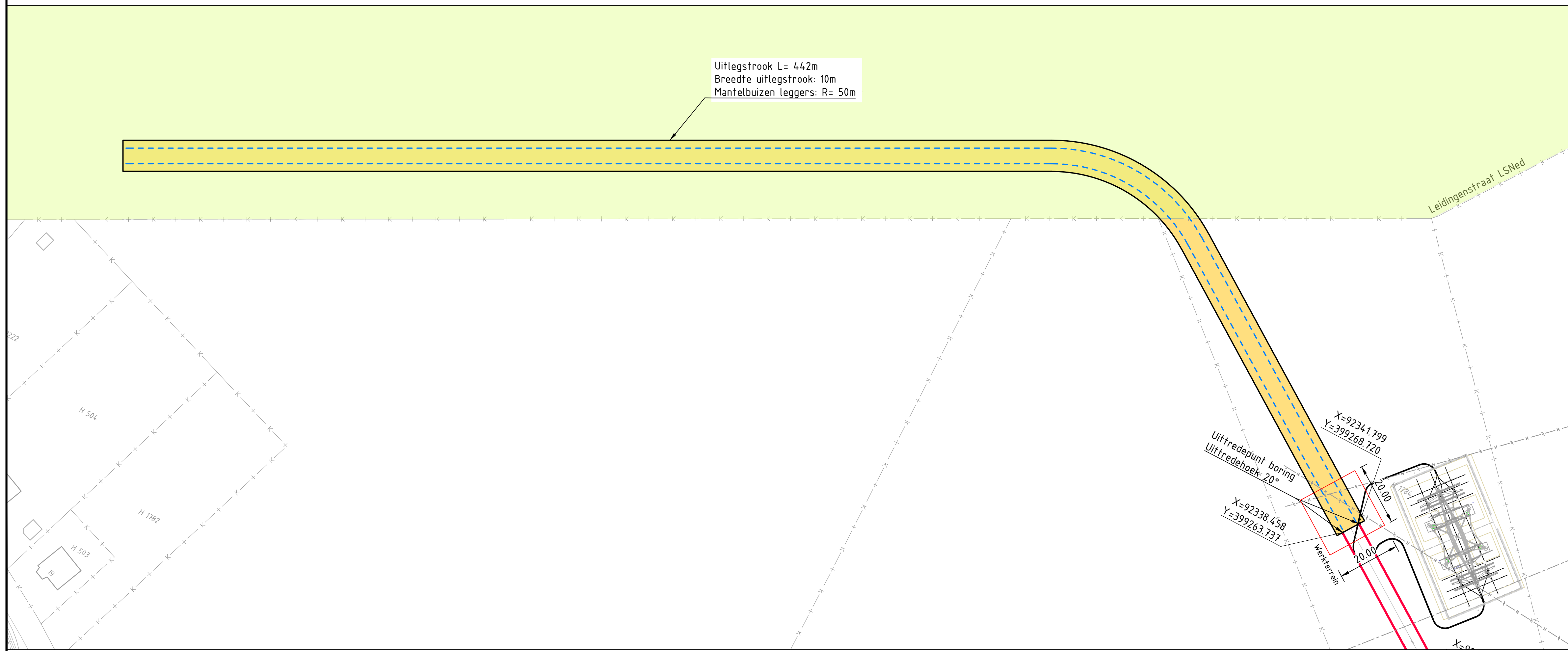
Ondachtgever					
TenneT TSO B.V.					
Project					
Zuidwest-Oost HDD's 150kV					
Onderdeel					
OG-HDD1					
Oud Gastel HDD1					
Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	OG-HDD1	C	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.
1	2	Zie tekening	A1	De Blit	BB
					Geç.
					MJ
					JD



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal 1:10.000



Dwarsdoorsnede HDD01+02 Schaal N.V.T.

Legenda

- K — K — K — 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
 - — — — — Uitlegstrook
 - — — — — Leidingsstrook
 - — — — — Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

Vergunningstekening

D	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
C	HDD's nieuw trace	01-03-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	17-01-2020	NJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Get.	Gec.	Goedg.

Ondachtgever
TenneT TSO B.V.

Project
Zuidwest-Oost HDD's 150kV

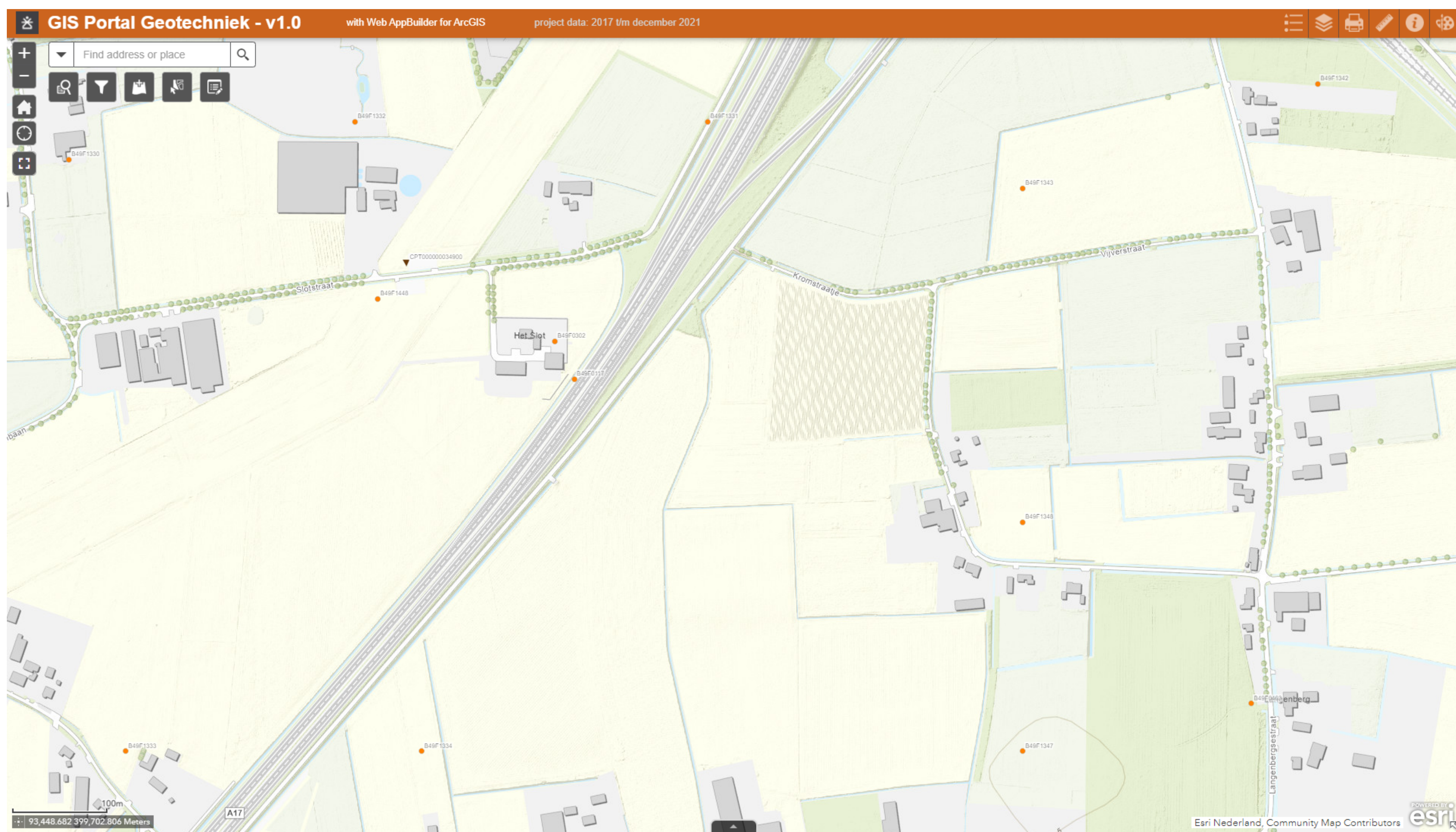
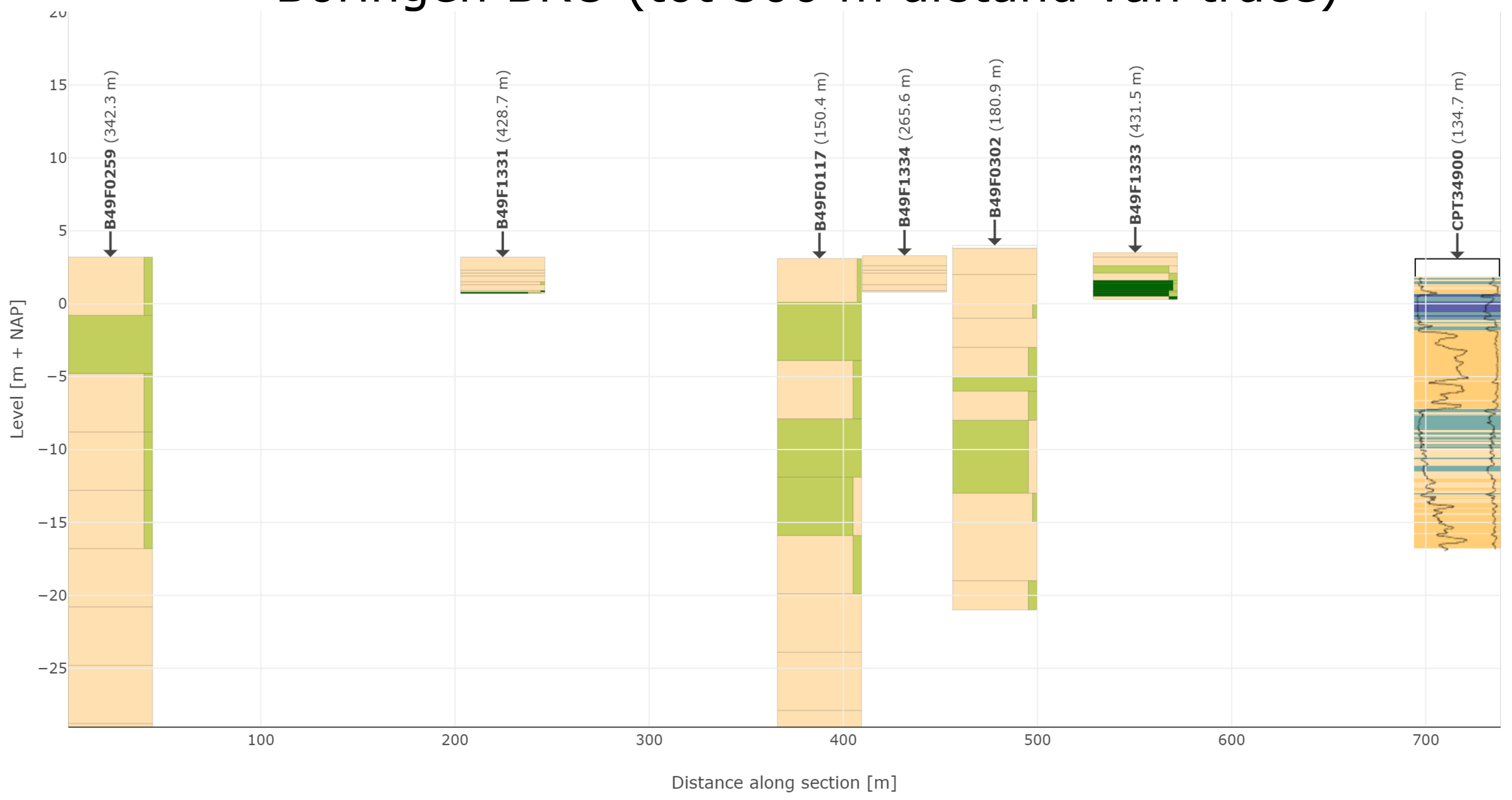
Onderdeel
**OG-HDD1
Oud Gastel-Uitlegstrook**

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
368722	OG-HDD1	C	11-04-2022	Definitief ontwerp			
Bld	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gec.	Goedg.
2	2	Zie tekening	A1	De Blit	BB	MJ	JD

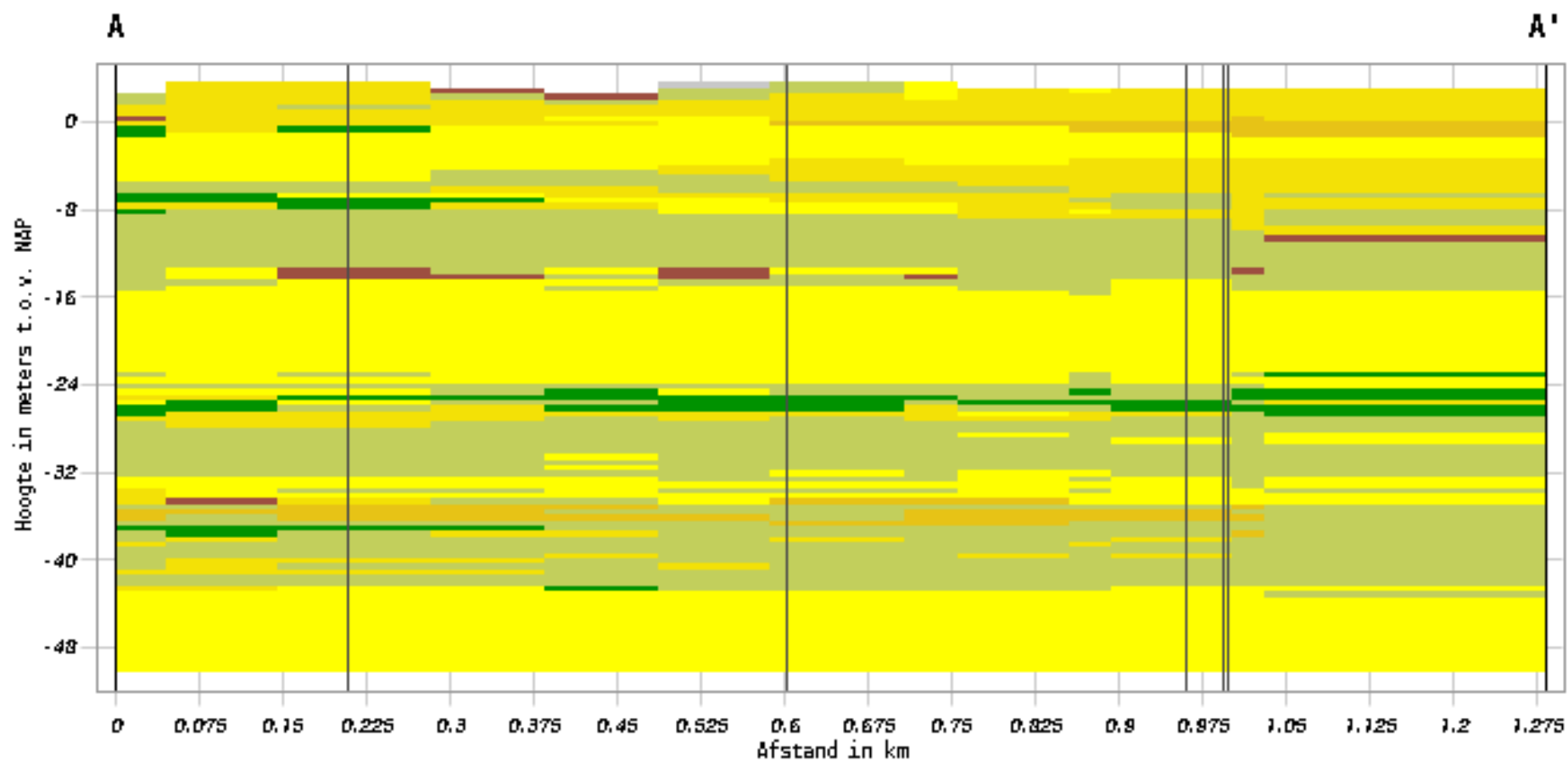


Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

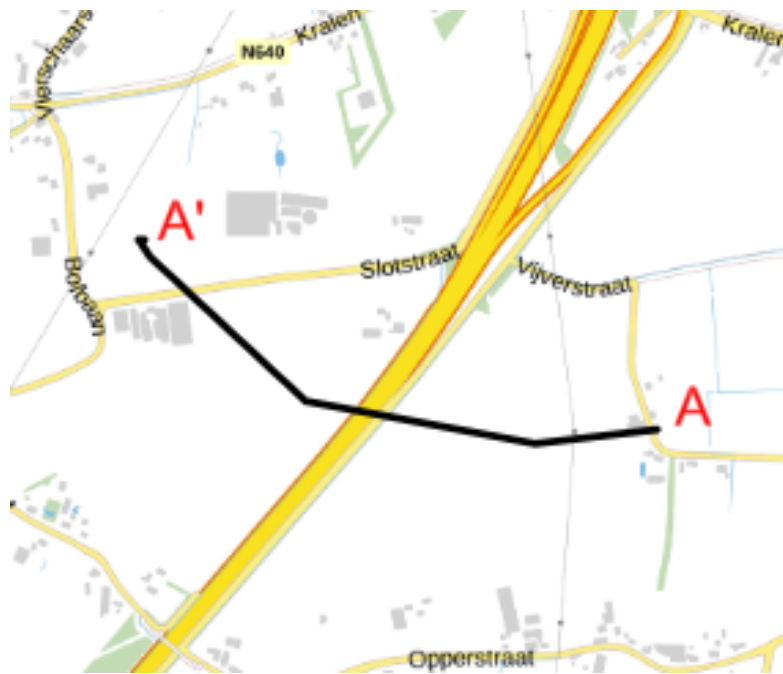
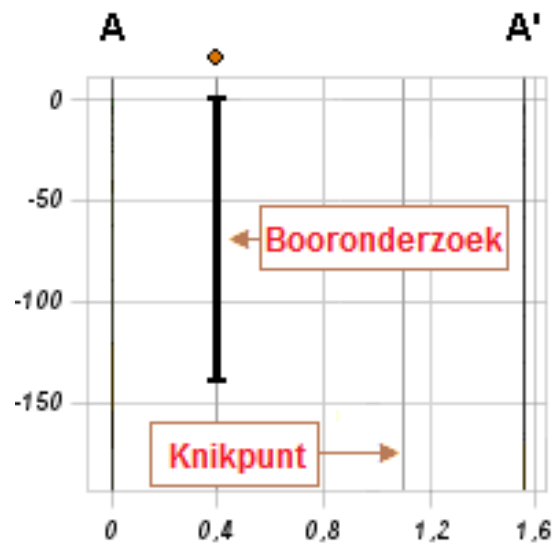
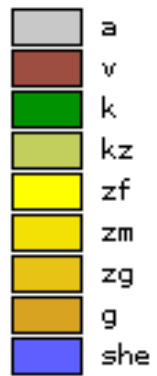
Boringen BRO (tot 500 m afstand van trace)



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: 6-4-2022
Time of report: 11:46:33
Report with version: 20.1.2.31161
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: OG HDD1 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	6
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	9
3.11	Configuration of the Pipeline	9
3.12	Product Pipe Material Data	10
3.13	Pipe Engineering Data	11
3.14	Drilling Fluid Data	11
3.15	Factors	11
3.16	Calculation Options	12
4	Drilling Fluid Pressures	13
4.1	Drilling Fluid Data	13
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	17
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	19
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	19
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	19
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	20
5	Soil Mechanical Data	21
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	21
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	24
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	27
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	30
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	34
6	Data for Stress Analysis	39
6.1	General Data	39
6.2	Buoyancy Control	39
6.3	Calculation Pulling Force	39
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	41
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	41
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	41
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	41
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	42
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	42
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	42
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	42
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	43
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	43
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	44
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	44
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	44
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	44
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	45
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	45
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	45
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	45
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	46
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	46
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	48
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	48
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	48
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	48
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	49

9.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	49
9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	49
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	49
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	50
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	50
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	51
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	51
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	51
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	51
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	52
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	52
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	52
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	52
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	53
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	53

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	5,000	10,000	15,000	20,000
5 - Z -	4,128	4,163	4,185	4,169	4,170
5 - L -	25,000	30,000	35,000	40,000	45,000
5 - Z -	4,142	4,128	4,133	4,147	4,146
5 - L -	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000
5 - Z -	4,123	4,064	3,974	3,930	3,754
5 - L -	75,000	80,000	85,000	90,000	95,000
5 - Z -	3,901	4,488	4,594	4,745	4,680
5 - L -	100,000	105,000	110,000	115,000	120,000
5 - Z -	4,776	4,647	4,076	2,966	2,940
5 - L -	125,000	130,000	135,000	140,000	145,000
5 - Z -	2,970	3,011	3,038	3,004	3,044
5 - L -	150,000	155,000	160,000	165,000	170,000
5 - Z -	3,021	3,011	3,071	3,063	3,066
5 - L -	175,000	180,000	185,000	190,000	195,000
5 - Z -	3,073	3,071	3,024	3,029	3,030
5 - L -	200,000	205,000	210,000	215,000	220,000
5 - Z -	3,004	3,015	2,970	3,009	3,012
5 - L -	225,000	230,000	235,000	240,000	245,000
5 - Z -	3,017	3,016	2,998	3,005	3,029
5 - L -	250,000	255,000	260,000	265,000	270,000
5 - Z -	3,010	3,001	3,036	3,072	3,062
5 - L -	275,000	280,000	285,000	290,000	295,000
5 - Z -	3,086	3,047	3,031	3,012	3,048
5 - L -	300,000	305,000	310,000	315,000	320,000
5 - Z -	3,059	2,727	3,591	3,708	3,696
5 - L -	325,000	330,000	335,000	340,000	345,000
5 - Z -	3,727	3,744	3,762	3,757	3,780
5 - L -	350,000	355,000	360,000	365,000	370,000
5 - Z -	3,794	3,823	3,804	3,889	3,887
5 - L -	375,000	380,000	385,000	390,000	395,000
5 - Z -	3,902	3,937	3,919	3,909	3,966
5 - L -	400,000	405,000	410,000	415,000	420,000
5 - Z -	3,995	3,990	3,994	3,969	4,034
5 - L -	425,000	430,000	435,000	440,000	445,000
5 - Z -	4,043	4,066	4,014	4,011	4,065
5 - L -	450,000	455,000	460,000		
5 - Z -	4,133	3,988	3,951		
4 - L -	0,000	460,000			
4 - Z -	0,500	0,500			
3 - L -	0,000	460,000			
3 - Z -	-3,900	-3,900			
2 - L -	0,000	460,000			
2 - Z -	-7,300	-7,300			
1 - L -	0,000	460,000			
1 - Z -	-17,000	-17,000			
0 - L -	0,000	460,000			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	460,000			
1 - Z -	0,500	0,500			

3.4 Phreatic Line

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

3.5 Soil Profiles

Layer number	Material name	Piezo-line at top	Piezo-line at bottom
5	Zand, schoon, los	1	1
4	Kleiig silt	1	1
3	Zand, schoon, matig	1	1
2	Kleiig silt	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, schoon, matig

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

3.7 Soil Material Data

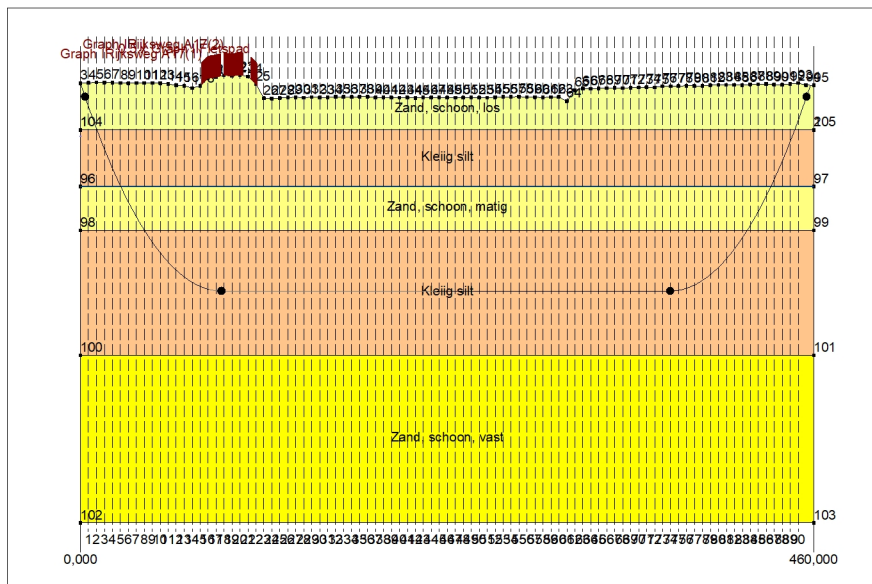
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Kleiig silt	18,00	20,00	10,00	25,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00

Name	Soil type	Emod 100 [kN/m ²]	Emod top [kN/m ²]	Emod bottom [kN/m ²]
Kleiig silt	Sand	12000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	75000,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	60000,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-

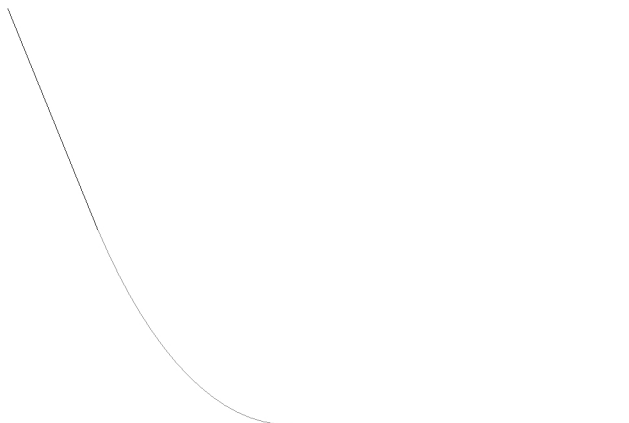
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Kleiig silt	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30
Zand, schoon, matig	-	-	0,30
Zand, schoon, los	-	-	0,30

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	5,002	2,318
2	10,004	0,608
3	15,006	-0,986
4	20,008	-2,465
5	25,010	-3,832
6	30,012	-5,088
7	35,014	-6,235
8	40,016	-7,275
9	45,018	-8,208
10	50,020	-9,037
11	55,022	-9,763
12	60,024	-10,385
13	65,026	-10,906
14	70,028	-11,325
15	75,030	-11,643
16	80,032	-11,860
17	85,034	-11,977
18	90,036	-12,000
19	95,038	-12,000
20	100,040	-12,000
21	105,042	-12,000
22	110,044	-12,000
23	115,046	-12,000
24	120,048	-12,000
25	125,050	-12,000
26	130,052	-12,000
27	135,054	-12,000
28	140,056	-12,000
29	145,058	-12,000
30	150,060	-12,000
31	155,062	-12,000
32	160,064	-12,000
33	165,066	-12,000
34	170,068	-12,000
35	175,070	-12,000
36	180,072	-12,000
37	185,074	-12,000
38	190,076	-12,000
39	195,078	-12,000
40	200,080	-12,000
41	205,082	-12,000
42	210,084	-12,000
43	215,086	-12,000
44	220,088	-12,000
45	225,090	-12,000
46	230,092	-12,000
47	235,094	-12,000
48	240,096	-12,000
49	245,098	-12,000
50	250,100	-12,000
51	255,102	-12,000
52	260,104	-12,000
53	265,106	-12,000
54	270,108	-12,000
55	275,110	-12,000
56	280,112	-12,000
57	285,114	-12,000
58	290,116	-12,000
59	295,118	-12,000
60	300,120	-12,000
61	305,122	-12,000
62	310,124	-12,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,126	-12,000
64	320,128	-12,000
65	325,130	-12,000
66	330,132	-12,000
67	335,134	-12,000
68	340,136	-12,000
69	345,138	-12,000
70	350,140	-12,000
71	355,142	-12,000
72	360,144	-12,000
73	365,146	-12,000
74	370,148	-12,000
75	375,150	-11,944
76	380,152	-11,788
77	385,154	-11,531
78	390,156	-11,174
79	395,158	-10,715
80	400,160	-10,155
81	405,162	-9,493
82	410,164	-8,728
83	415,166	-7,858
84	420,168	-6,883
85	425,170	-5,802
86	430,172	-4,613
87	435,174	-3,314
88	440,176	-1,904
89	445,178	-0,381
90	450,180	1,258

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

Rijksweg A17(1)		
L start	76,00	[m]
L end	88,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Rijksweg A17(2)		
L start	90,00	[m]
L end	102,00	[m]
Load model (graph type)	Graph I	
Fietspad		
L start	107,00	[m]
L end	111,00	[m]
Load model (graph type)	0.5 x Graph II	

3.11 Configuration of the Pipeline

X co-ordinate left point	0,000	[m]
Y co-ordinate left point	101,500	[m]
Z co-ordinate left point	4,128	[m]
X co-ordinate right point	426,000	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	3,967	[m]
Angle left	20,0000	[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)	-12,000	[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	61,000	47,500	192,000	0,000	200,000	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 (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	23	246
2	0	0	44	263
3	0	15	65	278
4	0	30	84	292
5	0	43	101	304
6	354	354	118	315
7	525	566	133	326
8	563	738	147	335
9	417	660	160	342
10	417	680	172	349
11	426	690	183	355
12	436	702	192	359
13	445	715	200	362
14	450	719	207	364
15	461	736	214	365
16	481	770	218	365
17	487	779	222	364
18	491	787	225	362
19	490	784	227	359
20	492	788	230	357
21	489	782	232	354
22	473	755	235	352
23	443	702	237	349
24	443	701	240	347
25	444	703	242	344
26	445	705	245	342
27	445	706	247	339
28	445	704	250	337
29	446	706	252	334
30	445	705	255	332
31	445	705	257	329
32	446	707	260	327
33	446	707	262	324
34	446	707	265	322
35	446	708	267	319
36	446	707	270	317
37	445	705	272	314
38	445	705	275	312
39	445	705	277	309
40	445	704	280	307
41	445	705	282	304
42	444	703	285	302
43	445	704	287	299
44	445	705	290	297
45	445	705	292	294
46	445	705	295	292
47	444	704	297	289
48	445	704	300	287
49	445	705	302	284
50	445	704	305	282
51	444	704	307	279
52	445	706	310	277
53	446	707	312	274
54	446	707	315	272
55	447	708	317	269
56	446	706	320	267
57	445	705	322	264

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	445	705	325	262
59	446	706	327	259
60	446	706	330	257
61	438	692	332	254
62	460	732	335	252
63	464	738	337	249
64	463	737	340	247
65	464	739	342	244
66	465	740	345	242
67	465	740	347	239
68	465	740	350	237
69	465	741	352	234
70	466	742	355	232
71	467	743	357	229
72	466	743	360	227
73	468	746	362	224
74	468	746	365	222
75	468	745	367	219
76	465	742	368	215
77	459	733	367	209
78	451	722	366	203
79	442	711	363	195
80	432	697	359	186
81	419	681	355	177
82	410	666	349	166
83	427	653	342	153
84	543	668	333	140
85	484	484	324	125
86	254	254	313	110
87	0	38	301	93
88	0	24	288	74
89	0	9	274	55
90	0	0	258	34

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	21	23
2	0	0	41	44
3	0	15	60	65
4	0	30	77	84
5	0	43	93	101
6	269	269	108	118
7	431	431	122	133
8	563	573	134	147
9	440	590	145	160
10	428	628	156	172
11	433	662	165	183
12	441	689	172	192
13	450	712	179	200
14	453	723	185	207
15	464	743	189	214
16	485	777	192	218
17	490	785	195	222
18	494	793	196	225
19	493	790	197	227
20	495	795	198	230
21	492	788	199	232
22	476	761	199	235
23	446	708	200	237
24	445	706	201	239
25	446	708	202	238
26	447	710	203	237
27	448	711	204	236

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
28	447	710	205	236
29	448	711	206	235
30	448	710	207	234
31	447	710	208	233
32	449	713	209	232
33	449	712	209	231
34	449	713	210	230
35	449	713	211	229
36	449	713	212	228
37	448	711	213	227
38	448	711	214	226
39	448	711	215	225
40	447	710	216	225
41	447	710	217	224
42	446	708	218	223
43	447	710	219	222
44	447	710	219	221
45	448	710	220	220
46	448	710	221	219
47	447	709	222	218
48	447	710	223	217
49	448	711	224	216
50	447	710	225	215
51	447	709	226	215
52	448	711	227	214
53	449	713	228	213
54	449	712	229	212
55	449	713	230	211
56	448	712	230	210
57	448	711	231	209
58	447	710	232	208
59	448	712	233	207
60	449	712	234	206
61	440	697	235	205
62	463	738	236	205
63	466	744	237	204
64	466	743	238	203
65	467	745	239	202
66	467	745	240	201
67	468	746	239	200
68	468	746	237	199
69	468	747	234	198
70	469	748	232	197
71	470	749	229	196
72	469	748	227	195
73	471	752	224	194
74	471	752	222	194
75	471	751	219	192
76	468	748	215	189
77	462	740	209	186
78	455	724	203	181
79	447	705	195	175
80	438	679	186	168
81	428	645	177	159
82	424	606	166	150
83	463	573	153	139
84	514	514	140	128
85	368	368	125	115
86	196	196	110	101
87	0	38	93	85
88	0	24	74	69
89	0	9	55	51
90	0	0	34	32

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	0	0	21	21
2	0	0	41	41
3	0	15	59	60
4	0	30	77	77
5	0	43	92	93
6	191	191	107	108
7	299	299	121	122
8	397	397	133	134
9	459	459	144	145
10	456	505	154	156
11	452	546	163	165
12	455	579	171	172
13	461	607	177	179
14	463	624	183	185
15	473	648	187	189
16	493	686	190	192
17	498	697	192	195
18	503	705	194	196
19	501	702	194	197
20	503	706	195	198
21	500	701	196	199
22	484	675	197	199
23	453	626	197	200
24	452	625	198	201
25	453	626	199	202
26	454	628	200	203
27	455	629	201	204
28	454	628	201	205
29	455	629	202	206
30	455	628	203	207
31	454	628	204	208
32	456	631	205	209
33	456	630	205	209
34	456	630	206	210
35	456	631	207	211
36	456	631	208	212
37	455	628	209	213
38	455	629	209	214
39	455	629	210	215
40	454	628	211	216
41	454	628	212	217
42	453	626	212	217
43	454	628	213	216
44	454	628	214	215
45	454	628	215	214
46	454	628	216	213
47	454	627	216	213
48	454	628	217	212
49	455	629	216	211
50	454	628	215	210
51	454	627	215	210
52	455	629	214	209
53	456	631	213	208
54	456	630	212	207
55	456	631	211	206
56	455	629	210	206
57	455	629	209	205
58	454	628	208	204
59	455	630	207	203
60	455	630	206	202
61	447	616	205	202
62	471	654	205	201
63	474	659	204	200

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
64	474	658	203	199
65	474	660	202	198
66	475	661	201	198
67	475	661	200	197
68	475	661	199	196
69	476	662	198	195
70	476	663	197	195
71	477	664	196	194
72	477	663	195	193
73	479	667	194	192
74	479	667	194	191
75	478	665	192	190
76	476	657	189	187
77	471	642	186	184
78	465	622	181	179
79	459	598	175	173
80	453	566	168	166
81	449	527	159	158
82	458	481	150	149
83	440	440	139	138
84	356	356	128	127
85	256	256	115	114
86	142	142	101	100
87	0	38	85	85
88	0	24	69	68
89	0	9	51	50
90	0	0	32	31

4.2 Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure

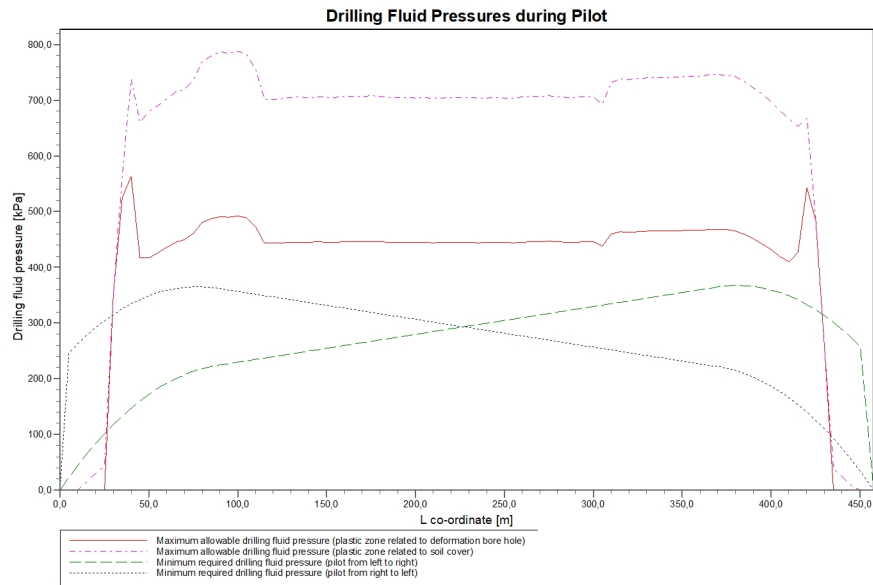
Vertical no.	Static column pressure			
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	Result
1	20	0	-	sufficient
2	39	0	-	sufficient
3	57	15	3,82	sufficient
4	73	30	2,47	sufficient
5	88	43	2,04	sufficient
6	102	56	1,83	sufficient
7	115	67	1,71	sufficient
8	126	78	1,63	sufficient
9	137	87	1,57	sufficient
10	146	95	1,53	sufficient
11	154	103	1,50	sufficient
12	161	109	1,48	sufficient
13	167	114	1,46	sufficient
14	171	118	1,45	sufficient
15	175	121	1,44	sufficient
16	177	124	1,43	sufficient
17	178	125	1,43	sufficient
18	179	125	1,43	sufficient
19	179	125	1,43	sufficient
20	179	125	1,43	sufficient
21	179	125	1,43	sufficient
22	179	125	1,43	sufficient
23	179	125	1,43	sufficient
24	179	125	1,43	sufficient
25	179	125	1,43	sufficient
26	179	125	1,43	sufficient
27	178	125	1,43	sufficient
28	178	125	1,43	sufficient
29	178	125	1,43	sufficient
30	178	125	1,43	sufficient
31	178	125	1,43	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
32	178	125	1,43	sufficient
33	178	125	1,43	sufficient
34	178	125	1,43	sufficient
35	178	125	1,43	sufficient
36	178	125	1,43	sufficient
37	178	125	1,43	sufficient
38	178	125	1,43	sufficient
39	178	125	1,43	sufficient
40	178	125	1,43	sufficient
41	178	125	1,43	sufficient
42	178	125	1,43	sufficient
43	178	125	1,43	sufficient
44	178	125	1,43	sufficient
45	178	125	1,43	sufficient
46	178	125	1,42	sufficient
47	178	125	1,42	sufficient
48	178	125	1,42	sufficient
49	178	125	1,42	sufficient
50	178	125	1,42	sufficient
51	178	125	1,42	sufficient
52	178	125	1,42	sufficient
53	178	125	1,42	sufficient
54	178	125	1,42	sufficient
55	178	125	1,42	sufficient
56	178	125	1,42	sufficient
57	178	125	1,42	sufficient
58	178	125	1,42	sufficient
59	178	125	1,42	sufficient
60	178	125	1,42	sufficient
61	178	125	1,42	sufficient
62	178	125	1,42	sufficient
63	178	125	1,42	sufficient
64	178	125	1,42	sufficient
65	178	125	1,42	sufficient
66	178	125	1,42	sufficient
67	178	125	1,42	sufficient
68	178	125	1,42	sufficient
69	178	125	1,42	sufficient
70	178	125	1,42	sufficient
71	178	125	1,42	sufficient
72	178	125	1,42	sufficient
73	178	125	1,42	sufficient
74	178	125	1,42	sufficient
75	177	124	1,42	sufficient
76	175	123	1,43	sufficient
77	172	120	1,43	sufficient
78	168	117	1,44	sufficient
79	163	112	1,46	sufficient
80	157	107	1,47	sufficient
81	150	100	1,50	sufficient
82	141	92	1,53	sufficient
83	131	84	1,57	sufficient
84	121	74	1,63	sufficient
85	109	63	1,72	sufficient
86	95	51	1,86	sufficient
87	81	38	2,12	sufficient
88	65	24	2,71	sufficient
89	48	9	5,48	sufficient
90	30	0	-	sufficient

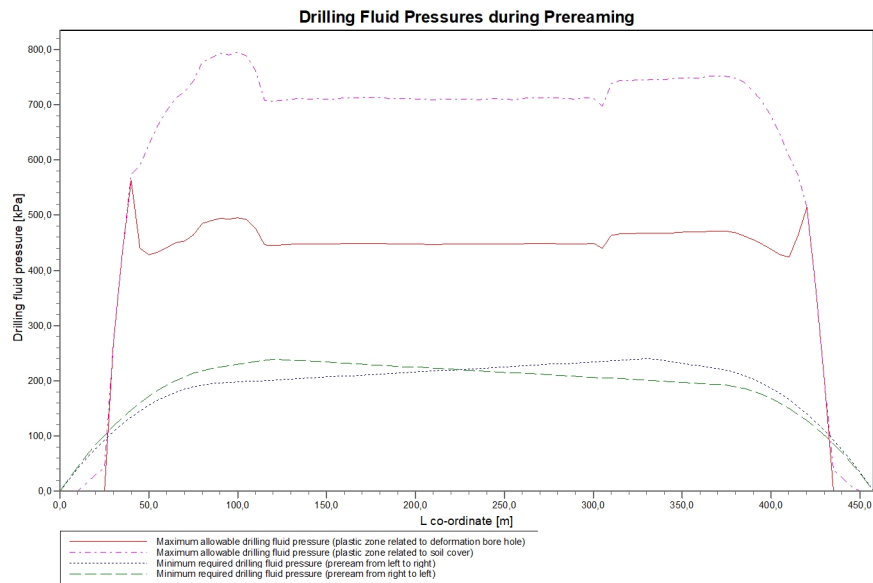
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

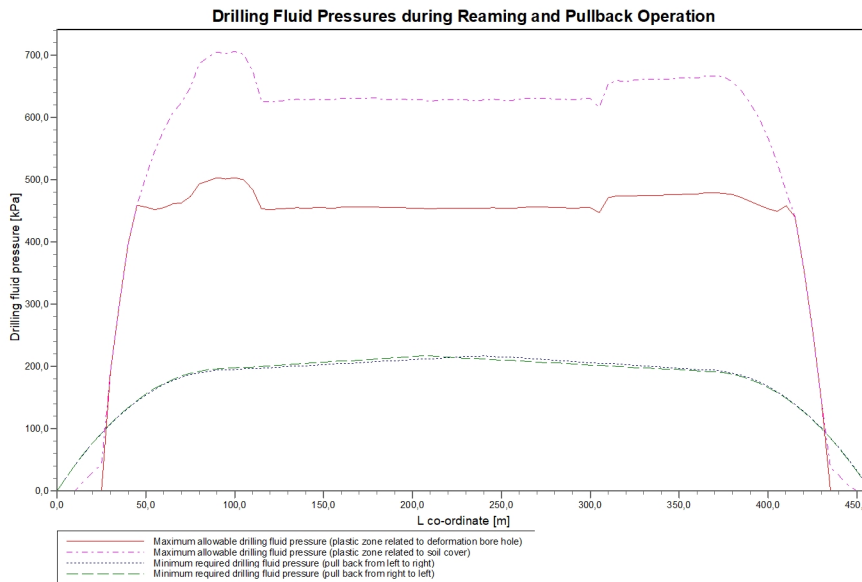
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



5 Soil Mechanical Data

5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

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

Vertical no.	q_v;p [kN/m ²]	q_v;n [kN/m ²]	q_h;n [kN/m ²]	q_v,r;n [kN/m ²]	q_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
1	76	29	22	29	0	788
2	249	59	43	59	0	1224
3	437	76	33	45	0	1500
4	523	91	33	44	0	1735
5	581	104	31	41	0	3659
6	1119	116	31	42	0	4094
7	1239	128	33	44	0	4501
8	1333	138	25	33	0	2488
9	760	148	20	27	0	2635
10	792	156	17	23	0	2759
11	816	162	16	21	0	2857
12	834	167	15	20	0	2931
13	852	171	15	20	0	3001
14	856	172	14	19	0	3021
15	878	178	14	19	0	3111
16	925	190	14	19	3	3301
17	936	193	14	19	3	3348
18	947	196	14	19	3	3391
19	942	195	14	19	3	3374
20	948	196	14	19	3	3399
21	940	194	14	19	0	3364
22	903	184	14	19	0	3210
23	831	166	14	19	0	2917
24	829	165	14	19	0	2910
25	831	166	14	19	0	2918
26	834	166	14	19	0	2929
27	836	167	14	19	0	2936
28	833	166	14	19	0	2927
29	836	167	14	19	0	2938
30	834	167	14	19	0	2931
31	834	166	14	19	0	2929
32	838	167	14	19	0	2945
33	837	167	14	19	0	2943
34	837	167	14	19	0	2943
35	838	168	14	19	0	2945
36	838	167	14	19	0	2945
37	835	167	14	19	0	2932
38	835	167	14	19	0	2934
39	835	167	14	19	0	2934
40	833	166	14	19	0	2927
41	834	167	14	19	0	2930
42	831	166	14	19	0	2918
43	834	166	14	19	0	2928

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	834	166	14	19	0	2929
45	834	167	14	19	0	2930
46	834	167	14	19	0	2930
47	833	166	14	19	0	2925
48	833	166	14	19	0	2927
49	835	167	14	19	0	2933
50	834	166	14	19	0	2928
51	833	166	14	19	0	2926
52	835	167	14	19	0	2936
53	838	167	14	19	0	2945
54	837	167	14	19	0	2943
55	839	168	14	19	0	2949
56	836	167	14	19	0	2938
57	835	167	14	19	0	2934
58	834	166	14	19	0	2929
59	836	167	14	19	0	2939
60	836	167	14	19	0	2939
61	816	162	14	19	0	2859
62	872	176	14	19	0	3084
63	879	178	14	19	0	3115
64	879	178	14	19	0	3112
65	881	179	14	19	0	3120
66	882	179	14	19	0	3124
67	883	179	14	19	0	3129
68	883	179	14	19	0	3128
69	884	180	14	19	0	3134
70	885	180	14	19	0	3138
71	887	180	14	19	0	3145
72	886	180	14	19	0	3141
73	891	181	14	19	0	3163
74	891	181	14	19	0	3163
75	890	181	14	19	0	3158
76	886	180	14	19	0	3142
77	875	177	14	19	0	3097
78	861	173	14	19	0	3039
79	847	170	15	20	0	2982
80	827	165	15	21	0	2901
81	801	158	16	22	0	2795
82	771	150	18	24	0	2676
83	735	141	21	28	0	2533
84	1282	133	28	37	0	3148
85	1187	122	32	43	0	4295
86	1006	110	30	41	0	3888
87	549	97	31	42	0	1827
88	487	82	32	43	0	1604
89	346	68	51	68	0	1376
90	166	47	35	47	0	1252

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	305	12787	3844	8951	0,05	7,5
2	358	18156	18876	12709	0,05	7,5
3	456	20251	18536	14175	0,05	7,5
4	523	41861	19721	29303	0,05	7,5
5	581	146758	21388	102731	0,05	7,5
6	1133	155297	98029	108708	0,05	7,5
7	1239	99370	150256	69559	0,05	7,5
8	1333	27258	157515	19080	0,05	7,5
9	760	28177	92377	19724	0,05	7,5
10	792	28936	27089	20255	0,05	7,5
11	816	29526	27711	20668	0,05	7,5
12	834	29963	28171	20974	0,05	7,5
13	852	30372	28601	21260	0,05	7,5
14	856	30484	28718	21339	0,05	7,5
15	878	31002	29262	21702	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	925	32076	30386	22453	0,05	7,5
17	936	32335	30658	22635	0,05	7,5
18	947	32575	30908	22802	0,05	7,5
19	942	32481	30810	22737	0,05	7,5
20	948	32620	30955	22834	0,05	7,5
21	940	32424	30751	22697	0,05	7,5
22	903	31567	29854	22097	0,05	7,5
23	831	29872	28075	20910	0,05	7,5
24	829	29831	28032	20882	0,05	7,5
25	831	29879	28082	20915	0,05	7,5
26	834	29943	28150	20960	0,05	7,5
27	836	29985	28194	20989	0,05	7,5
28	833	29932	28139	20953	0,05	7,5
29	836	29994	28204	20996	0,05	7,5
30	834	29958	28166	20971	0,05	7,5
31	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
32	838	30037	28249	21026	0,05	7,5
33	837	30025	28236	21017	0,05	7,5
34	837	30029	28241	21021	0,05	7,5
35	838	30040	28252	21028	0,05	7,5
36	838	30036	28248	21025	0,05	7,5
37	835	29963	28171	20974	0,05	7,5
38	835	29971	28179	20980	0,05	7,5
39	835	29972	28180	20980	0,05	7,5
40	833	29932	28138	20952	0,05	7,5
41	834	29948	28155	20964	0,05	7,5
42	831	29879	28083	20915	0,05	7,5
43	834	29940	28146	20958	0,05	7,5
44	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
45	834	29952	28159	20967	0,05	7,5
46	834	29950	28157	20965	0,05	7,5
47	833	29923	28128	20946	0,05	7,5
48	833	29934	28140	20954	0,05	7,5
49	835	29970	28179	20979	0,05	7,5
50	834	29941	28148	20959	0,05	7,5
51	833	29928	28134	20950	0,05	7,5
52	835	29983	28192	20988	0,05	7,5
53	838	30038	28250	21027	0,05	7,5
54	837	30024	28235	21017	0,05	7,5
55	839	30059	28272	21041	0,05	7,5
56	836	29999	28209	20999	0,05	7,5
57	835	29974	28182	20981	0,05	7,5
58	834	29946	28153	20962	0,05	7,5
59	836	30001	28211	21001	0,05	7,5
60	836	30006	28216	21004	0,05	7,5
61	816	29527	27712	20669	0,05	7,5
62	872	30848	29101	21594	0,05	7,5
63	879	31023	29284	21716	0,05	7,5
64	879	31006	29266	21704	0,05	7,5
65	881	31053	29315	21737	0,05	7,5
66	882	31079	29343	21755	0,05	7,5
67	883	31105	29371	21774	0,05	7,5
68	883	31099	29364	21769	0,05	7,5
69	884	31134	29400	21794	0,05	7,5
70	885	31156	29423	21809	0,05	7,5
71	887	31198	29467	21838	0,05	7,5
72	886	31173	29442	21821	0,05	7,5
73	891	31299	29573	21909	0,05	7,5
74	891	31296	29571	21907	0,05	7,5
75	890	31270	29543	21889	0,05	7,5
76	886	31181	29450	21827	0,05	7,5
77	875	30923	29180	21646	0,05	7,5
78	861	30588	28828	21412	0,05	7,5
79	847	30256	28479	21180	0,05	7,5
80	827	29783	27982	20848	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	801	29155	27319	20408	0,05	7,5
82	771	28428	49683	19900	0,05	7,5
83	735	27541	121065	19279	0,05	7,5
84	1282	46306	153570	32414	0,05	7,5
85	1187	136359	146142	95452	0,05	7,5
86	1078	151303	60103	105912	0,05	7,5
87	549	106768	20472	74738	0,05	7,5
88	487	21071	18612	14750	0,05	7,5
89	418	19234	19146	13464	0,05	7,5
90	280	19012	15730	13308	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 196 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 68 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 68 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 157515 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 315030 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	76	29	22	29	0	788
2	249	59	43	59	0	1224
3	437	76	33	45	0	1500
4	523	91	33	44	0	1735
5	581	104	31	41	0	3659
6	1119	116	31	42	0	4094
7	1239	128	33	44	0	4501
8	1333	138	25	33	0	2488
9	760	148	20	27	0	2635
10	792	156	17	23	0	2759
11	816	162	16	21	0	2857
12	834	167	15	20	0	2931
13	852	171	15	20	0	3001
14	856	172	14	19	0	3021
15	878	178	14	19	0	3111
16	925	190	14	19	3	3301
17	936	193	14	19	3	3348
18	947	196	14	19	3	3391
19	942	195	14	19	3	3374
20	948	196	14	19	3	3399
21	940	194	14	19	0	3364
22	903	184	14	19	0	3210
23	831	166	14	19	0	2917
24	829	165	14	19	0	2910
25	831	166	14	19	0	2918

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	834	166	14	19	0	2929
27	836	167	14	19	0	2936
28	833	166	14	19	0	2927
29	836	167	14	19	0	2938
30	834	167	14	19	0	2931
31	834	166	14	19	0	2929
32	838	167	14	19	0	2945
33	837	167	14	19	0	2943
34	837	167	14	19	0	2943
35	838	168	14	19	0	2945
36	838	167	14	19	0	2945
37	835	167	14	19	0	2932
38	835	167	14	19	0	2934
39	835	167	14	19	0	2934
40	833	166	14	19	0	2927
41	834	167	14	19	0	2930
42	831	166	14	19	0	2918
43	834	166	14	19	0	2928
44	834	166	14	19	0	2929
45	834	167	14	19	0	2930
46	834	167	14	19	0	2930
47	833	166	14	19	0	2925
48	833	166	14	19	0	2927
49	835	167	14	19	0	2933
50	834	166	14	19	0	2928
51	833	166	14	19	0	2926
52	835	167	14	19	0	2936
53	838	167	14	19	0	2945
54	837	167	14	19	0	2943
55	839	168	14	19	0	2949
56	836	167	14	19	0	2938
57	835	167	14	19	0	2934
58	834	166	14	19	0	2929
59	836	167	14	19	0	2939
60	836	167	14	19	0	2939
61	816	162	14	19	0	2859
62	872	176	14	19	0	3084
63	879	178	14	19	0	3115
64	879	178	14	19	0	3112
65	881	179	14	19	0	3120
66	882	179	14	19	0	3124
67	883	179	14	19	0	3129
68	883	179	14	19	0	3128
69	884	180	14	19	0	3134
70	885	180	14	19	0	3138
71	887	180	14	19	0	3145
72	886	180	14	19	0	3141
73	891	181	14	19	0	3163
74	891	181	14	19	0	3163
75	890	181	14	19	0	3158
76	886	180	14	19	0	3142
77	875	177	14	19	0	3097
78	861	173	14	19	0	3039
79	847	170	15	20	0	2982
80	827	165	15	21	0	2901
81	801	158	16	22	0	2795
82	771	150	18	24	0	2676
83	735	141	21	28	0	2533
84	1282	133	28	37	0	3148
85	1187	122	32	43	0	4295
86	1006	110	30	41	0	3888
87	549	97	31	42	0	1827
88	487	82	32	43	0	1604
89	346	68	51	68	0	1376
90	166	47	35	47	0	1252

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	305	12787	3844	8951	0,05	7,5
2	358	18156	18876	12709	0,05	7,5
3	456	20251	18536	14175	0,05	7,5
4	523	41861	19721	29303	0,05	7,5
5	581	146758	21388	102731	0,05	7,5
6	1133	155297	98029	108708	0,05	7,5
7	1239	99370	150256	69559	0,05	7,5
8	1333	27258	157515	19080	0,05	7,5
9	760	28177	92377	19724	0,05	7,5
10	792	28936	27089	20255	0,05	7,5
11	816	29526	27711	20668	0,05	7,5
12	834	29963	28171	20974	0,05	7,5
13	852	30372	28601	21260	0,05	7,5
14	856	30484	28718	21339	0,05	7,5
15	878	31002	29262	21702	0,05	7,5
16	925	32076	30386	22453	0,05	7,5
17	936	32335	30658	22635	0,05	7,5
18	947	32575	30908	22802	0,05	7,5
19	942	32481	30810	22737	0,05	7,5
20	948	32620	30955	22834	0,05	7,5
21	940	32424	30751	22697	0,05	7,5
22	903	31567	29854	22097	0,05	7,5
23	831	29872	28075	20910	0,05	7,5
24	829	29831	28032	20882	0,05	7,5
25	831	29879	28082	20915	0,05	7,5
26	834	29943	28150	20960	0,05	7,5
27	836	29985	28194	20989	0,05	7,5
28	833	29932	28139	20953	0,05	7,5
29	836	29994	28204	20996	0,05	7,5
30	834	29958	28166	20971	0,05	7,5
31	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
32	838	30037	28249	21026	0,05	7,5
33	837	30025	28236	21017	0,05	7,5
34	837	30029	28241	21021	0,05	7,5
35	838	30040	28252	21028	0,05	7,5
36	838	30036	28248	21025	0,05	7,5
37	835	29963	28171	20974	0,05	7,5
38	835	29971	28179	20980	0,05	7,5
39	835	29972	28180	20980	0,05	7,5
40	833	29932	28138	20952	0,05	7,5
41	834	29948	28155	20964	0,05	7,5
42	831	29879	28083	20915	0,05	7,5
43	834	29940	28146	20958	0,05	7,5
44	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
45	834	29952	28159	20967	0,05	7,5
46	834	29950	28157	20965	0,05	7,5
47	833	29923	28128	20946	0,05	7,5
48	833	29934	28140	20954	0,05	7,5
49	835	29970	28179	20979	0,05	7,5
50	834	29941	28148	20959	0,05	7,5
51	833	29928	28134	20950	0,05	7,5
52	835	29983	28192	20988	0,05	7,5
53	838	30038	28250	21027	0,05	7,5
54	837	30024	28235	21017	0,05	7,5
55	839	30059	28272	21041	0,05	7,5
56	836	29999	28209	20999	0,05	7,5
57	835	29974	28182	20981	0,05	7,5
58	834	29946	28153	20962	0,05	7,5
59	836	30001	28211	21001	0,05	7,5
60	836	30006	28216	21004	0,05	7,5
61	816	29527	27712	20669	0,05	7,5
62	872	30848	29101	21594	0,05	7,5
63	879	31023	29284	21716	0,05	7,5
64	879	31006	29266	21704	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	881	31053	29315	21737	0,05	7,5
66	882	31079	29343	21755	0,05	7,5
67	883	31105	29371	21774	0,05	7,5
68	883	31099	29364	21769	0,05	7,5
69	884	31134	29400	21794	0,05	7,5
70	885	31156	29423	21809	0,05	7,5
71	887	31198	29467	21838	0,05	7,5
72	886	31173	29442	21821	0,05	7,5
73	891	31299	29573	21909	0,05	7,5
74	891	31296	29571	21907	0,05	7,5
75	890	31270	29543	21889	0,05	7,5
76	886	31181	29450	21827	0,05	7,5
77	875	30923	29180	21646	0,05	7,5
78	861	30588	28828	21412	0,05	7,5
79	847	30256	28479	21180	0,05	7,5
80	827	29783	27982	20848	0,05	7,5
81	801	29155	27319	20408	0,05	7,5
82	771	28428	49683	19900	0,05	7,5
83	735	27541	121065	19279	0,05	7,5
84	1282	46306	153570	32414	0,05	7,5
85	1187	136359	146142	95452	0,05	7,5
86	1078	151303	60103	105912	0,05	7,5
87	549	106768	20472	74738	0,05	7,5
88	487	21071	18612	14750	0,05	7,5
89	418	19234	19146	13464	0,05	7,5
90	280	19012	15730	13308	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _v ;n;max = 196 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 68 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _v ;r;n;max = 68 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 157515 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 315030 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	76	29	22	29	0	788
2	249	59	43	59	0	1224
3	437	76	33	45	0	1500
4	523	91	33	44	0	1735
5	581	104	31	41	0	3659
6	1119	116	31	42	0	4094
7	1239	128	33	44	0	4501
8	1333	138	25	33	0	2488
9	760	148	20	27	0	2635

