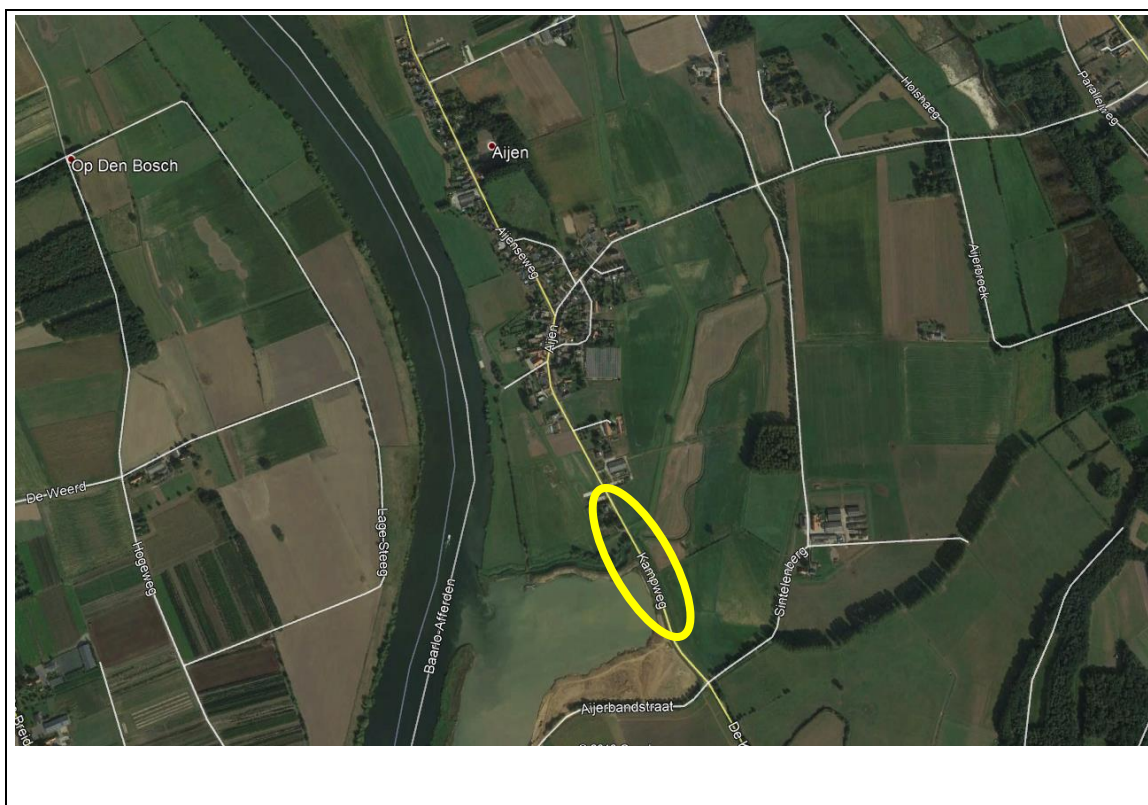


# Dijkverzwaring 'Eiland van Bergen'

## Boorplan HDD5 Kampweg te Bergen Ontwerpfase



Opgesteld door: VHW Engineering BV  
Helftheuvelweg 11  
5222 AV 's-Hertogenbosch

|                       |                                              |
|-----------------------|----------------------------------------------|
| <b>Datum</b>          | 01-03-2018                                   |
| <b>Opdrachtgever</b>  | Enexis                                       |
|                       | De heer F. Cruijsberg / De heer G. van Oijen |
| <b>Projectnummer</b>  | 2018-001                                     |
| <b>Documentnummer</b> | 2018-001-RAP-KL-01                           |
| <b>Status</b>         | Definitief                                   |
| <b>Versie</b>         | 1.0                                          |
| <b>Auteur</b>         | M. Tubée                                     |
| <b>Verificatie</b>    | H. Van Wijlen                                |
| <b>Autorisatie</b>    | H. van Helvoirt                              |

## Inhoudsopgave

|                                                                                          |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1. INLEIDING .....</b>                                                                | <b>3</b>      |
| <b>2. WERKOMSCHRIJVING .....</b>                                                         | <b>4</b>      |
| 2.1 Algemeen .....                                                                       | 4             |
| 2.2 Locatie, omvang en indeling werkterrein .....                                        | 6             |
| 2.3 Geotechnisch onderzoek .....                                                         | 7             |
| 2.4 Stappenplan uitvoering .....                                                         | 7             |
| 2.5 Bestaande kabels en leidingen .....                                                  | 7             |
| 2.6 Tijdschema .....                                                                     | 8             |
| 2.7 Personeelsbezetting .....                                                            | 8             |
| 2.8 In te zetten boormaterieel .....                                                     | 8             |
| 2.9 Kwaliteit en keuring bouwmaterialen .....                                            | 9             |
| <b>3. BOORTECHNISCHE WIJZE VAN UITVOEREN .....</b>                                       | <b>9</b>      |
| 3.1 Werkwijze van uitvoeren .....                                                        | 9             |
| 3.2 Kwaliteitsregistratie van de boring .....                                            | 10            |
| <b>4. CONCLUSIE OP BEREKENINGEN .....</b>                                                | <b>11</b>     |
| 4.1 Samenvatting sterkte- en muddrukberekeningen .....                                   | 11            |
| <br><b>BIJLAGE 1: BOORTEKENING .....</b>                                                 | <br><b>12</b> |
| <b>BIJLAGE 2: LUCHTFOTO'S .....</b>                                                      | <b>13</b>     |
| <b>BIJLAGE 3: GRONDMECHANISCH ONDERZOEK .....</b>                                        | <b>14</b>     |
| <b>BIJLAGE 4: ORIËNTATIEMELDING WION .....</b>                                           | <b>15</b>     |
| <b>BIJLAGE 5: VEILIGHEIDSZONE- STERKTE- EN MUDDRUKBEREKENINGEN .....</b>                 | <b>16</b>     |
| <b>BIJLAGE 6: VOORBEELD TYPE BOORRIG .....</b>                                           | <b>17</b>     |
| <b>BIJLAGE 7: V&amp;G-GEVAREN VOORTVLOEIEND UIT DE OMGEVING VAN DE BOUWLOCATIE .....</b> | <b>18</b>     |
| <b>V&amp;G-GEVAREN VOORTVLOEIEND UIT HET ONTWERP .....</b>                               | <b>18</b>     |
| <b>BIJLAGE 8: DRILL-SHEET .....</b>                                                      | <b>19</b>     |

## 1. Inleiding

Waterschap Limburg zorgt in Provincie Limburg o.a. voor veilige dijken, schoon water en voldoende water. Waterschap Limburg werkt sinds 2012 aan het versterken en aanleggen van dijken langs De Maas, van het noordelijk puntje Mook tot aan de meest zuidelijke plaats Eijsden. In totaal gaat het om 30 dijkversterkingsprojecten; 15 projecten vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma en 15 projecten vanuit Dijkversterkingen Maaswerken.

Het project “Realiseren Prioritaire Dijkversterkingen Perceel 1” bestaat uit 3 separate dijkringen, zijnde Dijkkring 54 Mook, Dijkkring 56 Afferden en Dijkkring 59 Bergen.

Voordat de daadwerkelijke dijkversterking van start kan gaan, dienen de Kabels en Leidingen (K&L) die conflicteren met het nieuwe ontwerp verlegd, verwijderd of beschermd te worden.

Enexis heeft van het Waterschap Limburg een verzoek tot aanpassing ontvangen voor het aanpassen en verleggen van haar kabels en leidingen welke een raakvlak hebben met de dijkversterking.

Het boorplan is gebaseerd op de volgende informatie:

- Boortekening 2018-001-TEK-KL-HDD5, d.d. 26-02-2018;
- Oriëntatie graafmelding WION met nummer 18O015585, 27-02-2018;
- Sonderingen en boringen Dinoloket.
  - Sondering CPT000000070871A (nr.12)
  - Sondering CPT000000072339A (nr.29)
  - B52E3304
  - B52E3305
- Voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende normeringen en richtlijnen:
  - NEN 6740; Geotechniek: Basiseisen en belastingen
  - NEN 3650-3; Eisen voor buisleiding systemen: kunststof
  - NEN 3651; Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken

## 2. Werkomschrijving

### 2.1 Algemeen

Bij het aanleggen van ondergrondse netwerken, die bestaan uit kabels en leidingen, kunnen horizontaal gestuurde boringen worden toegepast om onder andere wegen, watergangen en andere bovengrondse- en ondergrondse infrastructurele constructies te kruisen. Door het toepassen van deze sleufloze techniek wordt de overlast voor de omgeving tot een minimum beperkt.

Een gestuurde boring bestaat uit 3 fasen, te weten:

- Fase 1, pilotboring;
- Fase 2, ruimen;
- Fase 3, intrekken mantelbuizen.

Tijdens fase 1 en 2 wordt er gebruik gemaakt van 'normale' boorspoeling (OCMA). De boorspoeling is een water bentonietmengsel waar eventueel toeslagstoffen / additieven aan toegevoegd kunnen worden om gewenste eigenschappen te verkrijgen. De samenstelling van de boorspoeling is met name afhankelijk van het in te zetten materieel, de grondsoort en de kwaliteit van het grondwater. Fase 3, het intrekken van de mantelbuis dient te uitgevoerd te worden met een uithardende boorvloeistof die de annulaire ruimte opvult.