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]
10	792	156	17	23	0	2759
11	816	162	16	21	0	2857
12	834	167	15	20	0	2931
13	852	171	15	20	0	3001
14	856	172	14	19	0	3021
15	878	178	14	19	0	3111
16	925	190	14	19	3	3301
17	936	193	14	19	3	3348
18	947	196	14	19	3	3391
19	942	195	14	19	3	3374
20	948	196	14	19	3	3399
21	940	194	14	19	0	3364
22	903	184	14	19	0	3210
23	831	166	14	19	0	2917
24	829	165	14	19	0	2910
25	831	166	14	19	0	2918
26	834	166	14	19	0	2929
27	836	167	14	19	0	2936
28	833	166	14	19	0	2927
29	836	167	14	19	0	2938
30	834	167	14	19	0	2931
31	834	166	14	19	0	2929
32	838	167	14	19	0	2945
33	837	167	14	19	0	2943
34	837	167	14	19	0	2943
35	838	168	14	19	0	2945
36	838	167	14	19	0	2945
37	835	167	14	19	0	2932
38	835	167	14	19	0	2934
39	835	167	14	19	0	2934
40	833	166	14	19	0	2927
41	834	167	14	19	0	2930
42	831	166	14	19	0	2918
43	834	166	14	19	0	2928
44	834	166	14	19	0	2929
45	834	167	14	19	0	2930
46	834	167	14	19	0	2930
47	833	166	14	19	0	2925
48	833	166	14	19	0	2927
49	835	167	14	19	0	2933
50	834	166	14	19	0	2928
51	833	166	14	19	0	2926
52	835	167	14	19	0	2936
53	838	167	14	19	0	2945
54	837	167	14	19	0	2943
55	839	168	14	19	0	2949
56	836	167	14	19	0	2938
57	835	167	14	19	0	2934
58	834	166	14	19	0	2929
59	836	167	14	19	0	2939
60	836	167	14	19	0	2939
61	816	162	14	19	0	2859
62	872	176	14	19	0	3084
63	879	178	14	19	0	3115
64	879	178	14	19	0	3112
65	881	179	14	19	0	3120
66	882	179	14	19	0	3124
67	883	179	14	19	0	3129
68	883	179	14	19	0	3128
69	884	180	14	19	0	3134
70	885	180	14	19	0	3138
71	887	180	14	19	0	3145
72	886	180	14	19	0	3141
73	891	181	14	19	0	3163
74	891	181	14	19	0	3163

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]
75	890	181	14	19	0	3158
76	886	180	14	19	0	3142
77	875	177	14	19	0	3097
78	861	173	14	19	0	3039
79	847	170	15	20	0	2982
80	827	165	15	21	0	2901
81	801	158	16	22	0	2795
82	771	150	18	24	0	2676
83	735	141	21	28	0	2533
84	1282	133	28	37	0	3148
85	1187	122	32	43	0	4295
86	1006	110	30	41	0	3888
87	549	97	31	42	0	1827
88	487	82	32	43	0	1604
89	346	68	51	68	0	1376
90	166	47	35	47	0	1252

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	305	12787	3844	8951	0,05	7,5
2	358	18156	18876	12709	0,05	7,5
3	456	20251	18536	14175	0,05	7,5
4	523	41861	19721	29303	0,05	7,5
5	581	146758	21388	102731	0,05	7,5
6	1133	155297	98029	108708	0,05	7,5
7	1239	99370	150256	69559	0,05	7,5
8	1333	27258	157515	19080	0,05	7,5
9	760	28177	92377	19724	0,05	7,5
10	792	28936	27089	20255	0,05	7,5
11	816	29526	27711	20668	0,05	7,5
12	834	29963	28171	20974	0,05	7,5
13	852	30372	28601	21260	0,05	7,5
14	856	30484	28718	21339	0,05	7,5
15	878	31002	29262	21702	0,05	7,5
16	925	32076	30386	22453	0,05	7,5
17	936	32335	30658	22635	0,05	7,5
18	947	32575	30908	22802	0,05	7,5
19	942	32481	30810	22737	0,05	7,5
20	948	32620	30955	22834	0,05	7,5
21	940	32424	30751	22697	0,05	7,5
22	903	31567	29854	22097	0,05	7,5
23	831	29872	28075	20910	0,05	7,5
24	829	29831	28032	20882	0,05	7,5
25	831	29879	28082	20915	0,05	7,5
26	834	29943	28150	20960	0,05	7,5
27	836	29985	28194	20989	0,05	7,5
28	833	29932	28139	20953	0,05	7,5
29	836	29994	28204	20996	0,05	7,5
30	834	29958	28166	20971	0,05	7,5
31	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
32	838	30037	28249	21026	0,05	7,5
33	837	30025	28236	21017	0,05	7,5
34	837	30029	28241	21021	0,05	7,5
35	838	30040	28252	21028	0,05	7,5
36	838	30036	28248	21025	0,05	7,5
37	835	29963	28171	20974	0,05	7,5
38	835	29971	28179	20980	0,05	7,5
39	835	29972	28180	20980	0,05	7,5
40	833	29932	28138	20952	0,05	7,5
41	834	29948	28155	20964	0,05	7,5
42	831	29879	28083	20915	0,05	7,5
43	834	29940	28146	20958	0,05	7,5
44	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
45	834	29952	28159	20967	0,05	7,5
46	834	29950	28157	20965	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]
47	833	29923	28128	20946	0,05	7,5
48	833	29934	28140	20954	0,05	7,5
49	835	29970	28179	20979	0,05	7,5
50	834	29941	28148	20959	0,05	7,5
51	833	29928	28134	20950	0,05	7,5
52	835	29983	28192	20988	0,05	7,5
53	838	30038	28250	21027	0,05	7,5
54	837	30024	28235	21017	0,05	7,5
55	839	30059	28272	21041	0,05	7,5
56	836	29999	28209	20999	0,05	7,5
57	835	29974	28182	20981	0,05	7,5
58	834	29946	28153	20962	0,05	7,5
59	836	30001	28211	21001	0,05	7,5
60	836	30006	28216	21004	0,05	7,5
61	816	29527	27712	20669	0,05	7,5
62	872	30848	29101	21594	0,05	7,5
63	879	31023	29284	21716	0,05	7,5
64	879	31006	29266	21704	0,05	7,5
65	881	31053	29315	21737	0,05	7,5
66	882	31079	29343	21755	0,05	7,5
67	883	31105	29371	21774	0,05	7,5
68	883	31099	29364	21769	0,05	7,5
69	884	31134	29400	21794	0,05	7,5
70	885	31156	29423	21809	0,05	7,5
71	887	31198	29467	21838	0,05	7,5
72	886	31173	29442	21821	0,05	7,5
73	891	31299	29573	21909	0,05	7,5
74	891	31296	29571	21907	0,05	7,5
75	890	31270	29543	21889	0,05	7,5
76	886	31181	29450	21827	0,05	7,5
77	875	30923	29180	21646	0,05	7,5
78	861	30588	28828	21412	0,05	7,5
79	847	30256	28479	21180	0,05	7,5
80	827	29783	27982	20848	0,05	7,5
81	801	29155	27319	20408	0,05	7,5
82	771	28428	49683	19900	0,05	7,5
83	735	27541	121065	19279	0,05	7,5
84	1282	46306	153570	32414	0,05	7,5
85	1187	136359	146142	95452	0,05	7,5
86	1078	151303	60103	105912	0,05	7,5
87	549	106768	20472	74738	0,05	7,5
88	487	21071	18612	14750	0,05	7,5
89	418	19234	19146	13464	0,05	7,5
90	280	19012	15730	13308	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n} ;max = 196 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 68 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n} ;max = 68 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 157515 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 315030 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	76	29	22	29	0	788
2	249	59	43	59	0	1224
3	437	76	33	45	0	1500
4	523	91	33	44	0	1735
5	581	104	31	41	0	3659
6	1119	116	31	42	0	4094
7	1239	128	33	44	0	4501
8	1333	138	25	33	0	2488
9	760	148	20	27	0	2635
10	792	156	17	23	0	2759
11	816	162	16	21	0	2857
12	834	167	15	20	0	2931
13	852	171	15	20	0	3001
14	856	172	14	19	0	3021
15	878	178	14	19	0	3111
16	925	190	14	19	3	3301
17	936	193	14	19	3	3348
18	947	196	14	19	3	3391
19	942	195	14	19	3	3374
20	948	196	14	19	3	3399
21	940	194	14	19	0	3364
22	903	184	14	19	0	3210
23	831	166	14	19	0	2917
24	829	165	14	19	0	2910
25	831	166	14	19	0	2918
26	834	166	14	19	0	2929
27	836	167	14	19	0	2936
28	833	166	14	19	0	2927
29	836	167	14	19	0	2938
30	834	167	14	19	0	2931
31	834	166	14	19	0	2929
32	838	167	14	19	0	2945
33	837	167	14	19	0	2943
34	837	167	14	19	0	2943
35	838	168	14	19	0	2945
36	838	167	14	19	0	2945
37	835	167	14	19	0	2932
38	835	167	14	19	0	2934
39	835	167	14	19	0	2934
40	833	166	14	19	0	2927
41	834	167	14	19	0	2930
42	831	166	14	19	0	2918
43	834	166	14	19	0	2928
44	834	166	14	19	0	2929
45	834	167	14	19	0	2930
46	834	167	14	19	0	2930
47	833	166	14	19	0	2925
48	833	166	14	19	0	2927
49	835	167	14	19	0	2933
50	834	166	14	19	0	2928
51	833	166	14	19	0	2926
52	835	167	14	19	0	2936
53	838	167	14	19	0	2945
54	837	167	14	19	0	2943
55	839	168	14	19	0	2949
56	836	167	14	19	0	2938
57	835	167	14	19	0	2934
58	834	166	14	19	0	2929

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]
59	836	167	14	19	0	2939
60	836	167	14	19	0	2939
61	816	162	14	19	0	2859
62	872	176	14	19	0	3084
63	879	178	14	19	0	3115
64	879	178	14	19	0	3112
65	881	179	14	19	0	3120
66	882	179	14	19	0	3124
67	883	179	14	19	0	3129
68	883	179	14	19	0	3128
69	884	180	14	19	0	3134
70	885	180	14	19	0	3138
71	887	180	14	19	0	3145
72	886	180	14	19	0	3141
73	891	181	14	19	0	3163
74	891	181	14	19	0	3163
75	890	181	14	19	0	3158
76	886	180	14	19	0	3142
77	875	177	14	19	0	3097
78	861	173	14	19	0	3039
79	847	170	15	20	0	2982
80	827	165	15	21	0	2901
81	801	158	16	22	0	2795
82	771	150	18	24	0	2676
83	735	141	21	28	0	2533
84	1282	133	28	37	0	3148
85	1187	122	32	43	0	4295
86	1006	110	30	41	0	3888
87	549	97	31	42	0	1827
88	487	82	32	43	0	1604
89	346	68	51	68	0	1376
90	166	47	35	47	0	1252

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	305	12787	3844	8951	0,05	7,5
2	358	18156	18876	12709	0,05	7,5
3	456	20251	18536	14175	0,05	7,5
4	523	41861	19721	29303	0,05	7,5
5	581	146758	21388	102731	0,05	7,5
6	1133	155297	98029	108708	0,05	7,5
7	1239	99370	150256	69559	0,05	7,5
8	1333	27258	157515	19080	0,05	7,5
9	760	28177	92377	19724	0,05	7,5
10	792	28936	27089	20255	0,05	7,5
11	816	29526	27711	20668	0,05	7,5
12	834	29963	28171	20974	0,05	7,5
13	852	30372	28601	21260	0,05	7,5
14	856	30484	28718	21339	0,05	7,5
15	878	31002	29262	21702	0,05	7,5
16	925	32076	30386	22453	0,05	7,5
17	936	32335	30658	22635	0,05	7,5
18	947	32575	30908	22802	0,05	7,5
19	942	32481	30810	22737	0,05	7,5
20	948	32620	30955	22834	0,05	7,5
21	940	32424	30751	22697	0,05	7,5
22	903	31567	29854	22097	0,05	7,5
23	831	29872	28075	20910	0,05	7,5
24	829	29831	28032	20882	0,05	7,5
25	831	29879	28082	20915	0,05	7,5
26	834	29943	28150	20960	0,05	7,5
27	836	29985	28194	20989	0,05	7,5
28	833	29932	28139	20953	0,05	7,5
29	836	29994	28204	20996	0,05	7,5
30	834	29958	28166	20971	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]
31	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
32	838	30037	28249	21026	0,05	7,5
33	837	30025	28236	21017	0,05	7,5
34	837	30029	28241	21021	0,05	7,5
35	838	30040	28252	21028	0,05	7,5
36	838	30036	28248	21025	0,05	7,5
37	835	29963	28171	20974	0,05	7,5
38	835	29971	28179	20980	0,05	7,5
39	835	29972	28180	20980	0,05	7,5
40	833	29932	28138	20952	0,05	7,5
41	834	29948	28155	20964	0,05	7,5
42	831	29879	28083	20915	0,05	7,5
43	834	29940	28146	20958	0,05	7,5
44	834	29944	28151	20961	0,05	7,5
45	834	29952	28159	20967	0,05	7,5
46	834	29950	28157	20965	0,05	7,5
47	833	29923	28128	20946	0,05	7,5
48	833	29934	28140	20954	0,05	7,5
49	835	29970	28179	20979	0,05	7,5
50	834	29941	28148	20959	0,05	7,5
51	833	29928	28134	20950	0,05	7,5
52	835	29983	28192	20988	0,05	7,5
53	838	30038	28250	21027	0,05	7,5
54	837	30024	28235	21017	0,05	7,5
55	839	30059	28272	21041	0,05	7,5
56	836	29999	28209	20999	0,05	7,5
57	835	29974	28182	20981	0,05	7,5
58	834	29946	28153	20962	0,05	7,5
59	836	30001	28211	21001	0,05	7,5
60	836	30006	28216	21004	0,05	7,5
61	816	29527	27712	20669	0,05	7,5
62	872	30848	29101	21594	0,05	7,5
63	879	31023	29284	21716	0,05	7,5
64	879	31006	29266	21704	0,05	7,5
65	881	31053	29315	21737	0,05	7,5
66	882	31079	29343	21755	0,05	7,5
67	883	31105	29371	21774	0,05	7,5
68	883	31099	29364	21769	0,05	7,5
69	884	31134	29400	21794	0,05	7,5
70	885	31156	29423	21809	0,05	7,5
71	887	31198	29467	21838	0,05	7,5
72	886	31173	29442	21821	0,05	7,5
73	891	31299	29573	21909	0,05	7,5
74	891	31296	29571	21907	0,05	7,5
75	890	31270	29543	21889	0,05	7,5
76	886	31181	29450	21827	0,05	7,5
77	875	30923	29180	21646	0,05	7,5
78	861	30588	28828	21412	0,05	7,5
79	847	30256	28479	21180	0,05	7,5
80	827	29783	27982	20848	0,05	7,5
81	801	29155	27319	20408	0,05	7,5
82	771	28428	49683	19900	0,05	7,5
83	735	27541	121065	19279	0,05	7,5
84	1282	46306	153570	32414	0,05	7,5
85	1187	136359	146142	95452	0,05	7,5
86	1078	151303	60103	105912	0,05	7,5
87	549	106768	20472	74738	0,05	7,5
88	487	21071	18612	14750	0,05	7,5
89	418	19234	19146	13464	0,05	7,5
90	280	19012	15730	13308	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_{v;n};max = 196 kN/m²
 Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_{traffic};max = 68 kN/m²
 Maximum reduced soil stress : q_{v;r};n;max = 68 kN/m²
 Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)

only for verticals in deep situation : $k_{v,max} = 157515 \text{ kN/m}^3$
 Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
 only for verticals in deep situation : $k_{v,max} = 315030 \text{ kN/m}^3$

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
5	Zand, schoon, los	Calculated with E100
4	Kleilig silt	Calculated with E100
3	Zand, schoon, matig	Calculated with E100
2	Kleilig silt	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5,002 m)		Vertical 2 (L=10,004 m)		Vertical 3 (L=15,006 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,837	0,000	11,872	0,000	11,846
4	9,469	12,371	9,498	12,392	9,477	12,376
3	61,853	71,062	61,961	71,156	61,882	71,087
2	14,212	18,484	14,231	18,499	14,217	18,488
1	115,527	146,254	115,618	146,326	115,552	146,274

Layer number	Vertical 4 (L=20,008 m)		Vertical 5 (L=25,01 m)		Vertical 6 (L=30,012 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,848	0,000	11,803	0,000	11,780
4	9,478	12,377	9,442	12,350	9,424	12,336
3	61,887	71,092	61,749	70,971	61,679	70,911
2	14,218	18,489	14,194	18,470	14,182	18,461
1	115,556	146,277	115,440	146,185	115,382	146,140

Layer number	Vertical 7 (L=35,014 m)		Vertical 8 (L=40,016 m)		Vertical 9 (L=45,018 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,788	0,000	11,811	0,000	11,809
4	9,431	12,341	9,449	12,355	9,447	12,354
3	61,704	70,933	61,773	70,993	61,768	70,988
2	14,187	18,464	14,199	18,474	14,198	18,473
1	115,403	146,156	115,461	146,202	115,456	146,198

Layer number	Vertical 10 (L=50,02 m)		Vertical 11 (L=55,022 m)		Vertical 12 (L=60,024 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,772	0,000	11,675	0,000	11,527
4	9,417	12,331	9,340	12,272	9,222	12,182
3	61,653	70,888	61,359	70,632	60,909	70,242
2	14,178	18,458	14,126	18,418	14,048	18,359
1	115,360	146,122	115,115	145,929	114,741	145,634

Layer number	Vertical 13 (L=65,026 m)		Vertical 14 (L=70,028 m)		Vertical 15 (L=75,03 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,453	0,000	11,158	0,000	11,412
4	9,162	12,137	8,926	11,960	9,129	12,112
3	60,684	70,047	59,799	69,282	60,560	69,940
2	14,009	18,329	13,856	18,212	13,988	18,312
1	114,555	145,487	113,825	144,914	114,452	145,407

Layer number	Vertical 16 (L=80,032 m)		Vertical 17 (L=85,034 m)		Vertical 18 (L=90,036 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	12,352	0,000	12,515	0,000	12,742
4	9,881	12,689	10,012	12,791	10,193	12,933
3	63,443	72,450	63,954	72,898	64,666	73,523
2	14,490	18,699	14,580	18,768	14,705	18,865

Layer number	Vertical 16 (L=80,032 m)		Vertical 17 (L=85,034 m)		Vertical 18 (L=90,036 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
1	116,867	147,315	117,301	147,660	117,909	148,143

Layer number	Vertical 19 (L=95,038 m)		Vertical 20 (L=100,04 m)		Vertical 21 (L=105,042 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	12,646	0,000	12,787	0,000	12,587
4	10,117	12,873	10,230	12,962	10,070	12,836
3	64,363	73,257	64,810	73,650	64,180	73,096
2	14,651	18,824	14,730	18,885	14,619	18,799
1	117,650	147,937	118,033	148,241	117,494	147,812

Layer number	Vertical 22 (L=110,044 m)		Vertical 23 (L=115,046 m)		Vertical 24 (L=120,048 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,679	0,000	9,712	0,000	9,661
4	9,344	12,274	7,769	11,123	7,729	11,095
3	61,372	70,644	55,615	65,704	55,475	65,585
2	14,129	18,420	13,141	17,674	13,117	17,656
1	115,126	145,937	110,461	142,286	110,351	142,201

Layer number	Vertical 25 (L=125,05 m)		Vertical 26 (L=130,052 m)		Vertical 27 (L=135,054 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,721	0,000	9,801	0,000	9,852
4	7,777	11,128	7,841	11,173	7,882	11,202
3	55,641	65,726	55,865	65,916	56,009	66,038
2	13,145	17,677	13,183	17,705	13,208	17,723
1	110,481	142,302	110,658	142,439	110,772	142,528

Layer number	Vertical 28 (L=140,056 m)		Vertical 29 (L=145,058 m)		Vertical 30 (L=150,06 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,787	0,000	9,864	0,000	9,820
4	7,830	11,166	7,891	11,209	7,856	11,184
3	55,828	65,884	56,043	66,066	55,918	65,960
2	13,177	17,701	13,213	17,728	13,192	17,712
1	110,628	142,416	110,798	142,548	110,699	142,471

Layer number	Vertical 31 (L=155,062 m)		Vertical 32 (L=160,064 m)		Vertical 33 (L=165,066 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,802	0,000	9,916	0,000	9,901
4	7,841	11,174	7,933	11,238	7,921	11,230
3	55,868	65,918	56,191	66,192	56,148	66,156
2	13,184	17,706	13,238	17,746	13,231	17,741
1	110,660	142,441	110,915	142,639	110,881	142,613

Layer number	Vertical 34 (L=170,068 m)		Vertical 35 (L=175,07 m)		Vertical 36 (L=180,072 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,907	0,000	9,920	0,000	9,915
4	7,926	11,233	7,936	11,240	7,932	11,238
3	56,164	66,170	56,202	66,202	56,188	66,189
2	13,234	17,743	13,240	17,748	13,238	17,746
1	110,894	142,623	110,924	142,646	110,913	142,637

Layer number	Vertical 37 (L=185,074 m)		Vertical 38 (L=190,076 m)		Vertical 39 (L=195,078 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,826	0,000	9,835	0,000	9,837
4	7,861	11,187	7,868	11,192	7,869	11,193
3	55,935	65,975	55,962	65,998	55,965	66,001
2	13,195	17,714	13,200	17,718	13,200	17,718
1	110,713	142,482	110,734	142,499	110,737	142,501

Layer number	Vertical 40 (L=200,08 m)		Vertical 41 (L=205,082 m)		Vertical 42 (L=210,084 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,787	0,000	9,807	0,000	9,721
4	7,830	11,165	7,845	11,176	7,777	11,128
3	55,826	65,883	55,881	65,930	55,642	65,727
2	13,177	17,700	13,186	17,707	13,145	17,677
1	110,627	142,415	110,671	142,449	110,482	142,303

Layer number	Vertical 43 (L=215,086 m)		Vertical 44 (L=220,088 m)		Vertical 45 (L=225,09 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,796	0,000	9,802	0,000	9,812
4	7,837	11,171	7,842	11,174	7,850	11,179
3	55,853	65,906	55,869	65,920	55,896	65,942
2	13,181	17,704	13,184	17,706	13,188	17,709
1	110,648	142,432	110,661	142,442	110,682	142,458

Layer number	Vertical 46 (L=230,092 m)		Vertical 47 (L=235,094 m)		Vertical 48 (L=240,096 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,809	0,000	9,775	0,000	9,789
4	7,848	11,178	7,820	11,159	7,832	11,167
3	55,889	65,936	55,793	65,855	55,833	65,889
2	13,187	17,708	13,171	17,696	13,178	17,701
1	110,677	142,454	110,601	142,395	110,633	142,420

Layer number	Vertical 49 (L=245,098 m)		Vertical 50 (L=250,1 m)		Vertical 51 (L=255,102 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,835	0,000	9,798	0,000	9,782
4	7,868	11,192	7,838	11,171	7,826	11,163
3	55,960	65,996	55,857	65,909	55,813	65,871
2	13,199	17,717	13,182	17,704	13,174	17,699
1	110,733	142,497	110,652	142,434	110,617	142,407

Layer number	Vertical 52 (L=260,104 m)		Vertical 53 (L=265,106 m)		Vertical 54 (L=270,108 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,850	0,000	9,918	0,000	9,900
4	7,880	11,201	7,935	11,239	7,920	11,229
3	56,004	66,034	56,196	66,196	56,145	66,153
2	13,207	17,723	13,239	17,747	13,231	17,741
1	110,768	142,525	110,919	142,642	110,879	142,611

Layer number	Vertical 55 (L=275,11 m)		Vertical 56 (L=280,112 m)		Vertical 57 (L=285,114 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,944	0,000	9,870	0,000	9,838
4	7,955	11,254	7,896	11,212	7,871	11,194
3	56,268	66,258	56,058	66,080	55,971	66,005
2	13,252	17,756	13,216	17,730	13,201	17,719
1	110,977	142,687	110,811	142,558	110,741	142,504

Layer number	Vertical 58 (L=290,116 m)		Vertical 59 (L=295,118 m)		Vertical 60 (L=300,12 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,804	0,000	9,873	0,000	9,878
4	7,843	11,175	7,898	11,213	7,902	11,216
3	55,874	65,923	56,067	66,087	56,082	66,100
2	13,185	17,706	13,217	17,731	13,220	17,733
1	110,665	142,444	110,818	142,563	110,829	142,573

Layer number	Vertical 61 (L=305,122 m)		Vertical 62 (L=310,124 m)		Vertical 63 (L=315,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	9,273	0,000	10,878	0,000	11,077
4	7,418	10,881	8,703	11,794	8,861	11,912
3	54,404	64,683	58,970	68,567	59,558	69,073
2	12,937	17,522	13,713	18,104	13,815	18,180
1	109,515	141,553	113,147	144,382	113,627	144,758

Layer number	Vertical 64 (L=320,128 m)		Vertical 65 (L=325,13 m)		Vertical 66 (L=330,132 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,058	0,000	11,111	0,000	11,140
4	8,846	11,900	8,889	11,932	8,912	11,949
3	59,502	69,025	59,659	69,161	59,746	69,236
2	13,805	18,173	13,832	18,194	13,847	18,205
1	113,581	144,722	113,710	144,823	113,782	144,879

Layer number	Vertical 67 (L=335,134 m)		Vertical 68 (L=340,136 m)		Vertical 69 (L=345,138 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,170	0,000	11,163	0,000	11,202
4	8,936	11,967	8,930	11,963	8,961	11,986
3	59,835	69,313	59,814	69,294	59,930	69,394
2	13,863	18,217	13,859	18,214	13,879	18,229
1	113,855	144,937	113,837	144,923	113,933	144,998

Layer number	Vertical 70 (L=350,14 m)		Vertical 71 (L=355,142 m)		Vertical 72 (L=360,144 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,226	0,000	11,273	0,000	11,246
4	8,981	12,001	9,019	12,029	8,997	12,013
3	60,004	69,458	60,144	69,580	60,063	69,509
2	13,892	18,239	13,916	18,257	13,902	18,247
1	113,993	145,045	114,109	145,136	114,042	145,084

Layer number	Vertical 73 (L=365,146 m)		Vertical 74 (L=370,148 m)		Vertical 75 (L=375,15 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,385	0,000	11,383	0,000	11,409
4	9,108	12,096	9,106	12,095	9,127	12,111
3	60,482	69,872	60,474	69,865	60,553	69,933
2	13,974	18,302	13,973	18,301	13,987	18,311
1	114,387	145,355	114,381	145,350	114,446	145,402

Layer number	Vertical 76 (L=380,152 m)		Vertical 77 (L=385,154 m)		Vertical 78 (L=390,156 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,465	0,000	11,435	0,000	11,422
4	9,172	12,144	9,148	12,126	9,138	12,118
3	60,722	70,079	60,632	70,002	60,592	69,967
2	14,016	18,334	14,000	18,322	13,993	18,317
1	114,586	145,512	114,511	145,453	114,478	145,427

Layer number	Vertical 79 (L=395,158 m)		Vertical 80 (L=400,16 m)		Vertical 81 (L=405,162 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,516	0,000	11,562	0,000	11,554
4	9,212	12,175	9,250	12,203	9,243	12,198
3	60,875	70,212	61,015	70,334	60,991	70,313
2	14,042	18,354	14,067	18,373	14,063	18,369
1	114,713	145,612	114,829	145,703	114,809	145,688

Layer number	Vertical 82 (L=410,164 m)		Vertical 83 (L=415,166 m)		Vertical 84 (L=420,168 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,559	0,000	11,523	0,000	11,627
4	9,247	12,201	9,218	12,179	9,302	12,243
3	61,007	70,327	60,896	70,231	61,213	70,505
2	14,065	18,372	14,046	18,357	14,101	18,399
1	114,822	145,698	114,730	145,626	114,993	145,833

Layer number	Vertical 85 (L=425,17 m)		Vertical 86 (L=430,172 m)		Vertical 87 (L=435,174 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,643	0,000	11,676	0,000	11,593
4	9,314	12,252	9,341	12,272	9,275	12,222
3	61,260	70,546	61,362	70,635	61,111	70,417
2	14,109	18,405	14,127	18,419	14,083	18,385
1	115,033	145,864	115,117	145,931	114,908	145,766

Layer number	Vertical 88 (L=440,176 m)		Vertical 89 (L=445,178 m)		Vertical 90 (L=450,18 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	0,000	11,592	0,000	11,681	0,000	11,780
4	9,273	12,221	9,345	12,276	9,424	12,336
3	61,106	70,412	61,378	70,649	61,678	70,910
2	14,082	18,385	14,130	18,421	14,182	18,461
1	114,904	145,763	115,131	145,941	115,381	146,139

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 = 63586 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	45
T2	3	47
T3	90	103

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	371	295
T5	459	376
T6	462	377

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 = 462 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 = 68 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 = 157515 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 156,174 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

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

In the calculation 5 load combinations are considered:

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

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

7.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,79 \text{ N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,07	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 6,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 7,47 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0183 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,64 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 8,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 6,03 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

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
$\text{Sigma}_{Temp} = dt \cdot \gamma_t \cdot \alpha_g \cdot E$	=	0,00	N/mm ²
Maximum axial stress $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,32	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,64	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,63	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,03	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)	1,07	7,47	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,32	0,32
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,70	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,03	6,03

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,2 mm (3,88% 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 217 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 125 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 = 462 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 = 68 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 = 157515 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 156,174 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

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

In the calculation 5 load combinations are considered:

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

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

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\begin{aligned} \text{Sigma}_b &= Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) &= & 0,43 & \text{N/mm}^2 \\ \text{Sigma}_t &= f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A &= & 0,79 & \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,07	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

8.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	1,38	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	6,58	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	7,47	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):

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

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

q_r	=	0,0183	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,08	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,70	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:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,49	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,32	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,64	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	8,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	6,03	N/mm ²
--	---	------	-------------------

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

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,49	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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,32	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,64	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,63	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,03	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)	1,07	7,47	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,32	0,32
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,70	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,03	6,03

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,2 mm (3,88% 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 217 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 125 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 = 462 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 = 68 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 = 157515 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 156,174 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,79 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,07	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 6,58 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 7,47 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

$$q_r = 0,0183 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 1,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,70 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,64 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 8,63 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 6,03 \text{ N/mm}^2$$

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

Axial stress:

$$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot Wb) = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,32	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,64	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,63	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,03	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)	1,07	7,47	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,32	0,32
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,70	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,03	6,03

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,2 mm (3,88% 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 217 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 125 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 = 462 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 = 68 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 = 157515 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 156,174 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 0,79 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,07	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	1,38	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	6,58	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	7,47	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):

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

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

q_r	=	0,0183	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	1,08	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,70	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:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,49	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	0,32	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,64	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	8,63	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	6,03	N/mm ²
--	---	------	-------------------

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

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	0,49	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 $\text{Sigma}_{a,max}$	=	0,32	N/mm ²
Tangential stress:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,64	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,63	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,03	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)	1,07	7,47	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,32	0,32
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,70	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,03	6,03

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,2 mm (3,88% 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 217 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 125 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

End of Report

D.4 002.678.20 1030747 8 Verguninningsrapportage

Kruising 2 HDD's met A17, Tradeboulevard en Keeneweg – MDK HDD1

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat



Verantwoording

Titel: Kruising 2 HDD's met A17, Tradeboulevard en Keeneweg – MDK HDD1
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22930
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	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	10
2.9	Importatiefactor	10
2.10	Geotechnische parameters	10
2.11	Boortechische 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	Zoute ondergrond	18
4.5.2	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	18
4.5.3	Kwel tussen de peilgebieden	19
4.5.4	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

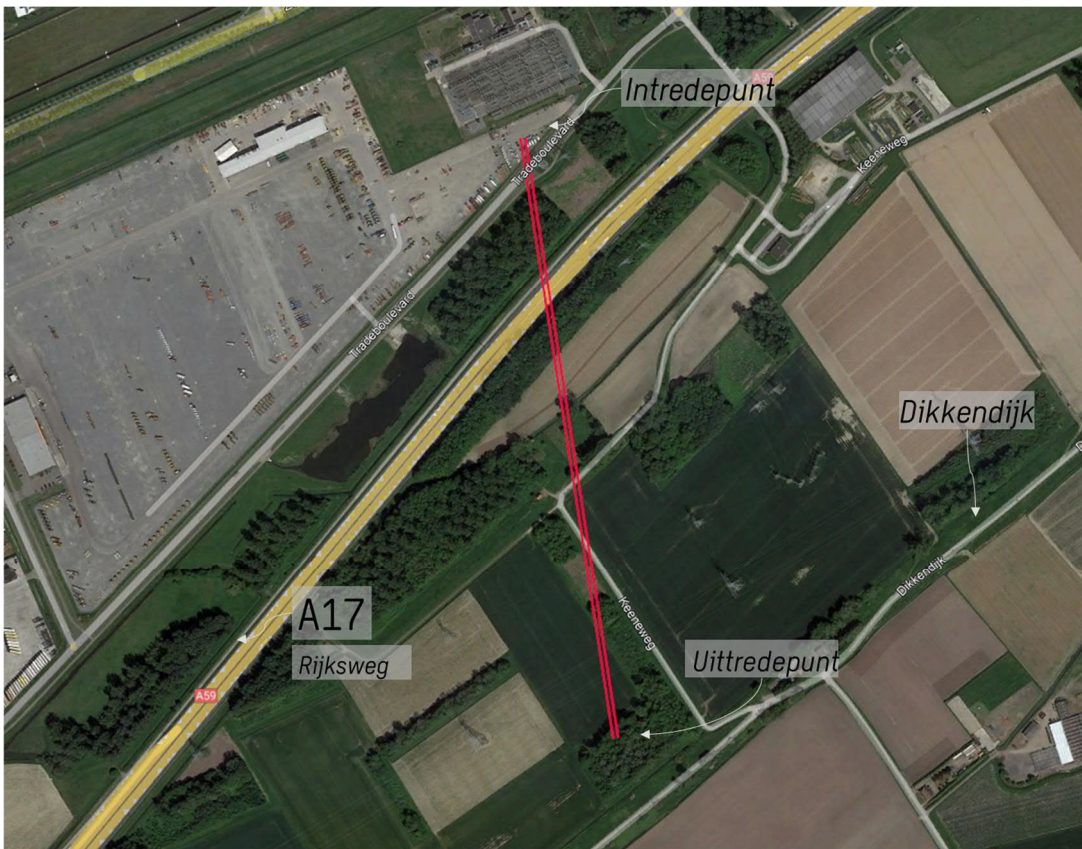
TenneT is voornemens om delen van de bovengrondse 150 kV-verbindingen binnen het projectgebied van Zuid-West 380 kV Oost ondergronds te verkabelen. Het projectgebied loopt vanaf Rilland aan de westzijde tot aan Tilburg aan de oostzijde. Bij het ondergronds brengen van de kabels moeten circa 45 kruisingen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

Dit rapport betreft de kruising met de A17 nabij het 150 kV hoogspanningstation Moerdijk. De kruising (met codering MDK HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten noorden van de A17 bij het 150kV-hoogspanningstation Moerdijk en eindigt in het bouwland nabij de Dikkendijk (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 735 m en een maximale diepte van NAP -17 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van noord naar zuid: een waterleiding, de Tradeboulevard (in beheer van de gemeente), de rijksweg A17, de Keeneweg (in beheer van de gemeente), drie hoofdwaterleidingen van Brabant Water en tenslotte een watergang. Bij het uittredepunt sluiten de kabels aan op een toekomstige mastenroute van TenneT.



Figuur 1 Overzicht situatie MDK 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 MDK HDD1, tekeningnummer MDK-HDD1 versie B, d.d. 11-4-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 22O045506 opgevraagd d.d. 04-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 04-04-2022, website:
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d>;
- 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;
- 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 16 m -mv bestaat uit zand-, klei- en veenlagen, maar omdat de HDD's voor circa driekwart 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

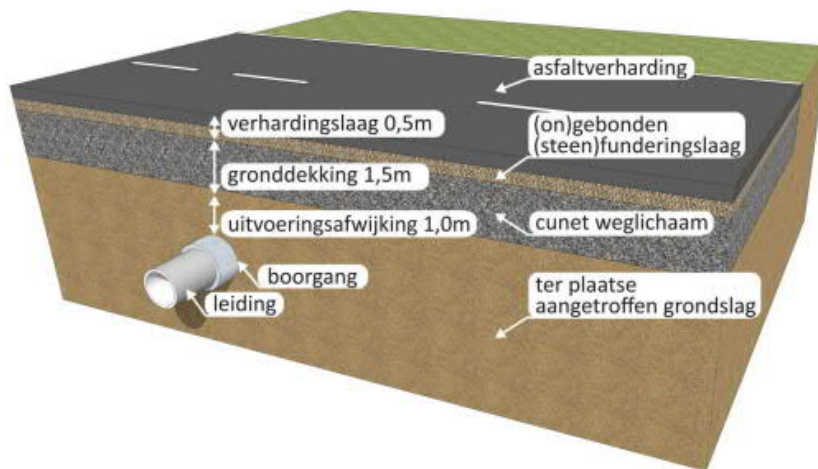
In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de minimale afstand van de HDD's tot de funderingen van hoogspanningsmasten van TenneT langs het tracé is een dagmaat van 5 meter gehanteerd. De funderingswijze van de dichtstbijzijnde mast 201-MKD-RSD-150kV is bekend: de funderingspalen hebben een lengte van 17 m respectievelijk en een schoorstand van 4,06:1.
 - o De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast 201-MKD-RSD-150kV bedraagt 13,05 m. De HDD's liggen hier op een diepte van 8,70 m-mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 hebben de HDD's op dit niveau een dagmaat van 10,88 m ten opzichte van de paalfundering. Dit voldoet aan de eisen.

2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van minimaal 1,5 meter (in cohesieve grond) (Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019, NEN3650-1 par. F4.2 en NEN 3651 par. 8.1.5)
 - o Bij zowel de Tradeboulevard als de Rijksweg liggen de HDD's op 17 m -mv. Dit voldoet aan de eisen.



- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen is conform VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019 minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden. De HDD's kruisen in het bijzonder:
 - o een gasleiding hoge druk van Enexis in het kabel en leidingenbed langs de Tradboulevard;
 - o een buisleiding van Petrochemical voor het transport van gevaarlijke stoffen;
 - o drie hoofdwaterleidingen van Brabant Water staal Ø813 mm, beton Ø1260 mm en staal Ø1219 mm.

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

De HDD's kruisen drie peilgebieden. Het intredepunt bevindt zich in peilgebied Keensche Gorzen NRD (W-Y13). De HDD's kruisen vervolgens het peilgebied Keensche Gorzen (W-Y11) en het uittredepunt bevindt zich in peilgebied Oost Slikpolder (W-Y12). We gaan uit van een gemiddelde grondwaterstand van NAP -0,9 m.

Tabel 2-1 Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Keensche Gorzen NRD (W-Y13)	- 0,7	- 0,7
Keensche Gorzen (W-Y11)	- 0,7	- 0,9
Oost Slikpolder (W-Y12)	- 0,9	- 1,2

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]
B43H1076	Boring	-5	480
B43H1078	Boring	-4	220
B43H1081	Boring	-5	60
B43H1156	Boring	-5	240
B43H1157	Boring	-4	190
B43H1158	Boring	-6	30
B43H1147	Boring	-5	240
CPT11242	Sondering	-18	200
48A.S01	Sondering	-34	350
48A.S02	Sondering	-34	350
48A.S03	Sondering	-38	350
48A.S04	Sondering	-37	350
48A.S05	Sondering	-19	280
48A.S06	Sondering	-19	140
S43H0045	Sondering	-24	200

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa NAP -14,0 m van het geplande boortracé. Boven de zandlaag bestaat de grond uit klei- en zandige kleilagen, zoals geobserveerd in de sonderingen en boringen. De boringen langs het geplande boortracé gaan niet dieper dan NAP -5 m. Daarnaast zijn alleen aan de noordelijke en zuidelijke uiteindes van het geplande boortracé sonderingen gevonden. Deze sonderingen laten zien dat de dieptes van de gevonden grondlagen enigszins variëren. Het verloop in diepte van deze grondlagen langs het geplande boortracé kan 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 zuidkant van het profiel zien. Tabel 2-3 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de noordkant van het profiel zien.

Tabel 2-4 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op S43H0045 en CPT11242 en boringen B43H1157, B43H1158, B43H1147.

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]
1,6	-3,0	Klei; sterk zandig	18	20	2,0	27,5	120,0	5000
-3,0	-5,0	Klei; zwak zandig; matig	17	17	5,0	22,5	100,0	3000
-5,0	-12,8	Zand; kleiig; los	18	20	0,0	25,0	0,0	10000
-12,8	-14,6	Klei; matig	18	18	5,0	22,5	60,0	3000
-14,6	-30,0	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 rijksweg A17 is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020, voor de overige wegen 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 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 tabel 2.1 uit de Richtlijn Boortechnieken.

Tabel 2-2 afwijkingstoleranties HDD

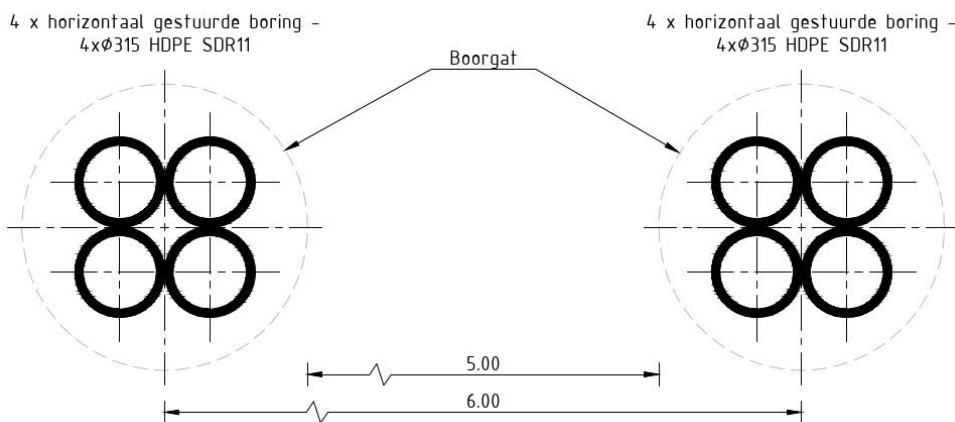
RICHTING	MAXIMALE UITVOERINGS-AFWIJKING
Verticaal*	+1/-1 m
Horizontaal:	
- in lengterichting; t.p.v. uittredepunt	+5/-2 m
- in dwarsrichting; t.p.v. uittredepunt	+1/-1 m
- in dwarsrichting; tracé tussen in- en uittredepunt	+5/-5 m
Bochtstralen	< 10%

3. Ontwerp

3.1 Gegevens HDD

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

- materiaal: 4x PE100 Ø315 mm SDR 11;
- lengte: 735 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -17 m;
- intredehoek: 18°;
- uittredehoek: 18°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: n.v.t.



Figuur 2 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.
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Boorparameters

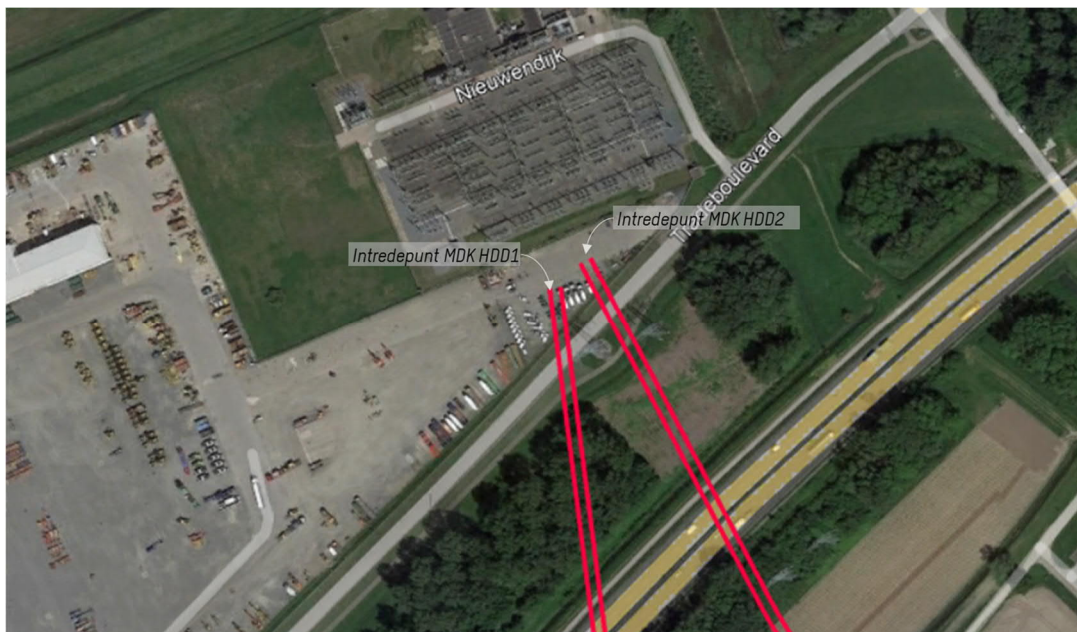
Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- 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 aan de noordzijde van het tracé bij het 150 kV hoogspanningsstation Moerdijk (zie figuur 3). Dit intredepunt is een gecombineerd intredepunt voor MDK HDD1 en MDK HDD2. Het werkterrein van de HDD's ligt deels onder de bovengrondse hoogspanningslijnen die het station binnen komen.

De intredepunten liggen op privéterrein. De intredepunten zijn bereikbaar via een tijdelijke inrit vanaf de Tradeboulevard.



Figuur 3 Intredepunt MDK HDD1

3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in een terrein waar nu bosschage staat aan de zuidzijde van het boortracé (zie figuur 4). TenneT zal voorafgaand aan de werkzaamheden deze bosschage verwijderen.

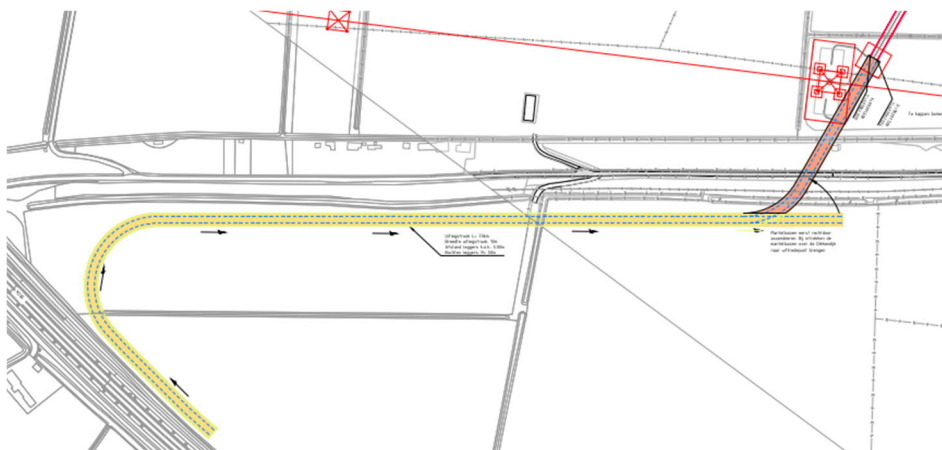
Bij het uittredepunt zal TenneT, na aanleg van de HDD's, een nieuwe mast bouwen.

De locatie is bereikbaar via de Dikkendijk.

De uitlegstrook loopt langs de Dikkendijk. De buizen worden ten zuiden van de Dikkendijk geassembleerd. Op de dag van intrekken worden de buizen over de weg heen geleid en is deze tijdelijk afgesloten. Er moet bij het intrekken van de mantelbuizen rekening worden gehouden met bomen en bosschages langs de Dikkendijk (zie figuur 5). Uitgangspunt is om de bomen en bosschages zoveel als mogelijk te handhaven. Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken onder en nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 4 *Uittredepunt MDK HDD1*



Figuur 5 *Uitlegstrook MDK HDD1*

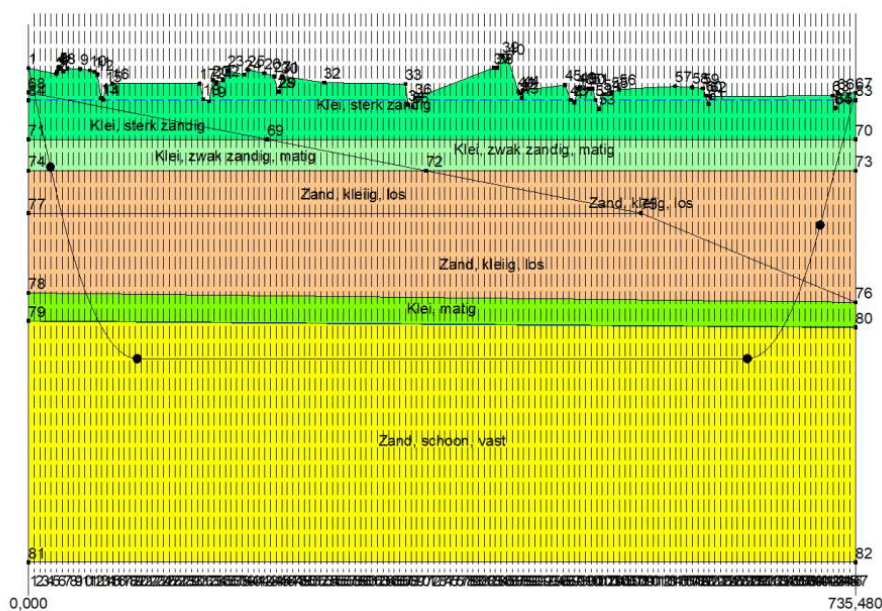
4. Berekeningsresultaten

De volgende berekeningen zijn voor de horizontaal gestuurde boring uitgevoerd:

- een trekkrachtberekening;
- een sterkteberekening voor de bedrijfsfase;
- een muddrukberkening;
- 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 6 D-Geo Pipeline-model van HDD's

4.1 Trekkkrachtberekening

De berekende maximale trekkracht bedraagt $511 \cdot 1,8 = 920$ kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $9,46$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

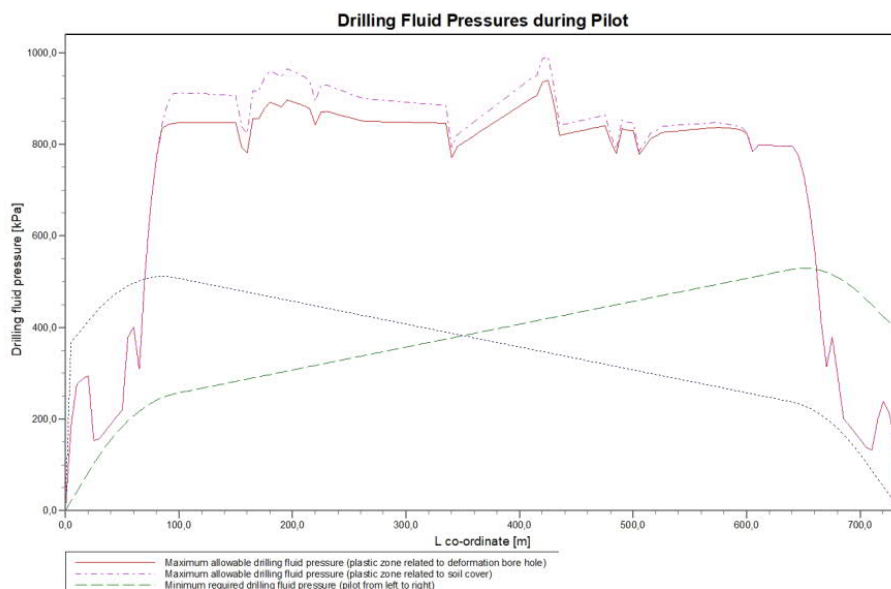
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $5,15$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $10,4$ mm ($2,42\% \times D_0$) 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 70 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 7 Muddrukberekening tijdens pilot fase

4.4 Implosie

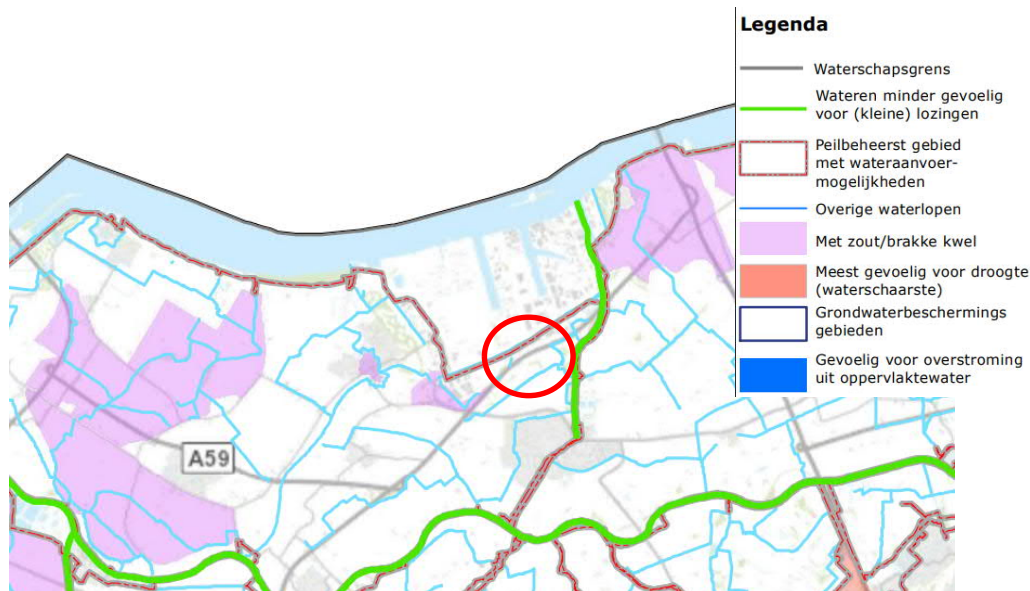
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 165 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

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 Zoute ondergrond

Waterschap Brabantse Delta heeft in het waterbeheerplan een kaart gemaakt van de risicogebieden (droogte, zoute/brakke kwel, overstroming, etc.) (zie figuur 8). Het gebied waar MDK HDD1 wordt aangelegd (rode cirkel) ligt tussen twee risicogebieden voor zoute/brakke kwel, maar de locatie betreft zelf geen risicogebied. Op basis van deze kaart valt geen zoute/brakke kwel te verwachten bij de HDD's.



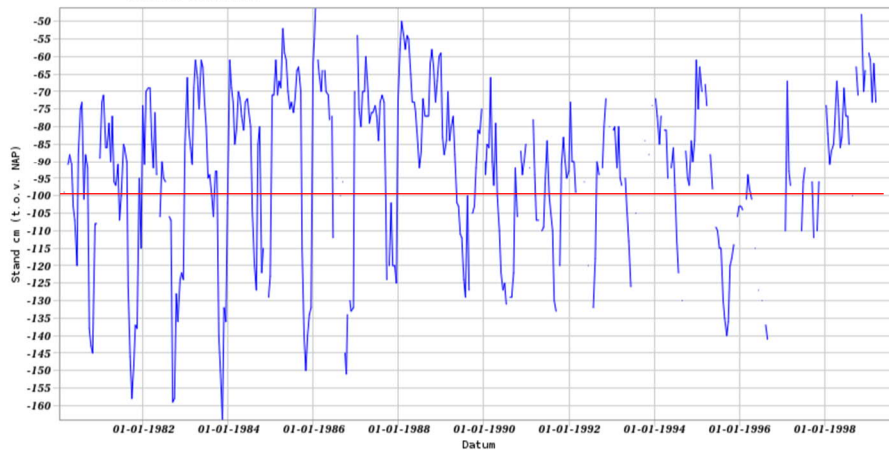
Figuur 8 Risicogebieden waterschap Brabantse Delta

4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

We hebben de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B44C0221 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 1 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B44C0221-001 in periodes een aantal centimeter lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B44C0221-003. De bovenliggende kleilagen sluiten het eerste watervoerende pakket af. Doordat de HDD's de afsluitende kleilagen doorkruisen bestaat het risico dat langs de boorgang van de HDD's kwel uit de diepere grondlagen ontstaat. Het is daarom noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen.

Grondwaterstanden

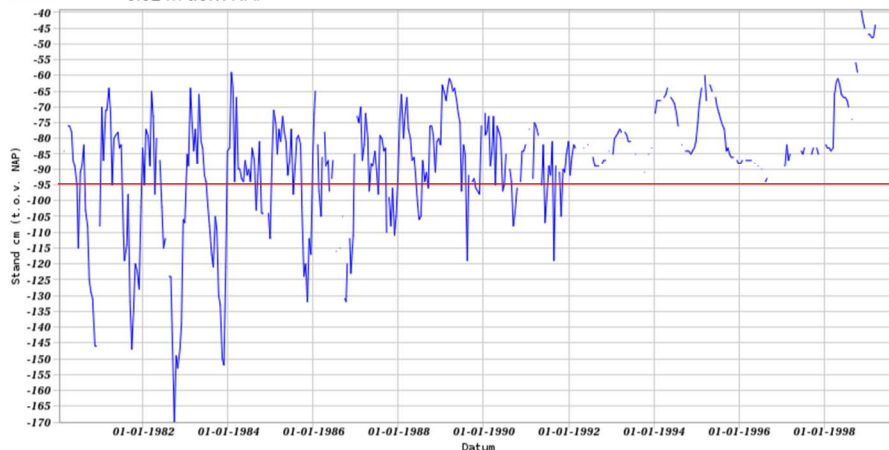
Identificatie: B44C0221
 Identificatie buis: B44C0221-001
 Coördinaten: 101680, 408330 (RD)
 Maaiveld: -0.02 m t.o.v. NAP



Figuur 9 *Freatische grondwaterstand B44C0221-001 uit Dinoloket, filter tussen NAP -4,07 m en -5,07 m*

Grondwaterstanden

Identificatie: B44C0221
 Identificatie buis: B44C0221-003
 Coördinaten: 101680, 408330 (RD)
 Maaiveld: -0.02 m t.o.v. NAP



Figuur 10 *Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B44C0221-003 uit Dinoloket, filter op NAP -17,72 m tot -18,72 m*

4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

Uit de peilbesluitenkaart van waterschap Brabantse Delta blijkt dat het intredepunt en het uittredepunt niet tot dezelfde peilgebieden behoren.

Het intredepunt bevindt zich in peilgebied Keensche Gorzen NRD (W-Y13). De HDD's kruisen vervolgens het peilgebied Keensche Gorzen (W-Y11) en het uittredepunt bevindt zich in peilgebied Oost Slikpolder (W-Y12).

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 Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Keensche Gorzen NRD (W-Y13)	- 0,7	- 0,7
Keensche Gorzen (W-Y11)	- 0,7	- 0.9
Oost Slikpolder (W-Y12)	- 0.9	- 1.2

De kwelwegen zijn berekend volgens Bligh-Lane:

$$\text{Natuurlijke kwelweg} < \text{kwelweg via HDD}$$

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

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 kan optreden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
W-Y11	W-Y12	$145/3 = 48$	$15 + 175/6 + 15 = 60$
W-Y13	W-Y12	$75/3 = 25$	$15 + 300/6 + 15 = 80$

4.5.4 Kwelmaatregelen

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

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

5. Risico's en aandachtspunten

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

- Werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten. Deze HDD's lopen deels onder de bestaande mastenroute van TenneT. Het intredepunt ligt naast 150 kV hoogspanningsstation Moerdijk en deels onder de bovengrondse hoogspanningsverbinding;
- Afstemming met het drinkwaterbedrijf Brabant Water over het kruisen van de drie hoofdwaterleidingen in het tracé;
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door 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 intredepunt ligt op privéterrein. TenneT stemt af met de eigenaar en gebruiker van het terrein omtrent de werkzaamheden;
- Bij het uitredepunten staan momenteel bomen en bosschages. Deze zullen door TenneT voorafgaand aan de werkzaamheden verwijderd worden. Mede ook met het oog op de aanleg van een nieuwe hoogspanningsmast op deze locatie;
- Bij het intrekken van de buizen kruist het tracé de Dikkendijk en wordt deze tijdelijk afgezet voor verkeer. Langs de Dikkendijk staat een aantal bomen en bosschages. De aannemer dient de bomen en bosschages zoveel mogelijk te handhaven;
- 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 en de funderingen daarvan langs het boortracé.

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 rijksweg A17 bij het 150kV hoogspanningsstation Moerdijk. De kruising (met codering MDK HDD1) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

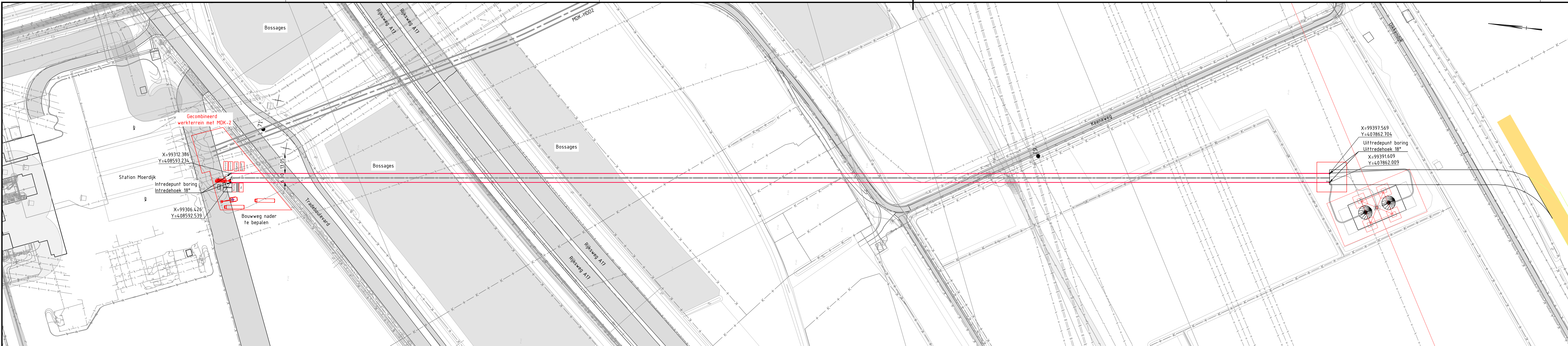
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

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

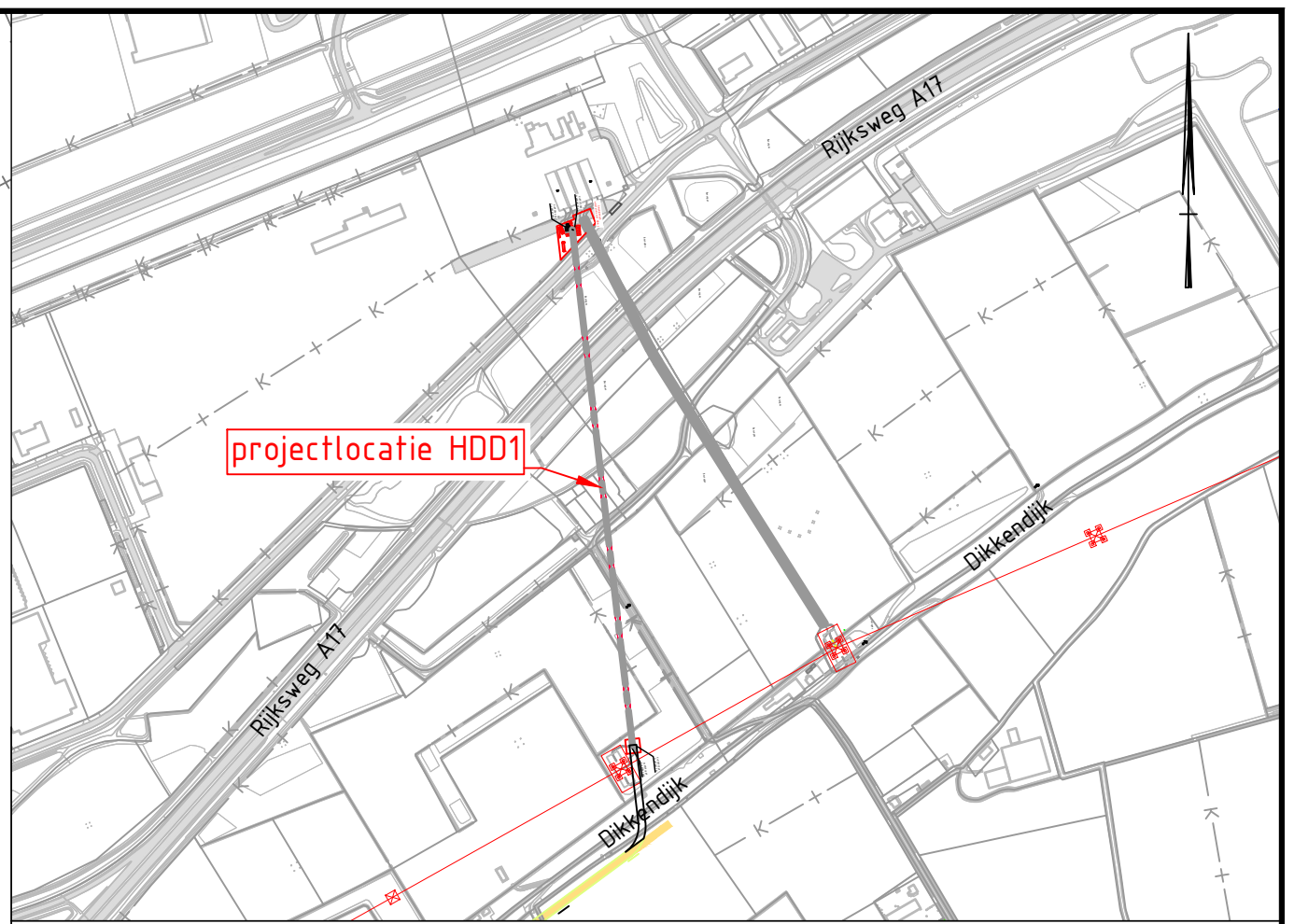
Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen. Wel zijn kwelmaatregelen nodig om kwel langs de HDD's te voorkomen.

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

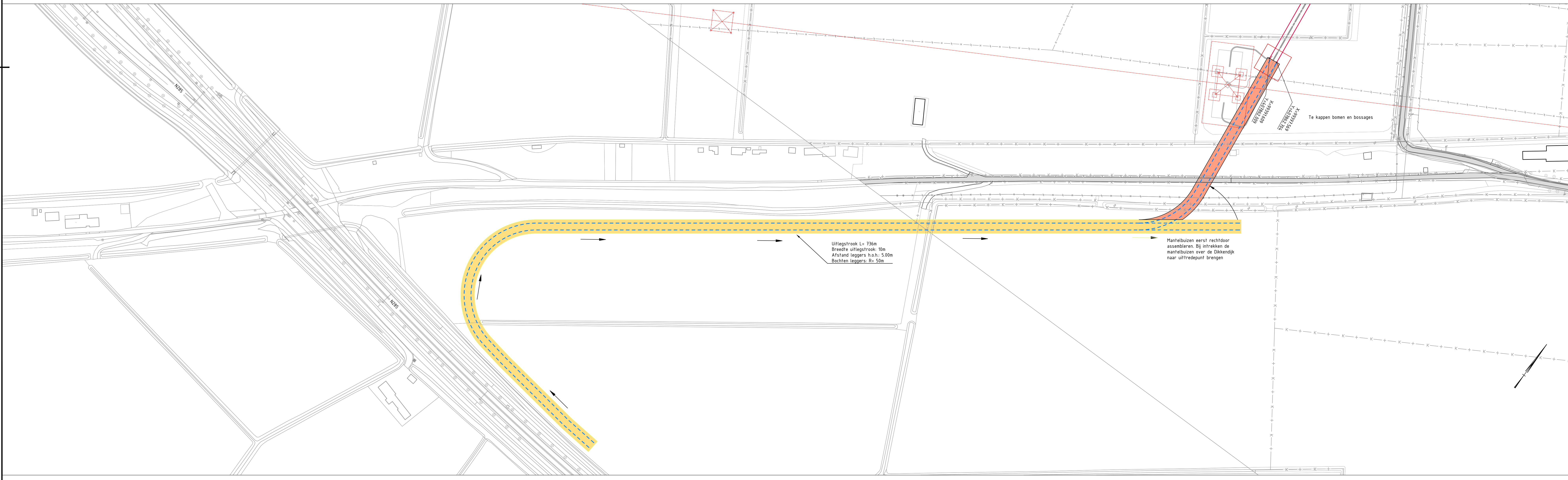
Bijlage 1 – Ontwerptekening



Bovenaanzicht schaal 1:1000



Overzicht
Schaal 1:10.000



Uitlegstrook schaal 1:1000

Principe doorsnede
Schaal 1:10

Legenda

- K—K— Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukiolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDD)
- Verharding (asfalt)
- Bestaande topo
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Uitlegstrook ten tijde van intrekken
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

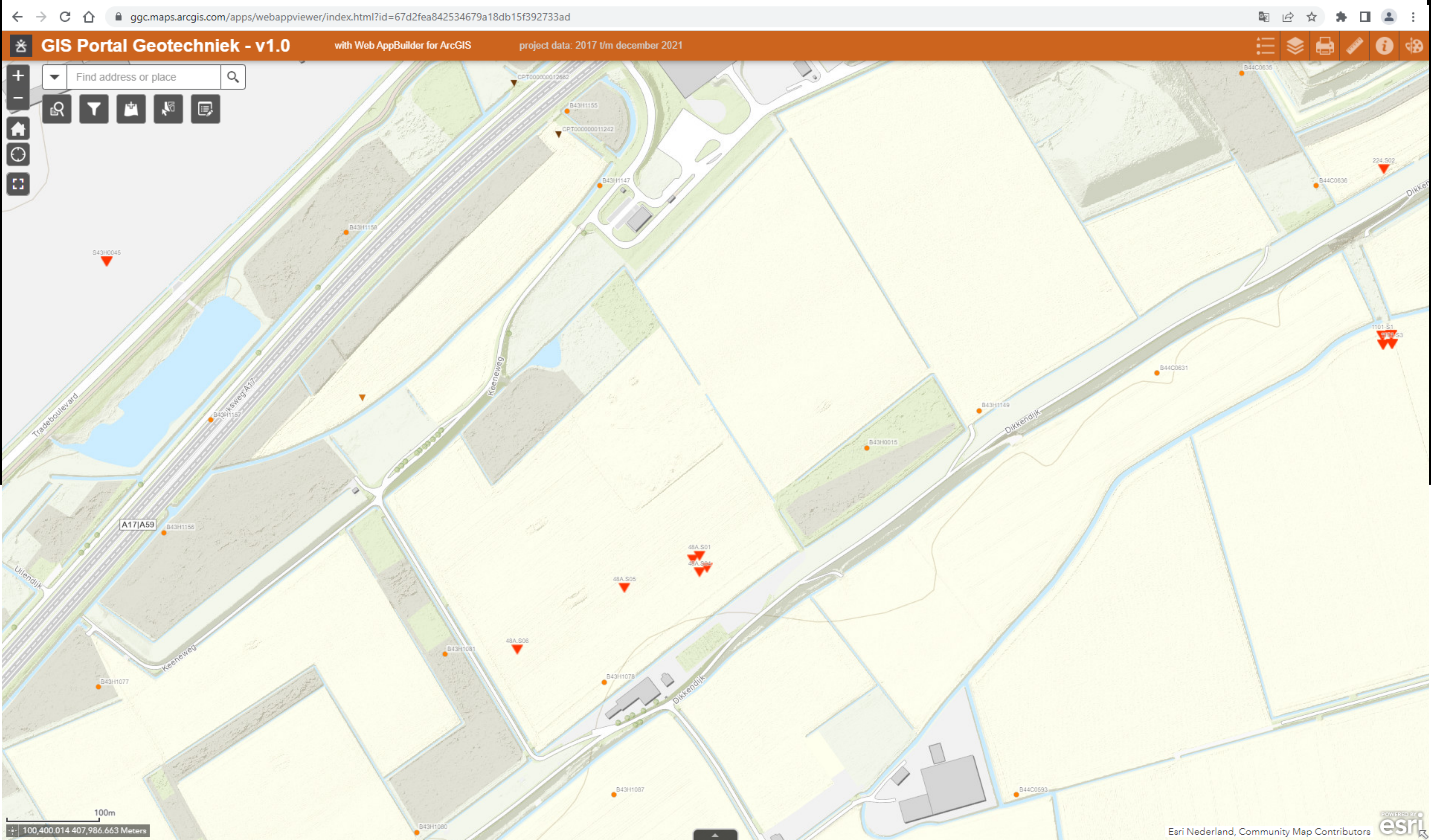
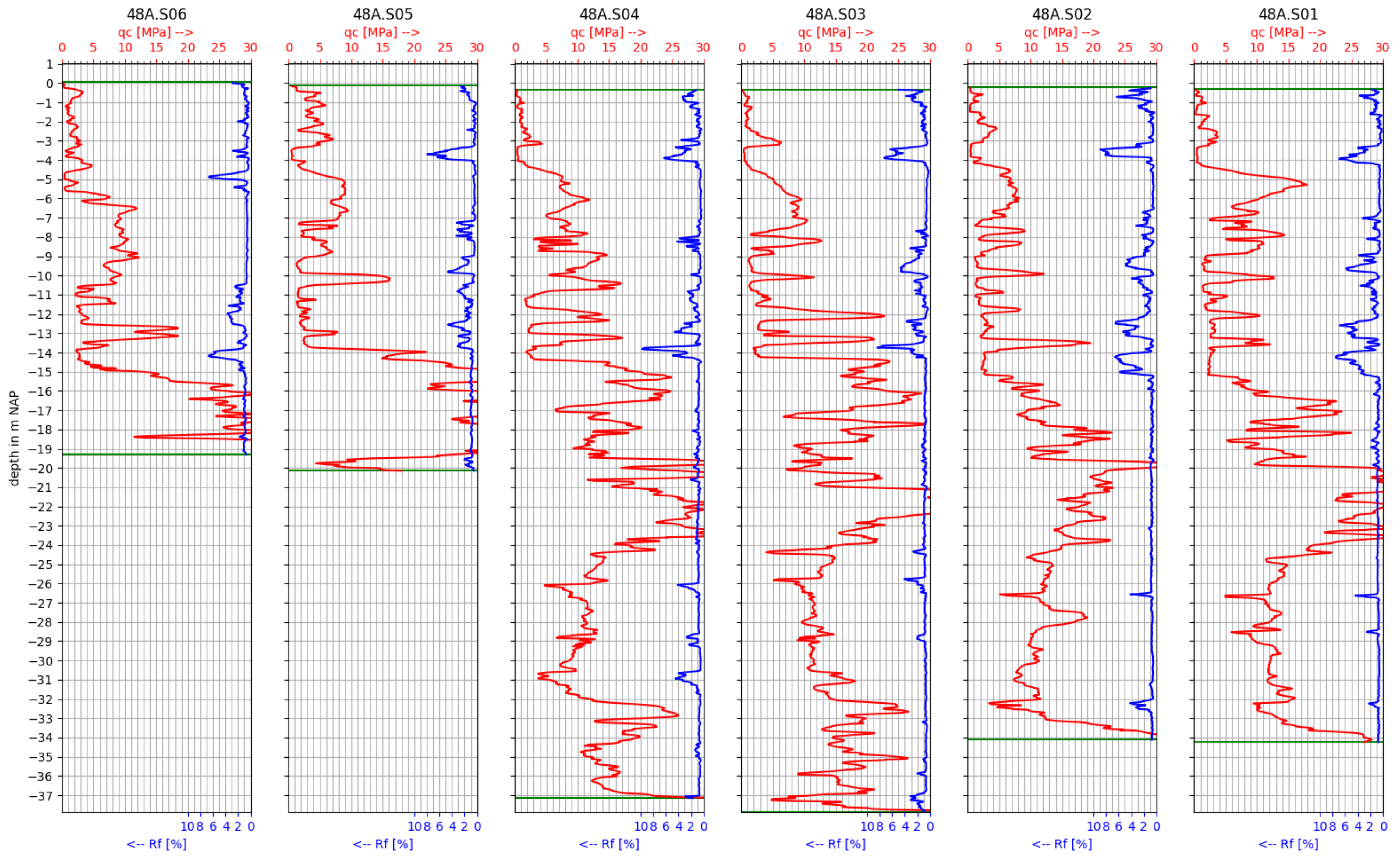
Vergunningstekening

B	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	06-07-2021	MJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	IGet	Gec.	Goedg.
Opdrachtgever					
TenneT TSO B.V.					
Project HDD's 150 kV ZWO					
Onderdeel MKD-HDD01					
Moerdijk HDD1					
Projectnummer	Tekeningnummer	Verse	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer
368722	MKD-HDD1	B	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kentoor	Gec.
2		Zie tekening	A1	De Bilt	BB MJ JD
www.sweco.nl					
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden					

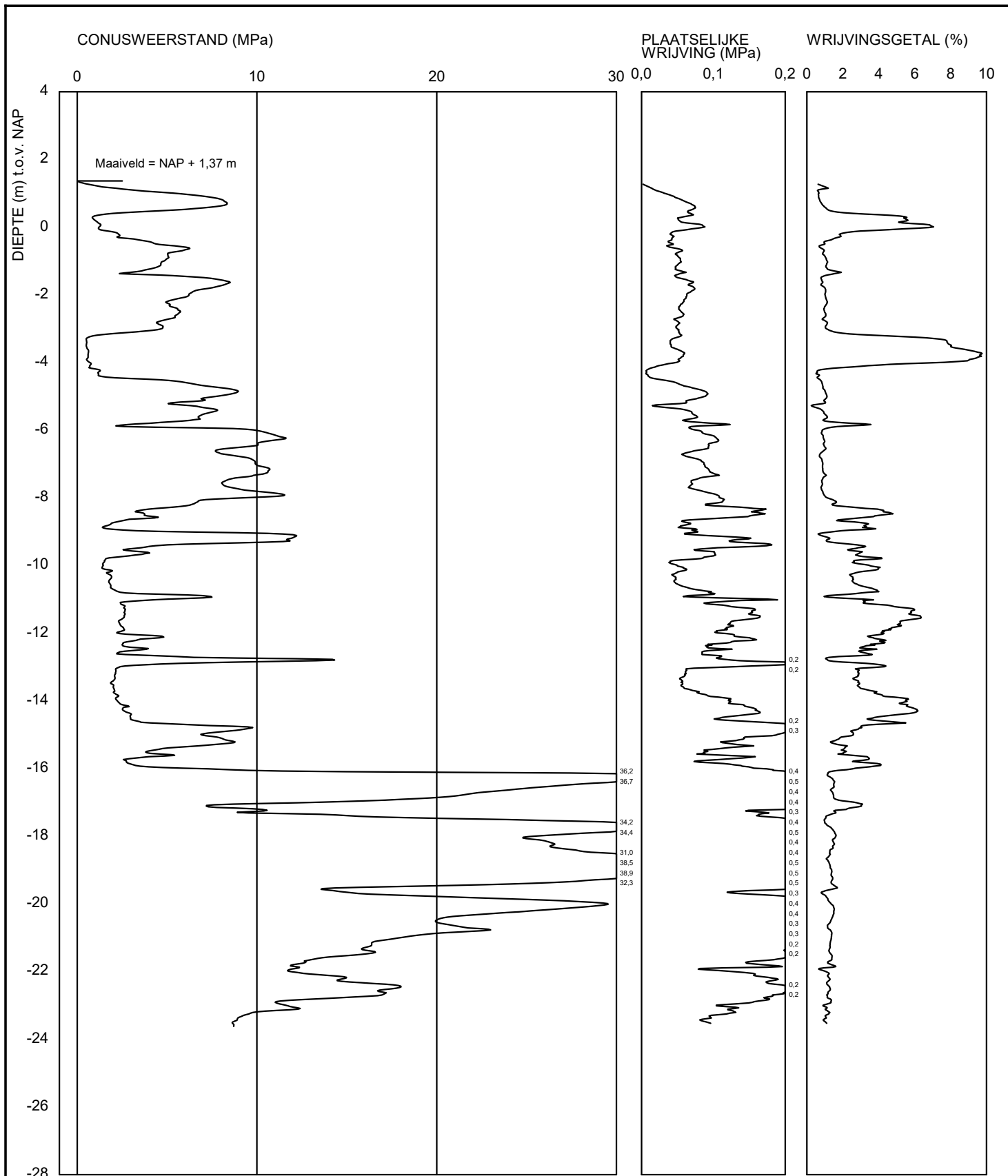


Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

MDK HDD1



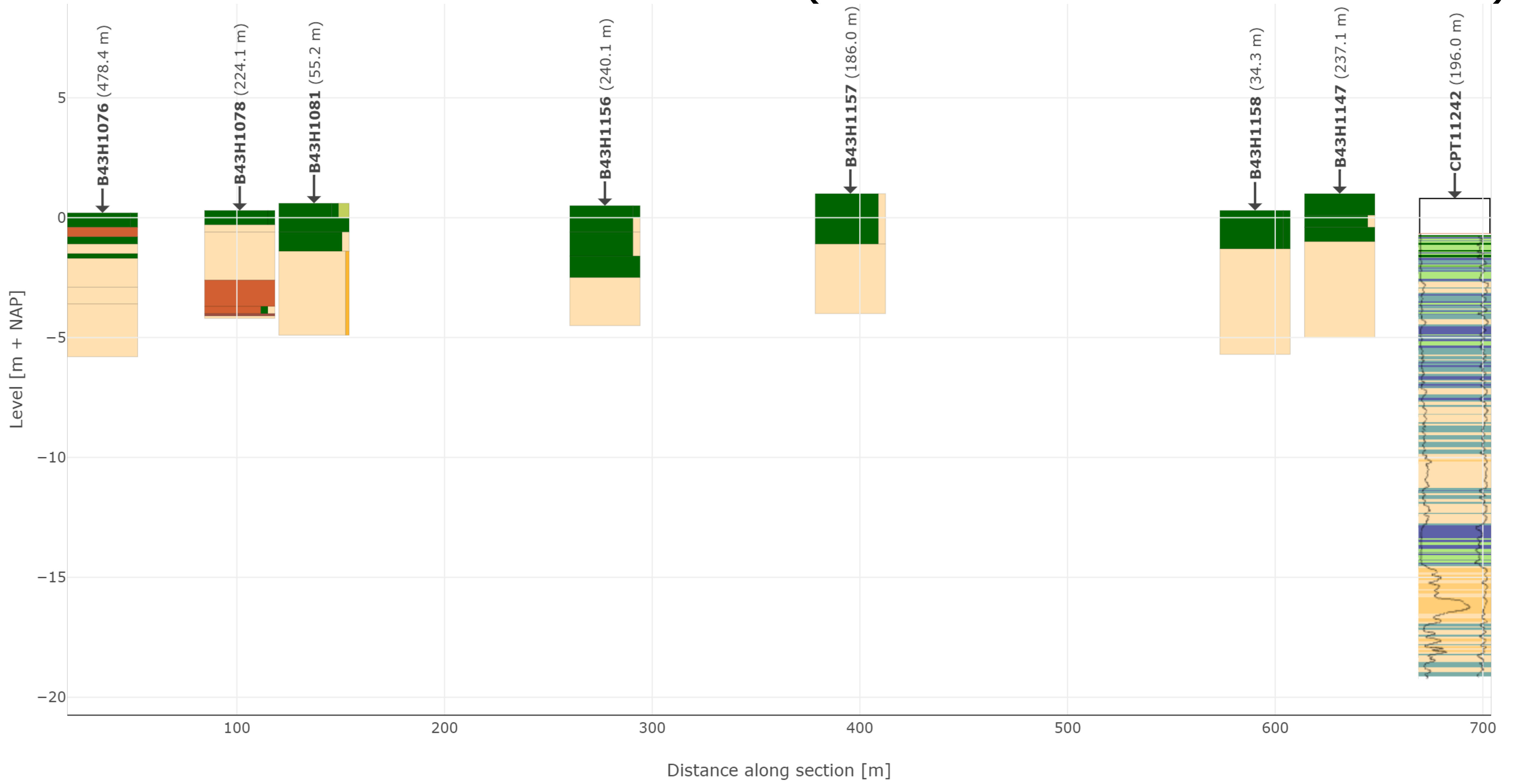
S43H0045



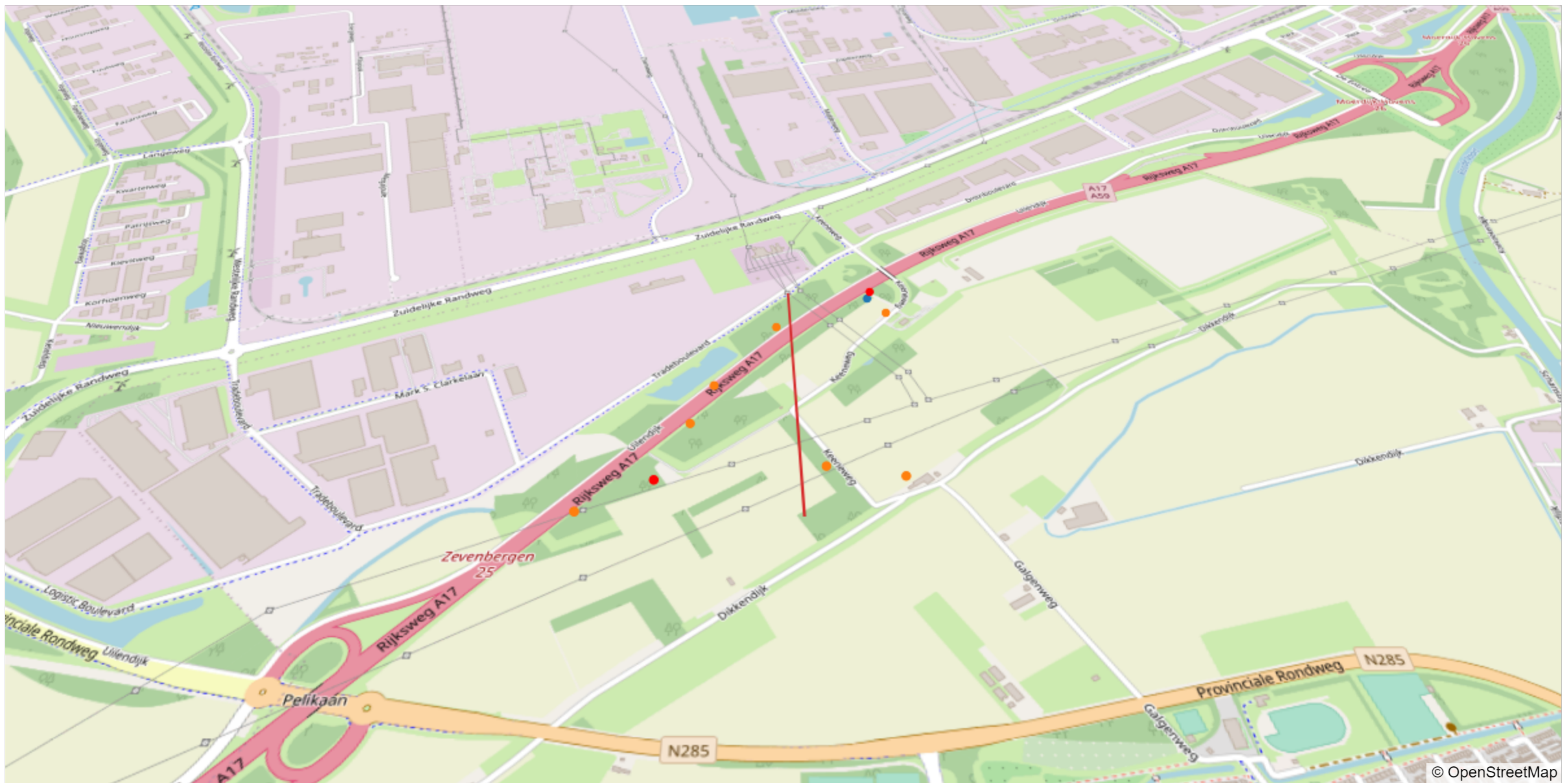
DELTA RES	Boussinesqweg 2629 HV DELFT	Telefoon 088 - 335 82 73 Telefax	datum	get.
			1999-02-02	-
-	-	-	DINO-/	gez.
			BIJL. -	form. A4

Sondering S43H0045

Grondonderzoek BRO (tot 500 m afstand van trace)

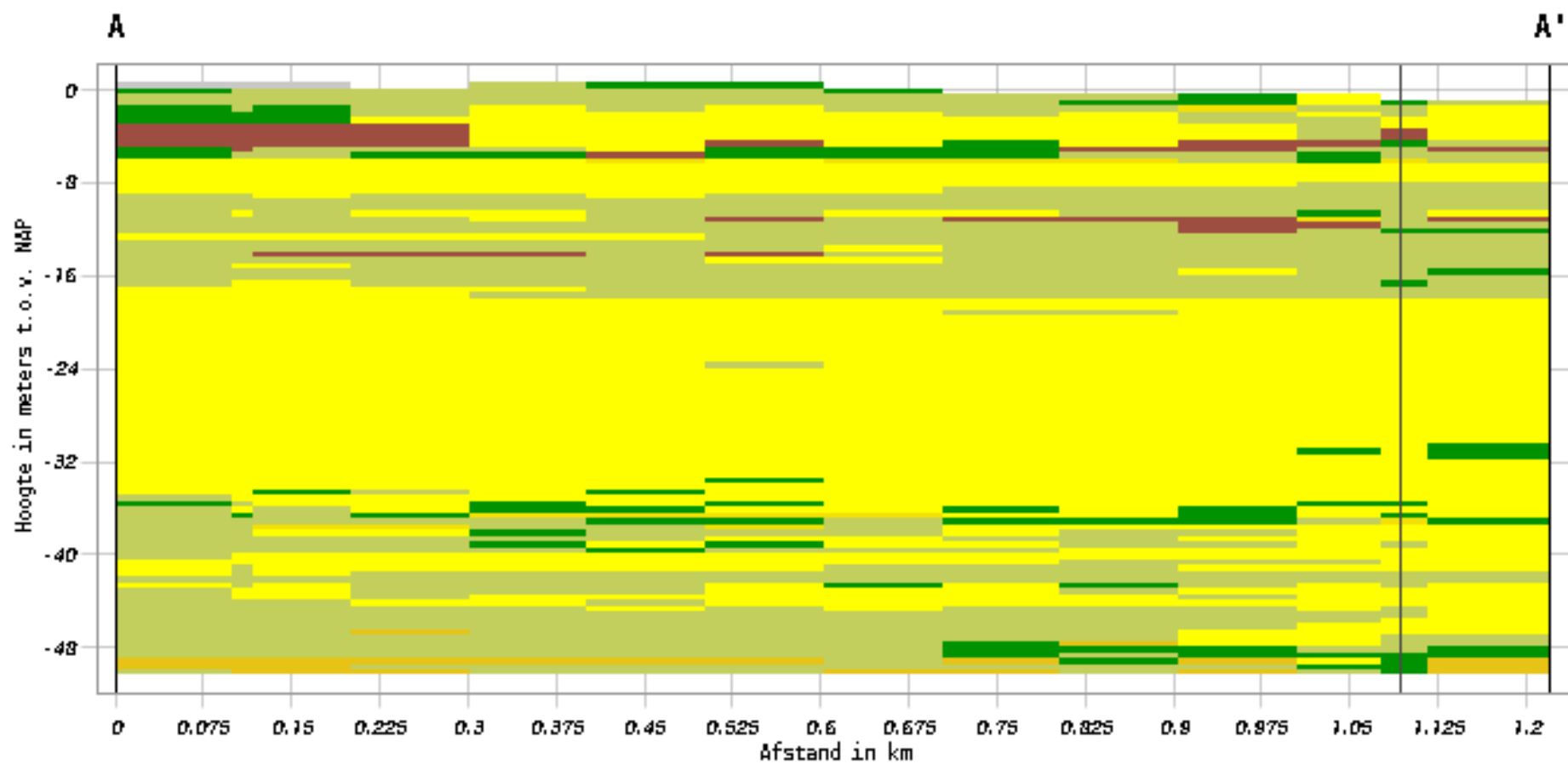


■ Sands
 ■ Sand mixtures
 ■ Silt mixtures
 ■ Clay
 ■ Clay (org. mat) [3<N<15]
 ■ Organic clay [15<N<30]
 ■ Peat [N>30]
 Unknown

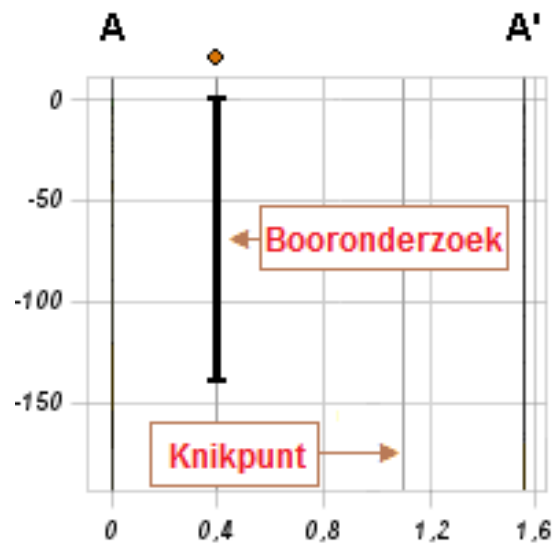
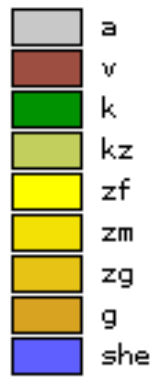


● cpt
 ● borehole
 ● not shown on sectionplot
 — section

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: 14-4-2022
Time of report: 14:53:30
Report with version: 20.1.2.31161
Calculated with version: 20.1.2.31161

File name: HDD berekening V2

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	6
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	Configuration of the Pipeline	10
3.11	Product Pipe Material Data	10
3.12	Pipe Engineering Data	11
3.13	Drilling Fluid Data	12
3.14	Factors	12
3.15	Calculation Options	12
4	Drilling Fluid Pressures	13
4.1	Drilling Fluid Data	13
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	20
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	23
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	23
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	23
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	24
5	Soil Mechanical Data	25
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	25
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	30
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	35
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	40
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	45
6	Data for Stress Analysis	56
6.1	General Data	56
6.2	Buoyancy Control	56
6.3	Calculation Pulling Force	56
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	58
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	58
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	58
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	58
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	59
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	59
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	59
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	59
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	60
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	60
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	61
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	61
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	61
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	61
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	62
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	62
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	62
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	62
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	63
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	63
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	65
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	65
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	65
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	65
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	66
9.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	66

9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	66
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	66
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	67
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	67
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	68
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	68
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	68
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	68
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	69
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	69
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	69
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	69
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	70
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	70

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

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

3 Input Data

3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
9 - L -	0,000	24,520	25,280	26,470	27,190
9 - Z -	1,560	1,190	1,330	1,570	1,620
9 - L -	28,290	30,980	34,590	45,880	54,470
9 - Z -	1,510	1,350	1,540	1,500	1,410
9 - L -	58,530	61,100	64,540	66,250	68,500
9 - Z -	1,330	1,150	-0,360	-0,480	0,400
9 - L -	74,470	152,240	155,430	160,460	163,920
9 - Z -	0,570	0,570	-0,440	-0,570	0,790
9 - L -	167,100	172,930	177,000	191,990	195,210
9 - Z -	0,640	0,780	1,400	1,140	1,440
9 - L -	209,730	218,380	221,660	222,920	224,880
9 - Z -	1,230	1,030	0,050	0,050	0,940
9 - L -	225,870	262,810	335,180	337,510	341,530
9 - Z -	1,050	0,630	0,550	-0,790	-0,950
9 - L -	343,610	413,470	416,540	421,400	426,460
9 - Z -	-0,370	1,580	1,580	2,280	2,150
9 - L -	435,470	437,040	438,670	439,640	477,020
9 - Z -	0,060	-0,060	-0,340	0,130	0,480
9 - L -	481,960	485,360	488,270	490,450	498,180
9 - Z -	-0,470	-0,650	0,260	0,350	0,250
9 - L -	501,370	504,130	507,310	511,330	518,500
9 - Z -	0,250	-0,480	-1,040	-0,110	0,010
9 - L -	525,330	574,810	590,060	599,620	602,180
9 - Z -	0,200	0,390	0,330	0,260	-0,200
9 - L -	604,430	606,130	715,020	716,770	718,010
9 - Z -	-0,750	-0,260	-0,200	-1,010	-0,980
9 - L -	719,460	735,480			
9 - Z -	-0,040	-0,010			
8 - L -	0,000	212,158	735,480		
8 - Z -	0,000	-3,000	-3,000		
7 - L -	0,000	212,158	735,480		
7 - Z -	-3,000	-3,000	-3,000		
6 - L -	0,000	212,158	353,596	735,480	
6 - Z -	-3,000	-3,000	-5,000	-5,000	
5 - L -	0,000	353,596	735,480		
5 - Z -	-5,000	-5,000	-5,000		
4 - L -	0,000	353,596	544,538	735,480	
4 - Z -	-5,000	-5,000	-7,700	-13,400	
3 - L -	0,000	544,538	735,480		
3 - Z -	-7,700	-7,700	-13,400		
2 - L -	0,000	735,480			
2 - Z -	-12,800	-13,400			
1 - L -	0,000	735,480			
1 - Z -	-14,600	-15,000			
0 - L -	0,000	735,480			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	735,480			
1 - Z -	-0,500	-0,500			

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
9	Klei, sterk zandig	1	1
8	Klei, sterk zandig	1	1
7	Klei, zwak zandig, m...	1	1
6	Klei, zwak zandig, m...	1	1
5	Zand, kleiig, los	1	1
4	Zand, kleiig, los	1	1
3	Zand, kleiig, los	1	1
2	Klei, matig	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

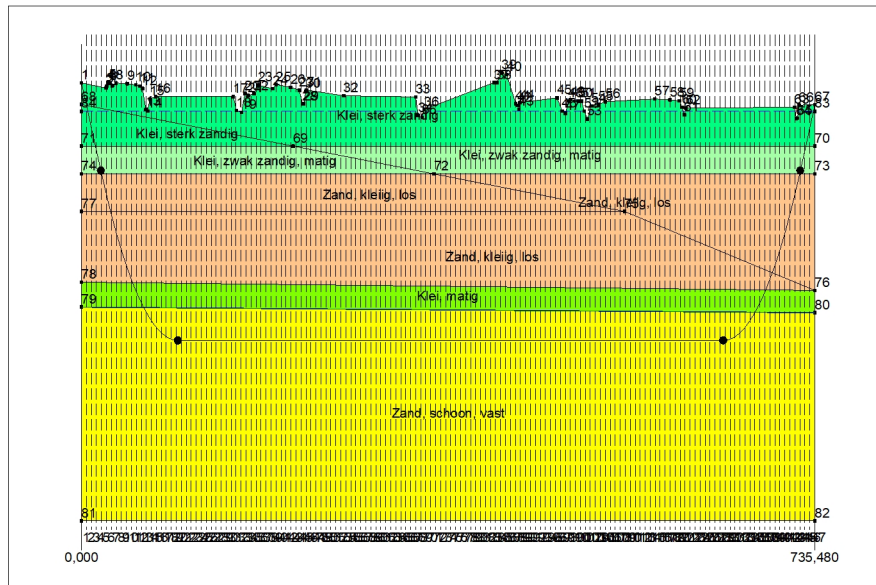
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, kleiig, los	18,00	20,00	0,00	25,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	17,00	17,00	5,00	22,50	100,00	100,00
Veen; slap	11,00	11,00	1,50	15,00	30,00	30,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	60,00	60,00
Klei, sterk zandig	18,00	20,00	2,00	27,50	120,00	120,00

Name	Soil type	E _{mod} 100 [kN/m ²]	E _{mod} top [kN/m ²]	E _{mod} bottom [kN/m ²]
Zand, kleiig, los	Sand	10000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	75000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Veen; slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-
Klei, matig	Clay	3000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	5000,00	-	-

Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, kleiig, los	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,30
Veen; slap	-	-	0,30
Zand, schoon, matig	-	-	0,30
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Klei, matig	-	-	0,30
Klei, sterk zandig	-	-	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	5,003	-0,066
2	10,006	-1,691
3	15,009	-3,317
4	20,012	-4,942
5	25,015	-6,497
6	30,018	-7,938
7	35,021	-9,267
8	40,024	-10,487
9	45,027	-11,598
10	50,030	-12,602
11	55,033	-13,500
12	60,036	-14,294
13	65,039	-14,985
14	70,042	-15,573
15	75,045	-16,059
16	80,048	-16,444
17	85,051	-16,728
18	90,054	-16,911
19	95,057	-16,994
20	100,060	-17,000
21	105,063	-17,000
22	110,066	-17,000
23	115,069	-17,000
24	120,072	-17,000
25	125,075	-17,000
26	130,078	-17,000
27	135,081	-17,000
28	140,084	-17,000
29	145,087	-17,000
30	150,090	-17,000
31	155,093	-17,000
32	160,096	-17,000
33	165,099	-17,000
34	170,102	-17,000
35	175,105	-17,000
36	180,108	-17,000
37	185,111	-17,000
38	190,114	-17,000
39	195,117	-17,000
40	200,120	-17,000
41	205,123	-17,000
42	210,126	-17,000
43	215,129	-17,000
44	220,132	-17,000
45	225,135	-17,000
46	230,138	-17,000
47	235,141	-17,000
48	240,144	-17,000
49	245,147	-17,000
50	250,150	-17,000
51	255,153	-17,000
52	260,156	-17,000
53	265,159	-17,000
54	270,162	-17,000
55	275,165	-17,000
56	280,168	-17,000
57	285,171	-17,000
58	290,174	-17,000
59	295,177	-17,000
60	300,180	-17,000
61	305,183	-17,000
62	310,186	-17,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,189	-17,000
64	320,192	-17,000
65	325,195	-17,000
66	330,198	-17,000
67	335,201	-17,000
68	340,204	-17,000
69	345,207	-17,000
70	350,210	-17,000
71	355,213	-17,000
72	360,216	-17,000
73	365,219	-17,000
74	370,222	-17,000
75	375,225	-17,000
76	380,228	-17,000
77	385,231	-17,000
78	390,234	-17,000
79	395,237	-17,000
80	400,240	-17,000
81	405,243	-17,000
82	410,246	-17,000
83	415,249	-17,000
84	420,252	-17,000
85	425,255	-17,000
86	430,258	-17,000
87	435,261	-17,000
88	440,264	-17,000
89	445,267	-17,000
90	450,270	-17,000
91	455,273	-17,000
92	460,276	-17,000
93	465,279	-17,000
94	470,282	-17,000
95	475,285	-17,000
96	480,288	-17,000
97	485,291	-17,000
98	490,294	-17,000
99	495,297	-17,000
100	500,300	-17,000
101	505,303	-17,000
102	510,306	-17,000
103	515,309	-17,000
104	520,312	-17,000
105	525,315	-17,000
106	530,318	-17,000
107	535,321	-17,000
108	540,324	-17,000
109	545,327	-17,000
110	550,330	-17,000
111	555,333	-17,000
112	560,336	-17,000
113	565,339	-17,000
114	570,342	-17,000
115	575,345	-17,000
116	580,348	-17,000
117	585,351	-17,000
118	590,354	-17,000
119	595,357	-17,000
120	600,360	-17,000
121	605,363	-17,000
122	610,366	-17,000
123	615,369	-17,000
124	620,372	-17,000
125	625,375	-17,000
126	630,378	-17,000
127	635,381	-17,000

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
128	640,384	-17,000
129	645,387	-16,994
130	650,390	-16,908
131	655,393	-16,721
132	660,396	-16,435
133	665,399	-16,047
134	670,402	-15,559
135	675,405	-14,968
136	680,408	-14,275
137	685,411	-13,478
138	690,414	-12,577
139	695,417	-11,570
140	700,420	-10,456
141	705,423	-9,234
142	710,426	-7,901
143	715,429	-6,457
144	720,432	-4,899
145	725,435	-3,274
146	730,438	-1,648
147	735,441	-0,023

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

3.10 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	1,560	[m]
X co-ordinate right point	735,480	[m]
Y co-ordinate right point	0,000	[m]
Z co-ordinate right point	-0,010	[m]
Angle left	18,0000	[deg]
Angle right	18,0000	[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)	-17,000	[m]
Angle of pipe (between radii)	0,0000	[deg]
Number of horizontal bends	0	

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

3.11 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]

3.12 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	[-]

3.13 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	0,780	[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]

3.14 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 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	[-]

3.15 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	185	185	21	368
2	276	276	41	383
3	287	287	62	398
4	295	295	83	414
5	153	153	103	429
6	157	157	121	442
7	173	173	139	454
8	189	189	155	465
9	205	205	170	475
10	219	219	183	483
11	378	378	196	491
12	401	401	207	497
13	308	308	217	502
14	517	517	226	506
15	665	665	234	509
16	770	770	241	511
17	835	844	247	512
18	843	891	251	511
19	846	911	255	510
20	847	912	257	507
21	847	912	260	505
22	847	911	262	502
23	847	911	265	500
24	847	910	267	497
25	847	910	270	495
26	847	909	272	492
27	847	908	275	490
28	847	908	277	487
29	847	907	280	485
30	847	907	282	482
31	794	839	285	480
32	782	824	287	477
33	856	917	290	475
34	855	915	292	472
35	878	944	295	470
36	892	961	297	467
37	887	954	300	465
38	882	947	302	462
39	897	965	305	460
40	893	960	307	457
41	889	954	310	455
42	884	948	312	452
43	878	939	315	450
44	843	895	317	447
45	870	928	320	445
46	872	930	322	442
47	869	925	325	440
48	865	920	327	437
49	862	916	330	435
50	859	911	332	432
51	855	906	335	430
52	852	902	337	427
53	850	899	340	425
54	850	898	342	422
55	850	897	345	420
56	849	896	347	417
57	849	895	350	415

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	849	894	352	412
59	848	893	355	410
60	848	892	357	407
61	848	891	360	405
62	847	890	362	402
63	847	889	365	400
64	847	888	367	397
65	847	887	370	395
66	846	886	372	392
67	845	884	375	390
68	771	793	377	387
69	795	821	380	385
70	803	831	382	382
71	811	840	385	380
72	819	850	387	377
73	828	859	390	375
74	836	869	392	372
75	844	878	395	370
76	852	888	397	367
77	860	897	400	365
78	868	906	402	362
79	876	916	405	360
80	884	925	407	357
81	892	935	410	355
82	900	944	412	352
83	906	950	415	350
84	936	987	417	347
85	940	991	420	345
86	888	926	422	342
87	820	843	425	340
88	822	844	427	337
89	825	847	430	335
90	828	850	432	332
91	830	853	435	330
92	833	855	437	327
93	836	858	440	325
94	838	861	442	322
95	841	864	445	320
96	805	820	447	317
97	780	789	450	315
98	834	853	452	312
99	831	849	455	310
100	829	846	457	307
101	778	785	460	305
102	794	803	462	302
103	812	824	465	300
104	818	830	467	297
105	826	840	470	295
106	827	840	472	292
107	828	841	475	290
108	829	842	477	287
109	830	843	480	285
110	832	844	482	282
111	833	844	485	280
112	834	845	487	277
113	835	846	490	275
114	836	847	492	272
115	837	847	495	270
116	836	845	497	267
117	835	843	500	265
118	834	841	502	262
119	831	838	505	260
120	822	826	507	257
121	784	784	510	255

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
122	798	798	512	252
123	798	798	515	250
124	798	798	517	247
125	797	797	520	245
126	797	797	522	242
127	797	797	525	240
128	796	796	527	237
129	795	795	530	235
130	773	773	531	231
131	725	725	532	227
132	650	650	531	221
133	544	544	529	214
134	398	398	526	206
135	312	312	522	197
136	376	376	517	187
137	214	214	511	175
138	200	200	503	163
139	184	184	495	149
140	168	168	485	134
141	152	152	474	118
142	137	137	462	101
143	131	131	448	82
144	254	254	433	62
145	227	227	418	42
146	171	171	403	21
147	0	0	387	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	172	172	19	21
2	274	274	38	41
3	301	301	57	62
4	296	296	76	83
5	175	175	94	103
6	169	169	111	121
7	181	181	127	139
8	195	195	141	155
9	209	209	155	170
10	223	223	167	183
11	361	361	178	196
12	395	395	187	207
13	340	340	196	217
14	408	408	203	226
15	515	515	210	234
16	594	594	215	241
17	650	650	219	247
18	686	686	222	251
19	702	702	224	255
20	702	702	225	257
21	702	702	226	260
22	702	702	226	262
23	701	701	227	265
24	701	701	228	267
25	700	700	229	270
26	700	700	230	272
27	700	700	231	275
28	699	699	232	277
29	699	699	233	280
30	698	698	234	282
31	649	649	235	285
32	638	638	236	287
33	706	706	237	290
34	704	704	237	292

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
35	725	725	238	291
36	737	737	239	290
37	732	732	240	289
38	727	727	241	288
39	741	741	242	287
40	737	737	243	287
41	732	732	244	286
42	728	728	245	285
43	721	721	246	284
44	689	689	247	283
45	713	713	247	282
46	715	715	248	281
47	711	711	249	280
48	708	708	250	279
49	704	704	251	278
50	701	701	252	277
51	697	697	253	277
52	694	694	254	276
53	692	692	255	275
54	691	691	256	274
55	690	690	257	273
56	690	690	258	272
57	689	689	258	271
58	688	688	259	270
59	687	687	260	269
60	687	687	261	268
61	686	686	262	267
62	685	685	263	266
63	685	685	264	266
64	684	684	265	265
65	683	683	266	264
66	682	682	267	263
67	681	681	268	262
68	615	615	268	261
69	635	635	269	260
70	642	642	270	259
71	649	649	271	258
72	656	656	272	257
73	663	663	273	256
74	670	670	274	256
75	676	676	275	255
76	683	683	276	254
77	690	690	277	253
78	697	697	278	252
79	704	704	278	251
80	710	710	279	250
81	717	717	280	249
82	724	724	281	248
83	728	728	282	247
84	755	755	283	246
85	758	758	284	246
86	711	711	285	245
87	650	650	286	244
88	651	651	287	243
89	653	653	288	242
90	655	655	289	241
91	657	657	289	240
92	659	659	290	239
93	661	661	291	238
94	663	663	292	237
95	665	665	293	236
96	634	634	294	235
97	611	611	295	235
98	658	658	296	234

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
99	655	655	297	233
100	652	652	298	232
101	608	608	299	231
102	621	621	299	230
103	636	636	300	229
104	641	641	297	228
105	648	648	295	227
106	648	648	292	226
107	649	649	290	225
108	649	649	287	225
109	650	650	285	224
110	650	650	282	223
111	651	651	280	222
112	652	652	277	221
113	652	652	275	220
114	653	653	272	219
115	653	653	270	218
116	652	652	267	217
117	650	650	265	216
118	649	649	262	215
119	646	646	260	215
120	638	638	257	214
121	607	607	255	213
122	618	618	252	212
123	617	617	250	211
124	617	617	247	210
125	617	617	245	209
126	617	617	242	208
127	616	616	240	207
128	616	616	237	206
129	615	615	235	205
130	598	598	231	203
131	562	562	227	200
132	506	506	221	196
133	429	429	214	191
134	324	324	206	185
135	312	312	197	177
136	366	366	187	169
137	216	216	175	159
138	203	203	163	148
139	188	188	149	136
140	173	173	134	123
141	158	158	118	108
142	147	147	101	92
143	151	151	82	75
144	254	254	62	57
145	228	228	42	38
146	165	165	21	19
147	0	0	0	0

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	128	128	20	19
2	260	260	40	38
3	304	304	61	57
4	298	298	81	76
5	203	203	100	94
6	184	184	119	111
7	191	191	136	127
8	202	202	151	141
9	215	215	166	155
10	228	228	179	167
11	330	330	191	178