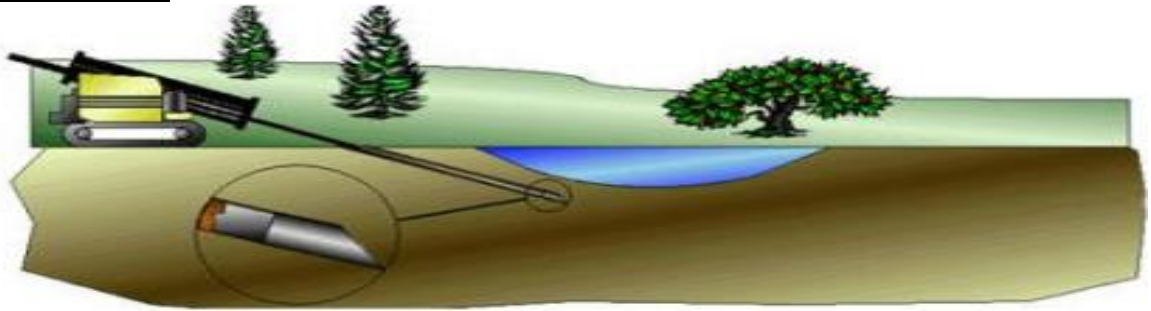
De voornaamste functies van de boorspoeling zijn:

- Medium voor lossputten van grond via nozzles in de boorkop of ruimer;
- Afvoeren / transporteren losgespoten grond;
- In stand houden boorgat;
- Afpleisteren van de tunnelwand (filtercake);
- Smering van de boorstreng en de in te trekken mantelbuizen;
- Koeling van de boorkop / boorbit en aandrijven mudmotor.

De boorspoeling wordt door middel van een hogedrukpomp door de boorstangen naar de boorkop of ruimer gepompt. Vervolgens zal de boorspoeling onder hoge druk via diverse nozzles in de boorkop of ruimer de grond of tunnel in worden gepompt.

Bij een gestuurde boring worden de werkzaamheden vanaf het maaiveld uitgevoerd. Een gestuurde boring bestaat doorgaans uit twee werkterreinen. Een rig-site, (intredepunt) waar onder andere de boorrig opgesteld is, en een pipe-site (uittredepunt) waar de in te trekken mantelbuizen samengesteld en klaargelegd worden.

### Fase 1: De pilotboring



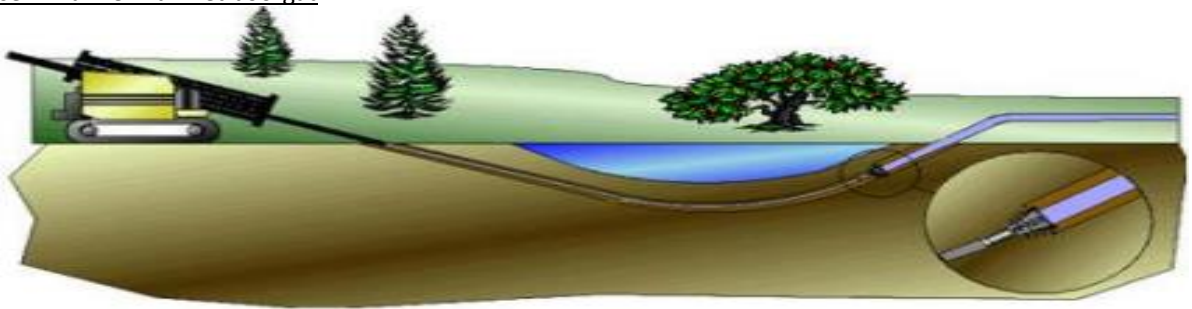
Aan de voorkant van de boorstreng is een boorkop aangebracht. De boorspoeling wordt via de boorstreng naar de boorkop gepompt en wordt samen met de losgewoelde grond langs de buitenzijde van de boorstreng door de boortunnel afgevoerd. Over het eerste gedeelte van de boorstreng kan eventueel een casing / beschermbuis worden aangebracht in de volgende gevallen:

- indien de boorgatstabiliteit in gevaar komt;
- indien gevaar bestaat voor een blow-out op een kwetsbare plek;
- indien gevaar bestaat voor knikken van de boorstang.

Het eerste deel van een gestuurde boring bestaat uit een rechtstand onder een vooraf bepaalde intredehoek. Deze rechtstand gaat over in een neergaande verticale of gecombineerde bocht. Gevolgd door een horizontale rechtstand (eventueel met een horizontale bocht) hierna volgt er een opgaande verticale of gecombineerde bocht met aan het einde een rechtstand tot het uittredepunt, eveneens onder een vooraf bepaalde uittredehoek.

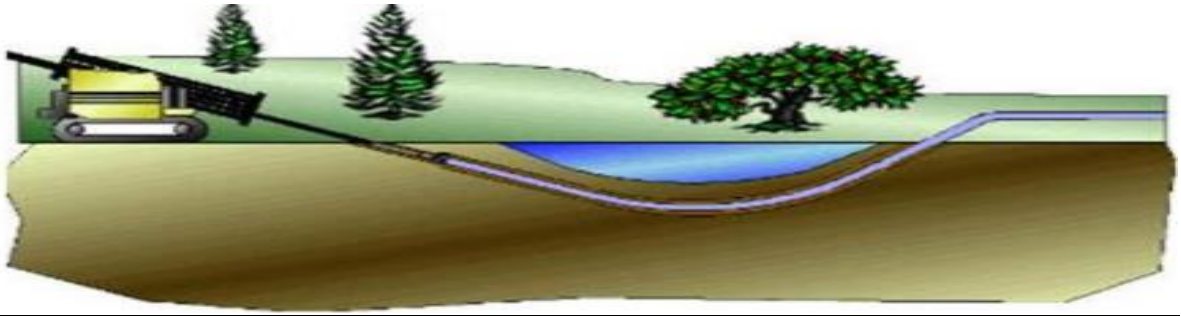
De driedimensionale plaatsbepaling van de boring wordt tijdens deze eerste fase verkregen door de geregistreerde coördinaten tijdens de pilotboring. De locatie van de boring, de eisen van de opdrachtgever, de eisen en wensen van de vergunningverlener, het te kruisen obstakel, storende externe invloeden en de diepte zijn bepalend voor het toe te passen meetsysteem.

### Fase 2: Ruimen van het boorgat



Nadat de boorstreng bij het uittredepunt boven de grond is gekomen, wordt de boorkop verwijderd en wordt op het uiteinde van de boorstreng een ruimer gemonteerd. Vervolgens wordt de boorstreng met ruimer teruggetrokken richting intredepunt. De ruimer wordt met een draaiende beweging door het voorgeboorde pilotboorgat teruggetrokken. Op de ruimer zijn behalve nozzles, waardoor de boorspoeling naar buiten gespoten wordt, soms ook messen, kammen of tanden aangebracht (afhankelijk van de grondslag waarin geboord wordt). De losgewoelde grond wordt langs de buitenzijde van de boorstreng door het geruimde boorgat in de retourstroom van de boorspoeling afgevoerd naar het maaiveld. Achter de ruimer worden opnieuw boorstangen gekoppeld, zodat de verbinding tussen in- en uittredepunt behouden blijft. Afhankelijk van de grondslag, het pompvermogen en de vereiste boorgatdiameter kunnen meerdere ruimeroperaties achter elkaar worden uitgevoerd.

### Fase 3: Intrekken mantelbuis:



Tijdens de laatste fase van het boorproces wordt de productleiding of mantelbuis (eventueel meerdere productleidingen of mantelbuizen in een bundel) samen met een trekkop achter een ruimer gekoppeld en in het geruimde boorgat getrokken. Het boorgat blijft tijdens de intrekoperatie geheel gevuld met de boorspoeling. De boorgatdiameter dient tussen de 30% en 50% groter te zijn dan de diameter van de productleiding of mantelbuis (eventueel gebundeld). Ten behoeve van het inbrengen van de productleiding of mantelbuis wordt tussen de ruimer en de productleiding een swivel (wartellager) gemonteerd zodat geen rotatie van de productleiding of mantelbuis kan optreden. Nadat de productleiding(en) of mantelbuis /- buizen in zijn geheel door de boortunnel is getrokken en, indien nodig succesvol is beproefd / getest, is de boring voltooid.

Tijdens de verschillende fasen worden de boorspoeldrukken gecontroleerd en geregistreerd. Bij alle fasen dient de gehele boortunnel gevuld te blijven met boorspoeling zodat er continu druk in de boortunnel blijft staan, dit is belangrijk om achterblijvende holle ruimten in de grond en instorten van de boortunnel te voorkomen.