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
12	387	387	202	187
13	239	239	212	196
14	340	340	220	203
15	420	420	228	210
16	480	480	234	215
17	522	522	239	219
18	550	550	244	222
19	562	562	247	224
20	563	563	249	225
21	562	562	251	226
22	562	562	253	226
23	562	562	255	227
24	561	561	257	228
25	561	561	259	229
26	561	561	261	230
27	561	561	263	231
28	560	560	265	232
29	560	560	268	233
30	560	560	270	234
31	523	523	272	235
32	515	515	274	236
33	565	565	276	237
34	564	564	278	237
35	580	580	280	238
36	589	589	282	239
37	585	585	284	240
38	581	581	286	241
39	591	591	287	242
40	588	588	287	243
41	585	585	286	244
42	582	582	285	245
43	577	577	284	246
44	553	553	283	247
45	571	571	282	247
46	572	572	281	248
47	569	569	280	249
48	566	566	279	250
49	564	564	278	251
50	561	561	277	252
51	559	559	277	253
52	556	556	276	254
53	554	554	275	255
54	554	554	274	256
55	553	553	273	257
56	553	553	272	258
57	552	552	271	258
58	552	552	270	259
59	551	551	269	260
60	551	551	268	261
61	550	550	267	262
62	550	550	266	263
63	549	549	266	264
64	549	549	265	265
65	548	548	264	266
66	547	547	263	267
67	546	546	262	268
68	497	497	261	268
69	512	512	260	269
70	518	518	259	270
71	523	523	258	271
72	528	528	257	272
73	533	533	256	273
74	538	538	256	274
75	543	543	255	275

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
76	548	548	254	276
77	553	553	253	277
78	558	558	252	278
79	563	563	251	278
80	568	568	250	279
81	573	573	249	280
82	578	578	248	281
83	581	581	247	282
84	601	601	246	283
85	603	603	246	284
86	568	568	245	285
87	524	524	244	286
88	524	524	243	287
89	526	526	242	288
90	527	527	241	289
91	529	529	240	289
92	530	530	239	290
93	532	532	238	291
94	533	533	237	292
95	535	535	236	293
96	511	511	235	294
97	494	494	235	294
98	529	529	234	292
99	527	527	233	290
100	525	525	232	288
101	492	492	231	286
102	502	502	230	284
103	513	513	229	281
104	517	517	228	279
105	521	521	227	277
106	522	522	226	275
107	522	522	225	273
108	523	523	225	271
109	523	523	224	269
110	523	523	223	267
111	524	524	222	265
112	524	524	221	263
113	525	525	220	261
114	525	525	219	258
115	525	525	218	256
116	524	524	217	254
117	523	523	216	252
118	522	522	215	250
119	520	520	215	248
120	514	514	214	246
121	491	491	213	244
122	499	499	212	242
123	499	499	211	240
124	499	499	210	238
125	499	499	209	235
126	498	498	208	233
127	498	498	207	231
128	498	498	206	229
129	497	497	205	227
130	484	484	203	224
131	457	457	200	220
132	415	415	196	215
133	356	356	191	208
134	337	337	185	201
135	312	312	177	192
136	348	348	169	182
137	220	220	159	171
138	207	207	148	159
139	193	193	136	146

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
140	179	179	123	131
141	167	167	108	116
142	159	159	92	99
143	172	172	75	80
144	255	255	57	61
145	228	228	38	41
146	130	130	19	20
147	0	0	0	0

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	0	-	sufficient
2	36	12	3,03	sufficient
3	54	28	1,92	sufficient
4	72	44	1,62	sufficient
5	89	60	1,49	sufficient
6	105	74	1,41	sufficient
7	120	88	1,37	sufficient
8	133	100	1,33	sufficient
9	145	111	1,31	sufficient
10	156	121	1,29	sufficient
11	166	130	1,28	sufficient
12	175	138	1,27	sufficient
13	183	145	1,26	sufficient
14	189	151	1,25	sufficient
15	194	156	1,25	sufficient
16	198	159	1,24	sufficient
17	201	162	1,24	sufficient
18	203	164	1,24	sufficient
19	204	165	1,24	sufficient
20	204	165	1,24	sufficient
21	204	165	1,24	sufficient
22	204	165	1,23	sufficient
23	204	165	1,23	sufficient
24	204	165	1,23	sufficient
25	203	165	1,23	sufficient
26	203	165	1,23	sufficient
27	203	165	1,23	sufficient
28	203	165	1,23	sufficient
29	203	165	1,23	sufficient
30	203	165	1,23	sufficient
31	203	165	1,23	sufficient
32	203	165	1,23	sufficient
33	202	165	1,23	sufficient
34	202	165	1,23	sufficient
35	202	165	1,23	sufficient
36	202	165	1,22	sufficient
37	202	165	1,22	sufficient
38	202	165	1,22	sufficient
39	202	165	1,22	sufficient
40	202	165	1,22	sufficient
41	201	165	1,22	sufficient
42	201	165	1,22	sufficient
43	201	165	1,22	sufficient
44	201	165	1,22	sufficient
45	201	165	1,22	sufficient
46	201	165	1,22	sufficient
47	201	165	1,22	sufficient
48	201	165	1,22	sufficient
49	200	165	1,21	sufficient
50	200	165	1,21	sufficient

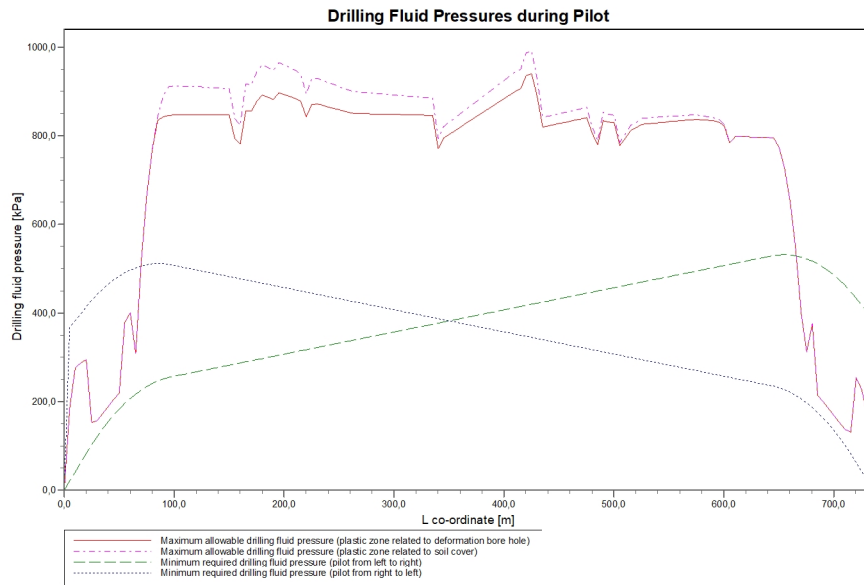
Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
51	200	165	1,21	sufficient
52	200	165	1,21	sufficient
53	200	165	1,21	sufficient
54	200	165	1,21	sufficient
55	200	165	1,21	sufficient
56	200	165	1,21	sufficient
57	199	165	1,21	sufficient
58	199	165	1,21	sufficient
59	199	165	1,21	sufficient
60	199	165	1,21	sufficient
61	199	165	1,21	sufficient
62	199	165	1,20	sufficient
63	199	165	1,20	sufficient
64	199	165	1,20	sufficient
65	198	165	1,20	sufficient
66	198	165	1,20	sufficient
67	198	165	1,20	sufficient
68	198	165	1,20	sufficient
69	198	165	1,20	sufficient
70	198	165	1,20	sufficient
71	198	165	1,20	sufficient
72	198	165	1,20	sufficient
73	197	165	1,20	sufficient
74	197	165	1,20	sufficient
75	197	165	1,20	sufficient
76	197	165	1,19	sufficient
77	197	165	1,19	sufficient
78	197	165	1,19	sufficient
79	197	165	1,19	sufficient
80	197	165	1,19	sufficient
81	196	165	1,19	sufficient
82	196	165	1,19	sufficient
83	196	165	1,19	sufficient
84	196	165	1,19	sufficient
85	196	165	1,19	sufficient
86	196	165	1,19	sufficient
87	196	165	1,19	sufficient
88	196	165	1,19	sufficient
89	195	165	1,18	sufficient
90	195	165	1,18	sufficient
91	195	165	1,18	sufficient
92	195	165	1,18	sufficient
93	195	165	1,18	sufficient
94	195	165	1,18	sufficient
95	195	165	1,18	sufficient
96	195	165	1,18	sufficient
97	194	165	1,18	sufficient
98	194	165	1,18	sufficient
99	194	165	1,18	sufficient
100	194	165	1,18	sufficient
101	194	165	1,18	sufficient
102	194	165	1,17	sufficient
103	194	165	1,17	sufficient
104	194	165	1,17	sufficient
105	193	165	1,17	sufficient
106	193	165	1,17	sufficient
107	193	165	1,17	sufficient
108	193	165	1,17	sufficient
109	193	165	1,17	sufficient
110	193	165	1,17	sufficient
111	193	165	1,17	sufficient
112	193	165	1,17	sufficient
113	192	165	1,17	sufficient
114	192	165	1,17	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
115	192	165	1,16	sufficient
116	192	165	1,16	sufficient
117	192	165	1,16	sufficient
118	192	165	1,16	sufficient
119	192	165	1,16	sufficient
120	192	165	1,16	sufficient
121	191	165	1,16	sufficient
122	191	165	1,16	sufficient
123	191	165	1,16	sufficient
124	191	165	1,16	sufficient
125	191	165	1,16	sufficient
126	191	165	1,16	sufficient
127	191	165	1,16	sufficient
128	191	165	1,16	sufficient
129	190	165	1,15	sufficient
130	189	164	1,15	sufficient
131	187	162	1,15	sufficient
132	184	159	1,15	sufficient
133	179	155	1,15	sufficient
134	174	151	1,15	sufficient
135	167	145	1,16	sufficient
136	159	138	1,16	sufficient
137	150	130	1,16	sufficient
138	140	121	1,16	sufficient
139	129	111	1,16	sufficient
140	116	100	1,17	sufficient
141	103	87	1,18	sufficient
142	88	74	1,19	sufficient
143	72	60	1,20	sufficient
144	54	44	1,23	sufficient
145	36	28	1,31	sufficient
146	18	11	1,58	sufficient
147	0	0	-	sufficient

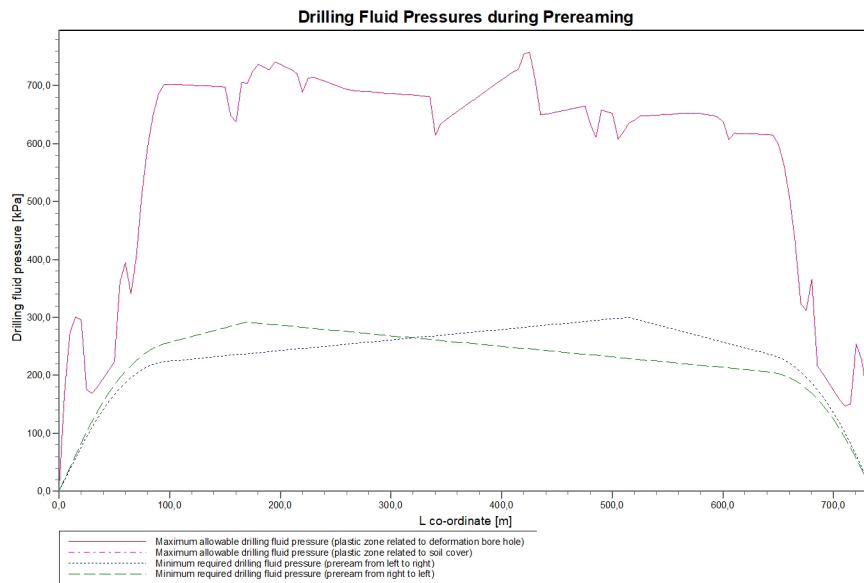
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

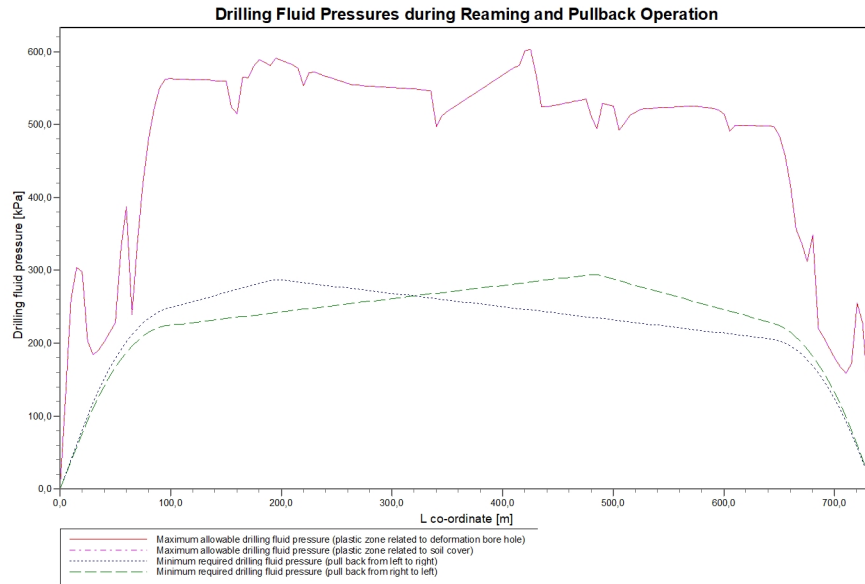
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



5 Soil Mechanical Data

5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

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

Vertical no.	q_v;p [kN/m ²]	q_v;n [kN/m ²]	q_h;n [kN/m ²]	q_v,r;n [kN/m ²]	q_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
1	59	26	19	26	0	592
2	171	45	33	45	0	987
3	207	59	27	36	0	847
4	237	69	29	38	0	1087
5	408	85	34	45	0	1330
6	477	101	38	51	0	1592
7	540	117	41	55	0	1838
8	586	129	42	57	0	2025
9	628	140	43	58	0	2195
10	663	149	43	58	0	1998
11	485	156	42	57	0	2024
12	494	159	41	55	0	5171
13	1551	136	36	48	0	6404
14	1757	158	39	53	0	7412
15	1829	165	40	55	0	7769
16	1869	170	41	55	0	7967
17	1898	173	38	52	0	8113
18	1917	175	35	47	0	8208
19	1925	176	33	45	0	8251
20	1926	176	33	45	0	8254
21	1926	176	33	45	0	8254
22	1926	176	33	45	0	8254
23	1926	176	34	45	0	8254
24	1926	176	34	45	0	8254
25	1926	176	34	45	0	8254
26	1926	176	34	45	0	8254
27	1926	176	34	46	0	8254
28	1926	176	34	46	0	8254
29	1926	176	34	46	0	8254
30	1926	176	34	46	0	8254
31	1776	159	31	42	0	7494
32	1742	156	31	41	0	7325
33	1953	179	35	47	0	8392
34	1949	178	35	47	0	8373
35	2015	185	36	48	0	8709
36	2053	190	37	49	0	8907
37	2039	188	36	49	0	8834
38	2025	187	36	49	0	8761
39	2067	191	37	50	0	8979
40	2057	190	37	50	0	8926
41	2045	189	37	50	0	8865
42	2032	187	37	49	0	8801
43	2014	185	36	49	0	8704

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	1915	175	34	46	0	8200
45	1991	183	36	49	0	8589
46	1997	183	36	49	0	8617
47	1987	182	36	49	0	8569
48	1978	181	36	48	0	8521
49	1969	180	36	48	0	8473
50	1959	179	36	48	0	8425
51	1950	178	36	48	0	8377
52	1941	177	35	48	0	8330
53	1935	177	35	48	0	8302
54	1934	177	35	48	0	8297
55	1933	177	35	48	0	8293
56	1933	176	35	48	0	8288
57	1932	176	35	48	0	8283
58	1931	176	36	48	0	8279
59	1930	176	36	48	0	8274
60	1929	176	36	48	0	8269
61	1928	176	36	48	0	8265
62	1927	176	36	48	0	8260
63	1926	176	36	48	0	8255
64	1925	176	36	48	0	8251
65	1924	176	36	48	0	8246
66	1923	175	36	48	0	8241
67	1921	175	36	48	0	8227
68	1710	152	32	43	0	7167
69	1777	160	33	45	0	7500
70	1800	162	34	45	0	7618
71	1824	165	34	46	0	7735
72	1847	167	35	47	0	7853
73	1870	170	35	47	0	7970
74	1893	172	36	48	0	8088
75	1916	175	36	49	0	8205
76	1939	177	37	50	0	8323
77	1962	180	37	50	0	8440
78	1985	182	38	51	0	8558
79	2008	185	38	52	0	8675
80	2031	187	39	52	0	8793
81	2053	190	39	53	0	8910
82	2076	192	40	54	0	9028
83	2091	194	40	54	0	9104
84	2177	204	42	57	0	9554
85	2187	205	43	57	0	9610
86	2040	188	39	53	0	8842
87	1849	167	36	48	0	7865
88	1854	168	36	48	0	7888
89	1862	169	36	48	0	7928
90	1870	170	36	49	0	7967
91	1877	170	36	49	0	8007
92	1885	171	37	49	0	8046
93	1893	172	37	50	0	8085
94	1901	173	37	50	0	8125
95	1908	174	37	50	0	8164
96	1807	163	35	47	0	7649
97	1734	155	34	45	0	7285
98	1888	172	37	50	0	8063
99	1879	171	37	50	0	8016
100	1873	170	37	50	0	7984
101	1730	155	34	46	0	7266
102	1773	159	35	47	0	7482
103	1824	165	36	49	0	7737
104	1841	167	36	49	0	7825
105	1865	169	37	50	0	7942
106	1868	169	37	50	0	7958
107	1871	170	37	50	0	7975
108	1874	170	37	50	0	7991

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	1877	170	37	51	0	8007
110	1881	171	38	51	0	8023
111	1884	171	38	51	0	8039
112	1887	171	38	51	0	8055
113	1890	172	38	51	0	8072
114	1893	172	38	51	0	8088
115	1896	172	38	52	0	8100
116	1893	172	38	52	0	8084
117	1889	172	38	52	0	8067
118	1886	171	38	52	0	8050
119	1880	171	38	51	0	8019
120	1852	168	38	51	0	7881
121	1751	157	35	48	0	7369
122	1788	161	36	49	0	7557
123	1789	161	36	49	0	7559
124	1789	161	36	49	0	7562
125	1790	161	37	49	0	7564
126	1790	161	37	49	0	7566
127	1791	161	37	49	0	7569
128	1791	161	37	50	0	7571
129	1791	161	37	50	0	7570
130	1782	160	39	52	0	7528
131	1763	158	39	52	0	7435
132	1734	155	38	52	0	7289
133	1694	151	38	51	0	7092
134	1642	146	37	51	0	6843
135	1580	139	37	50	0	6558
136	423	134	38	51	0	1758
137	406	128	39	52	0	1681
138	547	119	39	52	0	1864
139	507	109	38	51	0	1707
140	462	98	36	48	0	1533
141	412	85	33	45	0	1341
142	355	72	30	40	0	1133
143	277	54	24	32	0	853
144	167	46	20	27	0	718
145	132	34	26	34	0	547
146	45	19	14	19	0	456
147	0	0	0	0	0	71

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	248	78323	676	54826	0,05	7,5
2	194	4716	3614	3301	0,05	7,5
3	207	3986	4815	2790	0,05	7,5
4	237	15836	3492	11085	0,05	7,5
5	408	17509	13863	12257	0,05	7,5
6	477	19112	17280	13378	0,05	7,5
7	540	20526	18811	14368	0,05	7,5
8	586	21547	19902	15083	0,05	7,5
9	628	17630	20855	12341	0,05	7,5
10	663	8454	21639	5918	0,05	7,5
11	485	87184	17466	61029	0,05	7,5
12	494	205805	10148	144063	0,05	7,5
13	1551	216343	27107	151440	0,05	7,5
14	1757	233323	106006	163326	0,05	7,5
15	1829	239087	177520	167361	0,05	7,5
16	1869	242243	226408	169570	0,05	7,5
17	1898	244551	228843	171186	0,05	7,5
18	1917	246034	230406	172224	0,05	7,5
19	1925	246704	231113	172693	0,05	7,5
20	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
21	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
22	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
23	1926	246749	231160	172724	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]
24	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
25	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
26	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
27	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
28	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
29	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
30	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
31	1776	234627	218355	164239	0,05	7,5
32	1742	231870	215433	162309	0,05	7,5
33	1953	248904	233429	174233	0,05	7,5
34	1949	248612	233122	174029	0,05	7,5
35	2015	253790	238567	177653	0,05	7,5
36	2053	256795	241723	179757	0,05	7,5
37	2039	255687	240561	178981	0,05	7,5
38	2025	254576	239394	178203	0,05	7,5
39	2067	257879	242861	180516	0,05	7,5
40	2057	257087	242029	179961	0,05	7,5
41	2045	256164	241061	179315	0,05	7,5
42	2032	255195	240044	178637	0,05	7,5
43	2014	253710	238484	177597	0,05	7,5
44	1915	245913	230279	172139	0,05	7,5
45	1991	251945	236629	176362	0,05	7,5
46	1997	252373	237079	176661	0,05	7,5
47	1987	251638	236306	176146	0,05	7,5
48	1978	250900	235530	175630	0,05	7,5
49	1969	250161	234752	175113	0,05	7,5
50	1959	249420	233973	174594	0,05	7,5
51	1950	248677	233191	174074	0,05	7,5
52	1941	247933	232407	173553	0,05	7,5
53	1935	247503	231954	173252	0,05	7,5
54	1934	247430	231878	173201	0,05	7,5
55	1933	247358	231801	173150	0,05	7,5
56	1933	247285	231725	173100	0,05	7,5
57	1932	247213	231648	173049	0,05	7,5
58	1931	247140	231572	172998	0,05	7,5
59	1930	247067	231495	172947	0,05	7,5
60	1929	246994	231419	172896	0,05	7,5
61	1928	246922	231342	172845	0,05	7,5
62	1927	246849	231265	172794	0,05	7,5
63	1926	246776	231189	172743	0,05	7,5
64	1925	246704	231112	172693	0,05	7,5
65	1924	246631	231035	172642	0,05	7,5
66	1923	246558	230959	172591	0,05	7,5
67	1921	246326	230715	172429	0,05	7,5
68	1710	229273	212677	160491	0,05	7,5
69	1777	234735	218470	164315	0,05	7,5
70	1800	236641	220487	165649	0,05	7,5
71	1824	238534	222490	166974	0,05	7,5
72	1847	240416	224479	168291	0,05	7,5
73	1870	242286	226453	169600	0,05	7,5
74	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
75	1916	245991	230361	172194	0,05	7,5
76	1939	247827	232296	173479	0,05	7,5
77	1962	249652	234217	174757	0,05	7,5
78	1985	251467	236126	176027	0,05	7,5
79	2008	253271	238023	177290	0,05	7,5
80	2031	255065	239908	178546	0,05	7,5
81	2053	256849	241780	179795	0,05	7,5
82	2076	258624	243642	181037	0,05	7,5
83	2091	259762	244835	181833	0,05	7,5
84	2177	266444	251833	186511	0,05	7,5
85	2187	267263	252690	187084	0,05	7,5
86	2040	255811	240691	179068	0,05	7,5
87	1849	240617	224691	168432	0,05	7,5
88	1854	240984	225078	168689	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]
89	1862	241611	225741	169128	0,05	7,5
90	1870	242237	226402	169566	0,05	7,5
91	1877	242862	227061	170003	0,05	7,5
92	1885	243485	227719	170440	0,05	7,5
93	1893	244107	228375	170875	0,05	7,5
94	1901	244728	229030	171310	0,05	7,5
95	1908	245348	229683	171744	0,05	7,5
96	1807	237148	221024	166004	0,05	7,5
97	1734	231211	214734	161848	0,05	7,5
98	1888	243755	228004	170629	0,05	7,5
99	1879	243007	227215	170105	0,05	7,5
100	1873	242510	226690	169757	0,05	7,5
101	1730	230901	214405	161631	0,05	7,5
102	1773	234441	218158	164109	0,05	7,5
103	1824	238571	222529	167000	0,05	7,5
104	1841	239971	224008	167979	0,05	7,5
105	1865	241837	225979	169286	0,05	7,5
106	1868	242098	226255	169469	0,05	7,5
107	1871	242355	226526	169648	0,05	7,5
108	1874	242611	226797	169828	0,05	7,5
109	1877	242867	227067	170007	0,05	7,5
110	1881	243123	227337	170186	0,05	7,5
111	1884	243379	227607	170365	0,05	7,5
112	1887	243634	227876	170544	0,05	7,5
113	1890	243889	228145	170722	0,05	7,5
114	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
115	1896	244344	228625	171041	0,05	7,5
116	1893	244083	228349	170858	0,05	7,5
117	1889	243821	228074	170675	0,05	7,5
118	1886	243547	227784	170483	0,05	7,5
119	1880	243059	227270	170142	0,05	7,5
120	1852	240865	224954	168606	0,05	7,5
121	1751	232596	216203	162818	0,05	7,5
122	1788	235661	219450	164963	0,05	7,5
123	1789	235699	219490	164989	0,05	7,5
124	1789	235737	219530	165016	0,05	7,5
125	1790	235774	219570	165042	0,05	7,5
126	1790	235812	219610	165068	0,05	7,5
127	1791	235849	219650	165095	0,05	7,5
128	1791	235887	219689	165121	0,05	7,5
129	1791	235871	219672	165110	0,05	7,5
130	1782	235191	218953	164634	0,05	7,5
131	1763	233670	217341	163569	0,05	7,5
132	1734	231291	217897	161904	0,05	7,5
133	1694	228030	213323	159621	0,05	7,5
134	1642	223853	57854	156697	0,05	7,5
135	1580	218712	7625	153099	0,05	7,5
136	423	138744	13533	97121	0,05	7,5
137	406	33393	19782	23375	0,05	7,5
138	547	12001	18959	8401	0,05	7,5
139	507	19777	17995	13844	0,05	7,5
140	462	18746	16881	13123	0,05	7,5
141	412	17564	15582	12295	0,05	7,5
142	355	16193	14052	11335	0,05	7,5
143	277	14184	10255	9929	0,05	7,5
144	167	13038	2341	9126	0,05	7,5
145	132	2479	2744	1735	0,05	7,5
146	193	75348	377	52744	0,05	7,5
147	10	51744	0	36221	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_{v;n;max} = 205 kN/m²
 Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_{traffic;max} = 58 kN/m²
 Maximum reduced soil stress : q_{v;n;max} = 58 kN/m²
 Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
 only for verticals in deep situation : k_{v;max} = 267263 kN/m³

Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 534526 \text{ kN/m}^3$

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	59	26	19	26	0	592
2	171	45	33	45	0	987
3	207	59	27	36	0	847
4	237	69	29	38	0	1087
5	408	85	34	45	0	1330
6	477	101	38	51	0	1592
7	540	117	41	55	0	1838
8	586	129	42	57	0	2025
9	628	140	43	58	0	2195
10	663	149	43	58	0	1998
11	485	156	42	57	0	2024
12	494	159	41	55	0	5171
13	1551	136	36	48	0	6404
14	1757	158	39	53	0	7412
15	1829	165	40	55	0	7769
16	1869	170	41	55	0	7967
17	1898	173	38	52	0	8113
18	1917	175	35	47	0	8208
19	1925	176	33	45	0	8251
20	1926	176	33	45	0	8254
21	1926	176	33	45	0	8254
22	1926	176	33	45	0	8254
23	1926	176	34	45	0	8254
24	1926	176	34	45	0	8254
25	1926	176	34	45	0	8254
26	1926	176	34	45	0	8254
27	1926	176	34	46	0	8254
28	1926	176	34	46	0	8254
29	1926	176	34	46	0	8254
30	1926	176	34	46	0	8254
31	1776	159	31	42	0	7494
32	1742	156	31	41	0	7325
33	1953	179	35	47	0	8392
34	1949	178	35	47	0	8373
35	2015	185	36	48	0	8709
36	2053	190	37	49	0	8907
37	2039	188	36	49	0	8834
38	2025	187	36	49	0	8761
39	2067	191	37	50	0	8979
40	2057	190	37	50	0	8926
41	2045	189	37	50	0	8865
42	2032	187	37	49	0	8801
43	2014	185	36	49	0	8704

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	1915	175	34	46	0	8200
45	1991	183	36	49	0	8589
46	1997	183	36	49	0	8617
47	1987	182	36	49	0	8569
48	1978	181	36	48	0	8521
49	1969	180	36	48	0	8473
50	1959	179	36	48	0	8425
51	1950	178	36	48	0	8377
52	1941	177	35	48	0	8330
53	1935	177	35	48	0	8302
54	1934	177	35	48	0	8297
55	1933	177	35	48	0	8293
56	1933	176	35	48	0	8288
57	1932	176	35	48	0	8283
58	1931	176	36	48	0	8279
59	1930	176	36	48	0	8274
60	1929	176	36	48	0	8269
61	1928	176	36	48	0	8265
62	1927	176	36	48	0	8260
63	1926	176	36	48	0	8255
64	1925	176	36	48	0	8251
65	1924	176	36	48	0	8246
66	1923	175	36	48	0	8241
67	1921	175	36	48	0	8227
68	1710	152	32	43	0	7167
69	1777	160	33	45	0	7500
70	1800	162	34	45	0	7618
71	1824	165	34	46	0	7735
72	1847	167	35	47	0	7853
73	1870	170	35	47	0	7970
74	1893	172	36	48	0	8088
75	1916	175	36	49	0	8205
76	1939	177	37	50	0	8323
77	1962	180	37	50	0	8440
78	1985	182	38	51	0	8558
79	2008	185	38	52	0	8675
80	2031	187	39	52	0	8793
81	2053	190	39	53	0	8910
82	2076	192	40	54	0	9028
83	2091	194	40	54	0	9104
84	2177	204	42	57	0	9554
85	2187	205	43	57	0	9610
86	2040	188	39	53	0	8842
87	1849	167	36	48	0	7865
88	1854	168	36	48	0	7888
89	1862	169	36	48	0	7928
90	1870	170	36	49	0	7967
91	1877	170	36	49	0	8007
92	1885	171	37	49	0	8046
93	1893	172	37	50	0	8085
94	1901	173	37	50	0	8125
95	1908	174	37	50	0	8164
96	1807	163	35	47	0	7649
97	1734	155	34	45	0	7285
98	1888	172	37	50	0	8063
99	1879	171	37	50	0	8016
100	1873	170	37	50	0	7984
101	1730	155	34	46	0	7266
102	1773	159	35	47	0	7482
103	1824	165	36	49	0	7737
104	1841	167	36	49	0	7825
105	1865	169	37	50	0	7942
106	1868	169	37	50	0	7958
107	1871	170	37	50	0	7975
108	1874	170	37	50	0	7991

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	1877	170	37	51	0	8007
110	1881	171	38	51	0	8023
111	1884	171	38	51	0	8039
112	1887	171	38	51	0	8055
113	1890	172	38	51	0	8072
114	1893	172	38	51	0	8088
115	1896	172	38	52	0	8100
116	1893	172	38	52	0	8084
117	1889	172	38	52	0	8067
118	1886	171	38	52	0	8050
119	1880	171	38	51	0	8019
120	1852	168	38	51	0	7881
121	1751	157	35	48	0	7369
122	1788	161	36	49	0	7557
123	1789	161	36	49	0	7559
124	1789	161	36	49	0	7562
125	1790	161	37	49	0	7564
126	1790	161	37	49	0	7566
127	1791	161	37	49	0	7569
128	1791	161	37	50	0	7571
129	1791	161	37	50	0	7570
130	1782	160	39	52	0	7528
131	1763	158	39	52	0	7435
132	1734	155	38	52	0	7289
133	1694	151	38	51	0	7092
134	1642	146	37	51	0	6843
135	1580	139	37	50	0	6558
136	423	134	38	51	0	1758
137	406	128	39	52	0	1681
138	547	119	39	52	0	1864
139	507	109	38	51	0	1707
140	462	98	36	48	0	1533
141	412	85	33	45	0	1341
142	355	72	30	40	0	1133
143	277	54	24	32	0	853
144	167	46	20	27	0	718
145	132	34	26	34	0	547
146	45	19	14	19	0	456
147	0	0	0	0	0	71

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	248	78323	676	54826	0,05	7,5
2	194	4716	3614	3301	0,05	7,5
3	207	3986	4815	2790	0,05	7,5
4	237	15836	3492	11085	0,05	7,5
5	408	17509	13863	12257	0,05	7,5
6	477	19112	17280	13378	0,05	7,5
7	540	20526	18811	14368	0,05	7,5
8	586	21547	19902	15083	0,05	7,5
9	628	17630	20855	12341	0,05	7,5
10	663	8454	21639	5918	0,05	7,5
11	485	87184	17466	61029	0,05	7,5
12	494	205805	10148	144063	0,05	7,5
13	1551	216343	27107	151440	0,05	7,5
14	1757	233323	106006	163326	0,05	7,5
15	1829	239087	177520	167361	0,05	7,5
16	1869	242243	226408	169570	0,05	7,5
17	1898	244551	228843	171186	0,05	7,5
18	1917	246034	230406	172224	0,05	7,5
19	1925	246704	231113	172693	0,05	7,5
20	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
21	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
22	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
23	1926	246749	231160	172724	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]
24	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
25	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
26	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
27	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
28	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
29	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
30	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
31	1776	234627	218355	164239	0,05	7,5
32	1742	231870	215433	162309	0,05	7,5
33	1953	248904	233429	174233	0,05	7,5
34	1949	248612	233122	174029	0,05	7,5
35	2015	253790	238567	177653	0,05	7,5
36	2053	256795	241723	179757	0,05	7,5
37	2039	255687	240561	178981	0,05	7,5
38	2025	254576	239394	178203	0,05	7,5
39	2067	257879	242861	180516	0,05	7,5
40	2057	257087	242029	179961	0,05	7,5
41	2045	256164	241061	179315	0,05	7,5
42	2032	255195	240044	178637	0,05	7,5
43	2014	253710	238484	177597	0,05	7,5
44	1915	245913	230279	172139	0,05	7,5
45	1991	251945	236629	176362	0,05	7,5
46	1997	252373	237079	176661	0,05	7,5
47	1987	251638	236306	176146	0,05	7,5
48	1978	250900	235530	175630	0,05	7,5
49	1969	250161	234752	175113	0,05	7,5
50	1959	249420	233973	174594	0,05	7,5
51	1950	248677	233191	174074	0,05	7,5
52	1941	247933	232407	173553	0,05	7,5
53	1935	247503	231954	173252	0,05	7,5
54	1934	247430	231878	173201	0,05	7,5
55	1933	247358	231801	173150	0,05	7,5
56	1933	247285	231725	173100	0,05	7,5
57	1932	247213	231648	173049	0,05	7,5
58	1931	247140	231572	172998	0,05	7,5
59	1930	247067	231495	172947	0,05	7,5
60	1929	246994	231419	172896	0,05	7,5
61	1928	246922	231342	172845	0,05	7,5
62	1927	246849	231265	172794	0,05	7,5
63	1926	246776	231189	172743	0,05	7,5
64	1925	246704	231112	172693	0,05	7,5
65	1924	246631	231035	172642	0,05	7,5
66	1923	246558	230959	172591	0,05	7,5
67	1921	246326	230715	172429	0,05	7,5
68	1710	229273	212677	160491	0,05	7,5
69	1777	234735	218470	164315	0,05	7,5
70	1800	236641	220487	165649	0,05	7,5
71	1824	238534	222490	166974	0,05	7,5
72	1847	240416	224479	168291	0,05	7,5
73	1870	242286	226453	169600	0,05	7,5
74	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
75	1916	245991	230361	172194	0,05	7,5
76	1939	247827	232296	173479	0,05	7,5
77	1962	249652	234217	174757	0,05	7,5
78	1985	251467	236126	176027	0,05	7,5
79	2008	253271	238023	177290	0,05	7,5
80	2031	255065	239908	178546	0,05	7,5
81	2053	256849	241780	179795	0,05	7,5
82	2076	258624	243642	181037	0,05	7,5
83	2091	259762	244835	181833	0,05	7,5
84	2177	266444	251833	186511	0,05	7,5
85	2187	267263	252690	187084	0,05	7,5
86	2040	255811	240691	179068	0,05	7,5
87	1849	240617	224691	168432	0,05	7,5
88	1854	240984	225078	168689	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]
89	1862	241611	225741	169128	0,05	7,5
90	1870	242237	226402	169566	0,05	7,5
91	1877	242862	227061	170003	0,05	7,5
92	1885	243485	227719	170440	0,05	7,5
93	1893	244107	228375	170875	0,05	7,5
94	1901	244728	229030	171310	0,05	7,5
95	1908	245348	229683	171744	0,05	7,5
96	1807	237148	221024	166004	0,05	7,5
97	1734	231211	214734	161848	0,05	7,5
98	1888	243755	228004	170629	0,05	7,5
99	1879	243007	227215	170105	0,05	7,5
100	1873	242510	226690	169757	0,05	7,5
101	1730	230901	214405	161631	0,05	7,5
102	1773	234441	218158	164109	0,05	7,5
103	1824	238571	222529	167000	0,05	7,5
104	1841	239971	224008	167979	0,05	7,5
105	1865	241837	225979	169286	0,05	7,5
106	1868	242098	226255	169469	0,05	7,5
107	1871	242355	226526	169648	0,05	7,5
108	1874	242611	226797	169828	0,05	7,5
109	1877	242867	227067	170007	0,05	7,5
110	1881	243123	227337	170186	0,05	7,5
111	1884	243379	227607	170365	0,05	7,5
112	1887	243634	227876	170544	0,05	7,5
113	1890	243889	228145	170722	0,05	7,5
114	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
115	1896	244344	228625	171041	0,05	7,5
116	1893	244083	228349	170858	0,05	7,5
117	1889	243821	228074	170675	0,05	7,5
118	1886	243547	227784	170483	0,05	7,5
119	1880	243059	227270	170142	0,05	7,5
120	1852	240865	224954	168606	0,05	7,5
121	1751	232596	216203	162818	0,05	7,5
122	1788	235661	219450	164963	0,05	7,5
123	1789	235699	219490	164989	0,05	7,5
124	1789	235737	219530	165016	0,05	7,5
125	1790	235774	219570	165042	0,05	7,5
126	1790	235812	219610	165068	0,05	7,5
127	1791	235849	219650	165095	0,05	7,5
128	1791	235887	219689	165121	0,05	7,5
129	1791	235871	219672	165110	0,05	7,5
130	1782	235191	218953	164634	0,05	7,5
131	1763	233670	217341	163569	0,05	7,5
132	1734	231291	217897	161904	0,05	7,5
133	1694	228030	213323	159621	0,05	7,5
134	1642	223853	57854	156697	0,05	7,5
135	1580	218712	7625	153099	0,05	7,5
136	423	138744	13533	97121	0,05	7,5
137	406	33393	19782	23375	0,05	7,5
138	547	12001	18959	8401	0,05	7,5
139	507	19777	17995	13844	0,05	7,5
140	462	18746	16881	13123	0,05	7,5
141	412	17564	15582	12295	0,05	7,5
142	355	16193	14052	11335	0,05	7,5
143	277	14184	10255	9929	0,05	7,5
144	167	13038	2341	9126	0,05	7,5
145	132	2479	2744	1735	0,05	7,5
146	193	75348	377	52744	0,05	7,5
147	10	51744	0	36221	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_{v;n;max} = 205 kN/m²
 Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_{traffic;max} = 58 kN/m²
 Maximum reduced soil stress : q_{v;n;max} = 58 kN/m²
 Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
 only for verticals in deep situation : k_{v;max} = 267263 kN/m³

Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 534526 \text{ kN/m}^3$

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	59	26	19	26	0	592
2	171	45	33	45	0	987
3	207	59	27	36	0	847
4	237	69	29	38	0	1087
5	408	85	34	45	0	1330
6	477	101	38	51	0	1592
7	540	117	41	55	0	1838
8	586	129	42	57	0	2025
9	628	140	43	58	0	2195
10	663	149	43	58	0	1998
11	485	156	42	57	0	2024
12	494	159	41	55	0	5171
13	1551	136	36	48	0	6404
14	1757	158	39	53	0	7412
15	1829	165	40	55	0	7769
16	1869	170	41	55	0	7967
17	1898	173	38	52	0	8113
18	1917	175	35	47	0	8208
19	1925	176	33	45	0	8251
20	1926	176	33	45	0	8254
21	1926	176	33	45	0	8254
22	1926	176	33	45	0	8254
23	1926	176	34	45	0	8254
24	1926	176	34	45	0	8254
25	1926	176	34	45	0	8254
26	1926	176	34	45	0	8254
27	1926	176	34	46	0	8254
28	1926	176	34	46	0	8254
29	1926	176	34	46	0	8254
30	1926	176	34	46	0	8254
31	1776	159	31	42	0	7494
32	1742	156	31	41	0	7325
33	1953	179	35	47	0	8392
34	1949	178	35	47	0	8373
35	2015	185	36	48	0	8709
36	2053	190	37	49	0	8907
37	2039	188	36	49	0	8834
38	2025	187	36	49	0	8761
39	2067	191	37	50	0	8979
40	2057	190	37	50	0	8926
41	2045	189	37	50	0	8865
42	2032	187	37	49	0	8801
43	2014	185	36	49	0	8704

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	1915	175	34	46	0	8200
45	1991	183	36	49	0	8589
46	1997	183	36	49	0	8617
47	1987	182	36	49	0	8569
48	1978	181	36	48	0	8521
49	1969	180	36	48	0	8473
50	1959	179	36	48	0	8425
51	1950	178	36	48	0	8377
52	1941	177	35	48	0	8330
53	1935	177	35	48	0	8302
54	1934	177	35	48	0	8297
55	1933	177	35	48	0	8293
56	1933	176	35	48	0	8288
57	1932	176	35	48	0	8283
58	1931	176	36	48	0	8279
59	1930	176	36	48	0	8274
60	1929	176	36	48	0	8269
61	1928	176	36	48	0	8265
62	1927	176	36	48	0	8260
63	1926	176	36	48	0	8255
64	1925	176	36	48	0	8251
65	1924	176	36	48	0	8246
66	1923	175	36	48	0	8241
67	1921	175	36	48	0	8227
68	1710	152	32	43	0	7167
69	1777	160	33	45	0	7500
70	1800	162	34	45	0	7618
71	1824	165	34	46	0	7735
72	1847	167	35	47	0	7853
73	1870	170	35	47	0	7970
74	1893	172	36	48	0	8088
75	1916	175	36	49	0	8205
76	1939	177	37	50	0	8323
77	1962	180	37	50	0	8440
78	1985	182	38	51	0	8558
79	2008	185	38	52	0	8675
80	2031	187	39	52	0	8793
81	2053	190	39	53	0	8910
82	2076	192	40	54	0	9028
83	2091	194	40	54	0	9104
84	2177	204	42	57	0	9554
85	2187	205	43	57	0	9610
86	2040	188	39	53	0	8842
87	1849	167	36	48	0	7865
88	1854	168	36	48	0	7888
89	1862	169	36	48	0	7928
90	1870	170	36	49	0	7967
91	1877	170	36	49	0	8007
92	1885	171	37	49	0	8046
93	1893	172	37	50	0	8085
94	1901	173	37	50	0	8125
95	1908	174	37	50	0	8164
96	1807	163	35	47	0	7649
97	1734	155	34	45	0	7285
98	1888	172	37	50	0	8063
99	1879	171	37	50	0	8016
100	1873	170	37	50	0	7984
101	1730	155	34	46	0	7266
102	1773	159	35	47	0	7482
103	1824	165	36	49	0	7737
104	1841	167	36	49	0	7825
105	1865	169	37	50	0	7942
106	1868	169	37	50	0	7958
107	1871	170	37	50	0	7975
108	1874	170	37	50	0	7991

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	1877	170	37	51	0	8007
110	1881	171	38	51	0	8023
111	1884	171	38	51	0	8039
112	1887	171	38	51	0	8055
113	1890	172	38	51	0	8072
114	1893	172	38	51	0	8088
115	1896	172	38	52	0	8100
116	1893	172	38	52	0	8084
117	1889	172	38	52	0	8067
118	1886	171	38	52	0	8050
119	1880	171	38	51	0	8019
120	1852	168	38	51	0	7881
121	1751	157	35	48	0	7369
122	1788	161	36	49	0	7557
123	1789	161	36	49	0	7559
124	1789	161	36	49	0	7562
125	1790	161	37	49	0	7564
126	1790	161	37	49	0	7566
127	1791	161	37	49	0	7569
128	1791	161	37	50	0	7571
129	1791	161	37	50	0	7570
130	1782	160	39	52	0	7528
131	1763	158	39	52	0	7435
132	1734	155	38	52	0	7289
133	1694	151	38	51	0	7092
134	1642	146	37	51	0	6843
135	1580	139	37	50	0	6558
136	423	134	38	51	0	1758
137	406	128	39	52	0	1681
138	547	119	39	52	0	1864
139	507	109	38	51	0	1707
140	462	98	36	48	0	1533
141	412	85	33	45	0	1341
142	355	72	30	40	0	1133
143	277	54	24	32	0	853
144	167	46	20	27	0	718
145	132	34	26	34	0	547
146	45	19	14	19	0	456
147	0	0	0	0	0	71

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	248	78323	676	54826	0,05	7,5
2	194	4716	3614	3301	0,05	7,5
3	207	3986	4815	2790	0,05	7,5
4	237	15836	3492	11085	0,05	7,5
5	408	17509	13863	12257	0,05	7,5
6	477	19112	17280	13378	0,05	7,5
7	540	20526	18811	14368	0,05	7,5
8	586	21547	19902	15083	0,05	7,5
9	628	17630	20855	12341	0,05	7,5
10	663	8454	21639	5918	0,05	7,5
11	485	87184	17466	61029	0,05	7,5
12	494	205805	10148	144063	0,05	7,5
13	1551	216343	27107	151440	0,05	7,5
14	1757	233323	106006	163326	0,05	7,5
15	1829	239087	177520	167361	0,05	7,5
16	1869	242243	226408	169570	0,05	7,5
17	1898	244551	228843	171186	0,05	7,5
18	1917	246034	230406	172224	0,05	7,5
19	1925	246704	231113	172693	0,05	7,5
20	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
21	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
22	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
23	1926	246749	231160	172724	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]
24	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
25	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
26	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
27	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
28	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
29	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
30	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
31	1776	234627	218355	164239	0,05	7,5
32	1742	231870	215433	162309	0,05	7,5
33	1953	248904	233429	174233	0,05	7,5
34	1949	248612	233122	174029	0,05	7,5
35	2015	253790	238567	177653	0,05	7,5
36	2053	256795	241723	179757	0,05	7,5
37	2039	255687	240561	178981	0,05	7,5
38	2025	254576	239394	178203	0,05	7,5
39	2067	257879	242861	180516	0,05	7,5
40	2057	257087	242029	179961	0,05	7,5
41	2045	256164	241061	179315	0,05	7,5
42	2032	255195	240044	178637	0,05	7,5
43	2014	253710	238484	177597	0,05	7,5
44	1915	245913	230279	172139	0,05	7,5
45	1991	251945	236629	176362	0,05	7,5
46	1997	252373	237079	176661	0,05	7,5
47	1987	251638	236306	176146	0,05	7,5
48	1978	250900	235530	175630	0,05	7,5
49	1969	250161	234752	175113	0,05	7,5
50	1959	249420	233973	174594	0,05	7,5
51	1950	248677	233191	174074	0,05	7,5
52	1941	247933	232407	173553	0,05	7,5
53	1935	247503	231954	173252	0,05	7,5
54	1934	247430	231878	173201	0,05	7,5
55	1933	247358	231801	173150	0,05	7,5
56	1933	247285	231725	173100	0,05	7,5
57	1932	247213	231648	173049	0,05	7,5
58	1931	247140	231572	172998	0,05	7,5
59	1930	247067	231495	172947	0,05	7,5
60	1929	246994	231419	172896	0,05	7,5
61	1928	246922	231342	172845	0,05	7,5
62	1927	246849	231265	172794	0,05	7,5
63	1926	246776	231189	172743	0,05	7,5
64	1925	246704	231112	172693	0,05	7,5
65	1924	246631	231035	172642	0,05	7,5
66	1923	246558	230959	172591	0,05	7,5
67	1921	246326	230715	172429	0,05	7,5
68	1710	229273	212677	160491	0,05	7,5
69	1777	234735	218470	164315	0,05	7,5
70	1800	236641	220487	165649	0,05	7,5
71	1824	238534	222490	166974	0,05	7,5
72	1847	240416	224479	168291	0,05	7,5
73	1870	242286	226453	169600	0,05	7,5
74	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
75	1916	245991	230361	172194	0,05	7,5
76	1939	247827	232296	173479	0,05	7,5
77	1962	249652	234217	174757	0,05	7,5
78	1985	251467	236126	176027	0,05	7,5
79	2008	253271	238023	177290	0,05	7,5
80	2031	255065	239908	178546	0,05	7,5
81	2053	256849	241780	179795	0,05	7,5
82	2076	258624	243642	181037	0,05	7,5
83	2091	259762	244835	181833	0,05	7,5
84	2177	266444	251833	186511	0,05	7,5
85	2187	267263	252690	187084	0,05	7,5
86	2040	255811	240691	179068	0,05	7,5
87	1849	240617	224691	168432	0,05	7,5
88	1854	240984	225078	168689	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]
89	1862	241611	225741	169128	0,05	7,5
90	1870	242237	226402	169566	0,05	7,5
91	1877	242862	227061	170003	0,05	7,5
92	1885	243485	227719	170440	0,05	7,5
93	1893	244107	228375	170875	0,05	7,5
94	1901	244728	229030	171310	0,05	7,5
95	1908	245348	229683	171744	0,05	7,5
96	1807	237148	221024	166004	0,05	7,5
97	1734	231211	214734	161848	0,05	7,5
98	1888	243755	228004	170629	0,05	7,5
99	1879	243007	227215	170105	0,05	7,5
100	1873	242510	226690	169757	0,05	7,5
101	1730	230901	214405	161631	0,05	7,5
102	1773	234441	218158	164109	0,05	7,5
103	1824	238571	222529	167000	0,05	7,5
104	1841	239971	224008	167979	0,05	7,5
105	1865	241837	225979	169286	0,05	7,5
106	1868	242098	226255	169469	0,05	7,5
107	1871	242355	226526	169648	0,05	7,5
108	1874	242611	226797	169828	0,05	7,5
109	1877	242867	227067	170007	0,05	7,5
110	1881	243123	227337	170186	0,05	7,5
111	1884	243379	227607	170365	0,05	7,5
112	1887	243634	227876	170544	0,05	7,5
113	1890	243889	228145	170722	0,05	7,5
114	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
115	1896	244344	228625	171041	0,05	7,5
116	1893	244083	228349	170858	0,05	7,5
117	1889	243821	228074	170675	0,05	7,5
118	1886	243547	227784	170483	0,05	7,5
119	1880	243059	227270	170142	0,05	7,5
120	1852	240865	224954	168606	0,05	7,5
121	1751	232596	216203	162818	0,05	7,5
122	1788	235661	219450	164963	0,05	7,5
123	1789	235699	219490	164989	0,05	7,5
124	1789	235737	219530	165016	0,05	7,5
125	1790	235774	219570	165042	0,05	7,5
126	1790	235812	219610	165068	0,05	7,5
127	1791	235849	219650	165095	0,05	7,5
128	1791	235887	219689	165121	0,05	7,5
129	1791	235871	219672	165110	0,05	7,5
130	1782	235191	218953	164634	0,05	7,5
131	1763	233670	217341	163569	0,05	7,5
132	1734	231291	217897	161904	0,05	7,5
133	1694	228030	213323	159621	0,05	7,5
134	1642	223853	57854	156697	0,05	7,5
135	1580	218712	7625	153099	0,05	7,5
136	423	138744	13533	97121	0,05	7,5
137	406	33393	19782	23375	0,05	7,5
138	547	12001	18959	8401	0,05	7,5
139	507	19777	17995	13844	0,05	7,5
140	462	18746	16881	13123	0,05	7,5
141	412	17564	15582	12295	0,05	7,5
142	355	16193	14052	11335	0,05	7,5
143	277	14184	10255	9929	0,05	7,5
144	167	13038	2341	9126	0,05	7,5
145	132	2479	2744	1735	0,05	7,5
146	193	75348	377	52744	0,05	7,5
147	10	51744	0	36221	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_{v;n;max} = 205 kN/m²
 Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_{traffic;max} = 58 kN/m²
 Maximum reduced soil stress : q_{v;n;max} = 58 kN/m²
 Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
 only for verticals in deep situation : k_{v;max} = 267263 kN/m³

Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation : $k_{v;max} = 534526 \text{ kN/m}^3$

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	59	26	19	26	0	592
2	171	45	33	45	0	987
3	207	59	27	36	0	847
4	237	69	29	38	0	1087
5	408	85	34	45	0	1330
6	477	101	38	51	0	1592
7	540	117	41	55	0	1838
8	586	129	42	57	0	2025
9	628	140	43	58	0	2195
10	663	149	43	58	0	1998
11	485	156	42	57	0	2024
12	494	159	41	55	0	5171
13	1551	136	36	48	0	6404
14	1757	158	39	53	0	7412
15	1829	165	40	55	0	7769
16	1869	170	41	55	0	7967
17	1898	173	38	52	0	8113
18	1917	175	35	47	0	8208
19	1925	176	33	45	0	8251
20	1926	176	33	45	0	8254
21	1926	176	33	45	0	8254
22	1926	176	33	45	0	8254
23	1926	176	34	45	0	8254
24	1926	176	34	45	0	8254
25	1926	176	34	45	0	8254
26	1926	176	34	45	0	8254
27	1926	176	34	46	0	8254
28	1926	176	34	46	0	8254
29	1926	176	34	46	0	8254
30	1926	176	34	46	0	8254
31	1776	159	31	42	0	7494
32	1742	156	31	41	0	7325
33	1953	179	35	47	0	8392
34	1949	178	35	47	0	8373
35	2015	185	36	48	0	8709
36	2053	190	37	49	0	8907
37	2039	188	36	49	0	8834
38	2025	187	36	49	0	8761
39	2067	191	37	50	0	8979
40	2057	190	37	50	0	8926
41	2045	189	37	50	0	8865
42	2032	187	37	49	0	8801
43	2014	185	36	49	0	8704

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	1915	175	34	46	0	8200
45	1991	183	36	49	0	8589
46	1997	183	36	49	0	8617
47	1987	182	36	49	0	8569
48	1978	181	36	48	0	8521
49	1969	180	36	48	0	8473
50	1959	179	36	48	0	8425
51	1950	178	36	48	0	8377
52	1941	177	35	48	0	8330
53	1935	177	35	48	0	8302
54	1934	177	35	48	0	8297
55	1933	177	35	48	0	8293
56	1933	176	35	48	0	8288
57	1932	176	35	48	0	8283
58	1931	176	36	48	0	8279
59	1930	176	36	48	0	8274
60	1929	176	36	48	0	8269
61	1928	176	36	48	0	8265
62	1927	176	36	48	0	8260
63	1926	176	36	48	0	8255
64	1925	176	36	48	0	8251
65	1924	176	36	48	0	8246
66	1923	175	36	48	0	8241
67	1921	175	36	48	0	8227
68	1710	152	32	43	0	7167
69	1777	160	33	45	0	7500
70	1800	162	34	45	0	7618
71	1824	165	34	46	0	7735
72	1847	167	35	47	0	7853
73	1870	170	35	47	0	7970
74	1893	172	36	48	0	8088
75	1916	175	36	49	0	8205
76	1939	177	37	50	0	8323
77	1962	180	37	50	0	8440
78	1985	182	38	51	0	8558
79	2008	185	38	52	0	8675
80	2031	187	39	52	0	8793
81	2053	190	39	53	0	8910
82	2076	192	40	54	0	9028
83	2091	194	40	54	0	9104
84	2177	204	42	57	0	9554
85	2187	205	43	57	0	9610
86	2040	188	39	53	0	8842
87	1849	167	36	48	0	7865
88	1854	168	36	48	0	7888
89	1862	169	36	48	0	7928
90	1870	170	36	49	0	7967
91	1877	170	36	49	0	8007
92	1885	171	37	49	0	8046
93	1893	172	37	50	0	8085
94	1901	173	37	50	0	8125
95	1908	174	37	50	0	8164
96	1807	163	35	47	0	7649
97	1734	155	34	45	0	7285
98	1888	172	37	50	0	8063
99	1879	171	37	50	0	8016
100	1873	170	37	50	0	7984
101	1730	155	34	46	0	7266
102	1773	159	35	47	0	7482
103	1824	165	36	49	0	7737
104	1841	167	36	49	0	7825
105	1865	169	37	50	0	7942
106	1868	169	37	50	0	7958
107	1871	170	37	50	0	7975
108	1874	170	37	50	0	7991

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	1877	170	37	51	0	8007
110	1881	171	38	51	0	8023
111	1884	171	38	51	0	8039
112	1887	171	38	51	0	8055
113	1890	172	38	51	0	8072
114	1893	172	38	51	0	8088
115	1896	172	38	52	0	8100
116	1893	172	38	52	0	8084
117	1889	172	38	52	0	8067
118	1886	171	38	52	0	8050
119	1880	171	38	51	0	8019
120	1852	168	38	51	0	7881
121	1751	157	35	48	0	7369
122	1788	161	36	49	0	7557
123	1789	161	36	49	0	7559
124	1789	161	36	49	0	7562
125	1790	161	37	49	0	7564
126	1790	161	37	49	0	7566
127	1791	161	37	49	0	7569
128	1791	161	37	50	0	7571
129	1791	161	37	50	0	7570
130	1782	160	39	52	0	7528
131	1763	158	39	52	0	7435
132	1734	155	38	52	0	7289
133	1694	151	38	51	0	7092
134	1642	146	37	51	0	6843
135	1580	139	37	50	0	6558
136	423	134	38	51	0	1758
137	406	128	39	52	0	1681
138	547	119	39	52	0	1864
139	507	109	38	51	0	1707
140	462	98	36	48	0	1533
141	412	85	33	45	0	1341
142	355	72	30	40	0	1133
143	277	54	24	32	0	853
144	167	46	20	27	0	718
145	132	34	26	34	0	547
146	45	19	14	19	0	456
147	0	0	0	0	0	71

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	248	78323	676	54826	0,05	7,5
2	194	4716	3614	3301	0,05	7,5
3	207	3986	4815	2790	0,05	7,5
4	237	15836	3492	11085	0,05	7,5
5	408	17509	13863	12257	0,05	7,5
6	477	19112	17280	13378	0,05	7,5
7	540	20526	18811	14368	0,05	7,5
8	586	21547	19902	15083	0,05	7,5
9	628	17630	20855	12341	0,05	7,5
10	663	8454	21639	5918	0,05	7,5
11	485	87184	17466	61029	0,05	7,5
12	494	205805	10148	144063	0,05	7,5
13	1551	216343	27107	151440	0,05	7,5
14	1757	233323	106006	163326	0,05	7,5
15	1829	239087	177520	167361	0,05	7,5
16	1869	242243	226408	169570	0,05	7,5
17	1898	244551	228843	171186	0,05	7,5
18	1917	246034	230406	172224	0,05	7,5
19	1925	246704	231113	172693	0,05	7,5
20	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
21	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
22	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
23	1926	246749	231160	172724	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]
24	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
25	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
26	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
27	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
28	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
29	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
30	1926	246749	231160	172724	0,05	7,5
31	1776	234627	218355	164239	0,05	7,5
32	1742	231870	215433	162309	0,05	7,5
33	1953	248904	233429	174233	0,05	7,5
34	1949	248612	233122	174029	0,05	7,5
35	2015	253790	238567	177653	0,05	7,5
36	2053	256795	241723	179757	0,05	7,5
37	2039	255687	240561	178981	0,05	7,5
38	2025	254576	239394	178203	0,05	7,5
39	2067	257879	242861	180516	0,05	7,5
40	2057	257087	242029	179961	0,05	7,5
41	2045	256164	241061	179315	0,05	7,5
42	2032	255195	240044	178637	0,05	7,5
43	2014	253710	238484	177597	0,05	7,5
44	1915	245913	230279	172139	0,05	7,5
45	1991	251945	236629	176362	0,05	7,5
46	1997	252373	237079	176661	0,05	7,5
47	1987	251638	236306	176146	0,05	7,5
48	1978	250900	235530	175630	0,05	7,5
49	1969	250161	234752	175113	0,05	7,5
50	1959	249420	233973	174594	0,05	7,5
51	1950	248677	233191	174074	0,05	7,5
52	1941	247933	232407	173553	0,05	7,5
53	1935	247503	231954	173252	0,05	7,5
54	1934	247430	231878	173201	0,05	7,5
55	1933	247358	231801	173150	0,05	7,5
56	1933	247285	231725	173100	0,05	7,5
57	1932	247213	231648	173049	0,05	7,5
58	1931	247140	231572	172998	0,05	7,5
59	1930	247067	231495	172947	0,05	7,5
60	1929	246994	231419	172896	0,05	7,5
61	1928	246922	231342	172845	0,05	7,5
62	1927	246849	231265	172794	0,05	7,5
63	1926	246776	231189	172743	0,05	7,5
64	1925	246704	231112	172693	0,05	7,5
65	1924	246631	231035	172642	0,05	7,5
66	1923	246558	230959	172591	0,05	7,5
67	1921	246326	230715	172429	0,05	7,5
68	1710	229273	212677	160491	0,05	7,5
69	1777	234735	218470	164315	0,05	7,5
70	1800	236641	220487	165649	0,05	7,5
71	1824	238534	222490	166974	0,05	7,5
72	1847	240416	224479	168291	0,05	7,5
73	1870	242286	226453	169600	0,05	7,5
74	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
75	1916	245991	230361	172194	0,05	7,5
76	1939	247827	232296	173479	0,05	7,5
77	1962	249652	234217	174757	0,05	7,5
78	1985	251467	236126	176027	0,05	7,5
79	2008	253271	238023	177290	0,05	7,5
80	2031	255065	239908	178546	0,05	7,5
81	2053	256849	241780	179795	0,05	7,5
82	2076	258624	243642	181037	0,05	7,5
83	2091	259762	244835	181833	0,05	7,5
84	2177	266444	251833	186511	0,05	7,5
85	2187	267263	252690	187084	0,05	7,5
86	2040	255811	240691	179068	0,05	7,5
87	1849	240617	224691	168432	0,05	7,5
88	1854	240984	225078	168689	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]
89	1862	241611	225741	169128	0,05	7,5
90	1870	242237	226402	169566	0,05	7,5
91	1877	242862	227061	170003	0,05	7,5
92	1885	243485	227719	170440	0,05	7,5
93	1893	244107	228375	170875	0,05	7,5
94	1901	244728	229030	171310	0,05	7,5
95	1908	245348	229683	171744	0,05	7,5
96	1807	237148	221024	166004	0,05	7,5
97	1734	231211	214734	161848	0,05	7,5
98	1888	243755	228004	170629	0,05	7,5
99	1879	243007	227215	170105	0,05	7,5
100	1873	242510	226690	169757	0,05	7,5
101	1730	230901	214405	161631	0,05	7,5
102	1773	234441	218158	164109	0,05	7,5
103	1824	238571	222529	167000	0,05	7,5
104	1841	239971	224008	167979	0,05	7,5
105	1865	241837	225979	169286	0,05	7,5
106	1868	242098	226255	169469	0,05	7,5
107	1871	242355	226526	169648	0,05	7,5
108	1874	242611	226797	169828	0,05	7,5
109	1877	242867	227067	170007	0,05	7,5
110	1881	243123	227337	170186	0,05	7,5
111	1884	243379	227607	170365	0,05	7,5
112	1887	243634	227876	170544	0,05	7,5
113	1890	243889	228145	170722	0,05	7,5
114	1893	244144	228414	170901	0,05	7,5
115	1896	244344	228625	171041	0,05	7,5
116	1893	244083	228349	170858	0,05	7,5
117	1889	243821	228074	170675	0,05	7,5
118	1886	243547	227784	170483	0,05	7,5
119	1880	243059	227270	170142	0,05	7,5
120	1852	240865	224954	168606	0,05	7,5
121	1751	232596	216203	162818	0,05	7,5
122	1788	235661	219450	164963	0,05	7,5
123	1789	235699	219490	164989	0,05	7,5
124	1789	235737	219530	165016	0,05	7,5
125	1790	235774	219570	165042	0,05	7,5
126	1790	235812	219610	165068	0,05	7,5
127	1791	235849	219650	165095	0,05	7,5
128	1791	235887	219689	165121	0,05	7,5
129	1791	235871	219672	165110	0,05	7,5
130	1782	235191	218953	164634	0,05	7,5
131	1763	233670	217341	163569	0,05	7,5
132	1734	231291	217897	161904	0,05	7,5
133	1694	228030	213323	159621	0,05	7,5
134	1642	223853	57854	156697	0,05	7,5
135	1580	218712	7625	153099	0,05	7,5
136	423	138744	13533	97121	0,05	7,5
137	406	33393	19782	23375	0,05	7,5
138	547	12001	18959	8401	0,05	7,5
139	507	19777	17995	13844	0,05	7,5
140	462	18746	16881	13123	0,05	7,5
141	412	17564	15582	12295	0,05	7,5
142	355	16193	14052	11335	0,05	7,5
143	277	14184	10255	9929	0,05	7,5
144	167	13038	2341	9126	0,05	7,5
145	132	2479	2744	1735	0,05	7,5
146	193	75348	377	52744	0,05	7,5
147	10	51744	0	36221	0,05	7,5

Maximum soil stress : q_{v;n;max} = 205 kN/m²
 Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads) : q_{traffic;max} = 58 kN/m²
 Maximum reduced soil stress : q_{v;n;max} = 58 kN/m²
 Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor)
 only for verticals in deep situation : k_{v;max} = 267263 kN/m³

Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor)
only for verticals in deep situation

: $k_{v;max} = 534526 \text{ kN/m}^3$

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
9	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
8	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
7	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
6	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
5	Zand, kleiig, los	Calculated with E100
4	Zand, kleiig, los	Calculated with E100
3	Zand, kleiig, los	Calculated with E100
2	Klei, matig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5,003 m)		Vertical 2 (L=10,006 m)		Vertical 3 (L=15,009 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,806	0,000	1,801	0,000	1,797
8	1,806	3,355	1,801	3,294	1,797	3,234
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	2,013	2,376	1,977	2,342	1,940	2,307
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,644	10,086	8,565	10,018	8,485	9,950
3	10,086	12,360	10,018	12,306	9,950	12,253
2	4,210	4,525	4,181	4,496	4,152	4,467
1	96,965	137,584	96,579	137,306	96,191	137,027

Layer number	Vertical 4 (L=20,012 m)		Vertical 5 (L=25,015 m)		Vertical 6 (L=30,018 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,792	0,000	1,879	0,000	2,058
8	1,792	3,173	1,879	3,192	2,058	3,293
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,904	2,272	1,915	2,283	1,976	2,341
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,405	9,882	8,430	9,903	8,563	10,016
3	9,882	12,199	9,903	12,217	10,016	12,312
2	4,123	4,438	4,133	4,448	4,184	4,498
1	95,802	136,748	95,933	136,834	96,604	137,299

Layer number	Vertical 7 (L=35,021 m)		Vertical 8 (L=40,024 m)		Vertical 9 (L=45,027 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,238	0,000	2,259	0,000	2,278
8	2,238	3,397	2,259	3,383	2,278	3,369
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	2,038	2,401	2,030	2,393	2,022	2,385
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,700	10,134	8,682	10,118	8,663	10,102
3	10,134	12,409	10,118	12,398	10,102	12,386
2	4,237	4,550	4,231	4,544	4,225	4,537
1	97,298	137,782	97,215	137,717	97,131	137,652

Layer number	Vertical 10 (L=50,03 m)		Vertical 11 (L=55,033 m)		Vertical 12 (L=60,036 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,271	0,000	2,255	0,000	2,136
8	2,271	3,332	2,255	3,286	2,136	3,146
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,999	2,363	1,972	2,337	1,888	2,256
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,615	10,061	8,555	10,009	8,369	9,851
3	10,061	12,354	10,009	12,314	9,851	12,187

Layer number	Vertical 10 (L=50,03 m)		Vertical 11 (L=55,033 m)		Vertical 12 (L=60,036 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
2	4,207	4,520	4,186	4,498	4,117	4,430
1	96,897	137,481	96,604	137,269	95,695	136,624

Layer number	Vertical 13 (L=65,039 m)		Vertical 14 (L=70,042 m)		Vertical 15 (L=75,045 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	0,533	0,000	1,483	0,000	1,643
8	0,533	1,748	1,483	2,497	1,643	2,605
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,049	1,467	1,498	1,886	1,563	1,947
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	6,395	8,240	7,483	9,110	7,633	9,234
3	8,240	10,928	9,110	11,600	9,234	11,699
2	3,458	3,784	3,804	4,123	3,856	4,174
1	86,715	130,485	91,491	133,700	92,195	134,177

Layer number	Vertical 16 (L=80,048 m)		Vertical 17 (L=85,051 m)		Vertical 18 (L=90,054 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,680	0,000	1,717	0,000	1,754
8	1,680	2,605	1,717	2,605	1,754	2,605
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,563	1,947	1,563	1,947	1,563	1,947
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,633	9,234	7,633	9,234	7,633	9,234
3	9,234	11,701	9,234	11,703	9,234	11,704
2	3,857	4,175	3,858	4,175	3,859	4,176
1	92,204	134,177	92,213	134,177	92,222	134,177

Layer number	Vertical 19 (L=95,057 m)		Vertical 20 (L=100,06 m)		Vertical 21 (L=105,063 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,790	0,000	1,827	0,000	1,863
8	1,790	2,605	1,827	2,605	1,863	2,605
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,563	1,947	1,563	1,947	1,563	1,947
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,633	9,234	7,633	9,234	7,633	9,234
3	9,234	11,706	9,234	11,708	9,234	11,710
2	3,860	4,177	3,861	4,177	3,862	4,178
1	92,231	134,177	92,240	134,177	92,250	134,177

Layer number	Vertical 22 (L=110,066 m)		Vertical 23 (L=115,069 m)		Vertical 24 (L=120,072 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,899	0,000	1,935	0,000	1,971
8	1,899	2,605	1,935	2,605	1,971	2,605
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,563	1,947	1,563	1,947	1,563	1,947
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,633	9,234	7,633	9,234	7,633	9,234
3	9,234	11,711	9,234	11,713	9,234	11,715
2	3,863	4,179	3,864	4,179	3,865	4,180
1	92,259	134,177	92,268	134,177	92,277	134,177

Layer number	Vertical 25 (L=125,075 m)		Vertical 26 (L=130,078 m)		Vertical 27 (L=135,081 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,007	0,000	2,042	0,000	2,078
8	2,007	2,605	2,042	2,605	2,078	2,605
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,563	1,947	1,563	1,947	1,563	1,947
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,633	9,234	7,633	9,234	7,633	9,234

Layer number	Vertical 25 (L=125,075 m)		Vertical 26 (L=130,078 m)		Vertical 27 (L=135,081 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
3	9,234	11,717	9,234	11,718	9,234	11,720
2	3,866	4,181	3,866	4,181	3,867	4,182
1	92,286	134,177	92,295	134,177	92,304	134,177

Layer number	Vertical 28 (L=140,084 m)		Vertical 29 (L=145,087 m)		Vertical 30 (L=150,09 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,113	0,000	2,148	0,000	2,183
8	2,113	2,605	2,148	2,605	2,183	2,605
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,563	1,947	1,563	1,947	1,563	1,947
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,633	9,234	7,633	9,234	7,633	9,234
3	9,234	11,722	9,234	11,724	9,234	11,725
2	3,868	4,183	3,869	4,183	3,870	4,184
1	92,313	134,177	92,323	134,177	92,332	134,177

Layer number	Vertical 31 (L=155,093 m)		Vertical 32 (L=160,096 m)		Vertical 33 (L=165,099 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,376	0,000	1,213	0,000	2,429
8	1,376	1,806	1,213	1,617	2,429	2,743
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,084	1,499	0,970	1,395	1,646	2,026
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	6,481	8,307	6,196	8,087	7,824	9,392
3	8,307	11,012	8,087	10,849	9,392	11,856
2	3,500	3,821	3,418	3,740	3,939	4,251
1	87,248	130,724	86,087	129,946	93,256	134,795

Layer number	Vertical 34 (L=170,102 m)		Vertical 35 (L=175,105 m)		Vertical 36 (L=180,108 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,444	0,000	2,815	0,000	3,040
8	2,444	2,725	2,815	3,054	3,040	3,244
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,635	2,015	1,833	2,204	1,946	2,313
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,799	9,371	8,246	9,747	8,499	9,961
3	9,371	11,841	9,747	12,142	9,961	12,317
2	3,931	4,243	4,093	4,401	4,187	4,494
1	93,144	134,712	95,298	136,204	96,545	137,074

Layer number	Vertical 37 (L=185,111 m)		Vertical 38 (L=190,114 m)		Vertical 39 (L=195,117 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,002	0,000	2,963	0,000	3,205
8	3,002	3,174	2,963	3,104	3,205	3,312
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,905	2,272	1,862	2,232	1,987	2,352
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,406	9,883	8,313	9,803	8,589	10,038
3	9,883	12,255	9,803	12,192	10,038	12,384
2	4,153	4,460	4,120	4,427	4,224	4,529
1	96,098	136,753	95,649	136,431	97,017	137,388

Layer number	Vertical 40 (L=200,12 m)		Vertical 41 (L=205,123 m)		Vertical 42 (L=210,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,186	0,000	3,160	0,000	3,130
8	3,186	3,262	3,160	3,204	3,130	3,143
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,957	2,323	1,923	2,290	1,886	2,255
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Layer number	Vertical 40 (L=200,12 m)		Vertical 41 (L=205,123 m)		Vertical 42 (L=210,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
4	8,523	9,982	8,446	9,917	8,365	9,848
3	9,982	12,340	9,917	12,289	9,848	12,235
2	4,200	4,505	4,172	4,478	4,143	4,449
1	96,700	137,158	96,329	136,891	95,939	136,610

Layer number	Vertical 43 (L=215,129 m)		Vertical 44 (L=220,132 m)		Vertical 45 (L=225,135 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,049	0,000	2,551	0,000	2,937
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,830	1,838	1,531	1,553	1,762	1,797
6	1,838	2,201	1,553	1,917	1,797	2,137
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,240	9,741	7,558	9,172	8,089	9,614
3	9,741	12,151	9,172	11,701	9,614	12,053
2	4,097	4,404	3,857	4,168	4,044	4,351
1	95,336	136,181	92,111	133,937	94,624	135,671

Layer number	Vertical 46 (L=230,138 m)		Vertical 47 (L=235,141 m)		Vertical 48 (L=240,144 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,964	0,000	2,918	0,000	2,871
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,779	1,827	1,751	1,813	1,722	1,798
6	1,827	2,152	1,813	2,126	1,798	2,099
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,126	9,645	8,062	9,592	7,999	9,538
3	9,645	12,079	9,592	12,038	9,538	11,997
2	4,059	4,365	4,037	4,343	4,015	4,322
1	94,810	135,795	94,515	135,583	94,218	135,370

Layer number	Vertical 49 (L=245,147 m)		Vertical 50 (L=250,15 m)		Vertical 51 (L=255,153 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,824	0,000	2,776	0,000	2,729
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,694	1,784	1,666	1,770	1,637	1,755
6	1,784	2,072	1,770	2,045	1,755	2,018
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,934	9,484	7,870	9,430	7,804	9,376
3	9,484	11,956	9,430	11,915	9,376	11,874
2	3,993	4,300	3,971	4,278	3,949	4,256
1	93,921	135,157	93,623	134,944	93,324	134,730

Layer number	Vertical 52 (L=260,156 m)		Vertical 53 (L=265,159 m)		Vertical 54 (L=270,162 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,681	0,000	2,653	0,000	2,649
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,609	1,741	1,592	1,738	1,589	1,749
6	1,741	1,991	1,738	1,975	1,749	1,972
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,738	9,321	7,700	9,289	7,694	9,284
3	9,321	11,832	9,289	11,809	9,284	11,807
2	3,927	4,234	3,914	4,222	3,913	4,220
1	93,024	134,516	92,855	134,393	92,834	134,372

Layer number	Vertical 55 (L=275,165 m)		Vertical 56 (L=280,168 m)		Vertical 57 (L=285,171 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,644	0,000	2,639	0,000	2,635
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,586	1,760	1,584	1,770	1,581	1,781
6	1,760	1,970	1,770	1,967	1,781	1,964

Layer number	Vertical 55 (L=275,165 m)		Vertical 56 (L=280,168 m)		Vertical 57 (L=285,171 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,687	9,279	7,681	9,273	7,674	9,268
3	9,279	11,804	9,273	11,802	9,268	11,799
2	3,912	4,219	3,911	4,217	3,909	4,216
1	92,812	134,351	92,791	134,331	92,770	134,310

Layer number	Vertical 58 (L=290,174 m)		Vertical 59 (L=295,177 m)		Vertical 60 (L=300,18 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,630	0,000	2,625	0,000	2,621
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,578	1,792	1,575	1,803	1,572	1,814
6	1,792	1,962	1,803	1,959	1,814	1,956
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,668	9,263	7,661	9,257	7,655	9,252
3	9,263	11,797	9,257	11,794	9,252	11,792
2	3,908	4,214	3,907	4,213	3,905	4,211
1	92,749	134,289	92,728	134,268	92,707	134,247

Layer number	Vertical 61 (L=305,183 m)		Vertical 62 (L=310,186 m)		Vertical 63 (L=315,189 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,616	0,000	2,611	0,000	2,607
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,570	1,824	1,567	1,835	1,564	1,846
6	1,824	1,954	1,835	1,951	1,846	1,948
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,648	9,246	7,642	9,241	7,635	9,236
3	9,246	11,789	9,241	11,787	9,236	11,784
2	3,904	4,210	3,903	4,208	3,901	4,207
1	92,686	134,226	92,665	134,205	92,643	134,185

Layer number	Vertical 64 (L=320,192 m)		Vertical 65 (L=325,195 m)		Vertical 66 (L=330,198 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,602	0,000	2,597	0,000	2,593
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,561	1,857	1,558	1,867	1,556	1,878
6	1,857	1,946	1,867	1,943	1,878	1,940
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,629	9,230	7,622	9,225	7,616	9,219
3	9,230	11,782	9,225	11,779	9,219	11,777
2	3,900	4,205	3,899	4,203	3,897	4,202
1	92,622	134,164	92,601	134,143	92,580	134,122

Layer number	Vertical 67 (L=335,201 m)		Vertical 68 (L=340,204 m)		Vertical 69 (L=345,207 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,578	0,000	1,436	0,000	1,813
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,547	1,883	0,862	1,257	1,088	1,479
6	1,883	1,932	1,257	1,296	1,479	1,503
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,595	9,202	5,918	7,876	6,492	8,315
3	9,202	11,765	7,876	10,761	8,315	11,089
2	3,891	4,196	3,374	3,688	3,539	3,850
1	92,493	134,056	85,336	129,215	87,659	130,755

Layer number	Vertical 70 (L=350,21 m)		Vertical 71 (L=355,213 m)		Vertical 72 (L=360,216 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,942	0,000	2,068	0,000	2,193
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,165	1,565	1,241	1,645	1,316	1,714

Layer number	Vertical 70 (L=350,21 m)		Vertical 71 (L=355,213 m)		Vertical 72 (L=360,216 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
6	1,565	1,574	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	n.a.	n.a.	6,868	6,885	7,049	7,115
4	6,683	8,465	6,885	8,612	7,115	8,757
3	8,465	11,203	8,612	11,317	8,757	11,429
2	3,598	3,908	3,657	3,965	3,715	4,021
1	88,472	131,294	89,277	131,832	90,074	132,367

Layer number	Vertical 73 (L=365,219 m)		Vertical 74 (L=370,222 m)		Vertical 75 (L=375,225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,315	0,000	2,436	0,000	2,556
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,389	1,783	1,462	1,852	1,534	1,919
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,225	7,338	7,397	7,554	7,565	7,764
4	7,338	8,899	7,554	9,039	7,764	9,177
3	8,899	11,540	9,039	11,650	9,177	11,759
2	3,773	4,078	3,831	4,135	3,888	4,191
1	90,865	132,900	91,649	133,431	92,426	133,959

Layer number	Vertical 76 (L=380,228 m)		Vertical 77 (L=385,231 m)		Vertical 78 (L=390,234 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,674	0,000	2,791	0,000	2,907
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,605	1,987	1,675	2,053	1,744	2,119
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,729	7,969	7,890	8,169	8,048	8,363
4	7,969	9,313	8,169	9,447	8,363	9,579
3	9,313	11,868	9,447	11,975	9,579	12,081
2	3,946	4,247	4,003	4,303	4,060	4,358
1	93,197	134,486	93,962	135,011	94,720	135,533

Layer number	Vertical 79 (L=395,237 m)		Vertical 80 (L=400,24 m)		Vertical 81 (L=405,243 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,021	0,000	3,135	0,000	3,247
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,813	2,185	1,881	2,250	1,948	2,315
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	8,202	8,554	8,354	8,740	8,503	8,922
4	8,554	9,710	8,740	9,838	8,922	9,965
3	9,710	12,186	9,838	12,291	9,965	12,394
2	4,116	4,414	4,173	4,469	4,229	4,524
1	95,472	136,054	96,219	136,573	96,959	137,089

Layer number	Vertical 82 (L=410,246 m)		Vertical 83 (L=415,249 m)		Vertical 84 (L=420,252 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,359	0,000	3,430	0,000	3,847
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	2,015	2,379	2,058	2,420	2,308	2,661
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	8,650	9,101	8,743	9,228	9,277	9,772
4	9,101	10,091	9,228	10,171	9,772	10,633
3	10,091	12,497	10,171	12,563	10,633	12,942
2	4,285	4,579	4,322	4,615	4,532	4,822
1	97,694	137,604	98,168	137,935	100,896	139,883

Layer number	Vertical 85 (L=425,255 m)		Vertical 86 (L=430,258 m)		Vertical 87 (L=435,261 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,898	0,000	3,182	0,000	2,206
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Layer number	Vertical 85 (L=425,255 m)		Vertical 86 (L=430,258 m)		Vertical 87 (L=435,261 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
7	2,339	2,690	1,909	2,277	1,323	1,722
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	9,341	9,869	8,417	9,038	7,068	7,842
4	9,869	10,689	9,038	9,892	7,842	8,772
3	10,689	12,989	9,892	12,343	8,772	11,467
2	4,559	4,848	4,201	4,496	3,735	4,037
1	101,236	140,123	96,577	136,789	90,298	132,424

Layer number	Vertical 88 (L=440,264 m)		Vertical 89 (L=445,267 m)		Vertical 90 (L=450,27 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,230	0,000	2,271	0,000	2,312
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,338	1,735	1,363	1,758	1,387	1,782
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,102	7,918	7,162	8,016	7,220	8,112
4	7,918	8,800	8,016	8,848	8,112	8,896
3	8,800	11,491	8,848	11,529	8,896	11,567
2	3,747	4,049	3,767	4,069	3,787	4,088
1	90,461	132,528	90,732	132,707	91,002	132,886

Layer number	Vertical 91 (L=455,273 m)		Vertical 92 (L=460,276 m)		Vertical 93 (L=465,279 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,353	0,000	2,394	0,000	2,434
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,412	1,805	1,436	1,828	1,460	1,850
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,278	8,207	7,336	8,301	7,393	8,394
4	8,207	8,943	8,301	8,990	8,394	9,037
3	8,943	11,606	8,990	11,644	9,037	11,681
2	3,807	4,107	3,827	4,127	3,847	4,146
1	91,272	133,064	91,540	133,242	91,808	133,420

Layer number	Vertical 94 (L=470,282 m)		Vertical 95 (L=475,285 m)		Vertical 96 (L=480,288 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,474	0,000	2,514	0,000	1,976
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,485	1,873	1,509	1,896	1,185	1,593
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,450	8,486	7,507	8,576	6,733	7,953
4	8,486	9,083	8,576	9,129	7,953	8,505
3	9,083	11,719	9,129	11,757	8,505	11,280
2	3,867	4,165	3,887	4,185	3,638	3,940
1	92,075	133,598	92,342	133,775	88,931	131,438

Layer number	Vertical 97 (L=485,291 m)		Vertical 98 (L=490,294 m)		Vertical 99 (L=495,297 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,572	0,000	2,411	0,000	2,362
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	0,943	1,370	1,447	1,837	1,417	1,810
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,127	7,494	7,361	8,574	7,292	8,556
4	7,494	8,033	8,574	9,010	8,556	8,954
3	8,033	10,931	9,010	11,670	8,954	11,628
2	3,459	3,765	3,841	4,139	3,819	4,117
1	86,442	129,760	91,708	133,320	91,406	133,106

Layer number	Vertical 100 (L=500,3 m)		Vertical 101 (L=505,303 m)		Vertical 102 (L=510,306 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,330	0,000	1,550	0,000	1,793

Layer number	Vertical 100 (L=500,3 m)		Vertical 101 (L=505,303 m)		Vertical 102 (L=510,306 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,398	1,792	0,930	1,358	1,076	1,492
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,246	8,558	6,094	7,654	6,462	7,995
4	8,558	8,916	7,654	8,008	7,995	8,292
3	8,916	11,601	8,008	10,920	8,292	11,132
2	3,805	4,103	3,454	3,759	3,561	3,864
1	91,208	132,964	86,350	129,673	87,852	130,671

Layer number	Vertical 103 (L=515,309 m)		Vertical 104 (L=520,312 m)		Vertical 105 (L=525,315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,071	0,000	2,163	0,000	2,286
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,242	1,646	1,298	1,698	1,372	1,767
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,872	8,372	7,006	8,524	7,183	8,711
4	8,372	8,615	8,524	8,723	8,711	8,865
3	8,615	11,376	8,723	11,460	8,865	11,571
2	3,687	3,987	3,731	4,030	3,789	4,086
1	89,593	131,842	90,187	132,240	90,974	132,772

Layer number	Vertical 106 (L=530,318 m)		Vertical 107 (L=535,321 m)		Vertical 108 (L=540,324 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,303	0,000	2,320	0,000	2,337
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,382	1,776	1,392	1,786	1,402	1,795
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,207	8,771	7,231	8,831	7,255	8,890
4	8,771	8,885	8,831	8,905	8,890	8,924
3	8,885	11,588	8,905	11,604	8,924	11,621
2	3,798	4,094	3,806	4,103	3,815	4,111
1	91,093	132,846	91,208	132,920	91,324	132,993

Layer number	Vertical 109 (L=545,327 m)		Vertical 110 (L=550,33 m)		Vertical 111 (L=555,333 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,353	0,000	2,370	0,000	2,387
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,412	1,805	1,422	1,814	1,432	1,824
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,279	8,956	7,303	9,059	7,326	9,159
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	8,956	11,637	9,059	11,654	9,159	11,671
2	3,824	4,119	3,833	4,128	3,841	4,136
1	91,440	133,066	91,555	133,139	91,671	133,212

Layer number	Vertical 112 (L=560,336 m)		Vertical 113 (L=565,339 m)		Vertical 114 (L=570,342 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,403	0,000	2,420	0,000	2,436
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,442	1,833	1,452	1,842	1,462	1,852
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,350	9,259	7,373	9,358	7,397	9,456
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,259	11,687	9,358	11,704	9,456	11,720
2	3,850	4,144	3,859	4,153	3,867	4,161
1	91,786	133,285	91,901	133,358	92,016	133,431

Layer number	Vertical 115 (L=575,345 m)		Vertical 116 (L=580,348 m)		Vertical 117 (L=585,351 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,449	0,000	2,432	0,000	2,415
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,470	1,859	1,459	1,849	1,449	1,840
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,415	9,549	7,391	9,608	7,367	9,667
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,549	11,734	9,608	11,720	9,667	11,707
2	3,874	4,168	3,867	4,161	3,860	4,153
1	92,108	133,488	92,009	133,413	91,910	133,338

Layer number	Vertical 118 (L=590,354 m)		Vertical 119 (L=595,357 m)		Vertical 120 (L=600,36 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,398	0,000	2,366	0,000	2,222
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,439	1,830	1,419	1,812	1,333	1,731
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,342	9,725	7,297	9,768	7,091	9,693
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,725	11,693	9,768	11,666	9,693	11,541
2	3,853	4,146	3,839	4,132	3,773	4,067
1	91,805	133,260	91,612	133,121	90,709	132,495

Layer number	Vertical 121 (L=605,363 m)		Vertical 122 (L=610,366 m)		Vertical 123 (L=615,369 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,667	0,000	1,876	0,000	1,878
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,000	1,422	1,126	1,537	1,127	1,539
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,272	9,192	6,585	9,488	6,589	9,568
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,192	11,058	9,488	11,240	9,568	11,244
2	3,524	3,822	3,617	3,913	3,619	3,915
1	87,259	130,151	88,555	131,017	88,580	131,027

Layer number	Vertical 124 (L=620,372 m)		Vertical 125 (L=625,375 m)		Vertical 126 (L=630,378 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,881	0,000	1,883	0,000	1,886
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,129	1,540	1,130	1,542	1,132	1,543
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,593	9,649	6,596	9,728	6,600	9,807
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,649	11,248	9,728	11,252	9,807	11,256
2	3,621	3,917	3,623	3,919	3,625	3,921
1	88,606	131,038	88,631	131,049	88,656	131,059

Layer number	Vertical 127 (L=635,381 m)		Vertical 128 (L=640,384 m)		Vertical 129 (L=645,387 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,889	0,000	1,891	0,000	1,894
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,133	1,545	1,135	1,546	1,136	1,547
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,604	9,886	6,608	9,964	6,611	10,041
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,886	11,260	9,964	11,264	10,041	11,268
2	3,627	3,922	3,629	3,924	3,632	3,926
1	88,681	131,070	88,707	131,081	88,732	131,091

Layer number	Vertical 130 (L=650,39 m)		Vertical 131 (L=655,393 m)		Vertical 132 (L=660,396 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,896	0,000	1,899	0,000	1,901
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,138	1,549	1,139	1,550	1,141	1,552
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,615	10,117	6,619	10,193	6,623	10,269
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,117	11,272	10,193	11,276	10,269	11,280
2	3,634	3,928	3,636	3,930	3,638	3,931
1	88,757	131,102	88,782	131,112	88,807	131,123

Layer number	Vertical 133 (L=665,399 m)		Vertical 134 (L=670,402 m)		Vertical 135 (L=675,405 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,904	0,000	1,906	0,000	1,909
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,142	1,553	1,144	1,554	1,145	1,556
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,626	10,343	6,630	10,418	6,634	10,492
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,343	11,284	10,418	11,288	10,492	11,292
2	3,640	3,933	3,642	3,935	3,644	3,937
1	88,833	131,134	88,858	131,144	88,883	131,155

Layer number	Vertical 136 (L=680,408 m)		Vertical 137 (L=685,411 m)		Vertical 138 (L=690,414 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,911	0,000	1,914	0,000	1,916
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,147	1,557	1,148	1,559	1,150	1,560
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,638	10,565	6,641	10,638	6,645	10,710
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,565	11,296	10,638	11,300	10,710	11,304
2	3,646	3,938	3,648	3,940	3,650	3,942
1	88,908	131,166	88,933	131,176	88,958	131,187

Layer number	Vertical 139 (L=695,417 m)		Vertical 140 (L=700,42 m)		Vertical 141 (L=705,423 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,919	0,000	1,921	0,000	1,924
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,151	1,561	1,153	1,563	1,154	1,564
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,649	10,782	6,652	10,853	6,656	10,924
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,782	11,308	10,853	11,312	10,924	11,316
2	3,652	3,944	3,654	3,946	3,656	3,947
1	88,984	131,198	89,009	131,208	89,034	131,219

Layer number	Vertical 142 (L=710,426 m)		Vertical 143 (L=715,429 m)		Vertical 144 (L=720,432 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,926	0,000	1,754	0,000	2,075
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,156	1,566	1,052	1,470	1,245	1,649
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,660	10,994	6,403	10,909	6,878	11,261
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,994	11,320	10,909	11,173	11,261	11,454
2	3,658	3,949	3,582	3,874	3,728	4,017
1	89,059	131,230	88,000	130,507	90,007	131,862

Layer number	Vertical 145 (L=725,435 m)		Vertical 146 (L=730,438 m)		Vertical 147 (L=735,441 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,084	0,000	2,092	0,000	2,100
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,250	1,653	1,255	1,658	1,260	1,663
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,891	11,335	6,903	11,408	6,915	11,481
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	11,335	11,463	11,408	11,472	11,481	11,481
2	3,732	4,021	3,737	4,026	3,742	4,030
1	90,069	131,898	90,131	131,934	90,193	131,970

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 = 141553 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	73
T2	20	84
T3	99	138

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	646	426
T5	724	503
T6	740	511

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 = 740 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 = 58 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 = 267263 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,27 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,55	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 8,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 9,46 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,6E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0149 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 7,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 5,15 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,52	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,40	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,15	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)	1,55	9,46	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,15	5,15

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,4 mm (3,31% 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 287 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 165 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 = 740 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 = 58 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 = 267263 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,27 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,55	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
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	8,90	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	9,46	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,6E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0149	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,88	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,57	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:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,52	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	7,40	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	5,15	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,52	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,40	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,15	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)	1,55	9,46	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,15	5,15

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,4 mm (3,31% 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 287 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 165 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 = 740 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 = 58 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 = 267263 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,27 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,55	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 8,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 9,46 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

$$\Lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25} = 3,6E-3 \text{ 1/mm}$$

$$q_r = 0,0149 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 0,57 \text{ N/mm}^2$$

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:

$$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 7,40 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 5,15 \text{ N/mm}^2$$

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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,52	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,40	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,15	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)	1,55	9,46	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,15	5,15

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,4 mm (3,31% 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 287 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 165 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 = 740 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 = 58 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 = 267263 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,27 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,55	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	8,90	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	9,46	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):

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

$\lambda = (f_{kv} \cdot k_v \cdot D_o / (4 \cdot E \cdot I))^{0.25}$	=	3,6E-3	1/mm
---	---	--------	------

q_r	=	0,0149	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,88	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	0,57	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:

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

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

Tangential stress:

$\Sigma_{qr} = k' \cdot q_r \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	0,52	N/mm ²
--	---	------	-------------------

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	7,40	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	5,15	N/mm ²
--	---	------	-------------------

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

Axial stress:

$\Sigma_b = Mb/Wb = f_k \cdot E \cdot I_b / (R_{min} \cdot W_b)$	=	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,52	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	7,40	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	5,15	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)	1,55	9,46	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,57	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	5,15	5,15

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 10,4 mm (3,31% 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 287 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 165 kN/m^2 , this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m^2 .

End of Report

D.5 002.678.20 1030749 9 Vergunningsrapportage M

Kruising 2 HDD's met A17, Tradeboulevard en Keeneweg

Vergunningsrapport Rijkswaterstaat



Verantwoording

Titel: Kruising 2 HDD's met A17, Tradeboulevard en Keeneweg – MDK HDD2
Onderwerp: Vergunningsrapport Rijkswaterstaat
Projectnummer: 51001237
Klant: TenneT
Referentienummer: NL22-648800269-22759
Versie: D1

Datum: 26-4-2022

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	9
2.7	Grondwaterstand	9
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	18
4.5	Kwelweg	19
4.5.1	Zoute ondergrond	19
4.5.2	Kwel uit het eerste watervoerende pakket	19
4.5.3	Kwel tussen de peilgebieden	20
4.5.4	Kwelmaatregelen	21
5.	Risico's en aandachtspunten	22
6.	Conclusie	23
6.1	Algemeen	23
6.2	Uitkomsten ontwerp en berekening	23

Bijlage 1 – Ontwerptekening.....	24
Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek.....	25
Bijlage 3 – Berekening D-Geo Pipeline	26

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 Rijksweg A17 bij het 150kV hoogspanningsstation Moerdijk. De kruising (met codering MDK HDD2) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en de Richtlijn Boortechnieken.

1.1 Situatie

Het tracé van de HDD's start ten noorden van de A17 bij het 150kV-hoogspanningstation Moerdijk en eindigt in het bouwland nabij de Dikkendijk (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 668 m en een maximale diepte van NAP -22,36 m (hart van de boring). De twee HDD's kruisen van noord naar zuid: een waterleiding, de Tradeboulevard (in beheer van de gemeente), de rijksweg A17, de Keeneweg (in beheer van de gemeente), drie hoofdwaterleidingen van Brabant Water en tenslotte een watergang. Bij het uittredepunt sluiten de kabels aan op een toekomstige mastenroute van TenneT.



Figuur 1 Overzicht situatie MDK HDD2

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 MDK HDD2, tekeningnummer MDK-HDD02 versie B, d.d. 11-04-2022 opgesteld door Sweco (bijlage 1);
- Geotechnisch onderzoek uit Dinoloket (bijlage 2);
- Maaiveldhoogten zijn ontleend aan de Algemene Hoogtekaart van Nederland (AHN-3);
- KLIC-levering 22O045506 opgevraagd d.d. 04-04-2022;
- Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta, geraadpleegd d.d. 04-04-2022, website:
<https://wsbd.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d6037ee85e784521be739b8ae5b38f7d>;
- 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).

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 16 m -mv bestaat uit klei- en veenlagen, 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

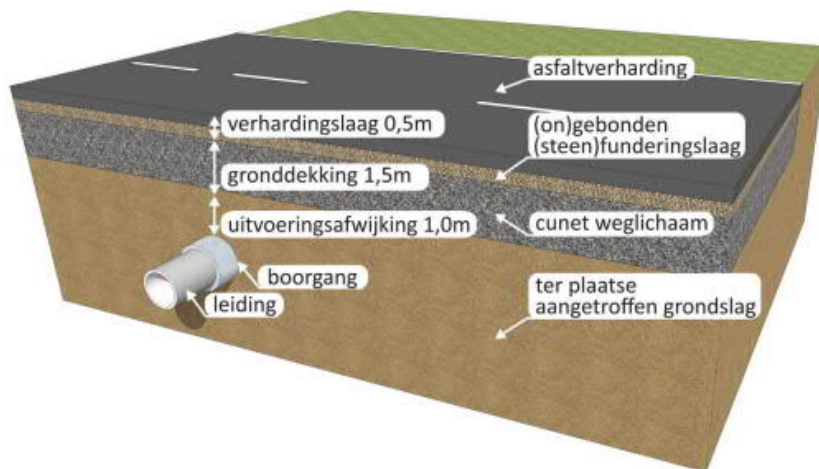
In het ontwerp zijn de volgende afstanden gehanteerd:

- Voor de minimale afstand van de HDD's tot de funderingen van hoogspanningsmasten van TenneT langs het tracé is een dagmaat van 5 meter gehanteerd.
 - De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast 201-MKD-RSD-150kV bedraagt 8,88 m. De funderingswijze van de dichtstbijzijnde mast 201-MKD-RSD-150kV is bekend: de funderingspalen hebben een lengte van 17 m en een schoorstand van 4,06:1. De HDD's liggen hier circa 18,62 m -mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 hebben de HDD's op dit niveau een dagmaat van 5,87 m ten opzichte van de paalfundering. Dit voldoet aan de eisen;
 - De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast 208-MKD-RSD-150kV bedraagt 10,11 m. De funderingspalen hebben een lengte van 21 m respectievelijk en een schoorstand van 4,06:1. De HDD's liggen hier circa op 18,62 m -mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 hebben de HDD's op dit niveau een dagmaat van 5,46 m ten opzichte van de paalfundering. Dit voldoet aan de eisen;
 - De dagmaat afstand op het maaiveld tussen de boring en de teen van mast 202-MKD-RSD-150kV bedraagt 12,62 m. De funderingspalen hebben een lengte van 16 m respectievelijk en een schoorstand van 4,06:1. De HDD's liggen hier circa op -22,36 m-mv. Rekening houdend met een schoring van 4:1 hebben de HDD's op een dagmaat van 10,7 m ten opzichte van de paalfundering. Dit voldoet aan de eisen.

2.5 Diepteligging

De diepteligging dient aan de volgende eisen te voldoen:

- De HDD's dienen een minimale gronddekking te hebben ter plaatse van de verharding van minimaal 1,5 meter (in cohesieve grond) (Richtlijn Boortechnieken v1.0 juni 2019, NEN3650-1 par. F4.2 en NEN 3651 par. 8.1.5).
 - Ter plaatse van de Tradeboulevard en de Rijksweg liggen de HDD's op circa 23 m-mv. Dit voldoet aan de eisen.



- Voor de tussenafstand met (kruisende) kabels en leidingen is conform VELIN Richtlijn nr. 2017/6 Versie september 2019 minimaal een dagmaat van 5 m aangehouden. De HDD's kruisen in het bijzonder:
 - een hogedrukgasleiding van Enexis in het kabels- en leidingenbed langs de Tradeboulevard;
 - een buisleiding van Petrochemical voor het transport van gevaarlijk stoffen en drie hoofdwaterleidingen van Brabant Water staal (Ø813 mm, beton Ø1260 mm en staal Ø1219 mm).

2.6 Inwendige overdruk

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

2.7 Grondwaterstand

De HDD's kruisen drie peilgebieden. Het intredepunt bevindt zich in peilgebied Keensche Gorzen NRD (W-Y13). De HDD's kruisen vervolgens het peilgebied Keensche Gorzen (W-Y11) en het uittredepunt bevindt zich in peilgebied Oost Slikpolder (W-Y12). We gaan uit van een gemiddelde grondwaterstand van NAP -0,9 m.

Tabel 2-1 Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Keensche Gorzen NRD (W-Y13)	- 0,7	- 0,7
Keensche Gorzen (W-Y11)	- 0,7	- 0.9
Oost Slikpolder (W-Y12)	- 0.9	- 1.2

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's 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]
B43H1078	Boring	-4	80
B43H1081	Boring	-5	220
B43H1156	Boring	-5	440
B43H1157	Boring	-4	350
B43H1147	Boring	-5	130
CPT11242	Sondering	-18	120
CPT12662	Sondering	-18	100
B43H1154	Boring	-5	380
B43H0219	Boring	-15	220
48A.S01	Sondering	-34	80

48A.S02	Sondering	-34	80
48A.S03	Sondering	-38	80
48A.S04	Sondering	-37	80
48A.S05	Sondering	-19	20
48A.S06	Sondering	-19	130
S43H0045	Sondering	-24	200

Uit het grondonderzoek blijkt dat de bovenkant van de vaste zandlaag zich bevindt op circa NAP -14,0 m van het geplande boortracé. Boven deze zandlaag bestaat de grond uit klei- en zandige kleilagen, zoals geobserveerd in de sonderingen en boringen. Met uitzondering van B43H0219 gaan de boringen langs het geplande boortracé niet dieper dan NAP -5 m. Daarnaast zijn alleen aan de noordelijke en zuidelijke uiteindes van het geplande boortracé sonderingen gevonden. Deze sonderingen laten zien dat de dieptes van de gevonden grondlagen enigszins variëren. Het verloop in diepte van deze grondlagen langs het geplande boortracé kan 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 zuidkant van het profiel zien. Tabel 2-3 laat de in de berekeningen aangehouden grondparameters voor de in het grondonderzoek herkende grondlagen langs de noordkant van het profiel zien.

Tabel 2-2 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de zuidzijde van het profiel gebaseerd op 48A.S06, 48A.S05, 48A.S04, 48A.S03, 48A.S02 en 48A.S01 en boringen B43H1078, B43H1081 en B43H1156.

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]
1,6	-3,0	Klei; sterk zandig	18	20	2,0	27,5	120,0	5000
-3,0	-5,0	Klei; zwak zandig; matig	17	17	5,0	22,5	100,0	3000
-5,0	-13,4	Zand; kleiig; los	18	20	0,0	25,0	0,0	10000
-13,4	-15,0	Klei; matig	18	18	5,0	22,5	60,0	3000
-15,0	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	75000

Tabel 2-3 Grondparameters gebruikt in de berekening langs de noordzijde van het profiel gebaseerd op S43H0045, CPT11242 en CPT12662 en boringen B43H1157, B43H1147, B43H1154 en B43H0219.

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]
1,6	-3,0	Klei; sterk zandig	18	20	2,0	27,5	120,0	5000
-3,0	-5,0	Klei; zwak zandig; matig	17	17	5,0	22,5	100,0	3000
-5,0	-12,8	Zand; kleilig; los	18	20	0,0	25,0	0,0	10000
-12,8	-14,6	Klei; matig	18	18	5,0	22,5	60,0	3000
-14,6	-30,0	Zand; schoon; vast	19	21	0,0	35,0	0,0	75000

2.11 Boortechnische gegevens

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

2.12 Verkeersbelasting

Ter plaatse van de kruising met de rijksweg A17 is verkeersklasse I gehanteerd conform figuur C17 uit NEN3650-1:2020, voor de overige wegen 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 Browline 180 m.

In dit ontwerp is sprake van horizontale bochten van 250 en 256 m en verticale bochten van 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 2.2 uit de Richtlijn Boortechnieken.

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%

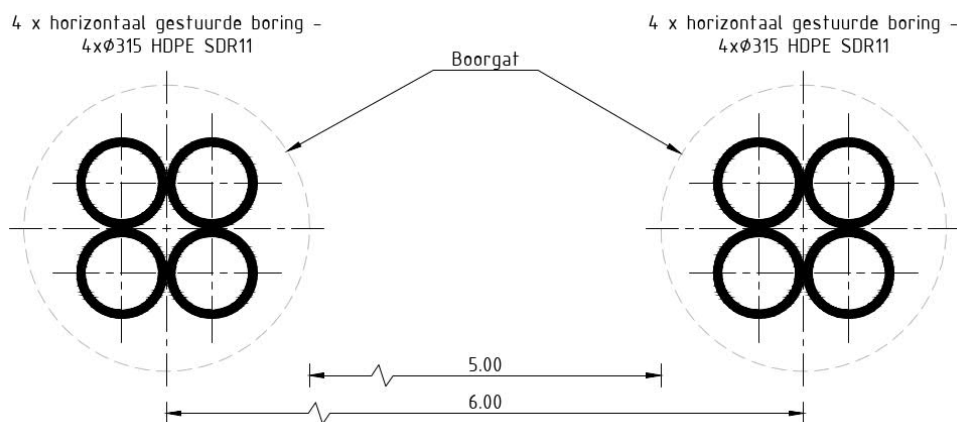
Figuur 2, afwijkingstoleranties HDD's (Bron: tabel 2.2 uit de Richtlijn Boortechnieken)

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: 668 m;
- maximale diepte hart buis: NAP -22,36 m;
- intredehoek: 21°;
- uittredehoek: 15°;
- verticale boogstralen: 250 m;
- horizontale boogstralen: 250 en 256 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's dienen 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;
- De sterkte van de leiding dient zodanig te zijn dat deze intact blijft gedurende de aanleg en in de bedrijfsfase.

3.2 Boorparameters

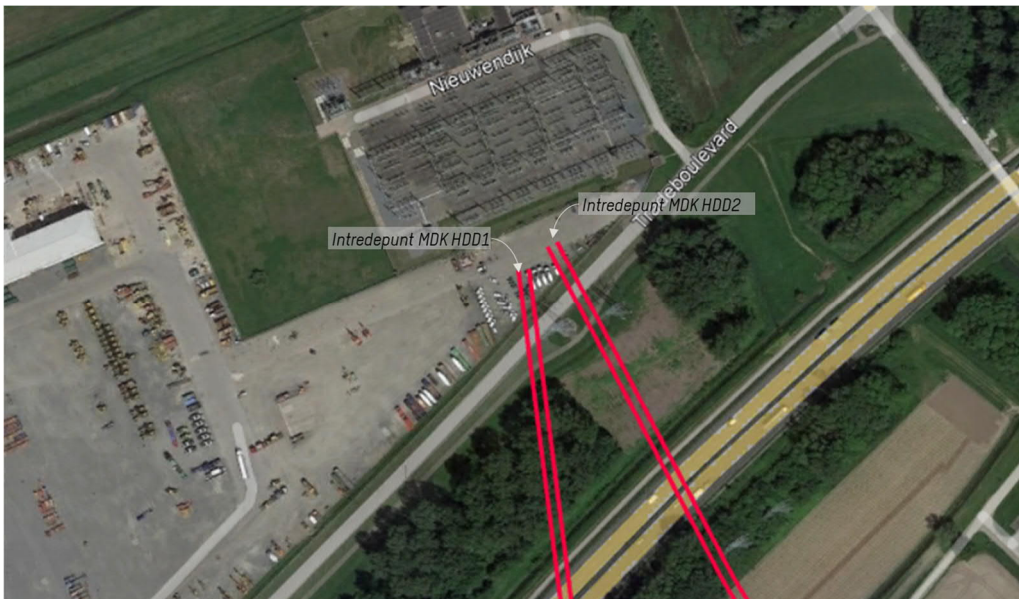
Bij de berekeningen zijn de volgende boorparameters aangehouden:

- boorinstallatie : maxi-rig 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 aan de noordzijde van het tracé bij het 150 kV hoogspanningsstation Moerdijk (zie figuur 4). Dit intredepunt is een gecombineerd intredepunt voor MDK HDD1 en MDK HDD2. Het werkterrein van de HDD's ligt deels onder de bovengrondse hoogspanningslijnen die het station binnen komen.

De intredepunten liggen op privéterrein. De intredepunten zijn bereikbaar via een nader te bepalen tijdelijke inrit vanaf de Tradeboulevard.

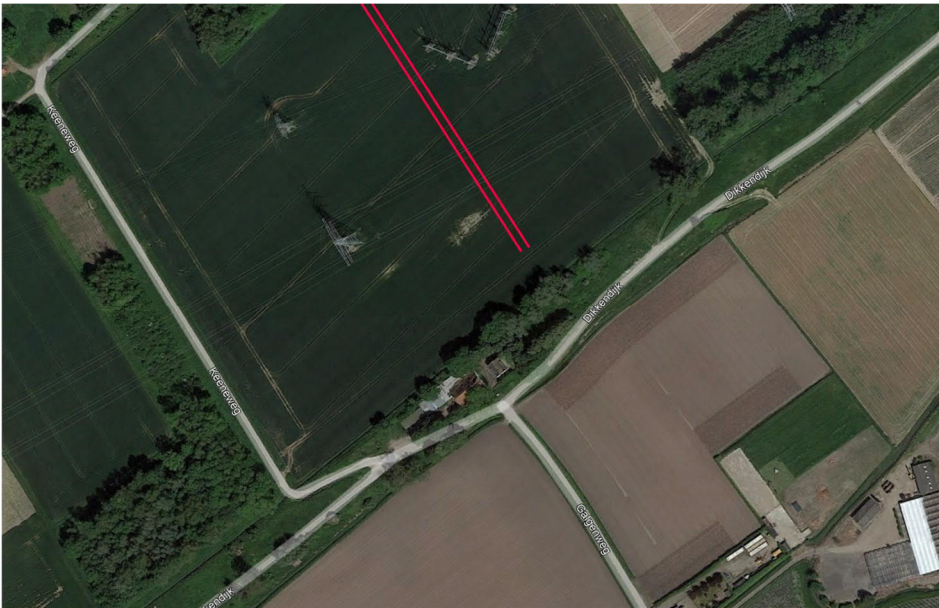


Figuur 4 Intredepunt MDK HDD2

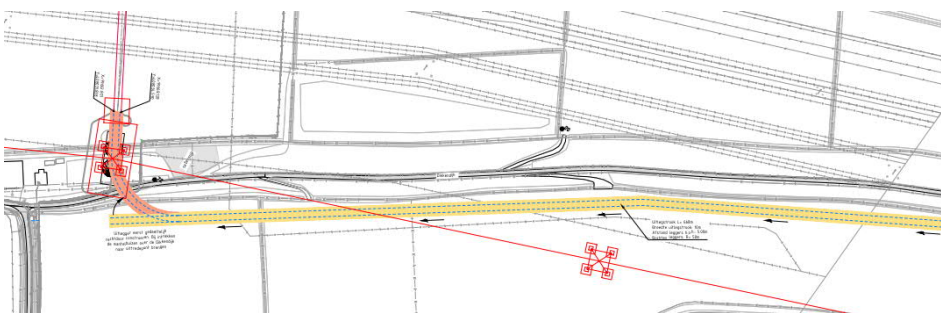
3.4 Uittredepunt en uitlegstrook

Het uittredepunt ligt in het bouwland aan de zuidzijde van het boortracé (zie figuur 5). De locatie is bereikbaar via de Dikkendijk.

De uitlegstrook loopt langs de Dikkendijk. De buizen worden ten zuiden van de Dikkendijk geassembleerd. Op de dag van intrekken worden de buizen over de weg heen geleid en is deze tijdelijk afgesloten. Er moet bij het intrekken van de mantelbuizen rekening worden gehouden met bomen en bosschages langs de Dikkendijk (zie figuur 6). Uitgangspunt is om de bomen en bosschages zoveel als mogelijk te handhaven. Bij het uittredepunt en de uitlegstrook dient de aannemer rekening te houden met het werken nabij hoogspanningsmasten.



Figuur 5 Uittredepunt MDK HDD2



Figuur 6 Uitlegstrook MDK HDD2

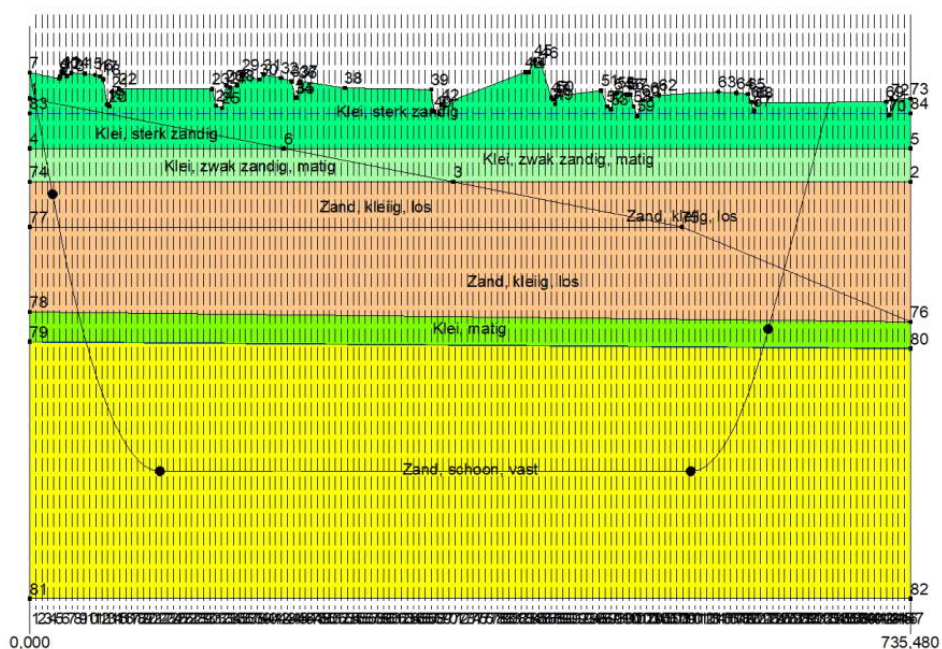
4. Berekeningsresultaten

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 $470 \times 1,8 = 846$ kN bij niet-gevulde leidingen. Dit leidt tot een maximale spanning tijdens de intrekfase van $8,76$ N/mm² aan het einde van de intrekoperatie. Toelaatbaar is 10 N/mm².