## **2.2 Locatie, omvang en indeling werkterrein**

De aannemer die de boring uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven wat de minimaal benodigde omvang is van het werkterrein. Onderstaand wordt de informatie verstrekt om te komen tot een juiste en acceptabele indeling van het werkterrein (rig-site en pipe-site):

- De locatie van de boring is weergegeven in boortekening 2018-001-TEK-KL-HDD5 v1.0, d.d. 26-02-2018, zie hiervoor bijlage 1 en de luchtfoto's in bijlage 2;
- De aannemer kan eventueel samen met de opdrachtgever of andere belanghebbenden een bezoek brengen aan de locatie;
- In overleg met de opdrachtgever wordt bepaald of een nul-situatie onderzoek van de locatie wenselijk is;
- De omvang van het werkterrein hangt nauw samen met de lokaal beschikbare ruimte, de grootte van de uit te voeren boring en het in te zetten materieel;
- De indeling van het werkterrein zal worden aangepast aan de plaatselijke omstandigheden;
- Afhankelijk van eventueel gestelde eisen en het in te zetten materieel, de staat en functie van het maaiveld dient een werkweg aangelegd te worden voor transport van het boorequipement en de benodigde materialen.

## 2.3 Geotechnisch onderzoek

Voorafgaand aan de uitvoering van de gestuurde boring dient er lokale geotechnische informatie te worden verzameld. Hiertoe is de databank van Dinoloket geraadpleegd. Uit deze databank zijn 2 sonderingen en zijn twee grondboringen geselecteerd. De locaties van de grondonderzoeken inclusief de sondeergrafieken en boorstaten zijn opgenomen in bijlage 3. De sondeergrafieken en -locaties zijn ook aangegeven op de boortekening.

De gegevens verkregen van de grondboringen geven een consistent beeld van de bodemopbouw aan weerszijden van de waterkering. Derhalve is geen aanvullend grondonderzoek uitgevoerd.

De geotechnische informatie wordt als input gebruikt in de sterkte- en/of muddrukberoeeningen. Zonder goedkeuring van deze berekeningen, door opdrachtgever en/of vergunningverlenende instantie, mag niet gestart worden met de werkzaamheden.

## 2.4 Stappenplan uitvoering

Onderstaand worden de handelingen aangegeven om te komen tot een goede uitvoering:

- De aannemer bestudeert voor aanvang van de werkzaamheden het boorplan, inclusief het ontwerp, de reeds aanwezige informatie over bestaande kabels en leidingen, de bodemgesteldheid en de eventuele vergunningen / toestemmingen;  
Let op! De aannemer die de boringen uit zal voeren is verplicht een graafmelding te doen en deze te analyseren (zie ook § 2.5);
- De aannemer overlegt aan de hand van de hiervoor genoemde informatie met betrokken instanties en/of kabel en leidingeigenaren over zijn plan van aanpak / werkplan;
- De werkzaamheden worden uitgevoerd conform het afgestemde plan van aanpak / werkplan;
- Tijdens en na de werkzaamheden worden de bevindingen en/of wijzigingen schriftelijk vastgelegd door de aannemer;
- De aannemer verwerkt de bevindingen en/of wijzigingen op tekening aan de hand van revisiegegevens afkomstig van de surveyor;
- De opdrachtgever en de betrokken instanties worden door de aannemer op de hoogte gehouden van eventuele bevindingen en/of wijzigingen;

## 2.5 Bestaande kabels en leidingen

Voor uitvoering wordt door de aannemer een graafmelding gedaan om de ligging van de ondergrondse infrastructuur in kaart te brengen. Ook zal er voor aanvang van de werkzaamheden met de belanghebbende kabel en leidingeigenaren contact worden opgenomen. Indien noodzakelijk kunnen voor aanvang van de gestuurde boring proefsleuven gegraven worden.

De graafmelding moet tijdens de uitvoering op het werk aanwezig zijn.

## 2.6 Tijdschema

De tijdsduur van de werkzaamheden is sterk afhankelijk van het in te zetten boormaterieel. De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven hoe zijn tijdschema eruit ziet.

De startdatum wordt bepaald in overleg met de opdrachtgever. Hierbij dient rekening gehouden te worden met eventuele vergunningen en toestemmingen. De boorwerkzaamheden mogen pas aanvangen na het verkrijgen van alle goedkeuringen / toestemmingen op het boorplan.

De werktijden worden aangepast aan de werkzaamheden die technisch achtereenvolgens uitgevoerd dienen te worden. Werktijden dienen vooraf door de aannemer aangegeven te worden in zijn plan van aanpak / werkplan. Bepaling van werktijden zal altijd in goed overleg met alle betrokkenen plaatsvinden.

## 2.7 Personeelsbezetting

Het boormaterieel zal bediend worden door gekwalificeerd personeel dat tenminste bestaat uit een boormeester, een surveyor en een boorassistent. Afhankelijk van de omvang van de boring kan het noodzakelijk zijn meer medewerkers in te zetten. De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven hoe zijn personeelsbezetting eruit ziet.

## 2.8 In te zetten boormaterieel

In bijlage 6 is een representatief boorstelling en de daarbij behorende technische specificaties opgenomen. De aannemer die de boringen uit zal voeren dient in zijn plan van aanpak / werkplan aan te geven van welk type machine hij gebruik zal maken met de daarbij behorende specificaties. De berekeningen en het boorontwerp dienen door de aannemer gecontroleerd te worden. Indien nodig wordt het in te zetten materieel aangepast op de berekeningen en het boorontwerp of worden de berekeningen en het boorontwerp aangepast op het in te zetten materieel.

- Walk-over meetsysteem

Een 'Walk-over' meetsysteem maakt gebruik van sondes die vanuit de boorkop een signaal uitzenden. Deze signalen bevatten gegevens over de richting, de diepte en de hellingshoek van de boorkop. Om het signaal van de boorkop te kunnen ontvangen moet de ontvanger loodrecht boven de boorkop geplaatst zijn. De signalen van de sonde kunnen beïnvloed worden door omgevingsfactoren zoals damwanden, (tram)rails en andere kabels en leidingen in de nabijheid van de boring.

Naast het 'Walk-over' meetsysteem zal gebruik gemaakt worden van een draadmeetsysteem om nauwkeurig de boorlijn te kunnen volgen en registreren.

## 2.9 Kwaliteit en keuring bouwmaterialen

### Buizen

De in te trekken (mantel)buizen (HDPE100 ø250 sdr11, HDPE100 ø160 sdr11, HDPE100 ø110 sdr11 en HDPE100 ø63 sdr11) worden door de opdrachtgever of opdrachtnemer besteld en op het werk geleverd.

De buis wordt in lengtes en/of op haspel geleverd, indien noodzakelijk dienen er enkele lengtes aan vast gelast te worden door middel van spiegellassen. Het aan elkaar verbinden van de buizen dient te gebeuren met gekwalificeerd personeel en gecertificeerd materiaal. De inwendige rillen dienen verwijderd te worden.

### Boorvloeistof

De boorvloeistof zal samengesteld worden uit met water vermengde bentoniet. Indien noodzakelijk kan de samenstelling hiervan verder aangepast worden aan de lokale bodemopbouw. Uitgangspunt hierbij is dat er een boorspoeling wordt verkregen die voldoende steun geeft aan het boorgat in de plaatselijke grond. Indien toeslagstoffen toegepast worden dient dit tijdig aan de opdrachtgever gemeld te worden.

De aannemer die de boorwerkzaamheden uit zal voeren dient de mantelbuis in te trekken met drillgrout of vergelijkbaar product. Dit is een (zware) boorspoeling welke uithard en dus voor goede afdichting zorgt van de boortunnel teneinde kwel of piping te voorkomen.

## 3. Boortechnische wijze van uitvoeren

### 3.1 Werkwijze van uitvoeren

Onderstaand is een opsomming van activiteiten die zullen plaatsvinden, deze zijn:

- Bestuderen projectgegevens zoals: tekeningen, berekeningen, V&G-plan, vergunningen en voorschriften;
- Indien noodzakelijk of vereist wordt er verkeersmaatregelen geplaatst volgens de CROW richtlijnen;
- Aanvoer materieel;
- Kick-off meeting (bespreken van o.a. de veiligheidsaspecten en risico's);
- Inrichten werkterrein (rig-site en pipe-site) en mobilisatie boorequipment;
- Eventueel lokaliseren bestaande kabels en leidingen en ontgraven intrede- en uittredepunt;
- Graafwerkzaamheden uitvoeren conform CROW-500;
- Eventueel aanbrengen/toepassen van beschermende maatregelen (ter beoordeling uitvoerende partij);
- Uitvoeren pilotboring;
- Gereed leggen/ opstellen van de in te trekken mantelbuis. De werkzaamheden voor het samenstellen van de buizen worden tijdens of voorafgaand aan de boorwerkzaamheden uitgevoerd;
- Intrekken mantelbuis van de vanaf maaiveld en/of haspel. Bij intrekken mantelbuizen dient gebruik gemaakt te worden van Drillgrout of een vergelijkbaar product;
- Aanbrengen kleikist en kwelscherm conform NEN3650/3651.
- Demobilisatie boorequipment en afvoer van materieel, op gelijke wijze als de aanvoer;
- Opruimen werkterrein.

Gedurende de boorwerkzaamheden worden onderstaande handelingen voortdurend verricht, te weten:

- Aflezing van de boorparameters zoals, trekkracht en torque door de analoge meters op de rig;
- Registratie van de meetgegevens op een drillsheet (of vergelijkbaar document, zie bijlage 8);
- Mixen van de boorspoeling met water van voldoende kwaliteit;
- Opvang uitkomende boorspoeling bij intrede- en uittredepunt in de in- en uittredeputten, eventueel kunnen vloeistofdichte bakken geplaatst worden voor opvang en / of buffering van de boorspoeling. De aannemer die de werkzaamheden uitvoert zal voerens dient dit aan te geven in zijn werkplan / plan van aanpak;
- Leegzuigen van de boorgaten en / of vloeistofdichte bakken met vloeistofdichte zuigwagens;
- Afvoeren overgebleven / overtollige boorspoeling naar een erkend verwerker.

#### V&G plan

De werkzaamheden met betrekking tot het uitvoeren van de horizontaal gestuurde boring zullen worden uitgevoerd volgens de richtlijnen van de aannemer. De veiligheids- en gezondheidsgevaars voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie en de veiligheids- en gezondheidsgevaars voortvloeiend uit het ontwerp zijn opgenomen in bijlage 7. De uiteindelijke project specifieke risico's , maatregelen en voorzieningen dienen door de uitvoerende partij aangegeven te worden.

De V&G coördinator is verantwoordelijk voor de naleving van de regels vastgesteld in het kwaliteits-, arbo- en milieu (KAM) zorgsysteem. De V&G coördinator binnen het project is verantwoordelijk voor het vaststellen van de specifieke KAM maatregelen voor dit project en het beschikbaar stellen van de vereiste beschermingsmiddelen.

De aannemer die de boorwerkzaamheden uitvoert zal voerens is verantwoordelijk voor een juiste uitvoering en toezicht op de voorgeschreven V&G maatregelen op de werklocatie. Tevens is hij verplicht afwijkingen en gevaarlijke situaties te melden bij de V&G coördinator en in overleg passende maatregelen te nemen en deze te registreren.

### **3.2 Kwaliteitsregistratie van de boring**

Tijdens het ruimen van het boorgat en het intrekken van de mantelbuis worden de volgende gegevens geregistreerd:

- trekkracht aan de boorinstallatie (ton);
- druk boorvloeistof aan de pomp (bar);
- debiet vloeistof (ltr/min);
- eventueel vindt registratie van de locatie en de hoogteligging (RD coördinaten t.o.v NAP) plaats.

Deze meetgegevens worden opgenomen in een "drill-sheet" (of vergelijkbaar document) en door het boorbedrijf gearchiveerd. Een voorbeeld van een drill-sheet is opgenomen in bijlage 8. De meetgegevens van de survey (overzicht van meetinformatie) worden samen met de veldmetingen verwerkt tot de vereiste revisie gegevens.

## 4. Conclusie op berekeningen

De bijgevoegde berekeningen voor de veiligheidszone van het dijklichaam en de sterkte- en muddrukberkeningen zijn uitgevoerd op basis van de NEN3650 en de NEN3651 m.b.v. programmatuur Sigma versie 2018 – 1.0. De resultaten van de berekeningen voor de veiligheidszone en de sterkte- en muddrukberkeningen zijn opgenomen in bijlage 5.

De HDD boring is berekend in overeenstemming met de NEN 3650 en NEN 3651.

De resultaten van de sterkte- en muddrukberkeningen alsmede de hiervoor gebruikte grondgegevens dienen door de uitvoerende partij gecontroleerd te worden. De keuze voor het in te zetten materieel is ter beoordeling van- en de verantwoordelijkheid van de uitvoerende partij.

**HDD-BORING (HDPE100 Ø250 sdr11, HDPE100 Ø160 sdr11, HDPE100 Ø110 sdr11 en HDPE100 Ø63 sdr11)**

### 4.1 Samenvatting sterkte- en muddrukberkeningen

Spanningen in omtreksrichting van de leiding

|                    | Toegestane spanning    | Maximaal optredende spanning |
|--------------------|------------------------|------------------------------|
| HDPE100 Ø250 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 5,23 N/mm <sup>2</sup>       |
| HDPE100 Ø160 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 7,05 N/mm <sup>2</sup>       |
| HDPE100 Ø110 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 7,10 N/mm <sup>2</sup>       |
| HDPE100 Ø63 sdr11  | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 6,92 N/mm <sup>2</sup>       |

Spanningen in langsrichting van de leiding

|                    | Toegestane spanning    | Maximaal optredende spanning |
|--------------------|------------------------|------------------------------|
| HDPE100 Ø250 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 5,64 N/mm <sup>2</sup>       |
| HDPE100 Ø160 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 1,58 N/mm <sup>2</sup>       |
| HDPE100 Ø110 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 1,08 N/mm <sup>2</sup>       |
| HDPE100 Ø63 sdr11  | 8,00 N/mm <sup>2</sup> | 0,62 N/mm <sup>2</sup>       |

Deflectie

|                    | Toegestane deflectie | Maximaal optredende deflectie |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|
| HDPE100 Ø250 sdr11 | 18,18 mm             | 7,32 mm                       |
| HDPE100 Ø160 sdr11 | 11,63 mm             | 4,68 mm                       |
| HDPE100 Ø110 sdr11 | 8,00 mm              | 3,26 mm                       |
| HDPE100 Ø63sdr11   | 2,90 mm              | 1,79 mm                       |

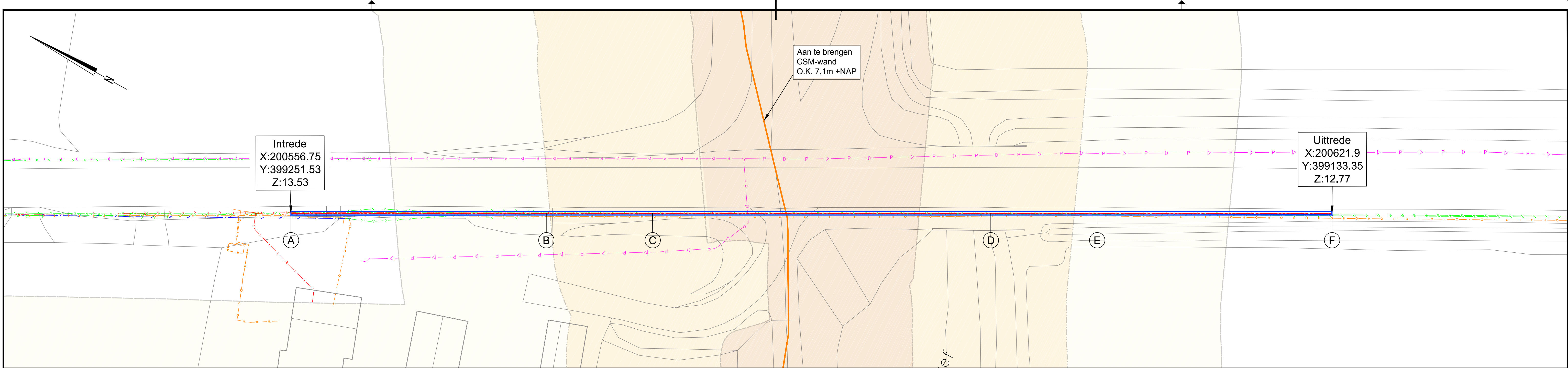
Benodigde trekkracht op de mantelbuis

|                    | Toegestane trekkracht* | Maximale berekende trekkracht |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| HDPE100 Ø250 sdr11 | 162,10 kN              | 41,40 kN                      |
| HDPE100 Ø160 sdr11 | 66,69 kN               | 18,09 kN                      |
| HDPE100 Ø110 sdr11 | 31,41 kN               | 9,72 kN                       |
| HDPE100 Ø63 sdr11  | 10,43 kN               | 1,79 kN                       |

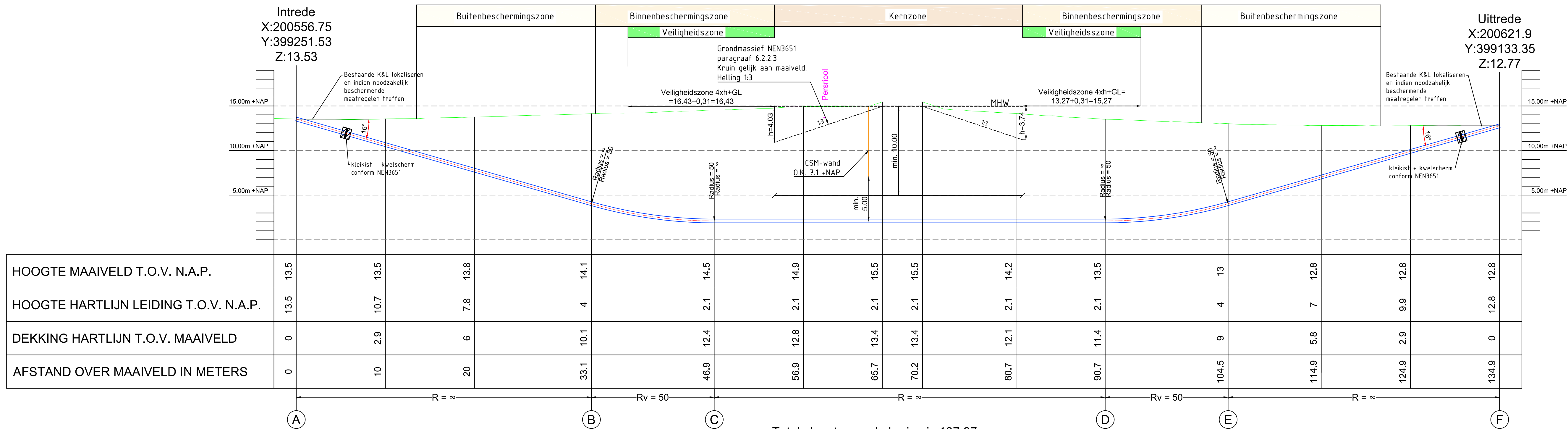
\*Toegestane trekkrachten volgens technische documentatie PipeLife.