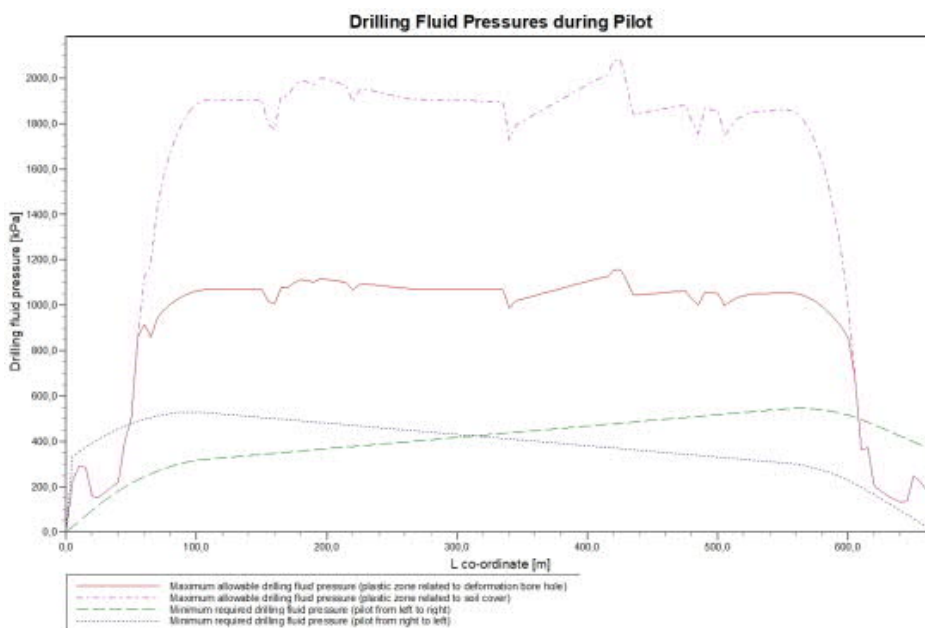
4.2 Sterkteberekening bedrijfsfase

Voor de mantelbuizen is een sterkteberekening in de bedrijfsfase gemaakt. Hieruit volgt een maximaal optredende spanning van $6,09$ N/mm². Toelaatbaar is 8 N/mm² waarbij is uitgegaan van PE 100 SDR 11.

Uit de sterkteberekening blijkt dat een deflectie van $12,3$ mm ($3,91\% \times D_0$) 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

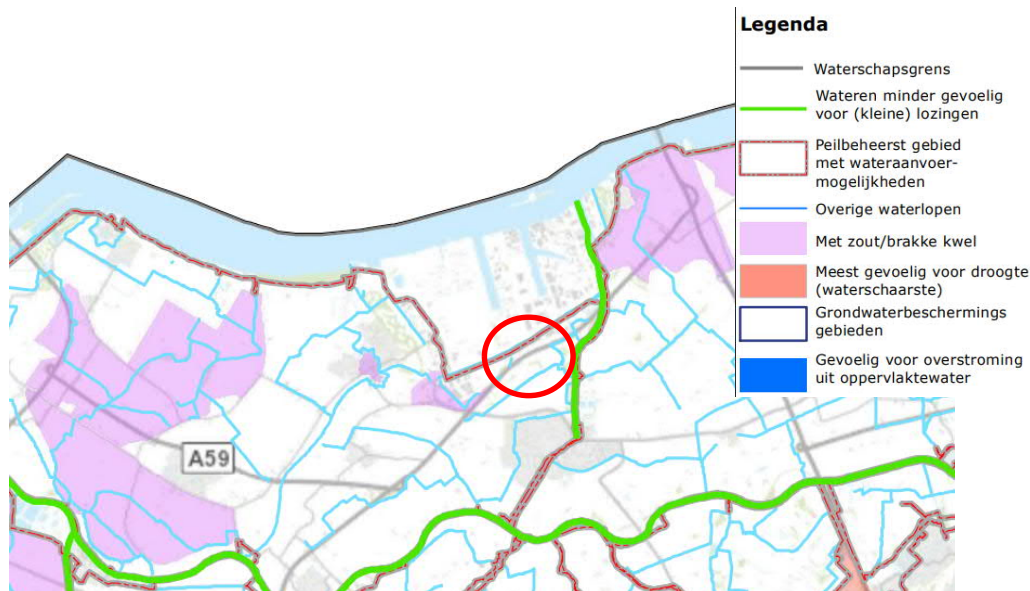
Zowel tijdens de intrekoperatie als de bedrijfstoestand blijkt uit de berekeningen dat geen implosie optreedt. De berekende alzijdige overdruk op lege leiding bedraagt circa 215 kN/m², terwijl 280 kN/m² toelaatbaar is.

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 Zoute ondergrond

Waterschap Brabantse Delta heeft in het waterbeheerplan een kaart gemaakt van de risicogebieden (droogte, zoute/brakke kwel, overstroming, etc.) (zie figuur 9). Het gebied waar MDK HDD2 wordt aangelegd (rode cirkel) ligt tussen twee risicogebieden voor zoute/brakke kwel, maar de locatie betreft zelf geen risicogebied. Op basis van deze kaart valt geen zoute/brakke kwel te verwachten bij de HDD's.



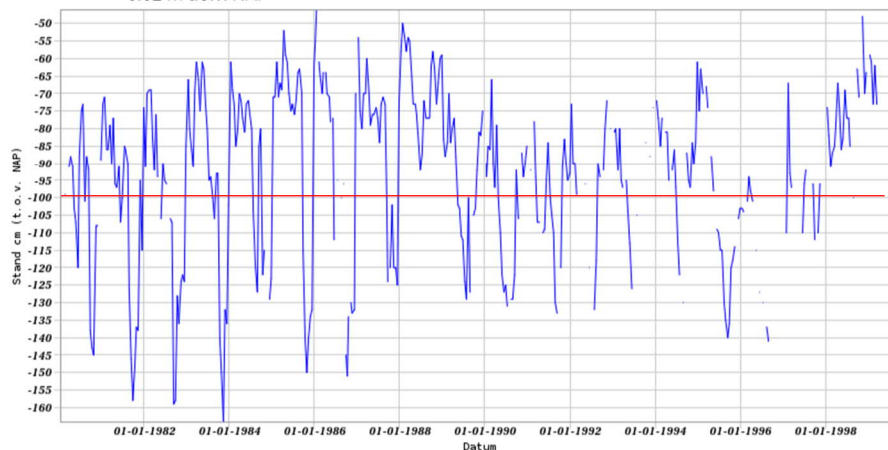
Figuur 9 Risicogebieden waterschap Brabantse Delta

4.5.2 Kwel uit het eerste watervoerende pakket

We hebben de meetgegevens uit DINOloket van peilbuis B44C0221 hieronder weergegeven. Deze peilbuis ligt op circa 1 km afstand van het boortracé. Te zien is dat de freatische grondwaterstand B44C0221-001 in periodes een aantal centimeter lager ligt dan de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket B44C0221-003. De bovenliggende kleilagen sluiten het eerste watervoerende pakket af. Doordat de HDD's de afsluitende kleilagen doorkruisen bestaat het risico dat langs de boorgang van de HDD's kwel uit de diepere grondlagen ontstaat. Het is daarom noodzakelijk om kwelmaatregelen te nemen.

Grondwaterstanden

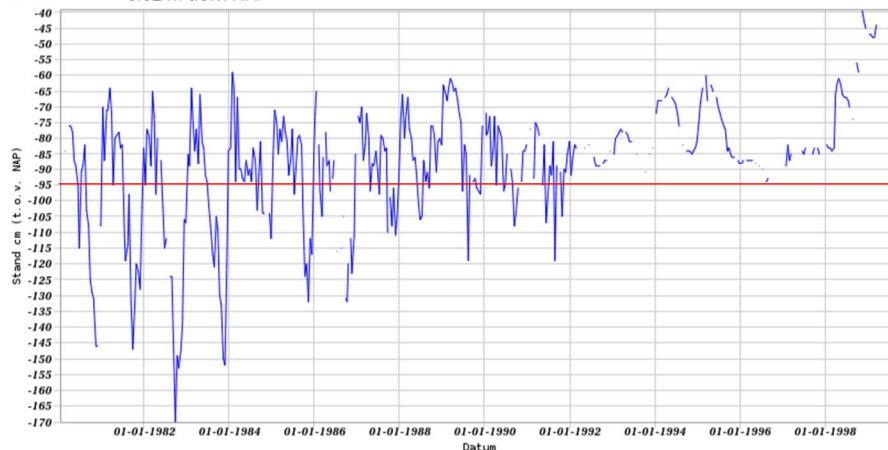
Identificatie: B44C0221
 Identificatie buis: B44C0221-001
 Coördinaten: 101680, 408330 (RD)
 Maaiveld: -0.02 m t.o.v. NAP



Figuur 10 *Freatische grondwaterstand B44C0221-001 uit Dinoloket, filter tussen NAP -4,07 m en -5,07 m*

Grondwaterstanden

Identificatie: B44C0221
 Identificatie buis: B44C0221-003
 Coördinaten: 101680, 408330 (RD)
 Maaiveld: -0.02 m t.o.v. NAP



Figuur 11 *Grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket, B44C0221-003 uit Dinoloket, filter op NAP -17,72 m tot -18,72 m*

4.5.3 Kwel tussen de peilgebieden

Uit de peilbesluitenkaart van waterschap Brabantse Delta blijkt dat het intredepunt en het uittredepunt niet tot dezelfde peilgebieden behoren.

Het intredepunt bevindt zich in peilgebied Keensche Gorzen NRD (W-Y13). De HDD's kruisen vervolgens het peilgebied Keensche Gorzen (W-Y11) en het uittredepunt bevindt zich in peilgebied Oost Slikpolder (W-Y12).

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 Peilbesluiten waterschap Brabantse Delta

Peilgebied	Zomerpeil (m NAP)	Winterpeil (m NAP)
Keensche Gorzen NRD (W-Y13)	- 0,7	- 0,7
Keensche Gorzen (W-Y11)	- 0,7	- 0.9
Oost Slikpolder (W-Y12)	- 0.9	- 1.2

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 kan optreden.

Tabel 4-2 Berekening van de kortste kwelwegen

Van peilgebied	Naar peilgebied	Kortste natuurlijke kwelweg [m]	Kortste kwelweg via HDD [m]
W-Y11	W-Y12	$145/3 = 48$	$22 + 190/6 + 22 = 76$
W-Y13	W-Y12	$75/3 = 25$	$5 + 300/6 + 22 = 77$

4.5.4 Kwelmaatregelen

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

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

5. Risico's en aandachtspunten

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

- Werken in de nabijheid van hoogspanningsmasten. Deze HDD's lopen deels onder de bestaande mastenroute van TenneT. Het intredepunt ligt naast 150 kV hoogspanningsstation Moerdijk en deels onder de bovengrondse hoogspanningsverbinding;
- Afstemming met het drinkwaterbedrijf Brabant Water over het kruisen van de drie hoofdwaterleidingen in het tracé;
- Het nemen van de in paragraaf 4.5.4 benoemde kwelmaatregelen. Voorafgaand aan de uitvoering dienen de plannen hiervoor goedgekeurd te worden door 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 intredepunt ligt op privéterrein. TenneT stemt af met de eigenaar en gebruiker van het terrein omtrent de werkzaamheden;
- Bij het uitredepunt staan momenteel bomen en bosschages. Deze zullen door TenneT voorafgaand aan de werkzaamheden verwijderd worden. Mede ook met het oog op de aanleg van een nieuwe hoogspanningsmast op deze locatie;
- Bij het intrekken van de buizen kruist het tracé de Dikkendijk en wordt deze tijdelijk afgezet voor verkeer. Langs de Dikkendijk staat een aantal bomen en bosschages. De aannemer dient de bomen en bosschages zoveel mogelijk te handhaven;
- 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 en de funderingen daarvan langs het boortracé.

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 Rijksweg A17 bij het 150 kV hoogspanningsstation Moerdijk. De kruising (met codering MDK HDD2) is vergunningsplichtig bij Rijkswaterstaat. Het ontwerp en de berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650:2020, NEN 3651:2020 en Richtlijn Boortechnieken.

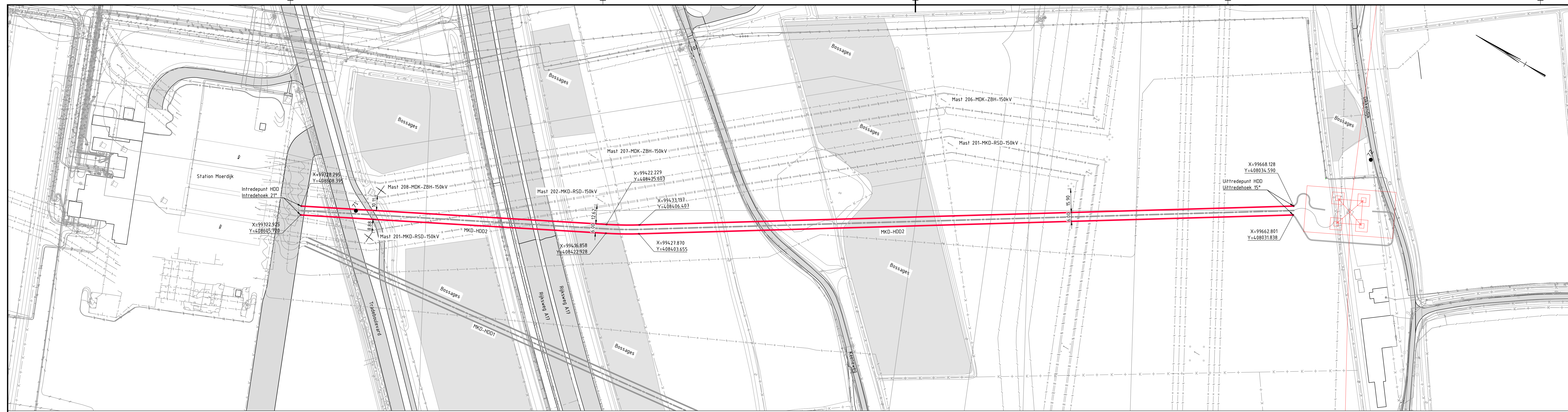
6.2 Uitkomsten ontwerp en berekening

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

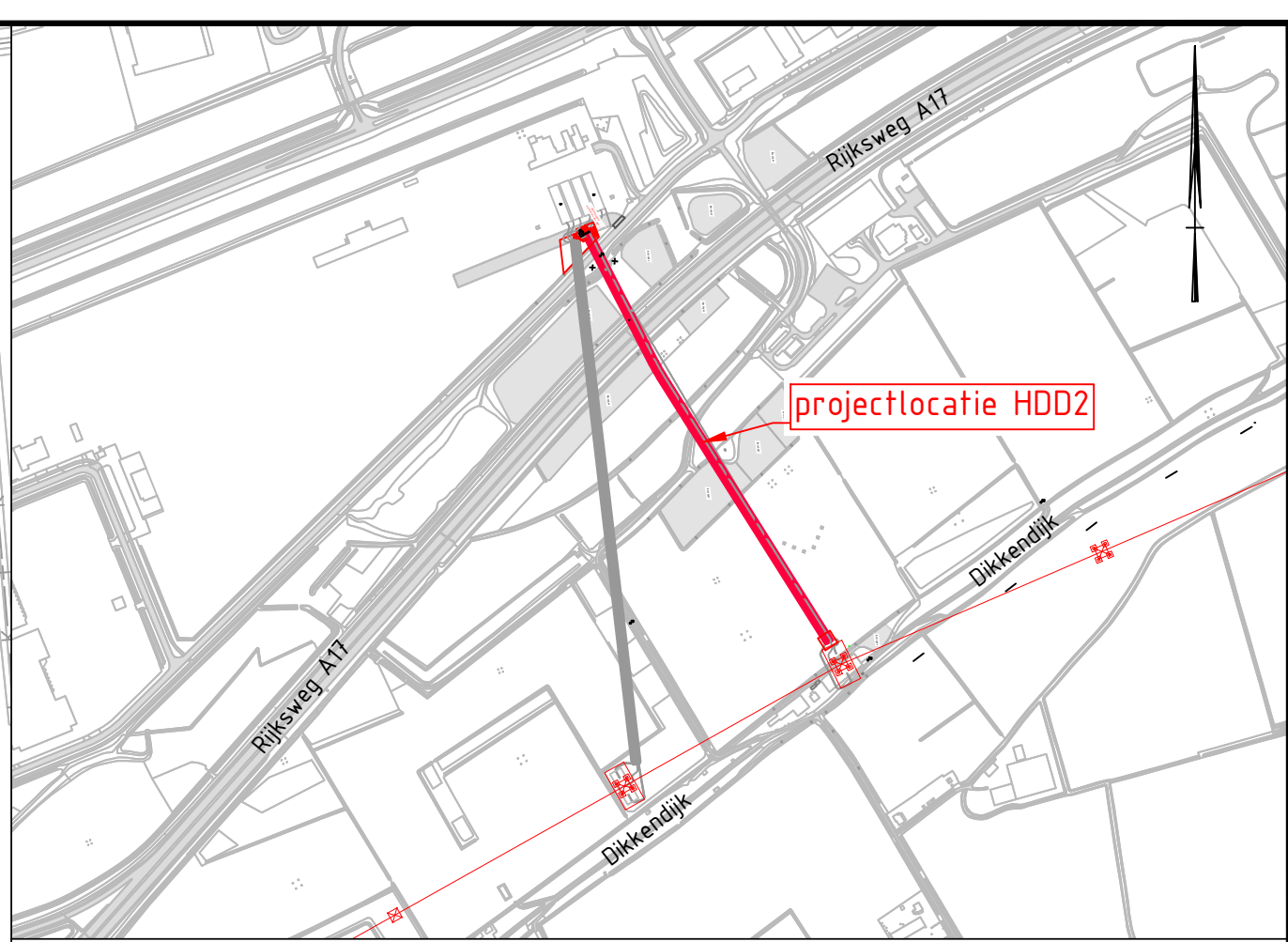
Uit de berekeningen, bijgevoegd als bijlage 3, blijkt dat de tracés van de twee parallelle HDD's met 4x PE100 Ø315 mm SDR 11 voldoen aan de eisen.

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

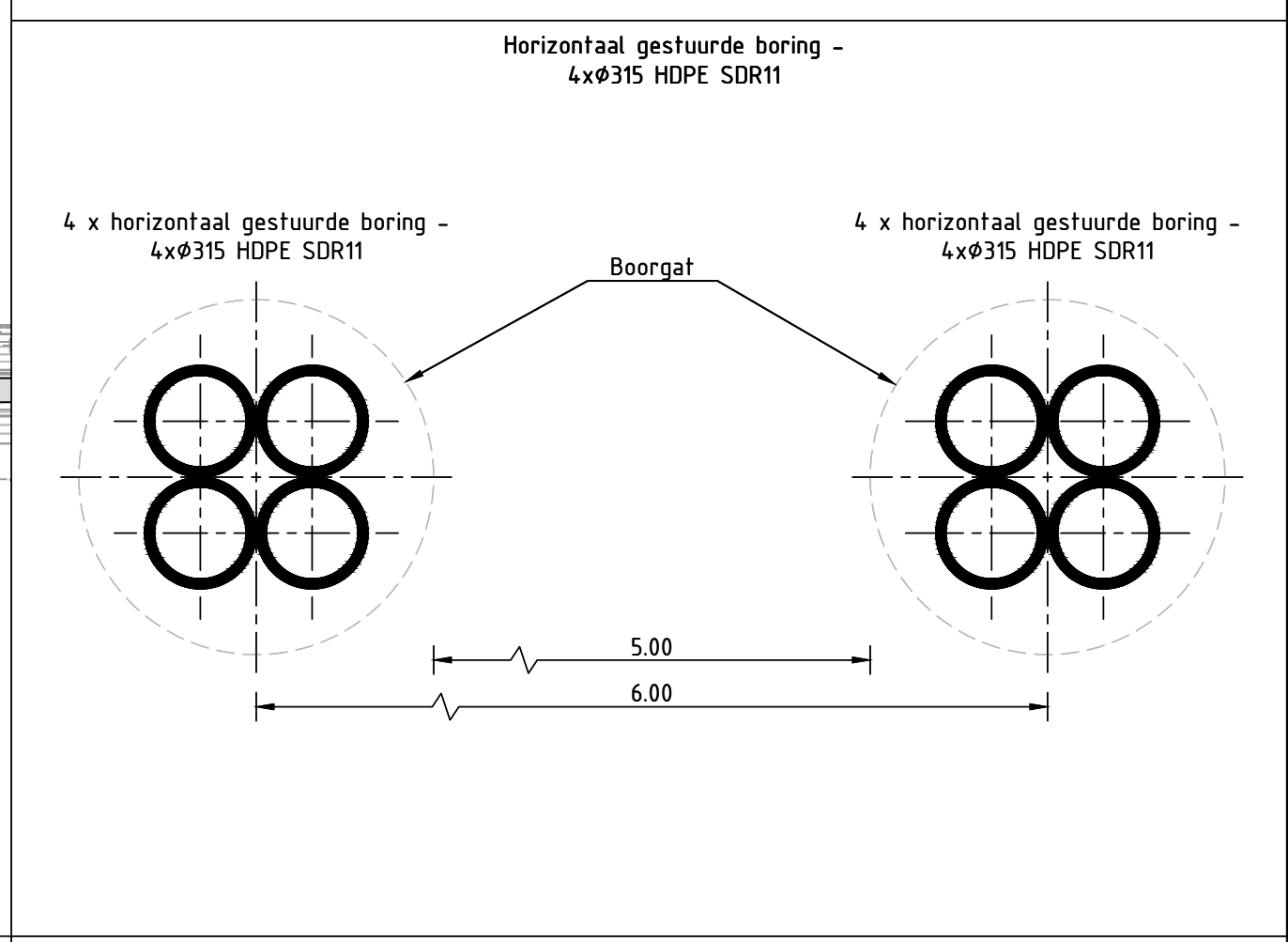
Bijlage 1 – Ontwerptekening



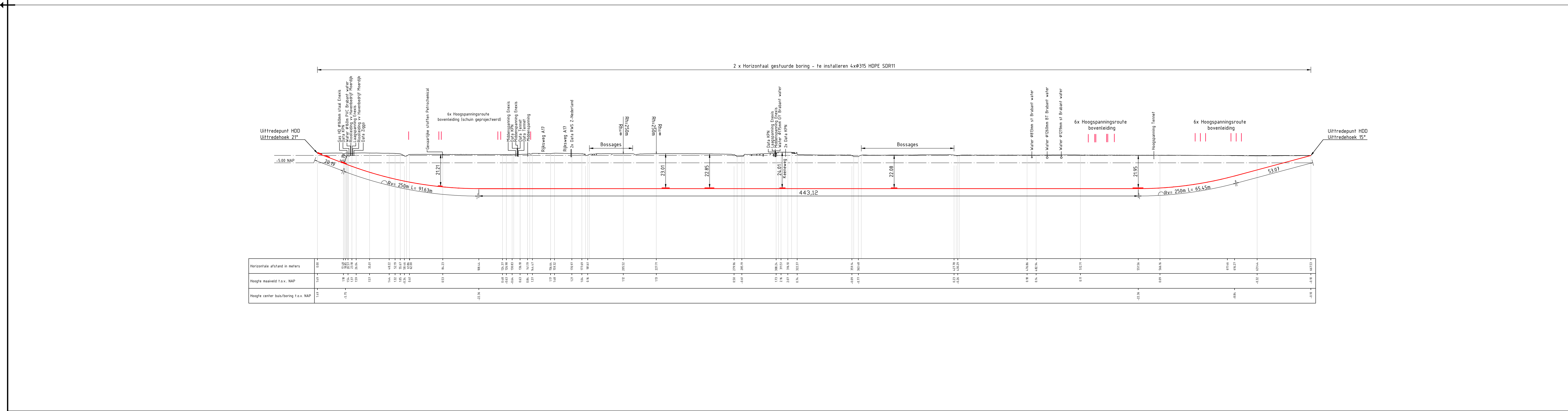
Bovenaanzicht MDK HDD2 Schaal 1:1000



Overzicht
Schaal 1:10.000



Principe doorsnede
Schaal 1:20



Langsdoorsnede MDK HDD2 Schaal 1:1000

Legenda

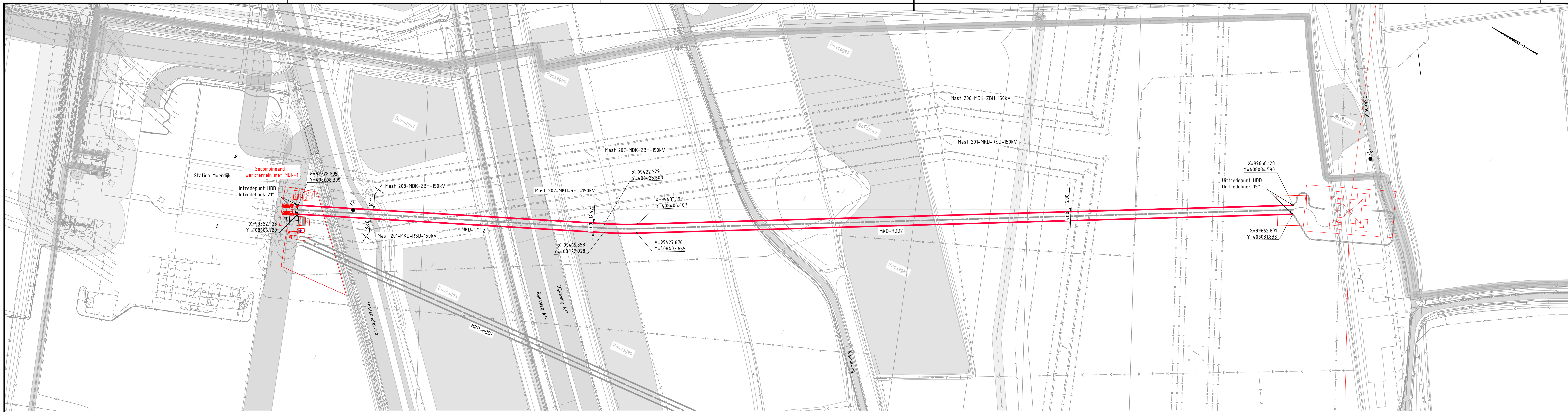
-----	Kadastrale grens	-----	Verharding (asfalt)
-----	Leiding gevaarlijke inhoud	-----	Bestaande topo
-----	Dataftransport	-----	Bebouwing
-----	Landelijk hoogspanningsnet	-----	16 Locatie sondering met nummer
-----	Laagspanning	-----	Verharding/wegen
-----	Middenspanning	-----	
-----	Gasleiding hoge druk	-----	
-----	Gasleiding lage druk	-----	
-----	Waterleiding	-----	
-----	Drukioliering	-----	
-----	Riolering vrijverval	-----	
-----	Horizontaal gestuurde boring (HDD)	-----	
-----	Open ontgraving	-----	

Vergunningstekening

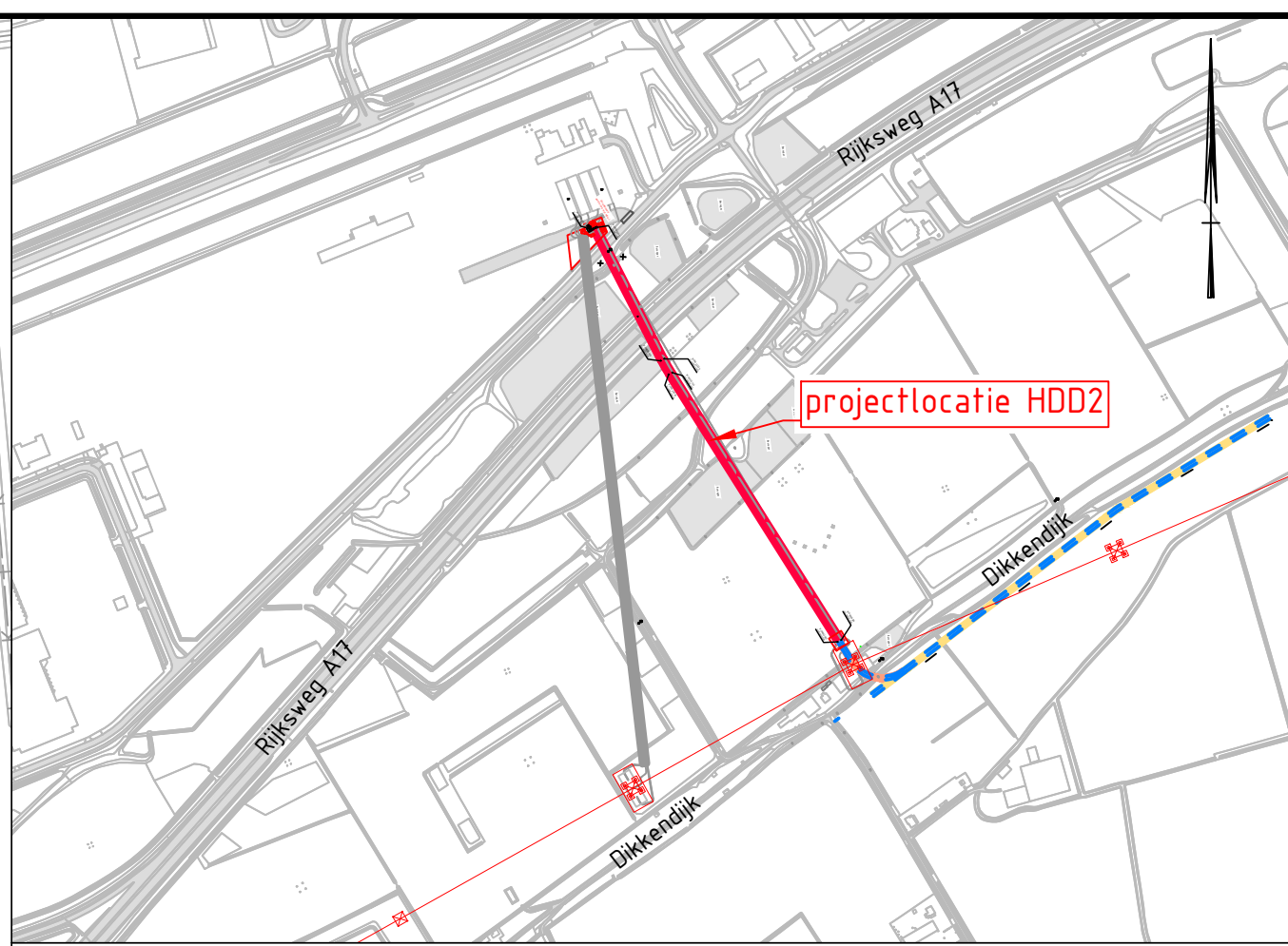
B	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	06-07-2021	BB	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	Gst.	Gec.	Goedg.

Operatiegever: **TenneT TSO B.V.**
 Project: **HDD's 150 kV ZWO**
 Onderdeel: **MKD-HDD02 Moerdijk HDD2**

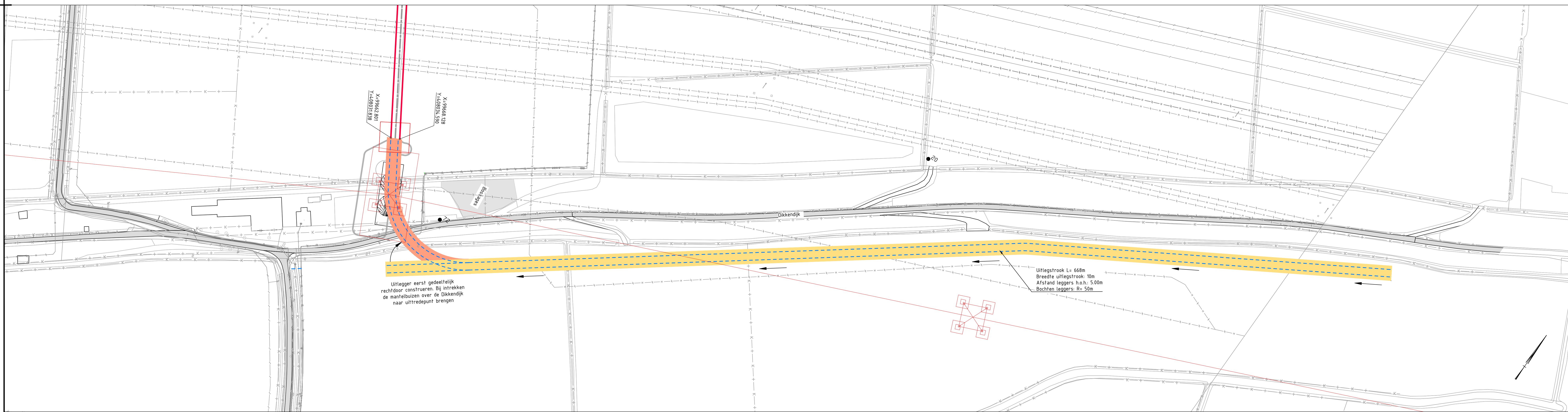
Projectnummer	Tekeningnummer	Revisie	Datum van uitgave	Omschrijving	Contractnummer
368722	MKD-HDD2	B	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kentoor	Gec.
1	2	Zie tekening	A1	De Bilt	BB MJ JD



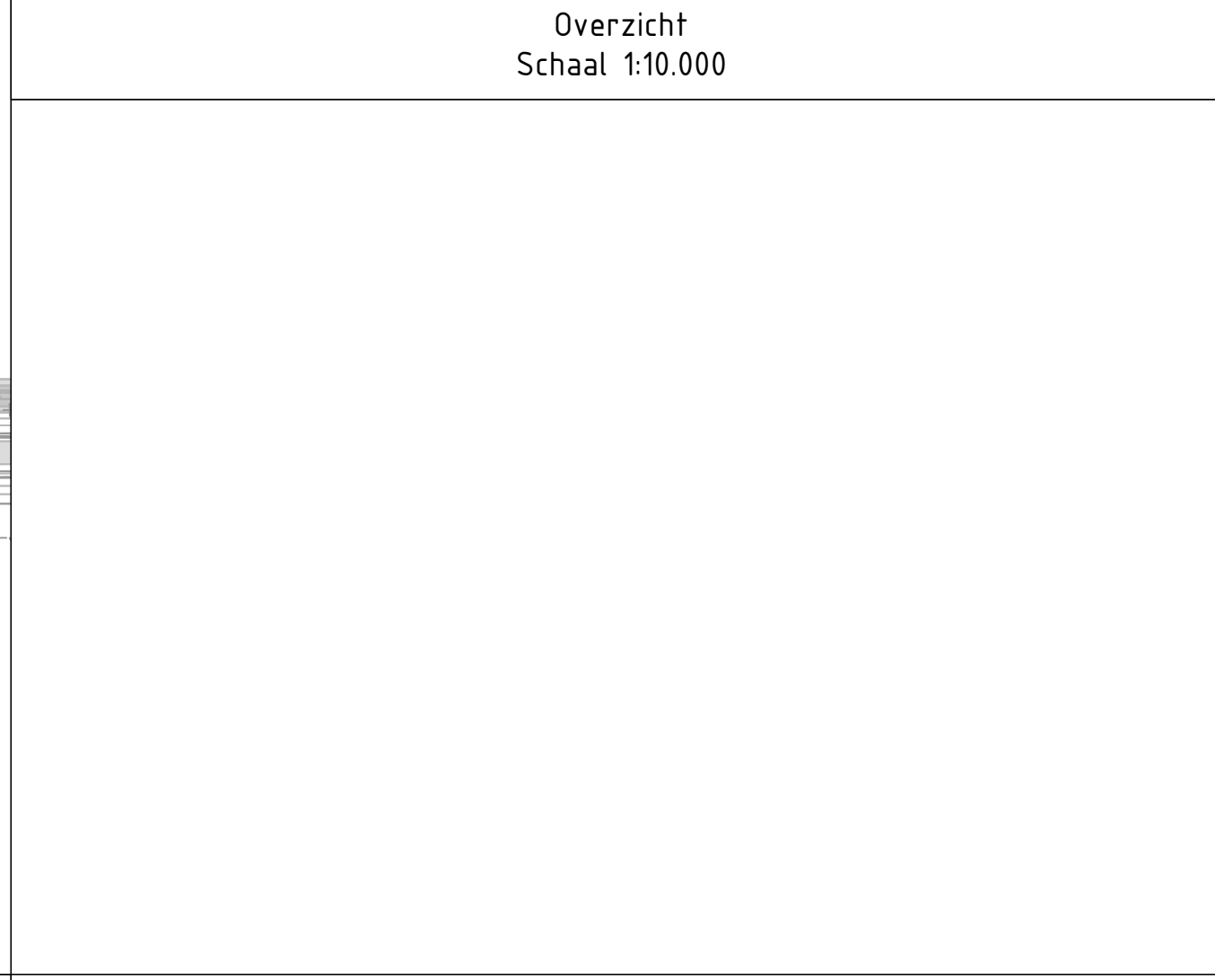
Bovenaanzicht HDD schaal 1:1000



Overzicht
Schaal 1:10.000



Uitlegstrook schaal 1:1000



Principe doorsnede
Schaal 1:10

Legenda

- K—K— K—K— K—K— Kadastrale grens
- Leiding gevaarlijke inhoud
- Datatransport
- Landelijk hoogspanningsnet
- Laagspanning
- Middenspanning
- Gasleiding hoge druk
- Gasleiding lage druk
- Waterleiding
- Drukiolering
- Riolering vrijverval
- Horizontaal gestuurde boring (HDB)
- Verharding lasfalt
- Bestaande topografie
- Bebouwing
- Primaire waterkering
- Uitlegstrook
- Leidingsstrook
- Verharding/wegen
- 16 Locatie sondering met nummer

Vergunningstekening

B	T.b.v. Vergunningaanvraag	11-04-2022	BB	MJ	JD
A	Eerste uitgave	06-07-2021	MJ	MJ	JD
Rev	Omschrijving	Datum rev.	IGT	Gnc	Goep.

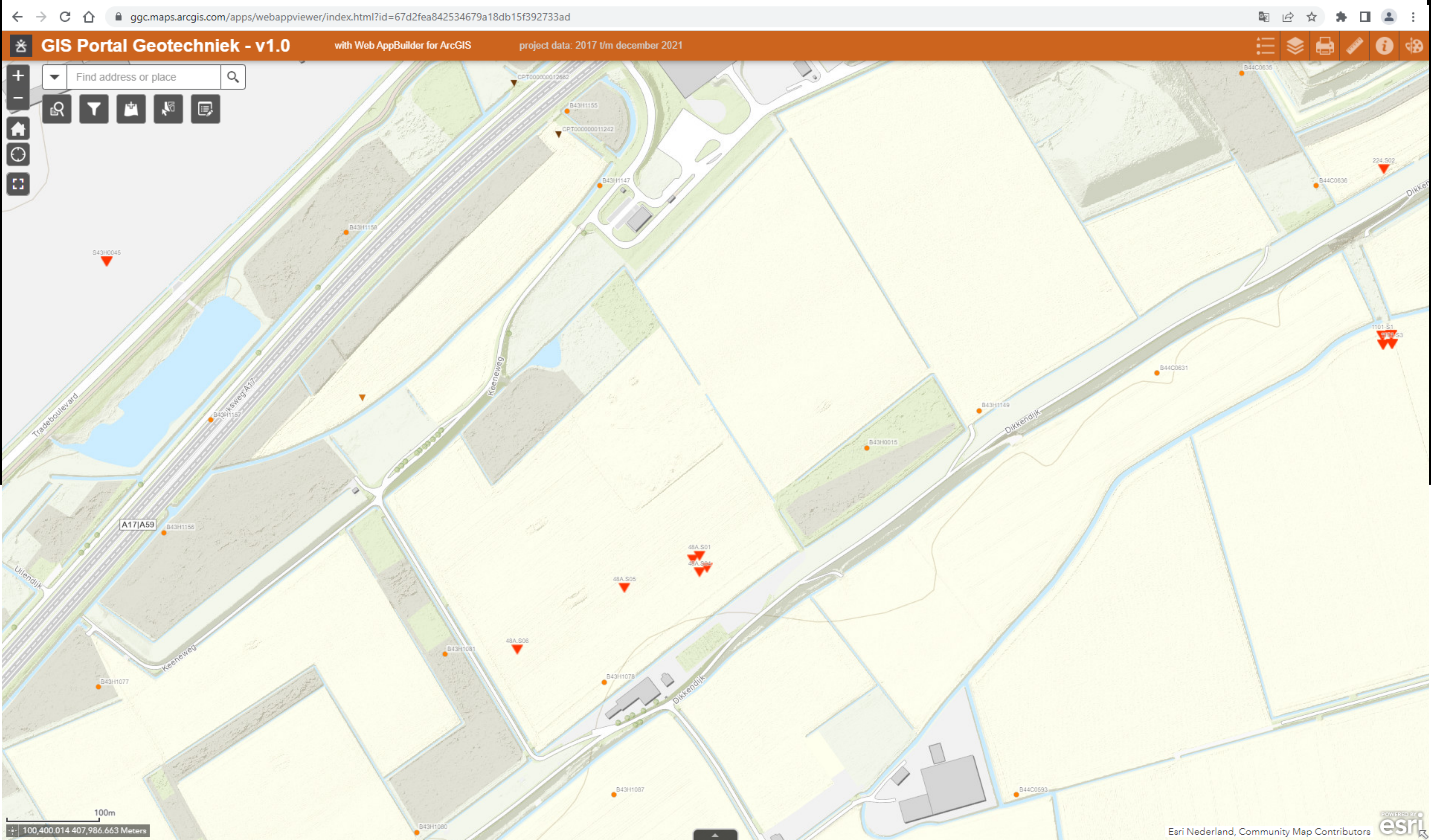
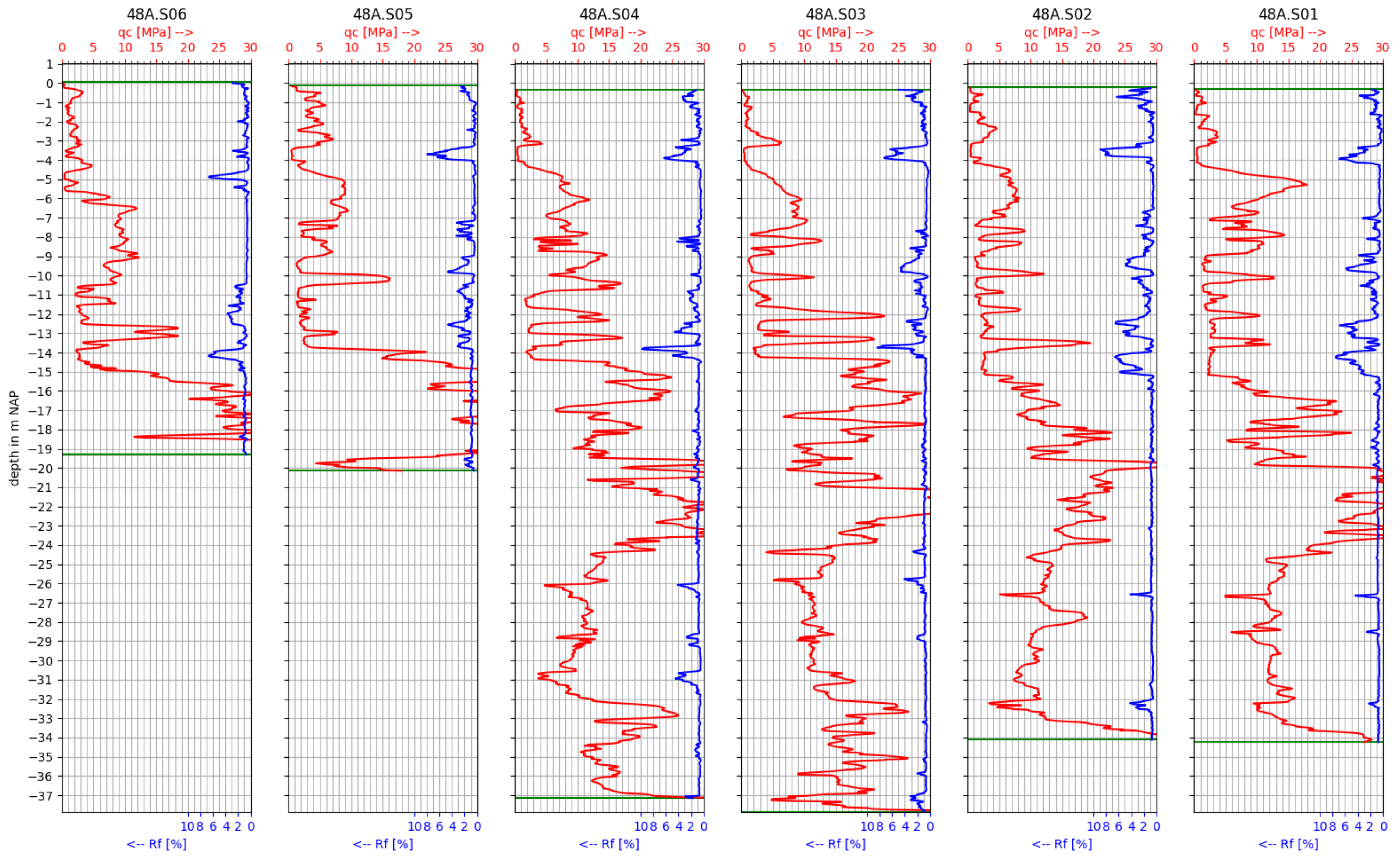
Operatiegever: **TenneT TSO B.V.**
 Project: **HDD's 150 kV ZWO**
 Onderdeel: **MKD-HDD2 Moerdijk HDD2**

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Omschrijving	Contractnummer
368722	MKD-HDD2	B	11-04-2022	Definitief ontwerp	
Blad	Van	Schaal	Formaat	Karbor	Gec.
2	Zie tekening	A1	De Blt	BB	MJ JD

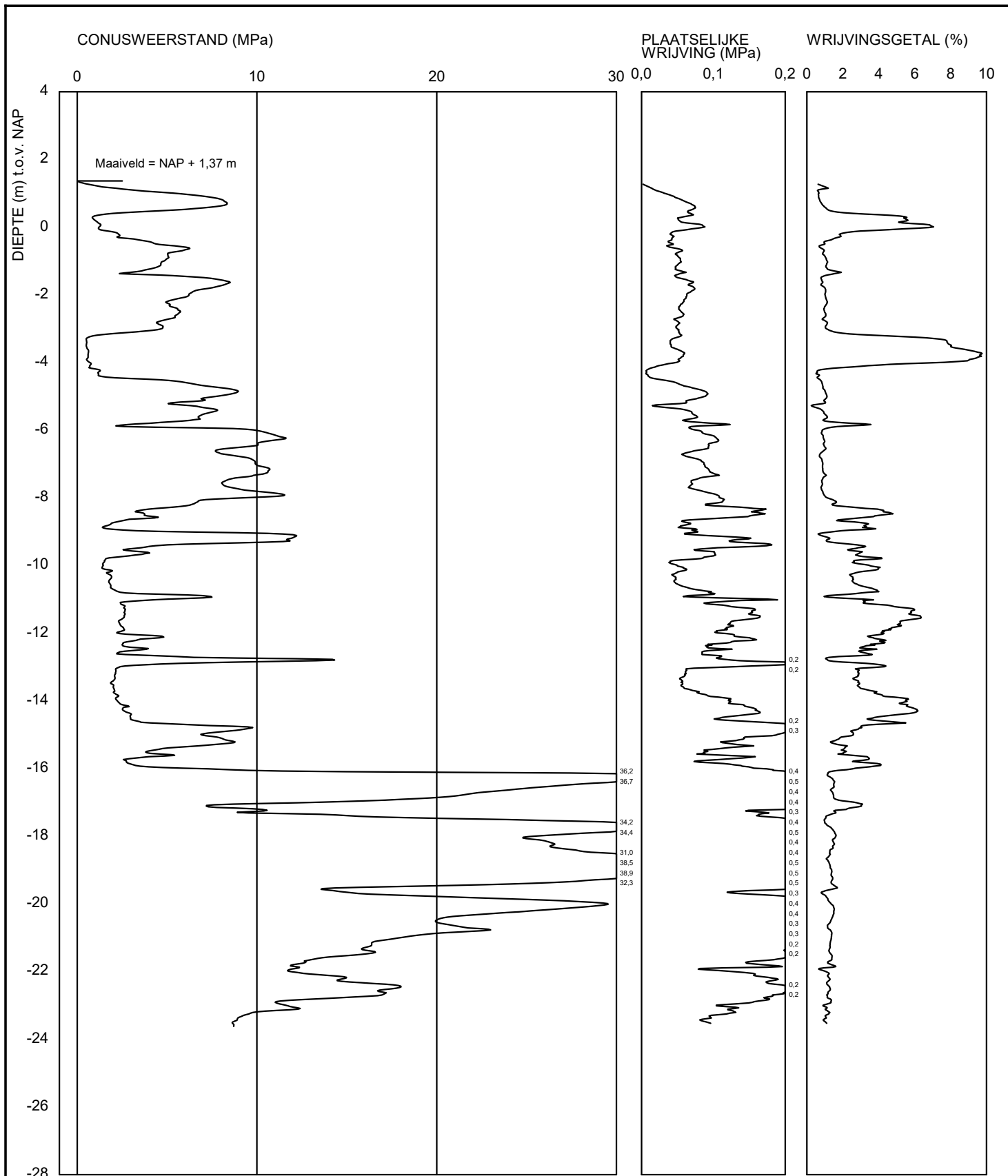


Bijlage 2 – Geotechnisch onderzoek

MDK HDD1

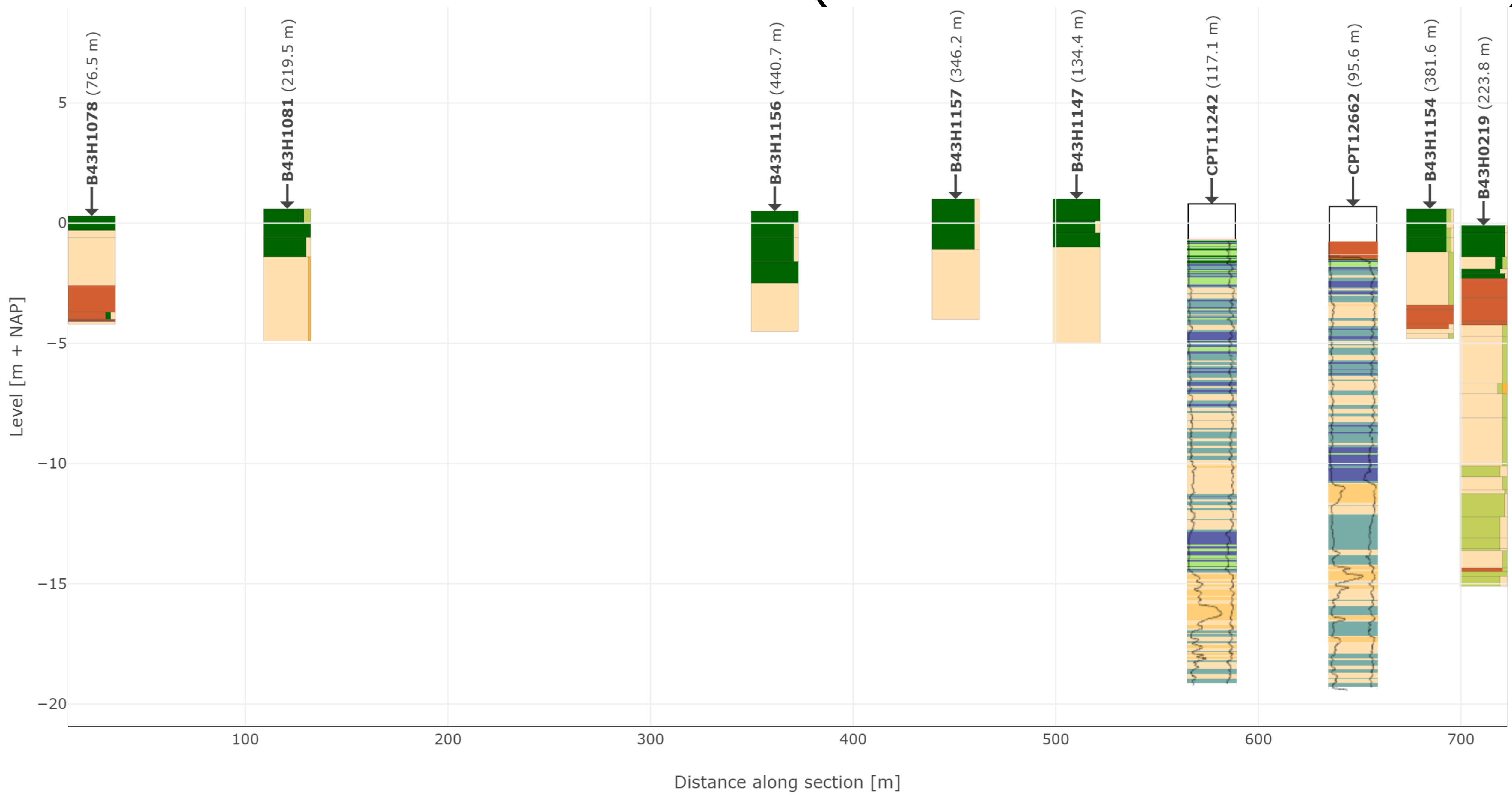


S43H0045



DELTAIRES	Boussinesqweg 2629 HV DELFT	Telefoon 088 - 335 82 73 Telefax	datum	get.
			1999-02-02	-
-	-	-	DINO-/	gez.
Sondering S43H0045	-	-	BIJL.	form. A4

Grondonderzoek BRO (tot 500 m afstand van trace)

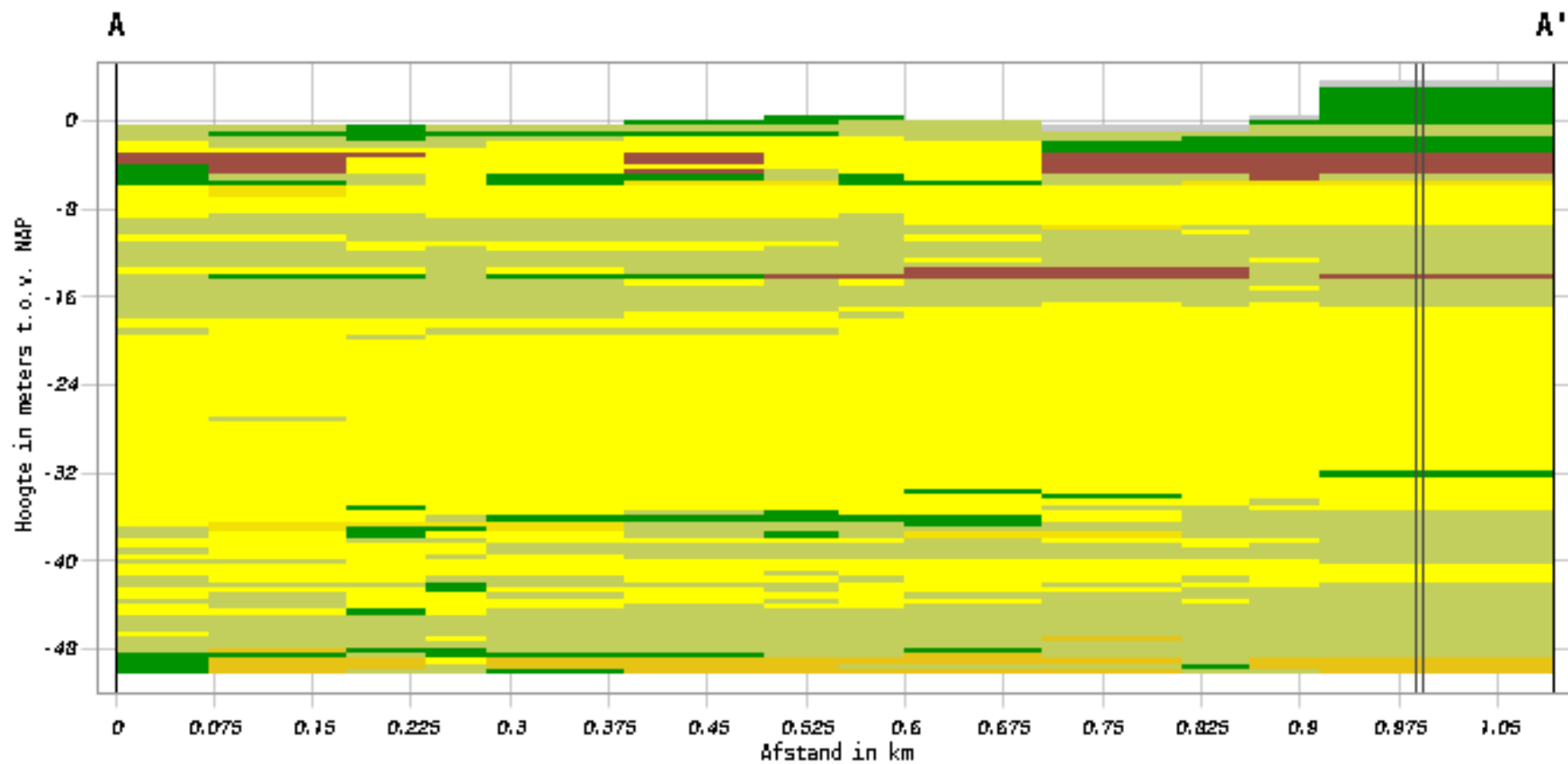


■ Sands
 ■ Sand mixtures
 ■ Silt mixtures
 ■ Clay
 ■ Clay (org. mat) [3<N<15]
 ■ Organic clay [15<N<30]
 ■ Peat [N>30]
 Unknown

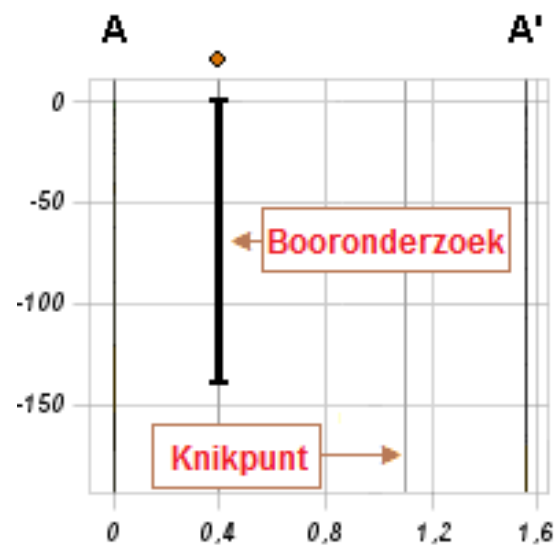
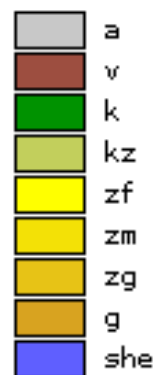


● cpt
 ● borehole
 ● not shown on sectionplot
 — section

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: 14-4-2022
Time of report: 11:11:07
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	6
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	Configuration of the Pipeline	10
3.11	Product Pipe Material Data	10
3.12	Pipe Engineering Data	11
3.13	Drilling Fluid Data	12
3.14	Factors	12
3.15	Calculation Options	12
4	Drilling Fluid Pressures	13
4.1	Drilling Fluid Data	13
4.2	Equilibrium between Drilling Fluid Pressure and Pore Pressure	19
4.3	Drilling Fluid Pressure Plots	22
4.3.1	Drilling Fluid Pressures during Pilot	22
4.3.2	Drilling Fluid Pressures during Prereaming	22
4.3.3	Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation	23
5	Soil Mechanical Data	24
5.1	Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1	24
5.2	Soil Mechanical Parameters Pipe 2: pipe nr. 2	28
5.3	Soil Mechanical Parameters Pipe 3: pipe nr. 3	33
5.4	Soil Mechanical Parameters Pipe 4: pipe nr. 4	37
5.5	Young's Modulus per Layer per Vertical	42
6	Data for Stress Analysis	52
6.1	General Data	52
6.2	Buoyancy Control	52
6.3	Calculation Pulling Force	52
7	Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	54
7.1	Material Data of Pipe 1: pipe nr. 1	54
7.2	Results Stress Analysis of Pipe 1: pipe nr. 1	54
7.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	54
7.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	55
7.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	55
7.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	55
7.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	55
7.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 1: pipe nr. 1	56
7.4	Check for Implosion of Pipe 1: pipe nr. 1	56
8	Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	57
8.1	Material Data of Pipe 2: pipe nr. 2	57
8.2	Results Stress Analysis of Pipe 2: pipe nr. 2	57
8.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	57
8.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	58
8.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	58
8.2.4	Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	58
8.2.5	Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	58
8.3	Check on Calculated Stresses of Pipe 2: pipe nr. 2	59
8.4	Check for Implosion of Pipe 2: pipe nr. 2	59
9	Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	61
9.1	Material Data of Pipe 3: pipe nr. 3	61
9.2	Results Stress Analysis of Pipe 3: pipe nr. 3	61
9.2.1	Load Combination 1A: Start Pullback Operation	61
9.2.2	Load Combination 1B: End Pullback Operation	62
9.2.3	Load Combination 2: Application Internal Pressure	62

9.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	62
9.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	62
9.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 3: pipe nr. 3	63
9.4 Check for Implosion of Pipe 3: pipe nr. 3	63
10 Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	64
10.1 Material Data of Pipe 4: pipe nr. 4	64
10.2 Results Stress Analysis of Pipe 4: pipe nr. 4	64
10.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation	64
10.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation	65
10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure	65
10.2.4 Load Combination 3: In Operation (Situation without Pressure)	65
10.2.5 Load Combination 4: In Operation (with Internal Pressure)	65
10.3 Check on Calculated Stresses of Pipe 4: pipe nr. 4	66
10.4 Check for Implosion of Pipe 4: pipe nr. 4	66

2 Messages

2.1 Calculation Warnings

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

3 Input Data

3.1 Model Used

Model Used : Horizontal Directional Drilling

3.2 Layer Boundaries

Boundary number	Co-ordinates [m]				
9 - L -	0,000	24,520	25,280	26,470	27,190
9 - Z -	1,560	1,190	1,330	1,570	1,620
9 - L -	28,290	30,980	34,590	45,880	54,470
9 - Z -	1,510	1,350	1,540	1,500	1,410
9 - L -	58,530	61,100	64,540	66,250	68,500
9 - Z -	1,330	1,150	-0,360	-0,480	0,400
9 - L -	74,470	152,240	155,430	160,460	163,920
9 - Z -	0,570	0,570	-0,440	-0,570	0,790
9 - L -	167,100	172,930	177,000	191,990	195,210
9 - Z -	0,640	0,780	1,400	1,140	1,440
9 - L -	209,730	218,380	221,660	222,920	224,880
9 - Z -	1,230	1,030	0,050	0,050	0,940
9 - L -	225,870	262,810	335,180	337,510	341,530
9 - Z -	1,050	0,630	0,550	-0,790	-0,950
9 - L -	343,610	413,470	416,540	421,400	426,460
9 - Z -	-0,370	1,580	1,580	2,280	2,150
9 - L -	435,470	437,040	438,670	439,640	477,020
9 - Z -	0,060	-0,060	-0,340	0,130	0,480
9 - L -	481,960	485,360	488,270	490,450	498,180
9 - Z -	-0,470	-0,650	0,260	0,350	0,250
9 - L -	501,370	504,130	507,310	511,330	518,500
9 - Z -	0,250	-0,480	-1,040	-0,110	0,010
9 - L -	525,330	574,810	590,060	599,620	602,180
9 - Z -	0,200	0,390	0,330	0,260	-0,200
9 - L -	604,430	606,130	715,020	716,770	718,010
9 - Z -	-0,750	-0,260	-0,200	-1,010	-0,980
9 - L -	719,460	735,480			
9 - Z -	-0,040	-0,010			
8 - L -	0,000	212,158	735,480		
8 - Z -	0,000	-3,000	-3,000		
7 - L -	0,000	212,158	735,480		
7 - Z -	-3,000	-3,000	-3,000		
6 - L -	0,000	212,158	353,596	735,480	
6 - Z -	-3,000	-3,000	-5,000	-5,000	
5 - L -	0,000	353,596	735,480		
5 - Z -	-5,000	-5,000	-5,000		
4 - L -	0,000	353,596	544,538	735,480	
4 - Z -	-5,000	-5,000	-7,700	-13,400	
3 - L -	0,000	544,538	735,480		
3 - Z -	-7,700	-7,700	-13,400		
2 - L -	0,000	735,480			
2 - Z -	-12,800	-13,400			
1 - L -	0,000	735,480			
1 - Z -	-14,600	-15,000			
0 - L -	0,000	735,480			
0 - Z -	-30,000	-30,000			

3.3 PI-lines

PI-line number	Co-ordinates [m]				
1 - L -	0,000	735,480			
1 - Z -	-0,900	-0,900			

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
9	Klei, sterk zandig	1	1
8	Klei, sterk zandig	1	1
7	Klei, zwak zandig, m...	1	1
6	Klei, zwak zandig, m...	1	1
5	Zand, kleiig, los	1	1
4	Zand, kleiig, los	1	1
3	Zand, kleiig, los	1	1
2	Klei, matig	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

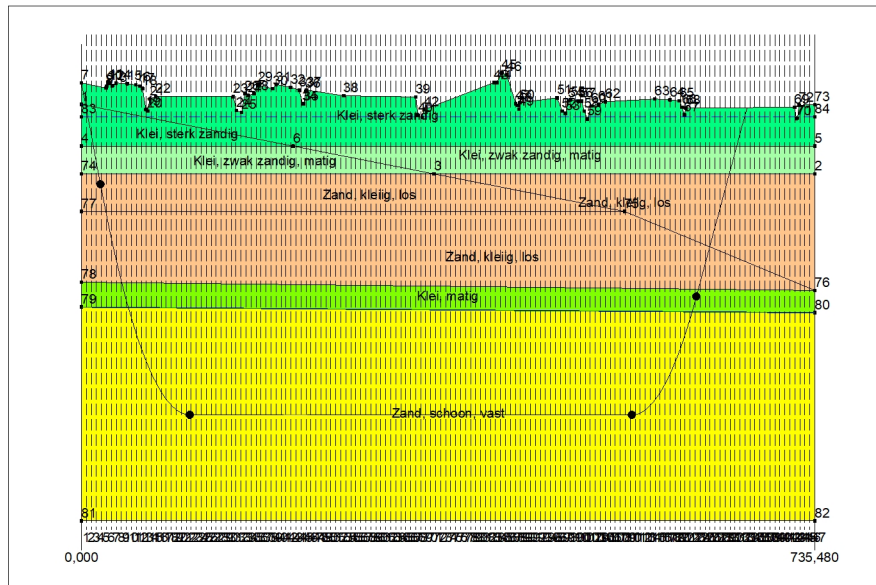
Name	Gamma unsat [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi [deg]	Su top [kN/m ²]	Su bottom [kN/m ²]
Zand, kleiig, los	18,00	20,00	0,00	25,00	0,00	0,00
Zand, schoon, vast	19,00	21,00	0,00	35,00	0,00	0,00
Klei, zwak zandig, matig	17,00	17,00	5,00	22,50	100,00	100,00
Veen; slap	11,00	11,00	1,50	15,00	30,00	30,00
Zand, schoon, matig	18,00	20,00	0,00	32,50	0,00	0,00
Zand, schoon, los	17,00	19,00	0,00	30,00	0,00	0,00
Klei, matig	18,00	18,00	5,00	22,50	60,00	60,00
Klei, sterk zandig	18,00	20,00	2,00	27,50	120,00	120,00

Name	Soil type	E _{mod} 100 [kN/m ²]	E _{mod} top [kN/m ²]	E _{mod} bottom [kN/m ²]
Zand, kleiig, los	Sand	10000,00	-	-
Zand, schoon, vast	Sand	75000,00	-	-
Klei, zwak zandig, matig	Clay	3000,00	-	-
Veen; slap	Peat	200,00	-	-
Zand, schoon, matig	Sand	30000,00	-	-
Zand, schoon, los	Sand	15000,00	-	-
Klei, matig	Clay	3000,00	-	-
Klei, sterk zandig	Clay	5000,00	-	-

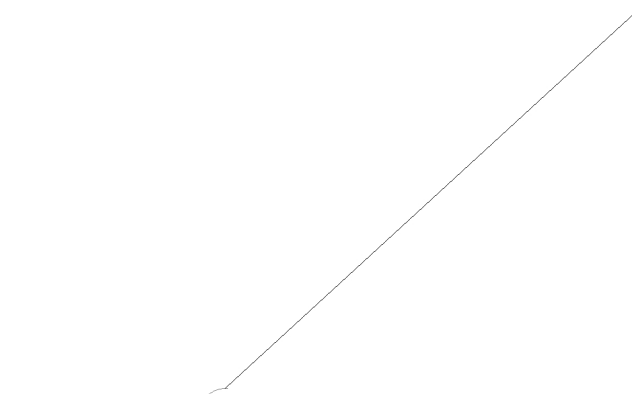
Name	Adhesion A [kN/m ²]	Delta D [deg]	Nu [-]
Zand, kleiig, los	-	-	0,20
Zand, schoon, vast	-	-	0,30
Klei, zwak zandig, matig	-	-	0,30
Veen; slap	-	-	0,30
Zand, schoon, matig	-	-	0,30
Zand, schoon, los	-	-	0,30
Klei, matig	-	-	0,30
Klei, sterk zandig	-	-	0,30

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	5,003	-0,360
2	10,006	-2,281
3	15,009	-4,201
4	20,012	-6,120
5	25,015	-7,956
6	30,018	-9,673
7	35,021	-11,272
8	40,024	-12,757
9	45,027	-14,129
10	50,030	-15,391
11	55,033	-16,543
12	60,036	-17,588
13	65,039	-18,527
14	70,042	-19,361
15	75,045	-20,091
16	80,048	-20,719
17	85,051	-21,244
18	90,054	-21,668
19	95,057	-21,990
20	100,060	-22,212
21	105,063	-22,334
22	110,066	-22,360
23	115,069	-22,360
24	120,072	-22,360
25	125,075	-22,360
26	130,078	-22,360
27	135,081	-22,360
28	140,084	-22,360
29	145,087	-22,360
30	150,090	-22,360
31	155,093	-22,360
32	160,096	-22,360
33	165,099	-22,360
34	170,102	-22,360
35	175,105	-22,360
36	180,108	-22,360
37	185,111	-22,360
38	190,114	-22,360
39	195,117	-22,360
40	200,120	-22,360
41	205,123	-22,360
42	210,126	-22,360
43	215,129	-22,360
44	220,132	-22,360
45	225,135	-22,360
46	230,138	-22,360
47	235,141	-22,360
48	240,144	-22,360
49	245,147	-22,360
50	250,150	-22,360
51	255,153	-22,360
52	260,156	-22,360
53	265,159	-22,360
54	270,162	-22,360
55	275,165	-22,360
56	280,168	-22,360
57	285,171	-22,360
58	290,174	-22,360
59	295,177	-22,360
60	300,180	-22,360
61	305,183	-22,360
62	310,186	-22,360

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
63	315,189	-22,360
64	320,192	-22,360
65	325,195	-22,360
66	330,198	-22,360
67	335,201	-22,360
68	340,204	-22,360
69	345,207	-22,360
70	350,210	-22,360
71	355,213	-22,360
72	360,216	-22,360
73	365,219	-22,360
74	370,222	-22,360
75	375,225	-22,360
76	380,228	-22,360
77	385,231	-22,360
78	390,234	-22,360
79	395,237	-22,360
80	400,240	-22,360
81	405,243	-22,360
82	410,246	-22,360
83	415,249	-22,360
84	420,252	-22,360
85	425,255	-22,360
86	430,258	-22,360
87	435,261	-22,360
88	440,264	-22,360
89	445,267	-22,360
90	450,270	-22,360
91	455,273	-22,360
92	460,276	-22,360
93	465,279	-22,360
94	470,282	-22,360
95	475,285	-22,360
96	480,288	-22,360
97	485,291	-22,360
98	490,294	-22,360
99	495,297	-22,360
100	500,300	-22,360
101	505,303	-22,360
102	510,306	-22,360
103	515,309	-22,360
104	520,312	-22,360
105	525,315	-22,360
106	530,318	-22,360
107	535,321	-22,360
108	540,324	-22,360
109	545,327	-22,360
110	550,330	-22,360
111	555,333	-22,336
112	560,336	-22,217
113	565,339	-21,998
114	570,342	-21,678
115	575,345	-21,257
116	580,348	-20,735
117	585,351	-20,110
118	590,354	-19,383
119	595,357	-18,552
120	600,360	-17,616
121	605,363	-16,574
122	610,366	-15,424
123	615,369	-14,166
124	620,372	-12,828
125	625,375	-11,488
126	630,378	-10,147
127	635,381	-8,807

Vertical no.	L-coord. [m]	Z-coord. [m]
128	640,384	-7,466
129	645,387	-6,126
130	650,390	-4,785
131	655,393	-3,445
132	660,396	-2,104
133	665,399	-0,763
134	670,402	n.a.
135	675,405	n.a.
136	680,408	n.a.
137	685,411	n.a.
138	690,414	n.a.
139	695,417	n.a.
140	700,420	n.a.
141	705,423	n.a.
142	710,426	n.a.
143	715,429	n.a.
144	720,432	n.a.
145	725,435	n.a.
146	730,438	n.a.
147	735,441	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 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	1,560	[m]
X co-ordinate right point	665,640	[m]
Y co-ordinate right point	40,000	[m]
Z co-ordinate right point	-0,226	[m]
Angle left	21,0000	[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)	-22,360	[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	205,470	0,000	227,910	1,000	250,000	left

3.11 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]

3.12 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	[-]

3.13 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]

3.14 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 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	[-]

3.15 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	225	225	24	335
2	291	291	48	354
3	286	286	72	373
4	157	157	96	391
5	154	154	119	409
6	175	175	141	425
7	199	199	161	440
8	220	220	180	454
9	399	399	198	467
10	502	502	215	478
11	862	862	230	489
12	915	1125	244	498
13	860	1184	257	505
14	942	1429	269	512
15	979	1571	279	518
16	1004	1673	289	522
17	1025	1752	297	526
18	1041	1813	305	528
19	1054	1857	311	529
20	1063	1886	316	529
21	1068	1902	319	528
22	1069	1906	322	525
23	1069	1905	325	523
24	1069	1905	327	520
25	1069	1905	330	518
26	1069	1905	332	515
27	1069	1905	335	513
28	1069	1905	337	510
29	1069	1905	340	508
30	1069	1904	342	505
31	1018	1799	345	503
32	1005	1772	347	500
33	1078	1923	350	498
34	1077	1920	352	495
35	1099	1967	355	493
36	1112	1994	357	490
37	1107	1983	360	488
38	1102	1973	362	485
39	1117	2003	365	483
40	1113	1996	367	480
41	1109	1987	370	478
42	1105	1978	372	475
43	1099	1965	375	473
44	1066	1895	377	470
45	1091	1949	380	468
46	1093	1952	382	465
47	1090	1946	385	463
48	1087	1939	387	460
49	1084	1932	390	458
50	1080	1925	392	455
51	1077	1919	395	453
52	1074	1912	397	450
53	1072	1908	400	448
54	1072	1907	402	445
55	1072	1906	405	443
56	1071	1906	407	440
57	1071	1905	410	438

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
58	1071	1904	412	435
59	1071	1903	415	433
60	1070	1903	417	430
61	1070	1902	420	428
62	1070	1901	422	425
63	1069	1900	425	423
64	1069	1899	427	420
65	1069	1899	430	418
66	1069	1898	432	415
67	1068	1896	435	413
68	987	1728	437	410
69	1019	1795	440	408
70	1027	1811	442	405
71	1035	1827	445	403
72	1043	1843	447	400
73	1051	1859	450	398
74	1058	1876	452	395
75	1066	1892	455	393
76	1074	1908	457	390
77	1082	1924	460	388
78	1090	1940	462	385
79	1097	1956	465	383
80	1105	1972	467	380
81	1113	1988	470	378
82	1121	2003	472	375
83	1125	2014	475	373
84	1155	2075	477	370
85	1158	2082	480	368
86	1108	1977	482	365
87	1044	1843	485	363
88	1045	1846	487	360
89	1048	1851	490	358
90	1051	1857	492	355
91	1053	1862	495	353
92	1056	1867	497	350
93	1059	1873	500	348
94	1061	1878	502	345
95	1064	1883	505	343
96	1029	1812	507	340
97	1001	1753	510	338
98	1057	1869	512	335
99	1054	1862	515	333
100	1052	1858	517	330
101	999	1748	520	328
102	1018	1788	522	325
103	1035	1823	525	323
104	1041	1835	527	320
105	1049	1851	530	318
106	1050	1853	532	315
107	1051	1855	535	313
108	1052	1857	537	310
109	1054	1859	540	308
110	1055	1862	542	305
111	1055	1860	544	303
112	1051	1847	546	299
113	1044	1819	546	294
114	1032	1775	545	288
115	1016	1715	542	281
116	994	1631	539	272
117	968	1524	535	263
118	938	1388	529	252
119	902	1215	523	241
120	854	987	515	228
121	685	685	506	214

Vertical no.	Drilling fluid pressures pilot [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
122	364	364	495	198
123	371	371	484	182
124	201	201	472	164
125	181	181	460	147
126	161	161	447	129
127	144	144	435	112
128	131	131	423	94
129	137	137	410	77
130	248	248	398	59
131	224	224	386	42
132	185	185	373	24
133	68	68	361	7

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	196	196	22	24
2	290	290	45	48
3	289	289	67	72
4	186	186	89	96
5	165	165	111	119
6	182	182	131	141
7	203	203	149	161
8	224	224	167	180
9	393	393	183	198
10	396	396	198	215
11	660	660	212	230
12	867	867	224	244
13	860	931	235	257
14	942	1143	246	269
15	979	1280	255	279
16	1004	1384	262	289
17	1025	1469	269	297
18	1041	1535	275	305
19	1054	1584	279	311
20	1063	1617	283	316
21	1068	1635	285	319
22	1069	1638	286	322
23	1069	1638	287	325
24	1069	1638	288	327
25	1069	1638	289	330
26	1069	1637	290	332
27	1069	1637	291	335
28	1069	1637	292	337
29	1069	1637	293	340
30	1069	1637	293	340
31	1018	1544	294	340
32	1005	1521	295	339
33	1078	1653	296	338
34	1077	1650	297	337
35	1099	1690	298	336
36	1112	1714	299	335
37	1107	1705	300	334
38	1102	1696	301	333
39	1117	1722	302	332
40	1113	1715	303	331
41	1109	1708	304	330
42	1105	1700	304	330
43	1099	1688	305	329
44	1066	1627	306	328
45	1091	1674	307	327
46	1093	1677	308	326
47	1090	1671	309	325
48	1087	1665	310	324

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
49	1084	1659	311	323
50	1080	1653	312	322
51	1077	1647	313	321
52	1074	1641	314	320
53	1072	1638	314	319
54	1072	1637	315	319
55	1072	1636	316	318
56	1071	1635	317	317
57	1071	1634	318	316
58	1071	1634	319	315
59	1071	1633	320	314
60	1070	1632	321	313
61	1070	1631	322	312
62	1070	1631	323	311
63	1069	1630	324	310
64	1069	1629	324	309
65	1069	1628	325	309
66	1069	1628	326	308
67	1068	1626	327	307
68	987	1480	328	306
69	1019	1538	329	305
70	1027	1552	330	304
71	1035	1566	331	303
72	1043	1580	332	302
73	1051	1594	333	301
74	1058	1607	334	300
75	1066	1621	335	299
76	1074	1635	335	298
77	1082	1649	336	298
78	1090	1663	337	297
79	1097	1677	338	296
80	1105	1691	339	295
81	1113	1704	340	294
82	1121	1718	341	293
83	1125	1727	342	292
84	1155	1780	343	291
85	1158	1786	344	290
86	1108	1695	345	289
87	1044	1578	345	288
88	1045	1581	346	288
89	1048	1585	347	287
90	1051	1590	348	286
91	1053	1594	349	285
92	1056	1599	350	284
93	1059	1603	348	283
94	1061	1608	345	282
95	1064	1612	343	281
96	1029	1550	340	280
97	1001	1500	338	279
98	1057	1599	335	278
99	1054	1594	333	278
100	1052	1590	330	277
101	999	1495	328	276
102	1018	1529	325	275
103	1035	1559	323	274
104	1041	1570	320	273
105	1049	1583	318	272
106	1050	1585	315	271
107	1051	1587	313	270
108	1052	1589	310	269
109	1054	1590	308	268
110	1055	1592	305	267
111	1055	1590	303	266
112	1051	1574	299	264

Vertical no.	Drilling fluid pressures preream [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
113	1044	1542	294	261
114	1032	1495	288	256
115	1016	1429	281	251
116	994	1341	272	244
117	968	1234	263	236
118	938	1104	252	227
119	902	950	241	217
120	762	762	228	206
121	531	531	214	193
122	320	320	198	179
123	360	360	182	165
124	204	204	164	149
125	185	185	147	133
126	167	167	129	117
127	151	151	112	101
128	143	143	94	85
129	163	163	77	70
130	248	248	59	54
131	225	225	42	38
132	184	184	24	22
133	0	0	7	6

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
1	124	124	22	22
2	267	267	44	45
3	296	296	66	67
4	242	242	89	89
5	190	190	110	111
6	198	198	130	131
7	215	215	148	149
8	233	233	166	167
9	373	373	182	183
10	351	351	196	198
11	469	469	210	212
12	607	607	223	224
13	657	657	234	235
14	805	805	244	246
15	908	908	253	255
16	990	990	260	262
17	1025	1059	267	269
18	1041	1115	273	275
19	1054	1157	277	279
20	1063	1186	280	283
21	1068	1202	282	285
22	1069	1205	283	286
23	1069	1205	284	287
24	1069	1205	285	288
25	1069	1205	286	289
26	1069	1204	287	290
27	1069	1204	287	291
28	1069	1204	288	292
29	1069	1204	289	293
30	1069	1204	290	293
31	1018	1137	291	294
32	1005	1120	291	295
33	1078	1215	292	296
34	1077	1213	293	297
35	1099	1242	294	298
36	1112	1259	294	299
37	1107	1252	295	300
38	1102	1246	296	301
39	1117	1264	297	302

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
40	1113	1260	298	303
41	1109	1254	298	304
42	1105	1248	299	304
43	1099	1240	300	305
44	1066	1196	301	306
45	1091	1229	302	307
46	1093	1232	302	308
47	1090	1227	303	309
48	1087	1223	304	310
49	1084	1218	305	311
50	1080	1214	306	312
51	1077	1210	306	311
52	1074	1205	307	310
53	1072	1203	308	310
54	1072	1202	309	309
55	1072	1202	309	308
56	1071	1201	310	307
57	1071	1200	311	306
58	1071	1200	312	306
59	1071	1199	313	305
60	1070	1199	313	304
61	1070	1198	312	303
62	1070	1197	311	302
63	1069	1197	310	302
64	1069	1196	309	301
65	1069	1196	309	300
66	1069	1195	308	299
67	1068	1193	307	299
68	987	1089	306	298
69	1019	1130	305	297
70	1027	1140	304	296
71	1035	1150	303	295
72	1043	1160	302	295
73	1051	1170	301	294
74	1058	1180	300	293
75	1066	1190	299	292
76	1074	1200	298	291
77	1082	1210	298	291
78	1090	1220	297	290
79	1097	1229	296	289
80	1105	1239	295	288
81	1113	1249	294	287
82	1121	1259	293	287
83	1125	1265	292	286
84	1155	1304	291	285
85	1158	1308	290	284
86	1108	1242	289	284
87	1044	1158	288	283
88	1045	1160	288	282
89	1048	1163	287	281
90	1051	1166	286	280
91	1053	1169	285	280
92	1056	1173	284	279
93	1059	1176	283	278
94	1061	1179	282	277
95	1064	1182	281	276
96	1029	1138	280	276
97	1001	1102	279	275
98	1057	1173	278	274
99	1054	1169	278	273
100	1052	1166	277	272
101	999	1098	276	272
102	1018	1122	275	271
103	1035	1144	274	270

Vertical no.	Drilling fluid pressures pull back [kN/m ²]			
	Max, deformation	Max, soil cover	Min, left	Min, right
104	1041	1151	273	269
105	1049	1161	272	269
106	1050	1162	271	268
107	1051	1163	270	267
108	1052	1165	269	266
109	1054	1166	268	265
110	1055	1167	267	265
111	1055	1165	266	264
112	1051	1151	264	261
113	1044	1123	261	258
114	1032	1082	256	254
115	1016	1027	251	248
116	957	957	244	242
117	874	874	236	234
118	777	777	227	225
119	667	667	217	215
120	540	540	206	204
121	389	389	193	192
122	247	247	179	178
123	321	321	165	163
124	211	211	149	148
125	194	194	133	132
126	179	179	117	116
127	167	167	101	100
128	165	165	85	85
129	207	207	70	69
130	248	248	54	53
131	212	212	38	38
132	125	125	22	22
133	0	0	6	6

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	21	0	-	sufficient
2	43	14	3,09	sufficient
3	64	33	1,94	sufficient
4	85	52	1,63	sufficient
5	105	71	1,49	sufficient
6	124	88	1,42	sufficient
7	142	104	1,37	sufficient
8	158	119	1,33	sufficient
9	173	132	1,31	sufficient
10	187	145	1,29	sufficient
11	200	156	1,28	sufficient
12	211	167	1,27	sufficient
13	221	176	1,26	sufficient
14	231	185	1,25	sufficient
15	238	192	1,24	sufficient
16	245	198	1,24	sufficient
17	251	203	1,23	sufficient
18	255	208	1,23	sufficient
19	259	211	1,23	sufficient
20	261	213	1,23	sufficient
21	262	214	1,22	sufficient
22	262	215	1,22	sufficient
23	262	215	1,22	sufficient
24	262	215	1,22	sufficient
25	262	215	1,22	sufficient
26	262	215	1,22	sufficient
27	262	215	1,22	sufficient
28	261	215	1,22	sufficient

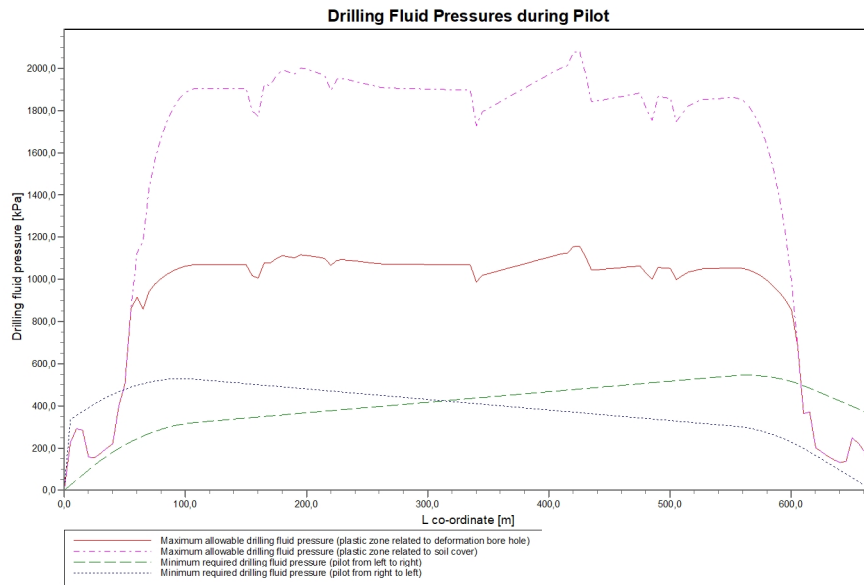
Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
29	261	215	1,22	sufficient
30	261	215	1,22	sufficient
31	261	215	1,22	sufficient
32	261	215	1,22	sufficient
33	261	215	1,21	sufficient
34	261	215	1,21	sufficient
35	260	215	1,21	sufficient
36	260	215	1,21	sufficient
37	260	215	1,21	sufficient
38	260	215	1,21	sufficient
39	260	215	1,21	sufficient
40	260	215	1,21	sufficient
41	259	215	1,21	sufficient
42	259	215	1,21	sufficient
43	259	215	1,21	sufficient
44	259	215	1,21	sufficient
45	259	215	1,21	sufficient
46	259	215	1,20	sufficient
47	258	215	1,20	sufficient
48	258	215	1,20	sufficient
49	258	215	1,20	sufficient
50	258	215	1,20	sufficient
51	258	215	1,20	sufficient
52	258	215	1,20	sufficient
53	257	215	1,20	sufficient
54	257	215	1,20	sufficient
55	257	215	1,20	sufficient
56	257	215	1,20	sufficient
57	257	215	1,20	sufficient
58	257	215	1,20	sufficient
59	256	215	1,19	sufficient
60	256	215	1,19	sufficient
61	256	215	1,19	sufficient
62	256	215	1,19	sufficient
63	256	215	1,19	sufficient
64	256	215	1,19	sufficient
65	255	215	1,19	sufficient
66	255	215	1,19	sufficient
67	255	215	1,19	sufficient
68	255	215	1,19	sufficient
69	255	215	1,19	sufficient
70	255	215	1,19	sufficient
71	254	215	1,19	sufficient
72	254	215	1,18	sufficient
73	254	215	1,18	sufficient
74	254	215	1,18	sufficient
75	254	215	1,18	sufficient
76	254	215	1,18	sufficient
77	253	215	1,18	sufficient
78	253	215	1,18	sufficient
79	253	215	1,18	sufficient
80	253	215	1,18	sufficient
81	253	215	1,18	sufficient
82	253	215	1,18	sufficient
83	252	215	1,18	sufficient
84	252	215	1,18	sufficient
85	252	215	1,17	sufficient
86	252	215	1,17	sufficient
87	252	215	1,17	sufficient
88	252	215	1,17	sufficient
89	251	215	1,17	sufficient
90	251	215	1,17	sufficient
91	251	215	1,17	sufficient
92	251	215	1,17	sufficient

Vertical no.	Static column pressure			Result
	Drilling fluid [kN/m ²]	Water [kN/m ²]	Safety [-]	
93	251	215	1,17	sufficient
94	251	215	1,17	sufficient
95	250	215	1,17	sufficient
96	250	215	1,17	sufficient
97	250	215	1,17	sufficient
98	250	215	1,16	sufficient
99	250	215	1,16	sufficient
100	250	215	1,16	sufficient
101	249	215	1,16	sufficient
102	249	215	1,16	sufficient
103	249	215	1,16	sufficient
104	249	215	1,16	sufficient
105	249	215	1,16	sufficient
106	249	215	1,16	sufficient
107	248	215	1,16	sufficient
108	248	215	1,16	sufficient
109	248	215	1,16	sufficient
110	248	215	1,16	sufficient
111	247	214	1,15	sufficient
112	246	213	1,15	sufficient
113	243	211	1,15	sufficient
114	240	208	1,15	sufficient
115	235	204	1,15	sufficient
116	229	198	1,15	sufficient
117	222	192	1,15	sufficient
118	214	185	1,16	sufficient
119	204	177	1,16	sufficient
120	194	167	1,16	sufficient
121	182	157	1,16	sufficient
122	169	145	1,16	sufficient
123	155	133	1,17	sufficient
124	140	119	1,17	sufficient
125	125	106	1,18	sufficient
126	110	92	1,19	sufficient
127	95	79	1,20	sufficient
128	80	66	1,22	sufficient
129	65	52	1,25	sufficient
130	51	39	1,30	sufficient
131	36	25	1,40	sufficient
132	21	12	1,73	sufficient
133	6	0	-	sufficient

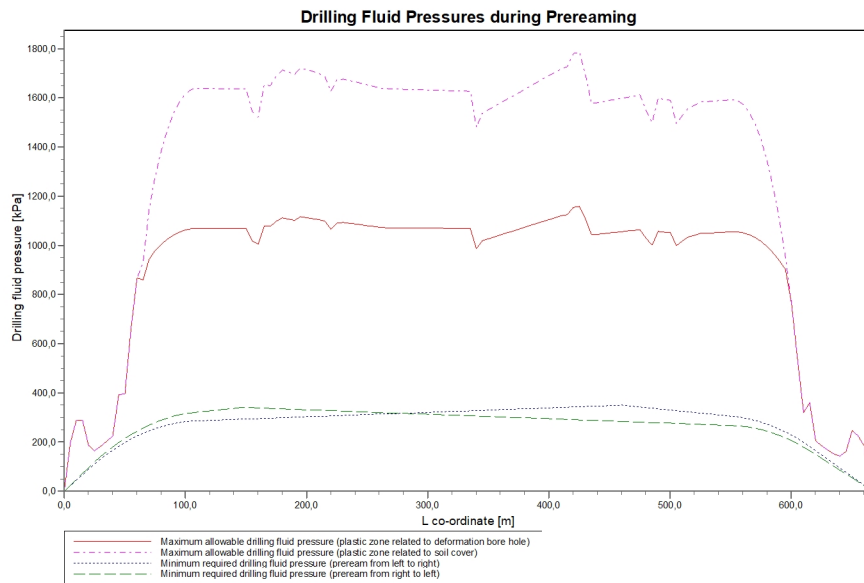
The static drilling fluid pressure is calculated and can be compared with the calculated groundwater pressure. The quotient of the drilling fluid pressure and the groundwater pressure yields the safety factor, which should be higher than the requested factor of safety of 1,10.

4.3 Drilling Fluid Pressure Plots

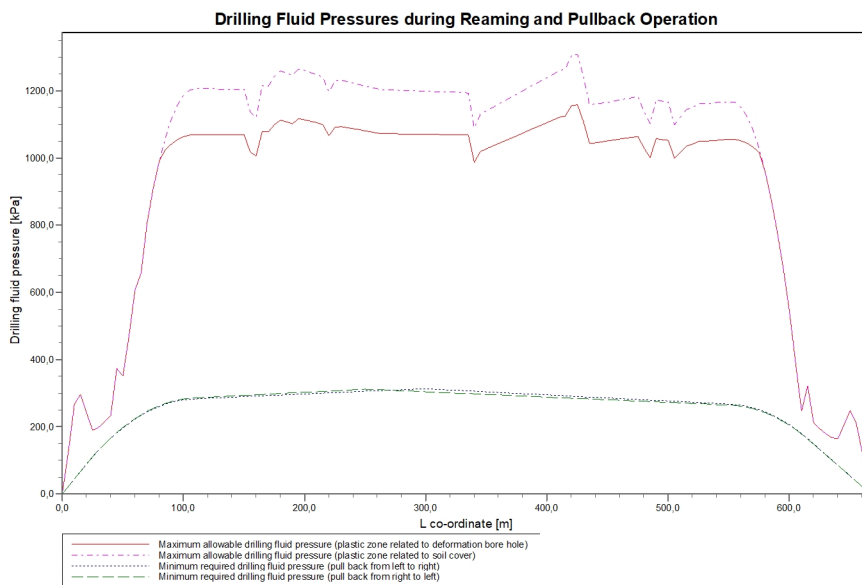
4.3.1 Drilling Fluid Pressures during Pilot



4.3.2 Drilling Fluid Pressures during Prereaming



4.3.3 Drilling Fluid Pressures during Reaming and Pullback Operation



5 Soil Mechanical Data

5.1 Soil Mechanical Parameters Pipe 1: pipe nr. 1

The list with data and issues is shown hereafter:

Note: safety factors not applied.

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

Vertical no.	q_v;p [kN/m ²]	q_v;n [kN/m ²]	q_h;n [kN/m ²]	q_v;r;n [kN/m ²]	q_traffic [kN/m ²]	q_v;e [kN/m ²]
1	80	31	23	31	0	702
2	231	54	40	54	0	1172
3	235	69	33	44	0	962
4	403	84	38	51	0	1313
5	481	103	44	59	0	1609
6	559	122	48	65	0	1915
7	630	140	51	68	0	2203
8	686	155	52	70	0	2011
9	513	166	50	68	0	3557
10	1936	177	49	67	0	8319
11	2044	189	48	65	0	8864
12	2120	197	39	52	0	9256
13	1951	178	25	34	0	8376
14	2171	203	22	29	0	9512
15	2262	213	19	25	0	9994
16	2324	220	17	23	0	10318
17	2374	226	16	22	0	10588
18	2415	230	16	21	0	10806
19	2446	234	15	21	0	10973
20	2467	236	15	20	0	11087
21	2479	238	15	20	0	11150
22	2481	238	15	20	0	11163
23	2481	238	15	20	0	11163
24	2481	238	15	20	0	11163
25	2481	238	15	20	0	11163
26	2481	238	15	20	0	11163
27	2481	238	15	20	0	11163
28	2481	238	15	20	0	11163
29	2481	238	15	20	0	11163
30	2481	238	15	20	0	11163
31	2340	222	15	20	0	10403
32	2305	218	15	20	0	10211
33	2507	241	15	20	0	11302
34	2503	240	15	20	0	11283
35	2565	248	15	20	0	11619
36	2601	252	15	21	0	11817
37	2588	250	15	20	0	11744
38	2575	249	15	20	0	11671
39	2614	253	15	21	0	11888
40	2605	252	15	21	0	11836
41	2594	251	15	21	0	11775
42	2582	250	15	21	0	11711
43	2564	247	15	20	0	11614

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	2472	237	15	20	0	11110
45	2543	245	15	20	0	11499
46	2548	246	15	20	0	11527
47	2539	245	15	20	0	11479
48	2531	244	15	20	0	11431
49	2522	243	15	20	0	11383
50	2513	242	15	20	0	11335
51	2504	241	15	20	0	11287
52	2495	239	15	20	0	11239
53	2490	239	15	20	0	11212
54	2490	239	15	20	0	11207
55	2489	239	15	20	0	11202
56	2488	239	15	20	0	11198
57	2487	238	15	20	0	11193
58	2486	238	15	20	0	11188
59	2485	238	15	20	0	11184
60	2484	238	15	20	0	11179
61	2484	238	15	20	0	11174
62	2483	238	15	20	0	11170
63	2482	238	15	20	0	11165
64	2481	238	15	20	0	11160
65	2480	238	15	20	0	11156
66	2479	238	15	20	0	11151
67	2477	237	15	20	0	11136
68	2251	211	15	20	0	9928
69	2342	222	15	20	0	10409
70	2364	224	15	20	0	10527
71	2386	227	15	20	0	10645
72	2407	229	15	20	0	10762
73	2429	232	15	20	0	10880
74	2451	234	15	20	0	10997
75	2473	237	15	20	0	11115
76	2494	239	15	20	0	11232
77	2516	242	15	21	0	11350
78	2537	244	15	21	0	11468
79	2559	247	15	21	0	11585
80	2580	249	15	21	0	11703
81	2602	252	15	21	0	11820
82	2623	254	15	21	0	11938
83	2637	256	15	21	0	12014
84	2718	266	16	21	0	12464
85	2729	267	16	21	0	12520
86	2589	250	15	21	0	11752
87	2410	230	15	20	0	10775
88	2414	230	15	20	0	10798
89	2421	231	15	20	0	10837
90	2429	232	15	20	0	10877
91	2436	233	15	20	0	10916
92	2443	233	15	20	0	10955
93	2450	234	15	20	0	10995
94	2458	235	15	20	0	11034
95	2465	236	15	21	0	11074
96	2369	225	15	20	0	10558
97	2291	216	15	20	0	10139
98	2446	234	15	20	0	10973
99	2438	233	15	20	0	10925
100	2432	232	15	20	0	10894
101	2285	215	15	20	0	10105
102	2338	221	15	20	0	10391
103	2386	227	15	20	0	10647
104	2402	229	15	20	0	10734
105	2424	231	15	20	0	10851
106	2427	232	15	20	0	10868
107	2430	232	15	20	0	10884
108	2433	232	15	21	0	10900

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	2436	233	15	21	0	10916
110	2439	233	15	21	0	10933
111	2440	233	15	21	0	10936
112	2431	232	15	21	0	10891
113	2413	230	16	21	0	10794
114	2385	227	16	22	0	10646
115	2347	222	17	23	0	10442
116	2293	216	18	24	0	10156
117	2229	209	20	27	0	9818
118	2154	201	23	31	0	9425
119	2066	191	29	39	0	8966
120	1944	178	40	54	0	8346
121	1735	155	43	58	0	7297
122	1652	147	44	59	0	6893
123	428	136	45	61	0	1777
124	566	124	46	61	0	1819
125	513	110	44	59	0	1733
126	460	97	41	56	0	1523
127	404	84	38	51	0	1313
128	347	70	33	45	0	1103
129	287	57	28	38	0	894
130	164	45	22	29	0	697
131	134	35	26	35	0	555
132	60	23	17	23	0	537
133	10	7	5	7	0	214

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	303	78950	1634	55265	0,05	7,5
2	231	4361	4436	3053	0,05	7,5
3	235	10992	4247	7694	0,05	7,5
4	403	17406	11103	12184	0,05	7,5
5	481	19215	17393	13451	0,05	7,5
6	559	20952	19265	14666	0,05	7,5
7	630	20764	20905	14535	0,05	7,5
8	686	7908	22131	5535	0,05	7,5
9	513	185880	11966	130116	0,05	7,5
10	1936	247809	88874	173467	0,05	7,5
11	2044	256175	241072	179322	0,05	7,5
12	2120	262048	247231	183433	0,05	7,5
13	1951	248663	233175	174064	0,05	7,5
14	2171	265823	251184	186076	0,05	7,5
15	2262	272844	258521	190991	0,05	7,5
16	2324	277467	263344	194227	0,05	7,5
17	2374	281290	267328	196903	0,05	7,5
18	2415	284345	270508	199042	0,05	7,5
19	2446	286654	272910	200658	0,05	7,5
20	2467	288236	274554	201765	0,05	7,5
21	2479	289100	275453	202370	0,05	7,5
22	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
23	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
24	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
25	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
26	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
27	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
28	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
29	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
30	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
31	2340	278660	264587	195062	0,05	7,5
32	2305	275936	261747	193155	0,05	7,5
33	2507	291182	277616	203827	0,05	7,5
34	2503	290925	277349	203647	0,05	7,5
35	2565	295501	282100	206851	0,05	7,5
36	2601	298166	284865	208716	0,05	7,5
37	2588	297183	283845	208028	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]
38	2575	296198	282823	207339	0,05	7,5
39	2614	299129	285863	209390	0,05	7,5
40	2605	298425	285133	208898	0,05	7,5
41	2594	297606	284284	208324	0,05	7,5
42	2582	296747	283393	207723	0,05	7,5
43	2564	295431	282027	206802	0,05	7,5
44	2472	288546	274877	201982	0,05	7,5
45	2543	293869	280406	205708	0,05	7,5
46	2548	294248	280799	205973	0,05	7,5
47	2539	293597	280124	205518	0,05	7,5
48	2531	292945	279447	205061	0,05	7,5
49	2522	292292	278769	204604	0,05	7,5
50	2513	291637	278089	204146	0,05	7,5
51	2504	290982	277408	203687	0,05	7,5
52	2495	290325	276726	203228	0,05	7,5
53	2490	289947	276333	202963	0,05	7,5
54	2490	289883	276266	202918	0,05	7,5
55	2489	289819	276200	202873	0,05	7,5
56	2488	289755	276133	202828	0,05	7,5
57	2487	289691	276067	202783	0,05	7,5
58	2486	289627	276000	202739	0,05	7,5
59	2485	289563	275933	202694	0,05	7,5
60	2484	289499	275867	202649	0,05	7,5
61	2484	289435	275800	202604	0,05	7,5
62	2483	289370	275734	202559	0,05	7,5
63	2482	289306	275667	202514	0,05	7,5
64	2481	289242	275601	202470	0,05	7,5
65	2480	289178	275534	202425	0,05	7,5
66	2479	289114	275467	202380	0,05	7,5
67	2477	288910	275255	202237	0,05	7,5
68	2251	271862	257495	190303	0,05	7,5
69	2342	278754	264685	195128	0,05	7,5
70	2364	280416	266418	196291	0,05	7,5
71	2386	282071	268141	197450	0,05	7,5
72	2407	283718	269856	198603	0,05	7,5
73	2429	285358	271562	199751	0,05	7,5
74	2451	286990	273259	200893	0,05	7,5
75	2473	288615	274948	202030	0,05	7,5
76	2494	290232	276629	203163	0,05	7,5
77	2516	291843	278302	204290	0,05	7,5
78	2537	293446	279967	205412	0,05	7,5
79	2559	295042	281624	206530	0,05	7,5
80	2580	296632	283273	207642	0,05	7,5
81	2602	298214	284915	208750	0,05	7,5
82	2623	299791	286549	209853	0,05	7,5
83	2637	300803	287598	210562	0,05	7,5
84	2718	306761	293769	214733	0,05	7,5
85	2729	307494	294527	215245	0,05	7,5
86	2589	297293	283959	208105	0,05	7,5
87	2410	283894	270039	198726	0,05	7,5
88	2414	284216	270374	198951	0,05	7,5
89	2421	284766	270946	199336	0,05	7,5
90	2429	285315	271517	199721	0,05	7,5
91	2436	285864	272088	200105	0,05	7,5
92	2443	286411	272657	200488	0,05	7,5
93	2450	286958	273226	200871	0,05	7,5
94	2458	287504	273794	201253	0,05	7,5
95	2465	288049	274360	201634	0,05	7,5
96	2369	280859	266879	196602	0,05	7,5
97	2291	274902	260669	192432	0,05	7,5
98	2446	286649	272904	200654	0,05	7,5
99	2438	285991	272221	200194	0,05	7,5
100	2432	285555	271767	199889	0,05	7,5
101	2285	274417	260163	192092	0,05	7,5
102	2338	278497	264418	194948	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]
103	2386	282103	268175	197472	0,05	7,5
104	2402	283329	269450	198330	0,05	7,5
105	2424	284964	271152	199475	0,05	7,5
106	2427	285194	271391	199636	0,05	7,5
107	2430	285419	271625	199793	0,05	7,5
108	2433	285644	271859	199951	0,05	7,5
109	2436	285869	272093	200108	0,05	7,5
110	2439	286093	272327	200265	0,05	7,5
111	2440	286148	272384	200304	0,05	7,5
112	2431	285521	271732	199865	0,05	7,5
113	2413	284174	270330	198922	0,05	7,5
114	2385	282096	268167	197467	0,05	7,5
115	2347	279222	265173	195455	0,05	7,5
116	2293	275159	260937	192611	0,05	7,5
117	2229	270285	255849	189200	0,05	7,5
118	2154	264546	249848	185183	0,05	7,5
119	2066	257700	242673	180390	0,05	7,5
120	1944	248205	232694	173744	0,05	7,5
121	1735	231452	202638	162016	0,05	7,5
122	1652	224741	45551	157319	0,05	7,5
123	428	129463	14139	90624	0,05	7,5
124	566	9485	19420	6640	0,05	7,5
125	513	19924	18165	13947	0,05	7,5
126	460	18691	16820	13084	0,05	7,5
127	404	17389	15386	12172	0,05	7,5
128	347	15994	13828	11196	0,05	7,5
129	287	14492	8671	10144	0,05	7,5
130	164	12509	2283	8756	0,05	7,5
131	134	3504	2694	2453	0,05	7,5
132	233	72008	927	50406	0,05	7,5
133	80	71715	6	50200	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n} ;max = 267 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 70 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n} ;max = 70 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 307494 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 614987 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	80	31	23	31	0	702
2	231	54	40	54	0	1172
3	235	69	33	44	0	962
4	403	84	38	51	0	1313

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]
5	481	103	44	59	0	1609
6	559	122	48	65	0	1915
7	630	140	51	68	0	2203
8	686	155	52	70	0	2011
9	513	166	50	68	0	3557
10	1936	177	49	67	0	8319
11	2044	189	48	65	0	8864
12	2120	197	39	52	0	9256
13	1951	178	25	34	0	8376
14	2171	203	22	29	0	9512
15	2262	213	19	25	0	9994
16	2324	220	17	23	0	10318
17	2374	226	16	22	0	10588
18	2415	230	16	21	0	10806
19	2446	234	15	21	0	10973
20	2467	236	15	20	0	11087
21	2479	238	15	20	0	11150
22	2481	238	15	20	0	11163
23	2481	238	15	20	0	11163
24	2481	238	15	20	0	11163
25	2481	238	15	20	0	11163
26	2481	238	15	20	0	11163
27	2481	238	15	20	0	11163
28	2481	238	15	20	0	11163
29	2481	238	15	20	0	11163
30	2481	238	15	20	0	11163
31	2340	222	15	20	0	10403
32	2305	218	15	20	0	10211
33	2507	241	15	20	0	11302
34	2503	240	15	20	0	11283
35	2565	248	15	20	0	11619
36	2601	252	15	21	0	11817
37	2588	250	15	20	0	11744
38	2575	249	15	20	0	11671
39	2614	253	15	21	0	11888
40	2605	252	15	21	0	11836
41	2594	251	15	21	0	11775
42	2582	250	15	21	0	11711
43	2564	247	15	20	0	11614
44	2472	237	15	20	0	11110
45	2543	245	15	20	0	11499
46	2548	246	15	20	0	11527
47	2539	245	15	20	0	11479
48	2531	244	15	20	0	11431
49	2522	243	15	20	0	11383
50	2513	242	15	20	0	11335
51	2504	241	15	20	0	11287
52	2495	239	15	20	0	11239
53	2490	239	15	20	0	11212
54	2490	239	15	20	0	11207
55	2489	239	15	20	0	11202
56	2488	239	15	20	0	11198
57	2487	238	15	20	0	11193
58	2486	238	15	20	0	11188
59	2485	238	15	20	0	11184
60	2484	238	15	20	0	11179
61	2484	238	15	20	0	11174
62	2483	238	15	20	0	11170
63	2482	238	15	20	0	11165
64	2481	238	15	20	0	11160
65	2480	238	15	20	0	11156
66	2479	238	15	20	0	11151
67	2477	237	15	20	0	11136
68	2251	211	15	20	0	9928
69	2342	222	15	20	0	10409

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]
70	2364	224	15	20	0	10527
71	2386	227	15	20	0	10645
72	2407	229	15	20	0	10762
73	2429	232	15	20	0	10880
74	2451	234	15	20	0	10997
75	2473	237	15	20	0	11115
76	2494	239	15	20	0	11232
77	2516	242	15	21	0	11350
78	2537	244	15	21	0	11468
79	2559	247	15	21	0	11585
80	2580	249	15	21	0	11703
81	2602	252	15	21	0	11820
82	2623	254	15	21	0	11938
83	2637	256	15	21	0	12014
84	2718	266	16	21	0	12464
85	2729	267	16	21	0	12520
86	2589	250	15	21	0	11752
87	2410	230	15	20	0	10775
88	2414	230	15	20	0	10798
89	2421	231	15	20	0	10837
90	2429	232	15	20	0	10877
91	2436	233	15	20	0	10916
92	2443	233	15	20	0	10955
93	2450	234	15	20	0	10995
94	2458	235	15	20	0	11034
95	2465	236	15	21	0	11074
96	2369	225	15	20	0	10558
97	2291	216	15	20	0	10139
98	2446	234	15	20	0	10973
99	2438	233	15	20	0	10925
100	2432	232	15	20	0	10894
101	2285	215	15	20	0	10105
102	2338	221	15	20	0	10391
103	2386	227	15	20	0	10647
104	2402	229	15	20	0	10734
105	2424	231	15	20	0	10851
106	2427	232	15	20	0	10868
107	2430	232	15	20	0	10884
108	2433	232	15	21	0	10900
109	2436	233	15	21	0	10916
110	2439	233	15	21	0	10933
111	2440	233	15	21	0	10936
112	2431	232	15	21	0	10891
113	2413	230	16	21	0	10794
114	2385	227	16	22	0	10646
115	2347	222	17	23	0	10442
116	2293	216	18	24	0	10156
117	2229	209	20	27	0	9818
118	2154	201	23	31	0	9425
119	2066	191	29	39	0	8966
120	1944	178	40	54	0	8346
121	1735	155	43	58	0	7297
122	1652	147	44	59	0	6893
123	428	136	45	61	0	1777
124	566	124	46	61	0	1819
125	513	110	44	59	0	1733
126	460	97	41	56	0	1523
127	404	84	38	51	0	1313
128	347	70	33	45	0	1103
129	287	57	28	38	0	894
130	164	45	22	29	0	697
131	134	35	26	35	0	555
132	60	23	17	23	0	537
133	10	7	5	7	0	214