## **Bijlage 1: Boortekening**

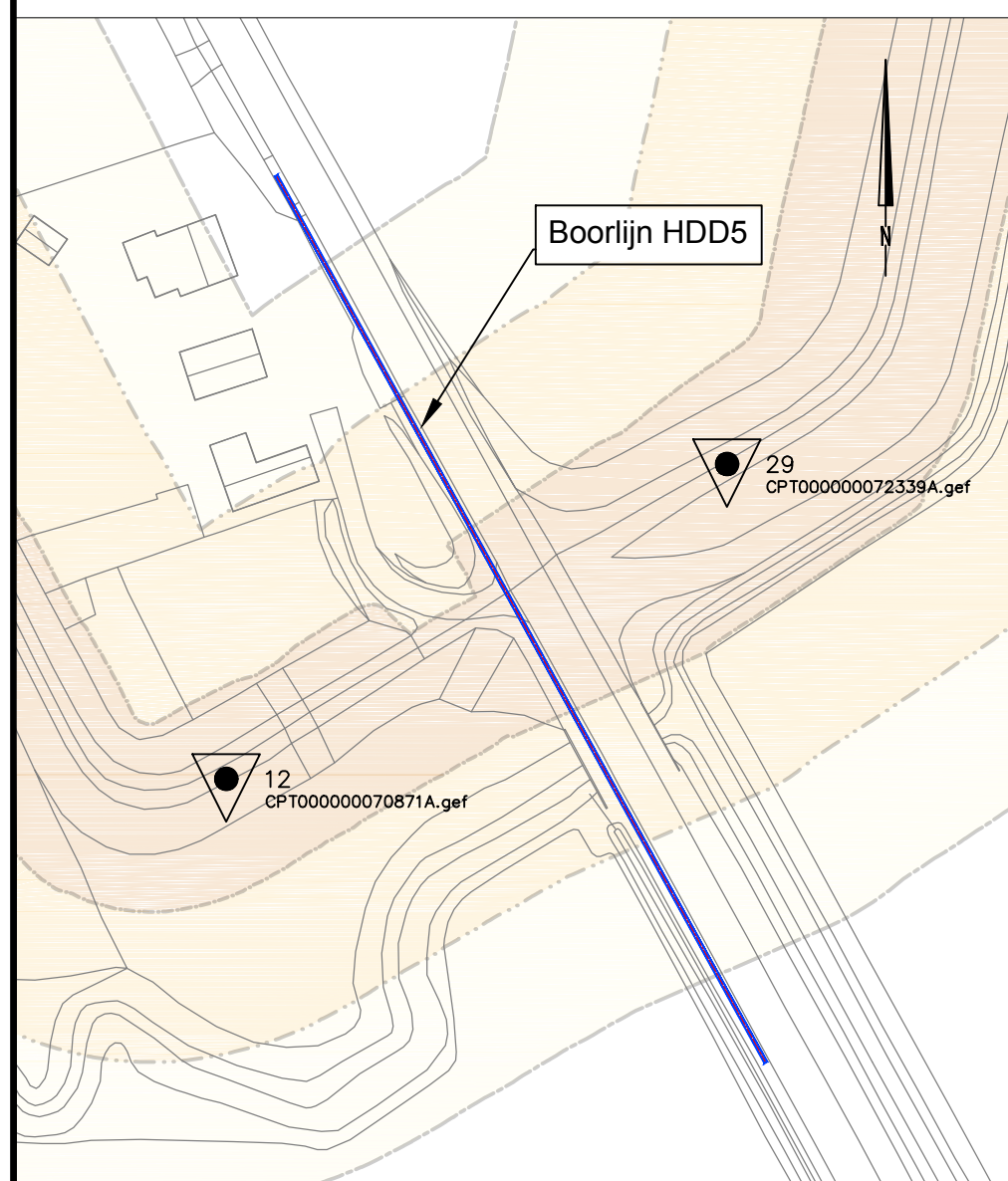
Boortekening 2018-001-TEK-KL-HDD5 v1.0, d.d. 26-02-2018