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	303	78950	1634	55265	0,05	7,5
2	231	4361	4436	3053	0,05	7,5
3	235	10992	4247	7694	0,05	7,5
4	403	17406	11103	12184	0,05	7,5
5	481	19215	17393	13451	0,05	7,5
6	559	20952	19265	14666	0,05	7,5
7	630	20764	20905	14535	0,05	7,5
8	686	7908	22131	5535	0,05	7,5
9	513	185880	11966	130116	0,05	7,5
10	1936	247809	88874	173467	0,05	7,5
11	2044	256175	241072	179322	0,05	7,5
12	2120	262048	247231	183433	0,05	7,5
13	1951	248663	233175	174064	0,05	7,5
14	2171	265823	251184	186076	0,05	7,5
15	2262	272844	258521	190991	0,05	7,5
16	2324	277467	263344	194227	0,05	7,5
17	2374	281290	267328	196903	0,05	7,5
18	2415	284345	270508	199042	0,05	7,5
19	2446	286654	272910	200658	0,05	7,5
20	2467	288236	274554	201765	0,05	7,5
21	2479	289100	275453	202370	0,05	7,5
22	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
23	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
24	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
25	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
26	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
27	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
28	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
29	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
30	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
31	2340	278660	264587	195062	0,05	7,5
32	2305	275936	261747	193155	0,05	7,5
33	2507	291182	277616	203827	0,05	7,5
34	2503	290925	277349	203647	0,05	7,5
35	2565	295501	282100	206851	0,05	7,5
36	2601	298166	284865	208716	0,05	7,5
37	2588	297183	283845	208028	0,05	7,5
38	2575	296198	282823	207339	0,05	7,5
39	2614	299129	285863	209390	0,05	7,5
40	2605	298425	285133	208898	0,05	7,5
41	2594	297606	284284	208324	0,05	7,5
42	2582	296747	283393	207723	0,05	7,5
43	2564	295431	282027	206802	0,05	7,5
44	2472	288546	274877	201982	0,05	7,5
45	2543	293869	280406	205708	0,05	7,5
46	2548	294248	280799	205973	0,05	7,5
47	2539	293597	280124	205518	0,05	7,5
48	2531	292945	279447	205061	0,05	7,5
49	2522	292292	278769	204604	0,05	7,5
50	2513	291637	278089	204146	0,05	7,5
51	2504	290982	277408	203687	0,05	7,5
52	2495	290325	276726	203228	0,05	7,5
53	2490	289947	276333	202963	0,05	7,5
54	2490	289883	276266	202918	0,05	7,5
55	2489	289819	276200	202873	0,05	7,5
56	2488	289755	276133	202828	0,05	7,5
57	2487	289691	276067	202783	0,05	7,5
58	2486	289627	276000	202739	0,05	7,5
59	2485	289563	275933	202694	0,05	7,5
60	2484	289499	275867	202649	0,05	7,5
61	2484	289435	275800	202604	0,05	7,5
62	2483	289370	275734	202559	0,05	7,5
63	2482	289306	275667	202514	0,05	7,5
64	2481	289242	275601	202470	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	2480	289178	275534	202425	0,05	7,5
66	2479	289114	275467	202380	0,05	7,5
67	2477	288910	275255	202237	0,05	7,5
68	2251	271862	257495	190303	0,05	7,5
69	2342	278754	264685	195128	0,05	7,5
70	2364	280416	266418	196291	0,05	7,5
71	2386	282071	268141	197450	0,05	7,5
72	2407	283718	269856	198603	0,05	7,5
73	2429	285358	271562	199751	0,05	7,5
74	2451	286990	273259	200893	0,05	7,5
75	2473	288615	274948	202030	0,05	7,5
76	2494	290232	276629	203163	0,05	7,5
77	2516	291843	278302	204290	0,05	7,5
78	2537	293446	279967	205412	0,05	7,5
79	2559	295042	281624	206530	0,05	7,5
80	2580	296632	283273	207642	0,05	7,5
81	2602	298214	284915	208750	0,05	7,5
82	2623	299791	286549	209853	0,05	7,5
83	2637	300803	287598	210562	0,05	7,5
84	2718	306761	293769	214733	0,05	7,5
85	2729	307494	294527	215245	0,05	7,5
86	2589	297293	283959	208105	0,05	7,5
87	2410	283894	270039	198726	0,05	7,5
88	2414	284216	270374	198951	0,05	7,5
89	2421	284766	270946	199336	0,05	7,5
90	2429	285315	271517	199721	0,05	7,5
91	2436	285864	272088	200105	0,05	7,5
92	2443	286411	272657	200488	0,05	7,5
93	2450	286958	273226	200871	0,05	7,5
94	2458	287504	273794	201253	0,05	7,5
95	2465	288049	274360	201634	0,05	7,5
96	2369	280859	266879	196602	0,05	7,5
97	2291	274902	260669	192432	0,05	7,5
98	2446	286649	272904	200654	0,05	7,5
99	2438	285991	272221	200194	0,05	7,5
100	2432	285555	271767	199889	0,05	7,5
101	2285	274417	260163	192092	0,05	7,5
102	2338	278497	264418	194948	0,05	7,5
103	2386	282103	268175	197472	0,05	7,5
104	2402	283329	269450	198330	0,05	7,5
105	2424	284964	271152	199475	0,05	7,5
106	2427	285194	271391	199636	0,05	7,5
107	2430	285419	271625	199793	0,05	7,5
108	2433	285644	271859	199951	0,05	7,5
109	2436	285869	272093	200108	0,05	7,5
110	2439	286093	272327	200265	0,05	7,5
111	2440	286148	272384	200304	0,05	7,5
112	2431	285521	271732	199865	0,05	7,5
113	2413	284174	270330	198922	0,05	7,5
114	2385	282096	268167	197467	0,05	7,5
115	2347	279222	265173	195455	0,05	7,5
116	2293	275159	260937	192611	0,05	7,5
117	2229	270285	255849	189200	0,05	7,5
118	2154	264546	249848	185183	0,05	7,5
119	2066	257700	242673	180390	0,05	7,5
120	1944	248205	232694	173744	0,05	7,5
121	1735	231452	202638	162016	0,05	7,5
122	1652	224741	45551	157319	0,05	7,5
123	428	129463	14139	90624	0,05	7,5
124	566	9485	19420	6640	0,05	7,5
125	513	19924	18165	13947	0,05	7,5
126	460	18691	16820	13084	0,05	7,5
127	404	17389	15386	12172	0,05	7,5
128	347	15994	13828	11196	0,05	7,5
129	287	14492	8671	10144	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	164	12509	2283	8756	0,05	7,5
131	134	3504	2694	2453	0,05	7,5
132	233	72008	927	50406	0,05	7,5
133	80	71715	6	50200	0,05	7,5

Maximum soil stress	: q _v ;n;max = 267 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	: q _{traffic} ;max = 70 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	: q _v ;r;n;max = 70 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	: k _v ;max = 307494 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	: k _v ;max = 614987 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	80	31	23	31	0	702
2	231	54	40	54	0	1172
3	235	69	33	44	0	962
4	403	84	38	51	0	1313
5	481	103	44	59	0	1609
6	559	122	48	65	0	1915
7	630	140	51	68	0	2203
8	686	155	52	70	0	2011
9	513	166	50	68	0	3557
10	1936	177	49	67	0	8319
11	2044	189	48	65	0	8864
12	2120	197	39	52	0	9256
13	1951	178	25	34	0	8376
14	2171	203	22	29	0	9512
15	2262	213	19	25	0	9994
16	2324	220	17	23	0	10318
17	2374	226	16	22	0	10588
18	2415	230	16	21	0	10806
19	2446	234	15	21	0	10973
20	2467	236	15	20	0	11087
21	2479	238	15	20	0	11150
22	2481	238	15	20	0	11163
23	2481	238	15	20	0	11163
24	2481	238	15	20	0	11163
25	2481	238	15	20	0	11163
26	2481	238	15	20	0	11163
27	2481	238	15	20	0	11163
28	2481	238	15	20	0	11163
29	2481	238	15	20	0	11163
30	2481	238	15	20	0	11163
31	2340	222	15	20	0	10403

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	2305	218	15	20	0	10211
33	2507	241	15	20	0	11302
34	2503	240	15	20	0	11283
35	2565	248	15	20	0	11619
36	2601	252	15	21	0	11817
37	2588	250	15	20	0	11744
38	2575	249	15	20	0	11671
39	2614	253	15	21	0	11888
40	2605	252	15	21	0	11836
41	2594	251	15	21	0	11775
42	2582	250	15	21	0	11711
43	2564	247	15	20	0	11614
44	2472	237	15	20	0	11110
45	2543	245	15	20	0	11499
46	2548	246	15	20	0	11527
47	2539	245	15	20	0	11479
48	2531	244	15	20	0	11431
49	2522	243	15	20	0	11383
50	2513	242	15	20	0	11335
51	2504	241	15	20	0	11287
52	2495	239	15	20	0	11239
53	2490	239	15	20	0	11212
54	2490	239	15	20	0	11207
55	2489	239	15	20	0	11202
56	2488	239	15	20	0	11198
57	2487	238	15	20	0	11193
58	2486	238	15	20	0	11188
59	2485	238	15	20	0	11184
60	2484	238	15	20	0	11179
61	2484	238	15	20	0	11174
62	2483	238	15	20	0	11170
63	2482	238	15	20	0	11165
64	2481	238	15	20	0	11160
65	2480	238	15	20	0	11156
66	2479	238	15	20	0	11151
67	2477	237	15	20	0	11136
68	2251	211	15	20	0	9928
69	2342	222	15	20	0	10409
70	2364	224	15	20	0	10527
71	2386	227	15	20	0	10645
72	2407	229	15	20	0	10762
73	2429	232	15	20	0	10880
74	2451	234	15	20	0	10997
75	2473	237	15	20	0	11115
76	2494	239	15	20	0	11232
77	2516	242	15	21	0	11350
78	2537	244	15	21	0	11468
79	2559	247	15	21	0	11585
80	2580	249	15	21	0	11703
81	2602	252	15	21	0	11820
82	2623	254	15	21	0	11938
83	2637	256	15	21	0	12014
84	2718	266	16	21	0	12464
85	2729	267	16	21	0	12520
86	2589	250	15	21	0	11752
87	2410	230	15	20	0	10775
88	2414	230	15	20	0	10798
89	2421	231	15	20	0	10837
90	2429	232	15	20	0	10877
91	2436	233	15	20	0	10916
92	2443	233	15	20	0	10955
93	2450	234	15	20	0	10995
94	2458	235	15	20	0	11034
95	2465	236	15	21	0	11074
96	2369	225	15	20	0	10558

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]
97	2291	216	15	20	0	10139
98	2446	234	15	20	0	10973
99	2438	233	15	20	0	10925
100	2432	232	15	20	0	10894
101	2285	215	15	20	0	10105
102	2338	221	15	20	0	10391
103	2386	227	15	20	0	10647
104	2402	229	15	20	0	10734
105	2424	231	15	20	0	10851
106	2427	232	15	20	0	10868
107	2430	232	15	20	0	10884
108	2433	232	15	21	0	10900
109	2436	233	15	21	0	10916
110	2439	233	15	21	0	10933
111	2440	233	15	21	0	10936
112	2431	232	15	21	0	10891
113	2413	230	16	21	0	10794
114	2385	227	16	22	0	10646
115	2347	222	17	23	0	10442
116	2293	216	18	24	0	10156
117	2229	209	20	27	0	9818
118	2154	201	23	31	0	9425
119	2066	191	29	39	0	8966
120	1944	178	40	54	0	8346
121	1735	155	43	58	0	7297
122	1652	147	44	59	0	6893
123	428	136	45	61	0	1777
124	566	124	46	61	0	1819
125	513	110	44	59	0	1733
126	460	97	41	56	0	1523
127	404	84	38	51	0	1313
128	347	70	33	45	0	1103
129	287	57	28	38	0	894
130	164	45	22	29	0	697
131	134	35	26	35	0	555
132	60	23	17	23	0	537
133	10	7	5	7	0	214

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	303	78950	1634	55265	0,05	7,5
2	231	4361	4436	3053	0,05	7,5
3	235	10992	4247	7694	0,05	7,5
4	403	17406	11103	12184	0,05	7,5
5	481	19215	17393	13451	0,05	7,5
6	559	20952	19265	14666	0,05	7,5
7	630	20764	20905	14535	0,05	7,5
8	686	7908	22131	5535	0,05	7,5
9	513	185880	11966	130116	0,05	7,5
10	1936	247809	88874	173467	0,05	7,5
11	2044	256175	241072	179322	0,05	7,5
12	2120	262048	247231	183433	0,05	7,5
13	1951	248663	233175	174064	0,05	7,5
14	2171	265823	251184	186076	0,05	7,5
15	2262	272844	258521	190991	0,05	7,5
16	2324	277467	263344	194227	0,05	7,5
17	2374	281290	267328	196903	0,05	7,5
18	2415	284345	270508	199042	0,05	7,5
19	2446	286654	272910	200658	0,05	7,5
20	2467	288236	274554	201765	0,05	7,5
21	2479	289100	275453	202370	0,05	7,5
22	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
23	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
24	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
25	2481	289282	275642	202497	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]
26	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
27	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
28	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
29	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
30	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
31	2340	278660	264587	195062	0,05	7,5
32	2305	275936	261747	193155	0,05	7,5
33	2507	291182	277616	203827	0,05	7,5
34	2503	290925	277349	203647	0,05	7,5
35	2565	295501	282100	206851	0,05	7,5
36	2601	298166	284865	208716	0,05	7,5
37	2588	297183	283845	208028	0,05	7,5
38	2575	296198	282823	207339	0,05	7,5
39	2614	299129	285863	209390	0,05	7,5
40	2605	298425	285133	208898	0,05	7,5
41	2594	297606	284284	208324	0,05	7,5
42	2582	296747	283393	207723	0,05	7,5
43	2564	295431	282027	206802	0,05	7,5
44	2472	288546	274877	201982	0,05	7,5
45	2543	293869	280406	205708	0,05	7,5
46	2548	294248	280799	205973	0,05	7,5
47	2539	293597	280124	205518	0,05	7,5
48	2531	292945	279447	205061	0,05	7,5
49	2522	292292	278769	204604	0,05	7,5
50	2513	291637	278089	204146	0,05	7,5
51	2504	290982	277408	203687	0,05	7,5
52	2495	290325	276726	203228	0,05	7,5
53	2490	289947	276333	202963	0,05	7,5
54	2490	289883	276266	202918	0,05	7,5
55	2489	289819	276200	202873	0,05	7,5
56	2488	289755	276133	202828	0,05	7,5
57	2487	289691	276067	202783	0,05	7,5
58	2486	289627	276000	202739	0,05	7,5
59	2485	289563	275933	202694	0,05	7,5
60	2484	289499	275867	202649	0,05	7,5
61	2484	289435	275800	202604	0,05	7,5
62	2483	289370	275734	202559	0,05	7,5
63	2482	289306	275667	202514	0,05	7,5
64	2481	289242	275601	202470	0,05	7,5
65	2480	289178	275534	202425	0,05	7,5
66	2479	289114	275467	202380	0,05	7,5
67	2477	288910	275255	202237	0,05	7,5
68	2251	271862	257495	190303	0,05	7,5
69	2342	278754	264685	195128	0,05	7,5
70	2364	280416	266418	196291	0,05	7,5
71	2386	282071	268141	197450	0,05	7,5
72	2407	283718	269856	198603	0,05	7,5
73	2429	285358	271562	199751	0,05	7,5
74	2451	286990	273259	200893	0,05	7,5
75	2473	288615	274948	202030	0,05	7,5
76	2494	290232	276629	203163	0,05	7,5
77	2516	291843	278302	204290	0,05	7,5
78	2537	293446	279967	205412	0,05	7,5
79	2559	295042	281624	206530	0,05	7,5
80	2580	296632	283273	207642	0,05	7,5
81	2602	298214	284915	208750	0,05	7,5
82	2623	299791	286549	209853	0,05	7,5
83	2637	300803	287598	210562	0,05	7,5
84	2718	306761	293769	214733	0,05	7,5
85	2729	307494	294527	215245	0,05	7,5
86	2589	297293	283959	208105	0,05	7,5
87	2410	283894	270039	198726	0,05	7,5
88	2414	284216	270374	198951	0,05	7,5
89	2421	284766	270946	199336	0,05	7,5
90	2429	285315	271517	199721	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]
91	2436	285864	272088	200105	0,05	7,5
92	2443	286411	272657	200488	0,05	7,5
93	2450	286958	273226	200871	0,05	7,5
94	2458	287504	273794	201253	0,05	7,5
95	2465	288049	274360	201634	0,05	7,5
96	2369	280859	266879	196602	0,05	7,5
97	2291	274902	260669	192432	0,05	7,5
98	2446	286649	272904	200654	0,05	7,5
99	2438	285991	272221	200194	0,05	7,5
100	2432	285555	271767	199889	0,05	7,5
101	2285	274417	260163	192092	0,05	7,5
102	2338	278497	264418	194948	0,05	7,5
103	2386	282103	268175	197472	0,05	7,5
104	2402	283329	269450	198330	0,05	7,5
105	2424	284964	271152	199475	0,05	7,5
106	2427	285194	271391	199636	0,05	7,5
107	2430	285419	271625	199793	0,05	7,5
108	2433	285644	271859	199951	0,05	7,5
109	2436	285869	272093	200108	0,05	7,5
110	2439	286093	272327	200265	0,05	7,5
111	2440	286148	272384	200304	0,05	7,5
112	2431	285521	271732	199865	0,05	7,5
113	2413	284174	270330	198922	0,05	7,5
114	2385	282096	268167	197467	0,05	7,5
115	2347	279222	265173	195455	0,05	7,5
116	2293	275159	260937	192611	0,05	7,5
117	2229	270285	255849	189200	0,05	7,5
118	2154	264546	249848	185183	0,05	7,5
119	2066	257700	242673	180390	0,05	7,5
120	1944	248205	232694	173744	0,05	7,5
121	1735	231452	202638	162016	0,05	7,5
122	1652	224741	45551	157319	0,05	7,5
123	428	129463	14139	90624	0,05	7,5
124	566	9485	19420	6640	0,05	7,5
125	513	19924	18165	13947	0,05	7,5
126	460	18691	16820	13084	0,05	7,5
127	404	17389	15386	12172	0,05	7,5
128	347	15994	13828	11196	0,05	7,5
129	287	14492	8671	10144	0,05	7,5
130	164	12509	2283	8756	0,05	7,5
131	134	3504	2694	2453	0,05	7,5
132	233	72008	927	50406	0,05	7,5
133	80	71715	6	50200	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _v ;n;max = 267 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic} ;max = 70 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _v ;r;n;max = 70 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 307494 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _v ;max = 614987 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	80	31	23	31	0	702
2	231	54	40	54	0	1172
3	235	69	33	44	0	962
4	403	84	38	51	0	1313
5	481	103	44	59	0	1609
6	559	122	48	65	0	1915
7	630	140	51	68	0	2203
8	686	155	52	70	0	2011
9	513	166	50	68	0	3557
10	1936	177	49	67	0	8319
11	2044	189	48	65	0	8864
12	2120	197	39	52	0	9256
13	1951	178	25	34	0	8376
14	2171	203	22	29	0	9512
15	2262	213	19	25	0	9994
16	2324	220	17	23	0	10318
17	2374	226	16	22	0	10588
18	2415	230	16	21	0	10806
19	2446	234	15	21	0	10973
20	2467	236	15	20	0	11087
21	2479	238	15	20	0	11150
22	2481	238	15	20	0	11163
23	2481	238	15	20	0	11163
24	2481	238	15	20	0	11163
25	2481	238	15	20	0	11163
26	2481	238	15	20	0	11163
27	2481	238	15	20	0	11163
28	2481	238	15	20	0	11163
29	2481	238	15	20	0	11163
30	2481	238	15	20	0	11163
31	2340	222	15	20	0	10403
32	2305	218	15	20	0	10211
33	2507	241	15	20	0	11302
34	2503	240	15	20	0	11283
35	2565	248	15	20	0	11619
36	2601	252	15	21	0	11817
37	2588	250	15	20	0	11744
38	2575	249	15	20	0	11671
39	2614	253	15	21	0	11888
40	2605	252	15	21	0	11836
41	2594	251	15	21	0	11775
42	2582	250	15	21	0	11711
43	2564	247	15	20	0	11614
44	2472	237	15	20	0	11110
45	2543	245	15	20	0	11499
46	2548	246	15	20	0	11527
47	2539	245	15	20	0	11479
48	2531	244	15	20	0	11431
49	2522	243	15	20	0	11383
50	2513	242	15	20	0	11335
51	2504	241	15	20	0	11287
52	2495	239	15	20	0	11239
53	2490	239	15	20	0	11212
54	2490	239	15	20	0	11207
55	2489	239	15	20	0	11202
56	2488	239	15	20	0	11198
57	2487	238	15	20	0	11193
58	2486	238	15	20	0	11188
59	2485	238	15	20	0	11184

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]
60	2484	238	15	20	0	11179
61	2484	238	15	20	0	11174
62	2483	238	15	20	0	11170
63	2482	238	15	20	0	11165
64	2481	238	15	20	0	11160
65	2480	238	15	20	0	11156
66	2479	238	15	20	0	11151
67	2477	237	15	20	0	11136
68	2251	211	15	20	0	9928
69	2342	222	15	20	0	10409
70	2364	224	15	20	0	10527
71	2386	227	15	20	0	10645
72	2407	229	15	20	0	10762
73	2429	232	15	20	0	10880
74	2451	234	15	20	0	10997
75	2473	237	15	20	0	11115
76	2494	239	15	20	0	11232
77	2516	242	15	21	0	11350
78	2537	244	15	21	0	11468
79	2559	247	15	21	0	11585
80	2580	249	15	21	0	11703
81	2602	252	15	21	0	11820
82	2623	254	15	21	0	11938
83	2637	256	15	21	0	12014
84	2718	266	16	21	0	12464
85	2729	267	16	21	0	12520
86	2589	250	15	21	0	11752
87	2410	230	15	20	0	10775
88	2414	230	15	20	0	10798
89	2421	231	15	20	0	10837
90	2429	232	15	20	0	10877
91	2436	233	15	20	0	10916
92	2443	233	15	20	0	10955
93	2450	234	15	20	0	10995
94	2458	235	15	20	0	11034
95	2465	236	15	21	0	11074
96	2369	225	15	20	0	10558
97	2291	216	15	20	0	10139
98	2446	234	15	20	0	10973
99	2438	233	15	20	0	10925
100	2432	232	15	20	0	10894
101	2285	215	15	20	0	10105
102	2338	221	15	20	0	10391
103	2386	227	15	20	0	10647
104	2402	229	15	20	0	10734
105	2424	231	15	20	0	10851
106	2427	232	15	20	0	10868
107	2430	232	15	20	0	10884
108	2433	232	15	21	0	10900
109	2436	233	15	21	0	10916
110	2439	233	15	21	0	10933
111	2440	233	15	21	0	10936
112	2431	232	15	21	0	10891
113	2413	230	16	21	0	10794
114	2385	227	16	22	0	10646
115	2347	222	17	23	0	10442
116	2293	216	18	24	0	10156
117	2229	209	20	27	0	9818
118	2154	201	23	31	0	9425
119	2066	191	29	39	0	8966
120	1944	178	40	54	0	8346
121	1735	155	43	58	0	7297
122	1652	147	44	59	0	6893
123	428	136	45	61	0	1777
124	566	124	46	61	0	1819

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]
125	513	110	44	59	0	1733
126	460	97	41	56	0	1523
127	404	84	38	51	0	1313
128	347	70	33	45	0	1103
129	287	57	28	38	0	894
130	164	45	22	29	0	697
131	134	35	26	35	0	555
132	60	23	17	23	0	537
133	10	7	5	7	0	214

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	303	78950	1634	55265	0,05	7,5
2	231	4361	4436	3053	0,05	7,5
3	235	10992	4247	7694	0,05	7,5
4	403	17406	11103	12184	0,05	7,5
5	481	19215	17393	13451	0,05	7,5
6	559	20952	19265	14666	0,05	7,5
7	630	20764	20905	14535	0,05	7,5
8	686	7908	22131	5535	0,05	7,5
9	513	185880	11966	130116	0,05	7,5
10	1936	247809	88874	173467	0,05	7,5
11	2044	256175	241072	179322	0,05	7,5
12	2120	262048	247231	183433	0,05	7,5
13	1951	248663	233175	174064	0,05	7,5
14	2171	265823	251184	186076	0,05	7,5
15	2262	272844	258521	190991	0,05	7,5
16	2324	277467	263344	194227	0,05	7,5
17	2374	281290	267328	196903	0,05	7,5
18	2415	284345	270508	199042	0,05	7,5
19	2446	286654	272910	200658	0,05	7,5
20	2467	288236	274554	201765	0,05	7,5
21	2479	289100	275453	202370	0,05	7,5
22	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
23	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
24	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
25	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
26	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
27	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
28	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
29	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
30	2481	289282	275642	202497	0,05	7,5
31	2340	278660	264587	195062	0,05	7,5
32	2305	275936	261747	193155	0,05	7,5
33	2507	291182	277616	203827	0,05	7,5
34	2503	290925	277349	203647	0,05	7,5
35	2565	295501	282100	206851	0,05	7,5
36	2601	298166	284865	208716	0,05	7,5
37	2588	297183	283845	208028	0,05	7,5
38	2575	296198	282823	207339	0,05	7,5
39	2614	299129	285863	209390	0,05	7,5
40	2605	298425	285133	208898	0,05	7,5
41	2594	297606	284284	208324	0,05	7,5
42	2582	296747	283393	207723	0,05	7,5
43	2564	295431	282027	206802	0,05	7,5
44	2472	288546	274877	201982	0,05	7,5
45	2543	293869	280406	205708	0,05	7,5
46	2548	294248	280799	205973	0,05	7,5
47	2539	293597	280124	205518	0,05	7,5
48	2531	292945	279447	205061	0,05	7,5
49	2522	292292	278769	204604	0,05	7,5
50	2513	291637	278089	204146	0,05	7,5
51	2504	290982	277408	203687	0,05	7,5
52	2495	290325	276726	203228	0,05	7,5
53	2490	289947	276333	202963	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]
54	2490	289883	276266	202918	0,05	7,5
55	2489	289819	276200	202873	0,05	7,5
56	2488	289755	276133	202828	0,05	7,5
57	2487	289691	276067	202783	0,05	7,5
58	2486	289627	276000	202739	0,05	7,5
59	2485	289563	275933	202694	0,05	7,5
60	2484	289499	275867	202649	0,05	7,5
61	2484	289435	275800	202604	0,05	7,5
62	2483	289370	275734	202559	0,05	7,5
63	2482	289306	275667	202514	0,05	7,5
64	2481	289242	275601	202470	0,05	7,5
65	2480	289178	275534	202425	0,05	7,5
66	2479	289114	275467	202380	0,05	7,5
67	2477	288910	275255	202237	0,05	7,5
68	2251	271862	257495	190303	0,05	7,5
69	2342	278754	264685	195128	0,05	7,5
70	2364	280416	266418	196291	0,05	7,5
71	2386	282071	268141	197450	0,05	7,5
72	2407	283718	269856	198603	0,05	7,5
73	2429	285358	271562	199751	0,05	7,5
74	2451	286990	273259	200893	0,05	7,5
75	2473	288615	274948	202030	0,05	7,5
76	2494	290232	276629	203163	0,05	7,5
77	2516	291843	278302	204290	0,05	7,5
78	2537	293446	279967	205412	0,05	7,5
79	2559	295042	281624	206530	0,05	7,5
80	2580	296632	283273	207642	0,05	7,5
81	2602	298214	284915	208750	0,05	7,5
82	2623	299791	286549	209853	0,05	7,5
83	2637	300803	287598	210562	0,05	7,5
84	2718	306761	293769	214733	0,05	7,5
85	2729	307494	294527	215245	0,05	7,5
86	2589	297293	283959	208105	0,05	7,5
87	2410	283894	270039	198726	0,05	7,5
88	2414	284216	270374	198951	0,05	7,5
89	2421	284766	270946	199336	0,05	7,5
90	2429	285315	271517	199721	0,05	7,5
91	2436	285864	272088	200105	0,05	7,5
92	2443	286411	272657	200488	0,05	7,5
93	2450	286958	273226	200871	0,05	7,5
94	2458	287504	273794	201253	0,05	7,5
95	2465	288049	274360	201634	0,05	7,5
96	2369	280859	266879	196602	0,05	7,5
97	2291	274902	260669	192432	0,05	7,5
98	2446	286649	272904	200654	0,05	7,5
99	2438	285991	272221	200194	0,05	7,5
100	2432	285555	271767	199889	0,05	7,5
101	2285	274417	260163	192092	0,05	7,5
102	2338	278497	264418	194948	0,05	7,5
103	2386	282103	268175	197472	0,05	7,5
104	2402	283329	269450	198330	0,05	7,5
105	2424	284964	271152	199475	0,05	7,5
106	2427	285194	271391	199636	0,05	7,5
107	2430	285419	271625	199793	0,05	7,5
108	2433	285644	271859	199951	0,05	7,5
109	2436	285869	272093	200108	0,05	7,5
110	2439	286093	272327	200265	0,05	7,5
111	2440	286148	272384	200304	0,05	7,5
112	2431	285521	271732	199865	0,05	7,5
113	2413	284174	270330	198922	0,05	7,5
114	2385	282096	268167	197467	0,05	7,5
115	2347	279222	265173	195455	0,05	7,5
116	2293	275159	260937	192611	0,05	7,5
117	2229	270285	255849	189200	0,05	7,5
118	2154	264546	249848	185183	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]
119	2066	257700	242673	180390	0,05	7,5
120	1944	248205	232694	173744	0,05	7,5
121	1735	231452	202638	162016	0,05	7,5
122	1652	224741	45551	157319	0,05	7,5
123	428	129463	14139	90624	0,05	7,5
124	566	9485	19420	6640	0,05	7,5
125	513	19924	18165	13947	0,05	7,5
126	460	18691	16820	13084	0,05	7,5
127	404	17389	15386	12172	0,05	7,5
128	347	15994	13828	11196	0,05	7,5
129	287	14492	8671	10144	0,05	7,5
130	164	12509	2283	8756	0,05	7,5
131	134	3504	2694	2453	0,05	7,5
132	233	72008	927	50406	0,05	7,5
133	80	71715	6	50200	0,05	7,5

Maximum soil stress	:	q _{v;n;max} = 267 kN/m ²
Maximum reduced soil stress (incl. traffic loads)	:	q _{traffic;max} = 70 kN/m ²
Maximum reduced soil stress	:	q _{v;r;n;max} = 70 kN/m ²
Max. vertical modulus of subgrade reaction (without safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 307494 kN/m ³
Maximum vertical modulus of subgrade reaction (with safety factor) only for verticals in deep situation	:	k _{v;max} = 614987 kN/m ³

5.5 Young's Modulus per Layer per Vertical

Layer number	Material name	Type of determination
9	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
8	Klei, sterk zandig	Calculated with E100
7	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
6	Klei, zwak zandig, matig	Calculated with E100
5	Zand, kleiig, los	Calculated with E100
4	Zand, kleiig, los	Calculated with E100
3	Zand, kleiig, los	Calculated with E100
2	Klei, matig	Calculated with E100
1	Zand, schoon, vast	Calculated with E100

Layer number	Vertical 1 (L=5,003 m)		Vertical 2 (L=10,006 m)		Vertical 3 (L=15,009 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,806	0,000	1,801	0,000	1,797
8	1,806	3,495	1,801	3,436	1,797	3,376
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	2,097	2,457	2,061	2,423	2,026	2,388
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,827	10,243	8,750	10,177	8,672	10,110
3	10,243	12,488	10,177	12,436	10,110	12,382
2	4,281	4,594	4,252	4,565	4,223	4,537
1	97,889	138,236	97,506	137,960	97,122	137,682

Layer number	Vertical 4 (L=20,012 m)		Vertical 5 (L=25,015 m)		Vertical 6 (L=30,018 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,792	0,000	1,879	0,000	2,058
8	1,792	3,316	1,879	3,334	2,058	3,434
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,989	2,354	2,001	2,364	2,061	2,422
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,593	10,042	8,618	10,063	8,748	10,175
3	10,042	12,329	10,063	12,348	10,175	12,441
2	4,194	4,508	4,204	4,518	4,255	4,567
1	96,737	137,405	96,866	137,490	97,532	137,953

Layer number	Vertical 7 (L=35,021 m)		Vertical 8 (L=40,024 m)		Vertical 9 (L=45,027 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,238	0,000	2,284	0,000	2,331
8	2,238	3,538	2,284	3,524	2,331	3,510
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	2,123	2,482	2,114	2,474	2,106	2,466
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,882	10,290	8,864	10,275	8,846	10,259
3	10,290	12,537	10,275	12,526	10,259	12,515
2	4,308	4,619	4,301	4,613	4,295	4,606
1	98,219	138,434	98,136	138,369	98,053	138,304

Layer number	Vertical 10 (L=50,03 m)		Vertical 11 (L=55,033 m)		Vertical 12 (L=60,036 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,352	0,000	2,363	0,000	2,273
8	2,352	3,473	2,363	3,428	2,273	3,289
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	2,084	2,445	2,057	2,418	1,973	2,338
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,799	10,218	8,740	10,168	8,558	10,012
3	10,218	12,483	10,168	12,443	10,012	12,318
2	4,278	4,589	4,256	4,567	4,188	4,500
1	97,822	138,134	97,532	137,923	96,631	137,281

Layer number	Vertical 13 (L=65,039 m)		Vertical 14 (L=70,042 m)		Vertical 15 (L=75,045 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	0,747	0,000	1,654	0,000	1,810
8	0,747	1,913	1,654	2,649	1,810	2,754
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,148	1,558	1,589	1,972	1,653	2,032
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	6,640	8,431	7,694	9,284	7,840	9,405
3	8,431	11,073	9,284	11,737	9,405	11,835
2	3,532	3,856	3,876	4,194	3,928	4,245
1	87,746	131,173	92,469	134,372	93,166	134,846

Layer number	Vertical 16 (L=80,048 m)		Vertical 17 (L=85,051 m)		Vertical 18 (L=90,054 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,846	0,000	1,882	0,000	1,918
8	1,846	2,754	1,882	2,754	1,918	2,754
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,653	2,032	1,653	2,032	1,653	2,032
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,840	9,405	7,840	9,405	7,840	9,405
3	9,405	11,837	9,405	11,839	9,405	11,840
2	3,929	4,245	3,930	4,246	3,931	4,247
1	93,175	134,846	93,184	134,846	93,193	134,846

Layer number	Vertical 19 (L=95,057 m)		Vertical 20 (L=100,06 m)		Vertical 21 (L=105,063 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,954	0,000	1,990	0,000	2,025
8	1,954	2,754	1,990	2,754	2,025	2,754
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,653	2,032	1,653	2,032	1,653	2,032
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,840	9,405	7,840	9,405	7,840	9,405
3	9,405	11,842	9,405	11,844	9,405	11,846
2	3,932	4,247	3,933	4,248	3,934	4,249
1	93,202	134,846	93,211	134,846	93,220	134,846

Layer number	Vertical 22 (L=110,066 m)		Vertical 23 (L=115,069 m)		Vertical 24 (L=120,072 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,061	0,000	2,096	0,000	2,131
8	2,061	2,754	2,096	2,754	2,131	2,754
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,653	2,032	1,653	2,032	1,653	2,032
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,840	9,405	7,840	9,405	7,840	9,405
3	9,405	11,847	9,405	11,849	9,405	11,851
2	3,935	4,249	3,936	4,250	3,937	4,251
1	93,229	134,846	93,238	134,846	93,247	134,846

Layer number	Vertical 25 (L=125,075 m)		Vertical 26 (L=130,078 m)		Vertical 27 (L=135,081 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,166	0,000	2,201	0,000	2,236
8	2,166	2,754	2,201	2,754	2,236	2,754
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,653	2,032	1,653	2,032	1,653	2,032
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,840	9,405	7,840	9,405	7,840	9,405
3	9,405	11,852	9,405	11,854	9,405	11,856
2	3,937	4,251	3,938	4,252	3,939	4,252
1	93,256	134,846	93,265	134,846	93,274	134,846

Layer number	Vertical 28 (L=140,084 m)		Vertical 29 (L=145,087 m)		Vertical 30 (L=150,09 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,270	0,000	2,304	0,000	2,339
8	2,270	2,754	2,304	2,754	2,339	2,754
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,653	2,032	1,653	2,032	1,653	2,032
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,840	9,405	7,840	9,405	7,840	9,405
3	9,405	11,858	9,405	11,859	9,405	11,861
2	3,940	4,253	3,941	4,254	3,942	4,254
1	93,283	134,846	93,292	134,846	93,301	134,846

Layer number	Vertical 31 (L=155,093 m)		Vertical 32 (L=160,096 m)		Vertical 33 (L=165,099 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,550	0,000	1,366	0,000	2,581
8	1,550	1,969	1,366	1,760	2,581	2,891
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,182	1,589	1,056	1,473	1,735	2,110
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	6,723	8,497	6,412	8,253	8,026	9,561
3	8,497	11,156	8,253	10,973	9,561	11,990
2	3,574	3,894	3,481	3,802	4,011	4,321
1	88,274	131,411	86,970	130,532	94,216	135,461

Layer number	Vertical 34 (L=170,102 m)		Vertical 35 (L=175,105 m)		Vertical 36 (L=180,108 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,596	0,000	2,962	0,000	3,185
8	2,596	2,873	2,962	3,198	3,185	3,386
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,724	2,100	1,919	2,286	2,032	2,394
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,001	9,540	8,438	9,910	8,685	10,121
3	9,540	11,975	9,910	12,273	10,121	12,446
2	4,003	4,313	4,163	4,471	4,258	4,563
1	94,105	135,378	96,237	136,863	97,473	137,729

Layer number	Vertical 37 (L=185,111 m)		Vertical 38 (L=190,114 m)		Vertical 39 (L=195,117 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,146	0,000	3,108	0,000	3,347
8	3,146	3,317	3,108	3,247	3,347	3,453
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	1,990	2,354	1,948	2,315	2,072	2,433
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,595	10,043	8,503	9,965	8,773	10,196
3	10,043	12,385	9,965	12,323	10,196	12,512
2	4,224	4,530	4,191	4,497	4,294	4,598
1	97,030	137,409	96,585	137,089	97,941	138,042

Layer number	Vertical 40 (L=200,12 m)		Vertical 41 (L=205,123 m)		Vertical 42 (L=210,126 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,329	0,000	3,303	0,000	3,273
8	3,329	3,404	3,303	3,347	3,273	3,286
7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
6	2,042	2,405	2,008	2,372	1,972	2,337
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,709	10,141	8,634	10,077	8,554	10,009
3	10,141	12,469	10,077	12,418	10,009	12,365
2	4,270	4,574	4,242	4,547	4,213	4,518
1	97,627	137,813	97,259	137,547	96,873	137,267

Layer number	Vertical 43 (L=215,129 m)		Vertical 44 (L=220,132 m)		Vertical 45 (L=225,135 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,193	0,000	2,701	0,000	3,083
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,916	1,924	1,621	1,643	1,850	1,884
6	1,924	2,283	1,643	2,002	1,884	2,220
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,432	9,904	7,766	9,344	8,284	9,779
3	9,904	12,282	9,344	11,837	9,779	12,185
2	4,168	4,473	3,929	4,239	4,116	4,421
1	96,275	136,840	93,083	134,607	95,570	136,333

Layer number	Vertical 46 (L=230,138 m)		Vertical 47 (L=235,141 m)		Vertical 48 (L=240,144 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,109	0,000	3,063	0,000	3,017
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,866	1,914	1,838	1,899	1,810	1,885
6	1,914	2,235	1,899	2,209	1,885	2,182
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,320	9,810	8,258	9,757	8,196	9,705
3	9,810	12,211	9,757	12,170	9,705	12,130
2	4,130	4,435	4,108	4,413	4,086	4,392
1	95,755	136,456	95,462	136,245	95,169	136,033

Layer number	Vertical 49 (L=245,147 m)		Vertical 50 (L=250,15 m)		Vertical 51 (L=255,153 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,970	0,000	2,924	0,000	2,877
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,782	1,871	1,754	1,857	1,726	1,842
6	1,871	2,156	1,857	2,129	1,842	2,102
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	8,134	9,652	8,070	9,598	8,007	9,545
3	9,652	12,089	9,598	12,049	9,545	12,008
2	4,064	4,370	4,042	4,348	4,020	4,326
1	94,875	135,821	94,580	135,609	94,284	135,397

Layer number	Vertical 52 (L=260,156 m)		Vertical 53 (L=265,159 m)		Vertical 54 (L=270,162 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,830	0,000	2,802	0,000	2,798
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,698	1,828	1,681	1,825	1,679	1,836
6	1,828	2,075	1,825	2,060	1,836	2,057
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,942	9,491	7,905	9,460	7,899	9,455
3	9,491	11,967	9,460	11,944	9,455	11,941
2	3,998	4,305	3,986	4,292	3,985	4,291
1	93,987	135,184	93,819	135,061	93,798	135,040

Layer number	Vertical 55 (L=275,165 m)		Vertical 56 (L=280,168 m)		Vertical 57 (L=285,171 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,793	0,000	2,788	0,000	2,784
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,676	1,847	1,673	1,858	1,670	1,868
6	1,847	2,054	1,858	2,052	1,868	2,049
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,893	9,450	7,886	9,444	7,880	9,439
3	9,450	11,939	9,444	11,937	9,439	11,934
2	3,984	4,289	3,982	4,288	3,981	4,286
1	93,777	135,020	93,756	134,999	93,735	134,978

Layer number	Vertical 58 (L=290,174 m)		Vertical 59 (L=295,177 m)		Vertical 60 (L=300,18 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,779	0,000	2,775	0,000	2,770
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,668	1,879	1,665	1,890	1,662	1,900
6	1,879	2,046	1,890	2,044	1,900	2,041
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,874	9,434	7,867	9,428	7,861	9,423
3	9,434	11,932	9,428	11,929	9,423	11,927
2	3,980	4,285	3,978	4,283	3,977	4,282
1	93,714	134,957	93,694	134,937	93,673	134,916

Layer number	Vertical 61 (L=305,183 m)		Vertical 62 (L=310,186 m)		Vertical 63 (L=315,189 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,765	0,000	2,761	0,000	2,756
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,659	1,911	1,656	1,922	1,654	1,932
6	1,911	2,039	1,922	2,036	1,932	2,033
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,855	9,418	7,848	9,413	7,842	9,407
3	9,418	11,924	9,413	11,922	9,407	11,919
2	3,976	4,280	3,974	4,279	3,973	4,277
1	93,652	134,895	93,631	134,874	93,610	134,854

Layer number	Vertical 64 (L=320,192 m)		Vertical 65 (L=325,195 m)		Vertical 66 (L=330,198 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,752	0,000	2,747	0,000	2,742
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,651	1,943	1,648	1,953	1,645	1,964
6	1,943	2,031	1,953	2,028	1,964	2,025
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,836	9,402	7,829	9,397	7,823	9,391
3	9,402	11,917	9,397	11,914	9,391	11,912
2	3,972	4,275	3,970	4,274	3,969	4,272
1	93,589	134,833	93,568	134,812	93,547	134,791

Layer number	Vertical 67 (L=335,201 m)		Vertical 68 (L=340,204 m)		Vertical 69 (L=345,207 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,728	0,000	1,437	0,000	1,976
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,637	1,969	0,862	1,257	1,186	1,570
6	1,969	2,017	1,257	1,297	1,570	1,593
5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	7,803	9,375	5,920	7,877	6,734	8,505
3	9,375	11,900	7,877	10,762	8,505	11,232
2	3,963	4,266	3,374	3,689	3,613	3,922
1	93,461	134,725	85,344	129,220	88,680	131,441

Layer number	Vertical 70 (L=350,21 m)		Vertical 71 (L=355,213 m)		Vertical 72 (L=360,216 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,102	0,000	2,226	0,000	2,348
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,261	1,654	1,336	1,733	1,409	1,802
6	1,654	1,664	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	n.a.	n.a.	7,097	7,113	7,272	7,336
4	6,918	8,652	7,113	8,796	7,336	8,938
3	8,652	11,345	8,796	11,457	8,938	11,568
2	3,671	3,979	3,729	4,036	3,787	4,093
1	89,483	131,978	90,279	132,512	91,068	133,045

Layer number	Vertical 73 (L=365,219 m)		Vertical 74 (L=370,222 m)		Vertical 75 (L=375,225 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,469	0,000	2,588	0,000	2,706
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,481	1,870	1,553	1,938	1,624	2,005
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,443	7,553	7,610	7,763	7,773	7,968
4	7,553	9,077	7,763	9,215	7,968	9,350
3	9,077	11,678	9,215	11,787	9,350	11,895
2	3,845	4,149	3,903	4,205	3,960	4,261
1	91,850	133,575	92,626	134,103	93,395	134,630

Layer number	Vertical 76 (L=380,228 m)		Vertical 77 (L=385,231 m)		Vertical 78 (L=390,234 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,823	0,000	2,938	0,000	3,053
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,694	2,071	1,763	2,137	1,832	2,203
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,933	8,167	8,090	8,362	8,244	8,553
4	8,167	9,484	8,362	9,615	8,553	9,745
3	9,484	12,002	9,615	12,108	9,745	12,213
2	4,017	4,317	4,074	4,373	4,131	4,428
1	94,158	135,154	94,915	135,676	95,665	136,196

Layer number	Vertical 79 (L=395,237 m)		Vertical 80 (L=400,24 m)		Vertical 81 (L=405,243 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,166	0,000	3,278	0,000	3,389
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,899	2,268	1,967	2,332	2,034	2,396
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	8,395	8,739	8,544	8,921	8,689	9,100
4	8,739	9,873	8,921	10,000	9,100	10,125
3	9,873	12,317	10,000	12,420	10,125	12,522
2	4,187	4,484	4,243	4,539	4,300	4,594
1	96,410	136,714	97,150	137,230	97,883	137,744

Layer number	Vertical 82 (L=410,246 m)		Vertical 83 (L=415,249 m)		Vertical 84 (L=420,252 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	3,500	0,000	3,570	0,000	3,983
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	2,100	2,460	2,142	2,500	2,390	2,739
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	8,833	9,275	8,924	9,400	9,448	9,934
4	9,275	10,248	9,400	10,327	9,934	10,783
3	10,248	12,624	10,327	12,690	10,783	13,065
2	4,356	4,648	4,392	4,684	4,601	4,890
1	98,611	138,257	99,081	138,586	101,784	140,525

Layer number	Vertical 85 (L=425,255 m)		Vertical 86 (L=430,258 m)		Vertical 87 (L=435,261 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	4,034	0,000	3,325	0,000	2,361
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	2,420	2,769	1,995	2,359	1,417	1,809
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	9,511	10,029	8,605	9,213	7,291	8,044
4	10,029	10,838	9,213	10,052	8,044	8,953
3	10,838	13,112	10,052	12,472	8,953	11,606
2	4,628	4,916	4,272	4,565	3,807	4,109
1	102,122	140,764	97,505	137,445	91,290	133,102

Layer number	Vertical 88 (L=440,264 m)		Vertical 89 (L=445,267 m)		Vertical 90 (L=450,27 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,385	0,000	2,426	0,000	2,466
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,431	1,823	1,455	1,846	1,480	1,869
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,324	8,118	7,382	8,213	7,439	8,307
4	8,118	8,980	8,213	9,027	8,307	9,074
3	8,980	11,629	9,027	11,667	9,074	11,705
2	3,819	4,120	3,839	4,140	3,859	4,159
1	91,451	133,206	91,719	133,384	91,986	133,561

Layer number	Vertical 91 (L=455,273 m)		Vertical 92 (L=460,276 m)		Vertical 93 (L=465,279 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,506	0,000	2,546	0,000	2,586
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,504	1,891	1,528	1,914	1,552	1,937
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,495	8,400	7,551	8,491	7,607	8,582
4	8,400	9,120	8,491	9,166	8,582	9,212
3	9,120	11,743	9,166	11,780	9,212	11,818
2	3,879	4,178	3,899	4,197	3,919	4,217
1	92,253	133,739	92,518	133,916	92,783	134,093

Layer number	Vertical 94 (L=470,282 m)		Vertical 95 (L=475,285 m)		Vertical 96 (L=480,288 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,626	0,000	2,665	0,000	2,136
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,575	1,959	1,599	1,982	1,281	1,682
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,662	8,672	7,717	8,761	6,966	8,151
4	8,672	9,258	8,761	9,303	8,151	8,691
3	9,258	11,855	9,303	11,892	8,691	11,421
2	3,939	4,236	3,959	4,255	3,711	4,012
1	93,048	134,270	93,311	134,446	89,938	132,121

Layer number	Vertical 97 (L=485,291 m)		Vertical 98 (L=490,294 m)		Vertical 99 (L=495,297 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,679	0,000	2,564	0,000	2,516
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,008	1,429	1,538	1,924	1,509	1,897
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,290	7,628	7,575	8,759	7,508	8,741
4	7,628	8,159	8,759	9,186	8,741	9,131
3	8,159	11,024	9,186	11,806	9,131	11,765
2	3,506	3,811	3,913	4,210	3,891	4,188
1	87,100	130,199	92,684	133,993	92,385	133,780

Layer number	Vertical 100 (L=500,3 m)		Vertical 101 (L=505,303 m)		Vertical 102 (L=510,306 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,484	0,000	1,641	0,000	1,957
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,490	1,878	0,985	1,408	1,174	1,583
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,463	8,743	6,232	7,765	6,705	8,192
4	8,743	9,094	7,765	8,114	8,192	8,483
3	9,094	11,738	8,114	10,998	8,483	11,275
2	3,877	4,174	3,493	3,797	3,635	3,936
1	92,190	133,639	86,905	130,043	88,871	131,358

Layer number	Vertical 103 (L=515,309 m)		Vertical 104 (L=520,312 m)		Vertical 105 (L=525,315 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,229	0,000	2,320	0,000	2,440
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,337	1,735	1,392	1,786	1,464	1,854
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,101	8,561	7,231	8,710	7,402	8,892
4	8,561	8,799	8,710	8,904	8,892	9,044
3	8,799	11,516	8,904	11,599	9,044	11,708
2	3,760	4,059	3,803	4,101	3,861	4,157
1	90,592	132,523	91,180	132,919	91,958	133,448

Layer number	Vertical 106 (L=530,318 m)		Vertical 107 (L=535,321 m)		Vertical 108 (L=540,324 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,457	0,000	2,474	0,000	2,490
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,474	1,863	1,484	1,873	1,494	1,882
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,426	8,952	7,449	9,010	7,472	9,069
4	8,952	9,063	9,010	9,082	9,069	9,101
3	9,063	11,725	9,082	11,741	9,101	11,758
2	3,870	4,165	3,879	4,174	3,887	4,182
1	92,075	133,522	92,190	133,595	92,305	133,668

Layer number	Vertical 109 (L=545,327 m)		Vertical 110 (L=550,33 m)		Vertical 111 (L=555,333 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,507	0,000	2,523	0,000	2,539
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,504	1,891	1,514	1,901	1,524	1,910
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,495	9,133	7,519	9,233	7,541	9,333
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,133	11,774	9,233	11,791	9,333	11,807
2	3,896	4,190	3,905	4,199	3,913	4,207
1	92,419	133,740	92,533	133,813	92,647	133,886

Layer number	Vertical 112 (L=560,336 m)		Vertical 113 (L=565,339 m)		Vertical 114 (L=570,342 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,556	0,000	2,572	0,000	2,588
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,533	1,919	1,543	1,929	1,553	1,938
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,564	9,431	7,587	9,528	7,610	9,624
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,431	11,823	9,528	11,840	9,624	11,856
2	3,922	4,215	3,931	4,223	3,939	4,232
1	92,761	133,958	92,875	134,031	92,989	134,104

Layer number	Vertical 115 (L=575,345 m)		Vertical 116 (L=580,348 m)		Vertical 117 (L=585,351 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,601	0,000	2,584	0,000	2,568
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,561	1,945	1,551	1,936	1,541	1,926
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,628	9,715	7,604	9,773	7,581	9,831
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,715	11,869	9,773	11,856	9,831	11,843
2	3,946	4,238	3,939	4,231	3,932	4,224
1	93,080	134,160	92,982	134,086	92,884	134,012

Layer number	Vertical 118 (L=590,354 m)		Vertical 119 (L=595,357 m)		Vertical 120 (L=600,36 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,550	0,000	2,519	0,000	2,378
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,530	1,916	1,511	1,898	1,427	1,819
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	7,557	9,888	7,513	9,930	7,313	9,856
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,888	11,829	9,930	11,802	9,856	11,678
2	3,925	4,216	3,911	4,203	3,845	4,138
1	92,780	133,934	92,589	133,795	91,696	133,172

Layer number	Vertical 121 (L=605,363 m)		Vertical 122 (L=610,366 m)		Vertical 123 (L=615,369 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	1,834	0,000	2,038	0,000	2,040
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,100	1,514	1,223	1,628	1,224	1,629
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,522	9,365	6,824	9,655	6,827	9,734
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,365	11,202	9,655	11,382	9,734	11,386
2	3,597	3,894	3,690	3,985	3,692	3,987
1	88,284	130,840	89,566	131,702	89,591	131,712

Layer number	Vertical 124 (L=620,372 m)		Vertical 125 (L=625,375 m)		Vertical 126 (L=630,378 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,043	0,000	2,045	0,000	2,048
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,226	1,630	1,227	1,632	1,229	1,633
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,831	9,813	6,835	9,892	6,838	9,969
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	9,813	11,390	9,892	11,394	9,969	11,398
2	3,694	3,989	3,696	3,991	3,698	3,992
1	89,616	131,723	89,641	131,734	89,666	131,744

Layer number	Vertical 127 (L=635,381 m)		Vertical 128 (L=640,384 m)		Vertical 129 (L=645,387 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,050	0,000	2,053	0,000	2,055
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,230	1,635	1,232	1,636	1,233	1,637
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,842	10,046	6,845	10,123	6,849	10,199
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,046	11,401	10,123	11,405	10,199	11,409
2	3,700	3,994	3,703	3,996	3,705	3,998
1	89,690	131,755	89,715	131,765	89,740	131,776

Layer number	Vertical 130 (L=650,39 m)		Vertical 131 (L=655,393 m)		Vertical 132 (L=660,396 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,058	0,000	2,060	0,000	2,062
8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
7	1,235	1,639	1,236	1,640	1,237	1,641
6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	6,853	10,274	6,856	10,349	6,860	10,423
4	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3	10,274	11,413	10,349	11,417	10,423	11,421
2	3,707	3,999	3,709	4,001	3,711	4,003
1	89,765	131,787	89,790	131,797	89,815	131,808

Layer number	Vertical 133 (L=665,399 m)	
	E-top [MPa]	E-bottom [MPa]
9	0,000	2,065
8	n.a.	n.a.
7	1,239	1,643
6	n.a.	n.a.
5	6,864	10,497
4	n.a.	n.a.
3	10,497	11,425
2	3,713	4,005
1	89,840	131,818

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 = 161730 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	66
T2	20	77
T3	112	140

Characteristic points	Length pipe in bore hole (m)	Characteristic value pulling force (kN)
T4	555	381
T5	621	443
T6	673	470

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 = 673 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 = 70 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 = 307494 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,16 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,44	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

7.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 8,20 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 8,76 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

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

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

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

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:

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

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o = 8,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 6,09 \text{ N/mm}^2$$

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
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,81	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,09	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)	1,44	8,76	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,09	6,09

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,3 mm (3,91% 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 313 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 215 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 = 673 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 = 70 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 = 307494 kN/m ³
Used radius (excluding safety factors)	:	Rmin = 250,000 m
Load factor on installation	:	f_install = 1,00
Load factor on reduced neutral soil stress q_n;r	:	f_Qnr = 1,50
Load factor on design pressure	:	f_pd = 1,00
Load factor on design pressure (combination)	:	f_pd;comb = 1,00
Load factor on test pressure	:	f_pt = 1,00
Load factor on temperature	:	f_temp = 1,10
Load factor on traffic load	:	f_v = 1,35
Contingency factor on bending radius	:	f_R = 1,10
Contingency factor on modulus of subgrade reaction	:	f_kv = 2,00
Contingency factor on bending moment	:	f_k = 1,40
Total factor on pulling force for stoch. varia. and model uncertainty	:	f = 1,80
Linear settlement coefficient averaged between t1 and t2	:	alpha_g = 0,0001600 mm/mmK

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

In the calculation 5 load combinations are considered:

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

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

8.2.1 Load Combination 1A: Start Pullback Operation

Axial stress:

$$\begin{aligned} \text{Sigma}_b &= Mb/Wb = f_k E \cdot I_b / (R_{rol} \cdot Wb) &= & 0,43 & \text{N/mm}^2 \\ \text{Sigma}_t &= f \cdot f_{install} \cdot T1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f1)/A &= & 1,16 & \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,44	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
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	8,20	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	8,76	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	=	0,0160	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

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

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

8.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

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

Axial stress:

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

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

Tangential stress:

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

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	8,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	6,09	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,56	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,81	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,09	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)	1,44	8,76	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,09	6,09

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,3 mm (3,91% 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 313 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 215 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 = 673 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 = 70 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 = 307494 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,16 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,44	N/mm ²
---------------------------------------	---	------	-------------------

In this load combination the tangential stress is negligible.

9.2.2 Load Combination 1B: End Pullback Operation

Axial stress:

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

$$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A = 8,20 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum axial stress } \Sigma_{a,max} = 8,76 \text{ N/mm}^2$$

Tangential stress:

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

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

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

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

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

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

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:

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

$$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (rg/Ww) \cdot D_o = 8,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Maximum tangential stress } \Sigma_{t,max} = 6,09 \text{ N/mm}^2$$

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
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,81	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,09	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)	1,44	8,76	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,09	6,09

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,3 mm (3,91% 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 313 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 215 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 = 673 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 = 70 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 = 307494 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:

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

$$\sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_1/A = f \cdot f_{install} (L_{rol} \cdot Q \cdot f_1)/A = 1,16 \quad \text{N/mm}^2$$

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	1,44	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
--	---	------	-------------------

$\Sigma_t = f \cdot f_{install} \cdot T_{max}/A$	=	8,20	N/mm ²
--	---	------	-------------------

Maximum axial stress $\Sigma_{a,max}$	=	8,76	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	=	0,0160	N/mm ²
-------	---	--------	-------------------

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

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

10.2.3 Load Combination 2: Application Internal Pressure

Due to internal pressure :

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

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

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

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

Axial stress:

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

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

Tangential stress:

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

$\Sigma_{qn} = k \cdot q_n \cdot (r_g / W_w) \cdot D_o$	=	8,81	N/mm ²
---	---	------	-------------------

Maximum tangential stress $\Sigma_{t,max}$	=	6,09	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:			
$\text{Sigma}_{qr} = k' \cdot qr \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	0,56	N/mm ²
$\text{Sigma}_{qn} = k \cdot qn \cdot (rg/Ww) \cdot Do$	=	8,81	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 $\text{Sigma}_{t,max}$	=	6,09	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)	1,44	8,76	-	-	-
Sigma_{axial}	8,00 (long)	-	-	-	0,20	0,20
$\text{Sigma}_{tang...}$	10,00 (short)	-	0,61	-	-	-
$\text{Sigma}_{tang...}$	8,00 (long)	-	-	-	6,09	6,09

Stresses in pipeline [N/mm²]

The deflection of the pipeline is 12,3 mm (3,91% 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 313 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 215 kN/m², this is less than the maximum allowable external pressure of 280 kN/m².

End of Report