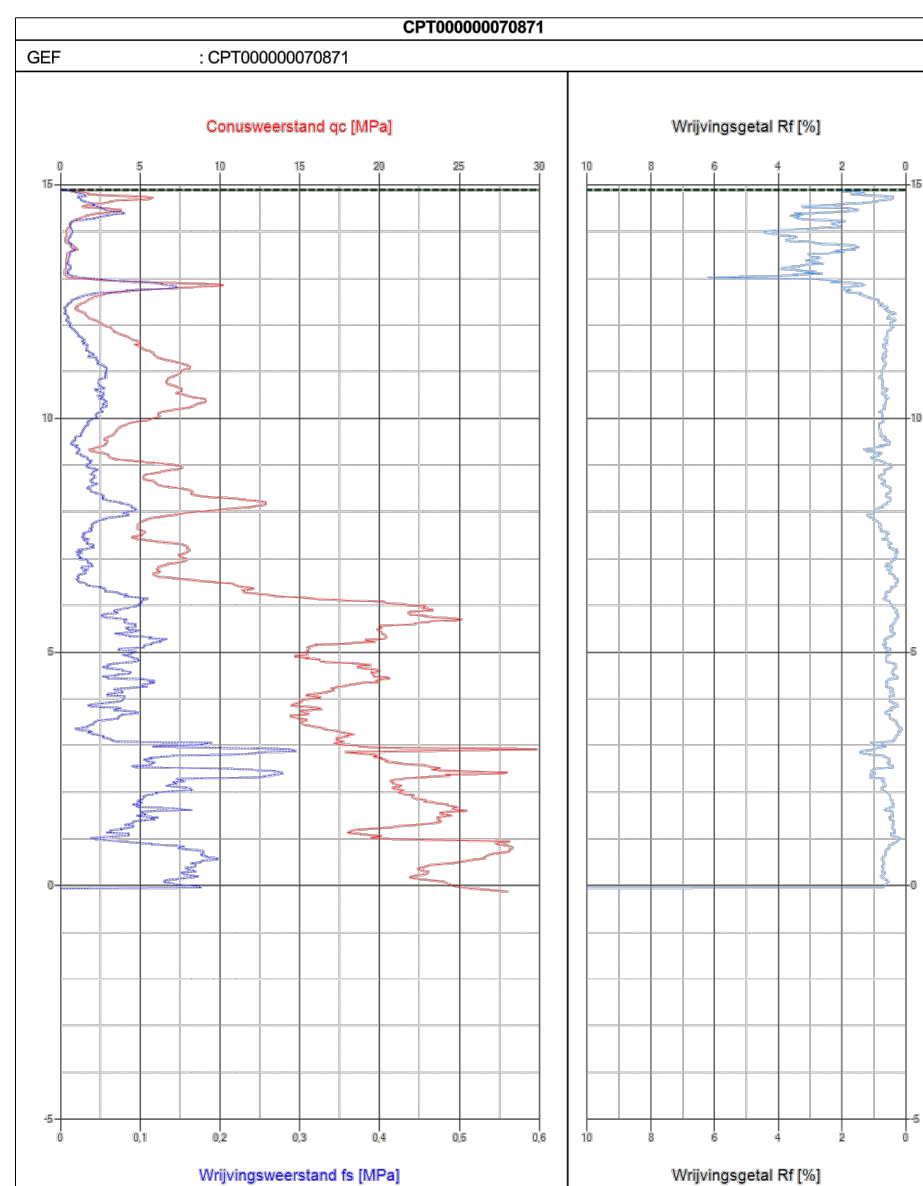
BOVENAANZICHT  
Schaal 1:250



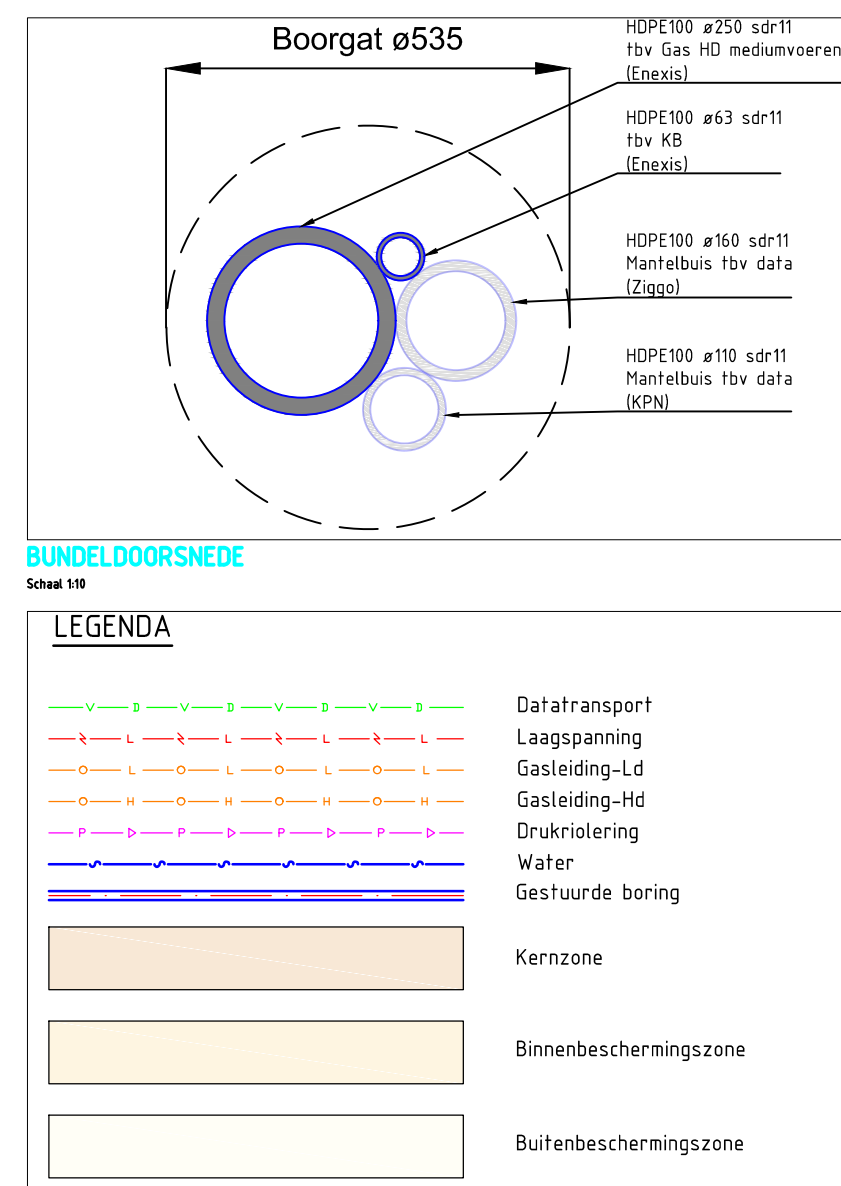
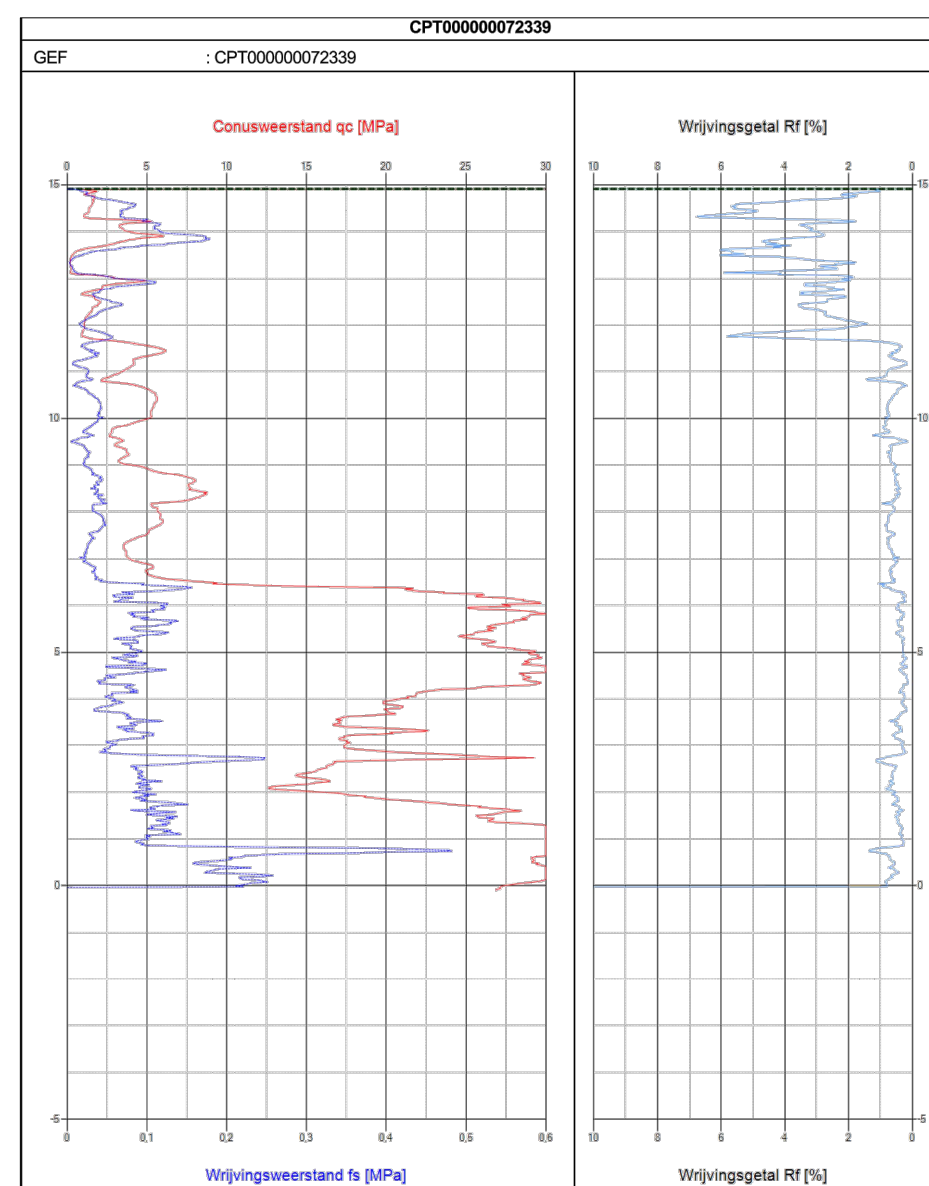
DWARSPROFIEL  
Schaal 1:250



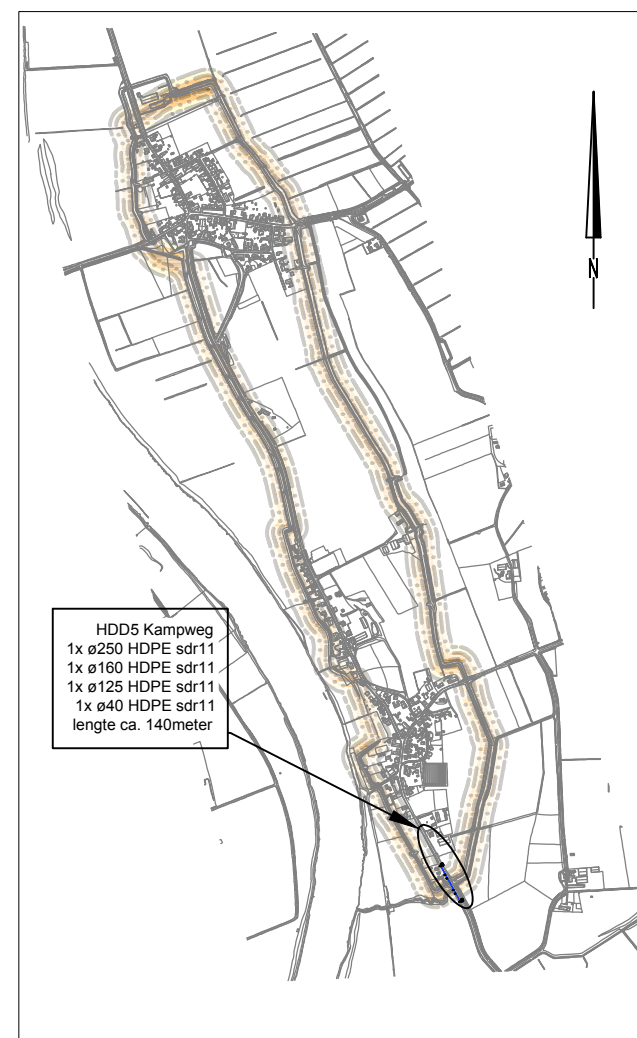
Locatie sonderingen  
Schaal 1:5000



Sonderingen



BUNDELDOORSNEDEN  
Schaal 1:10



Situatieoverzicht  
Schaal 1:5000

| COORDINATENLIJST |           |           |        |
|------------------|-----------|-----------|--------|
|                  | X         | Y         | Z(NAP) |
| A                | 200556.75 | 399251.53 | 13.53  |
| B                | 200572.73 | 399222.55 | 4.04   |
| C                | 200579.38 | 399210.48 | 2.10   |
| D                | 200600.55 | 399172.08 | 2.10   |
| E                | 200607.20 | 399160.01 | 4.04   |
| F                | 200621.90 | 399133.35 | 12.77  |

- Graafmeling WION
- Graafwerkzaamheden volgens CROW-500
- Intrekken met Drillmix of vergelijkbaar product
- Aanbrengen kwelscherm en kleikist volgens NEN3650/3651
- Maten in meters, tenzij anders vermeld
- Diameters in millimeters, tenzij anders vermeld
- Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P., tenzij anders vermeld

| 001    | 26-02-2018 | Definitief t.b.v. vergunningaanvraag | MaTu | HvH  |
|--------|------------|--------------------------------------|------|------|
| Versie | Datum      | Wijziging                            | Get. | Gez. |

In opdracht van:  
Enexis  
Heierkerkweg 3  
5928RM, Venlo



Vervaardigd door:  
VHW Engineering BV  
Focus op ondergrondse kabels en leidingen

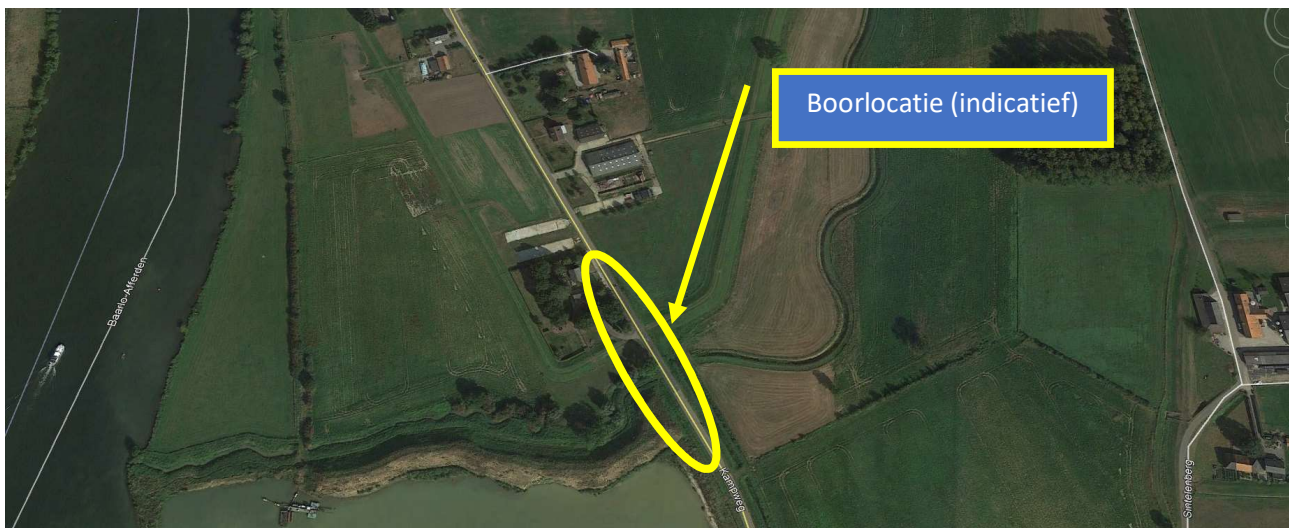
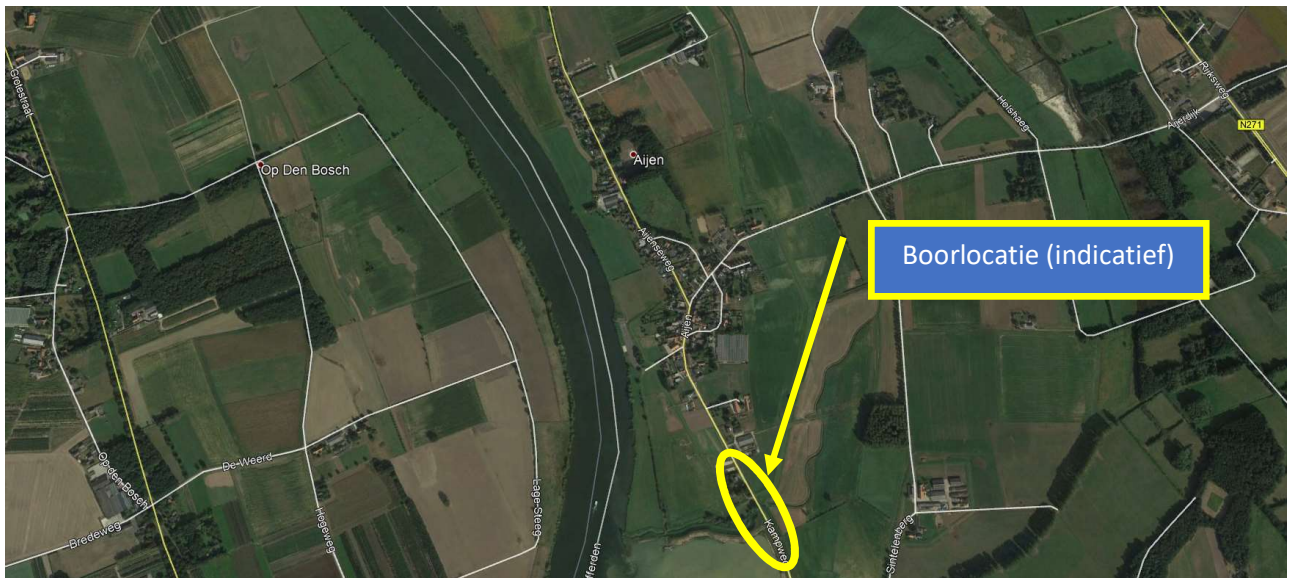
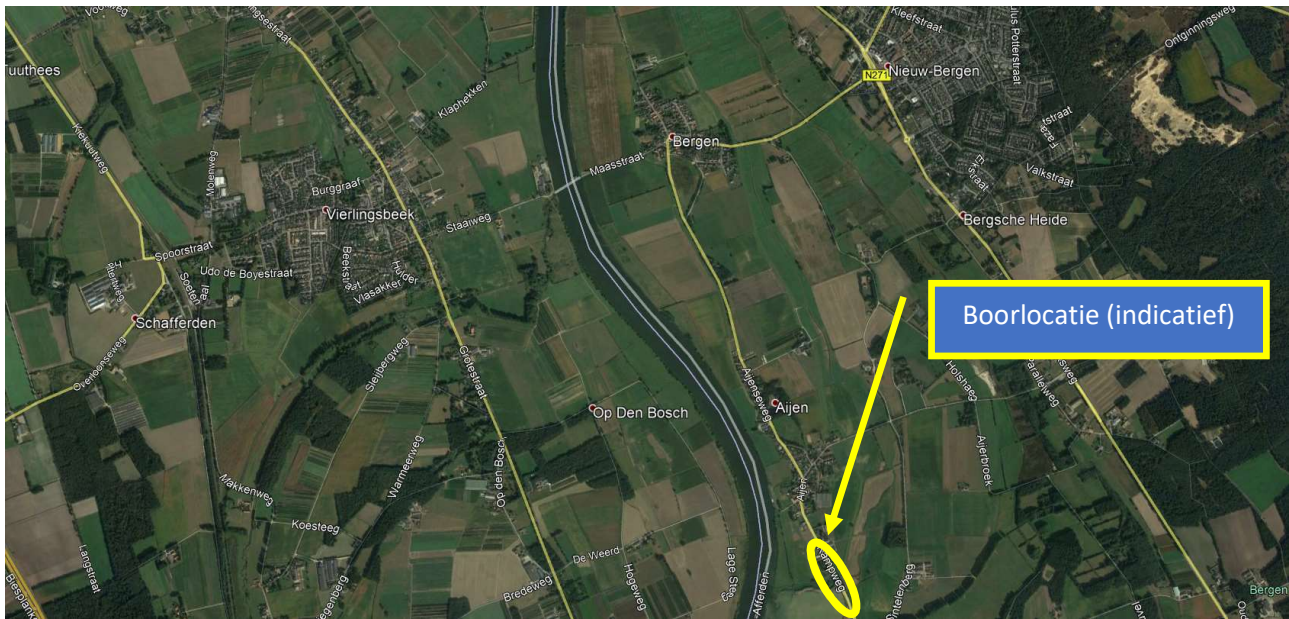
Project:  
Gestuurde boringen 'Eiland van Bergen'  
HDD5 Kampweg gemeente Bergen

Omschrijving:  
Aanleg bundelboring  
1x ø250 HDPE sdr11 + 1x ø160 HDPE sdr11  
1x ø110 HDPE sdr11 + 1x ø63 HDPE sdr11

Schaal: divers  
Formaat: A1  
Datum: 26-02-2018  
Projectnr: 2018-001  
Status: Definitief  
Tekeningnr: 2018-001-TEK-KL-HDD5-v1.0

## **Bijlage 2: Luchtfoto's**

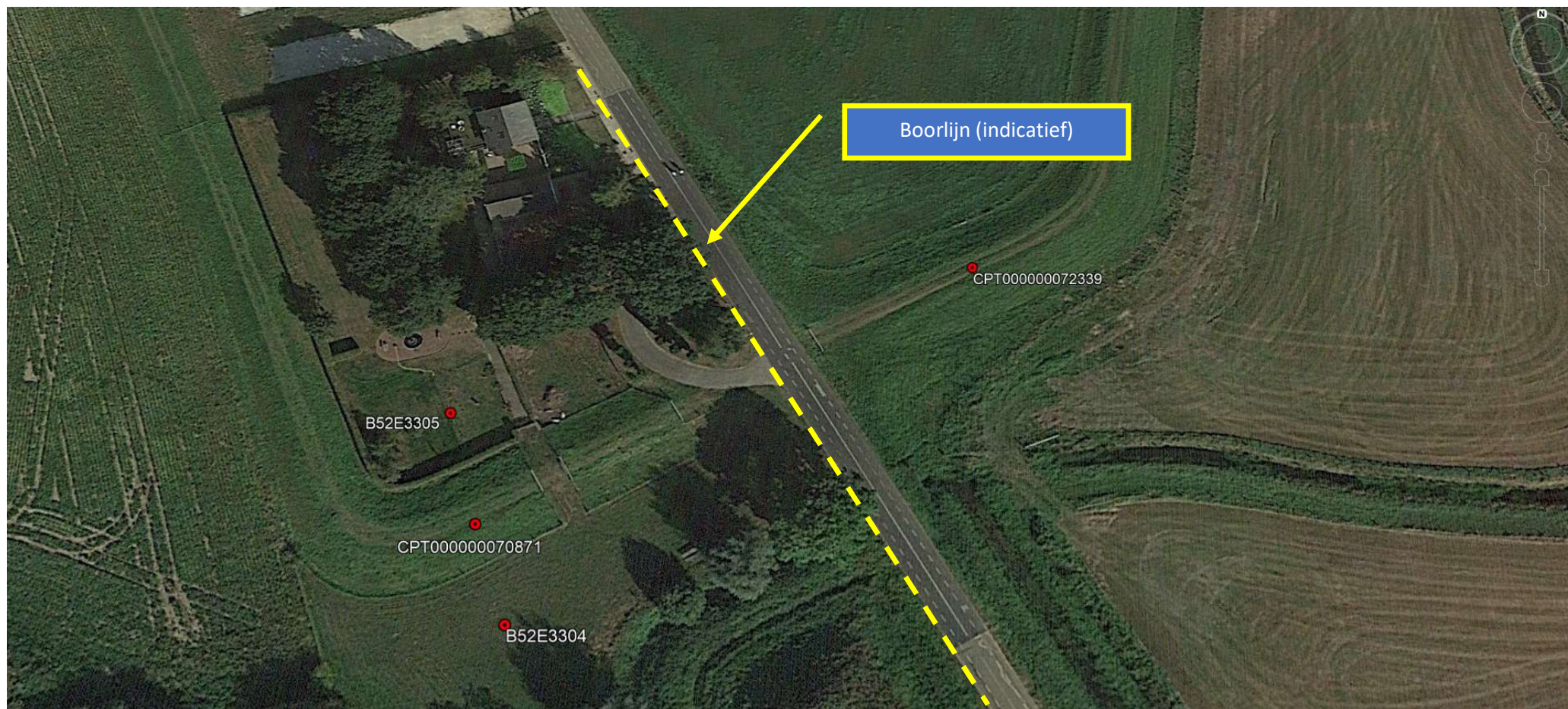
## Luchtfoto's boorlocatie



## **Bijlage 3: Grondmechanisch onderzoek**

- Sonderingen en boringen Dinoloket.
  - Sondering CPT000000070871A (nr.12)
  - Sondering CPT000000072339A (nr.29)
  - B52E3304
  - B52E3305

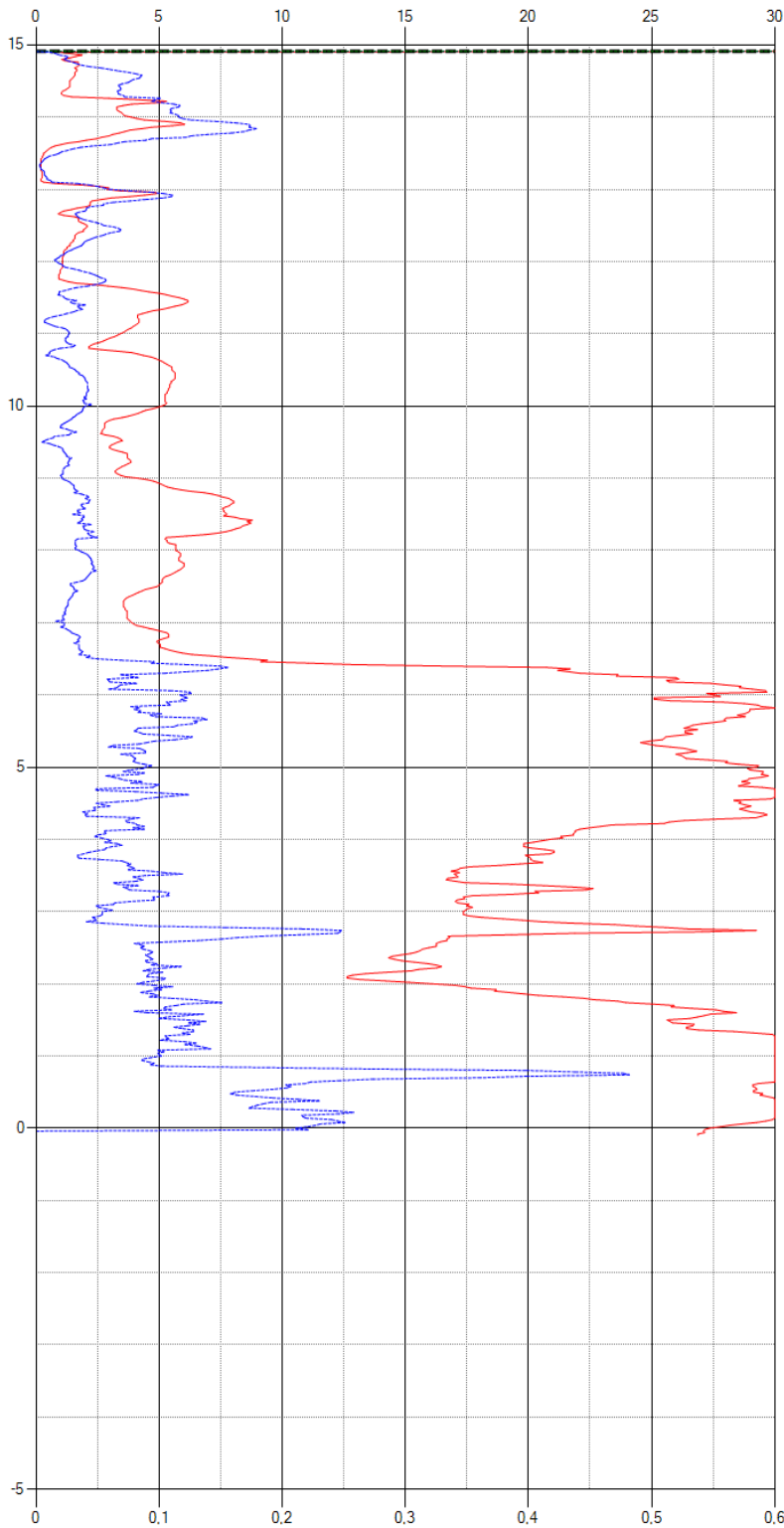
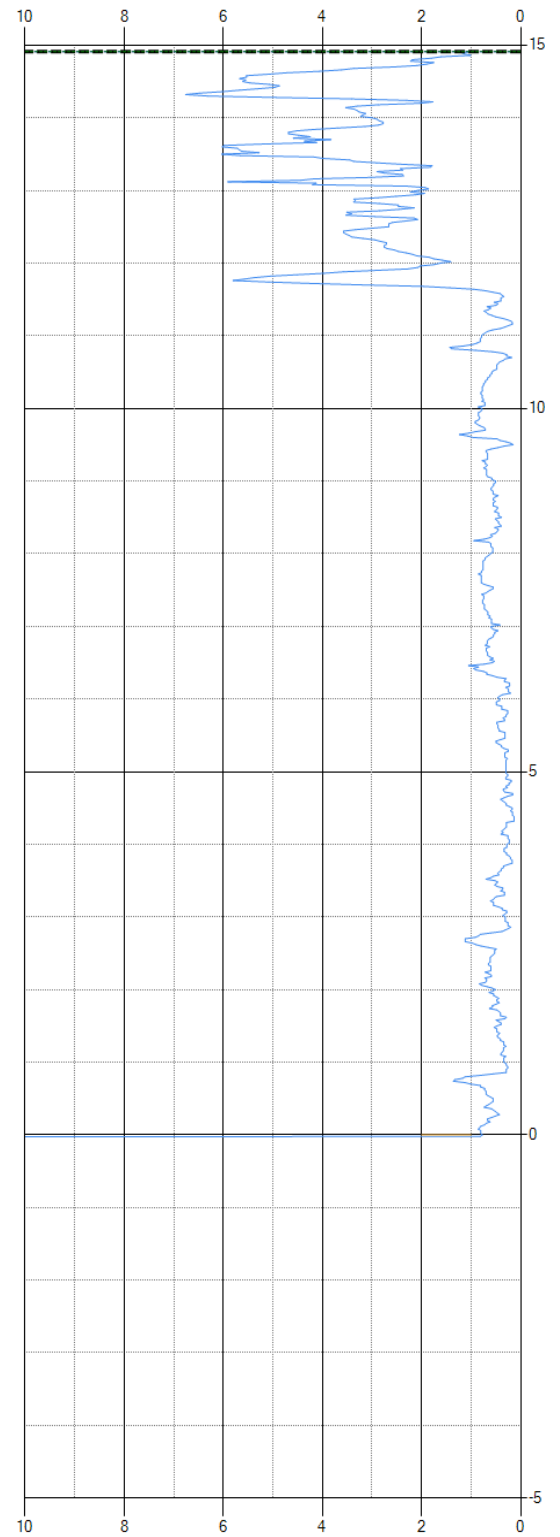
## Locaties gebruikte sonderingen en boringen



**CPT000000072339**

GEF : CPT000000072339

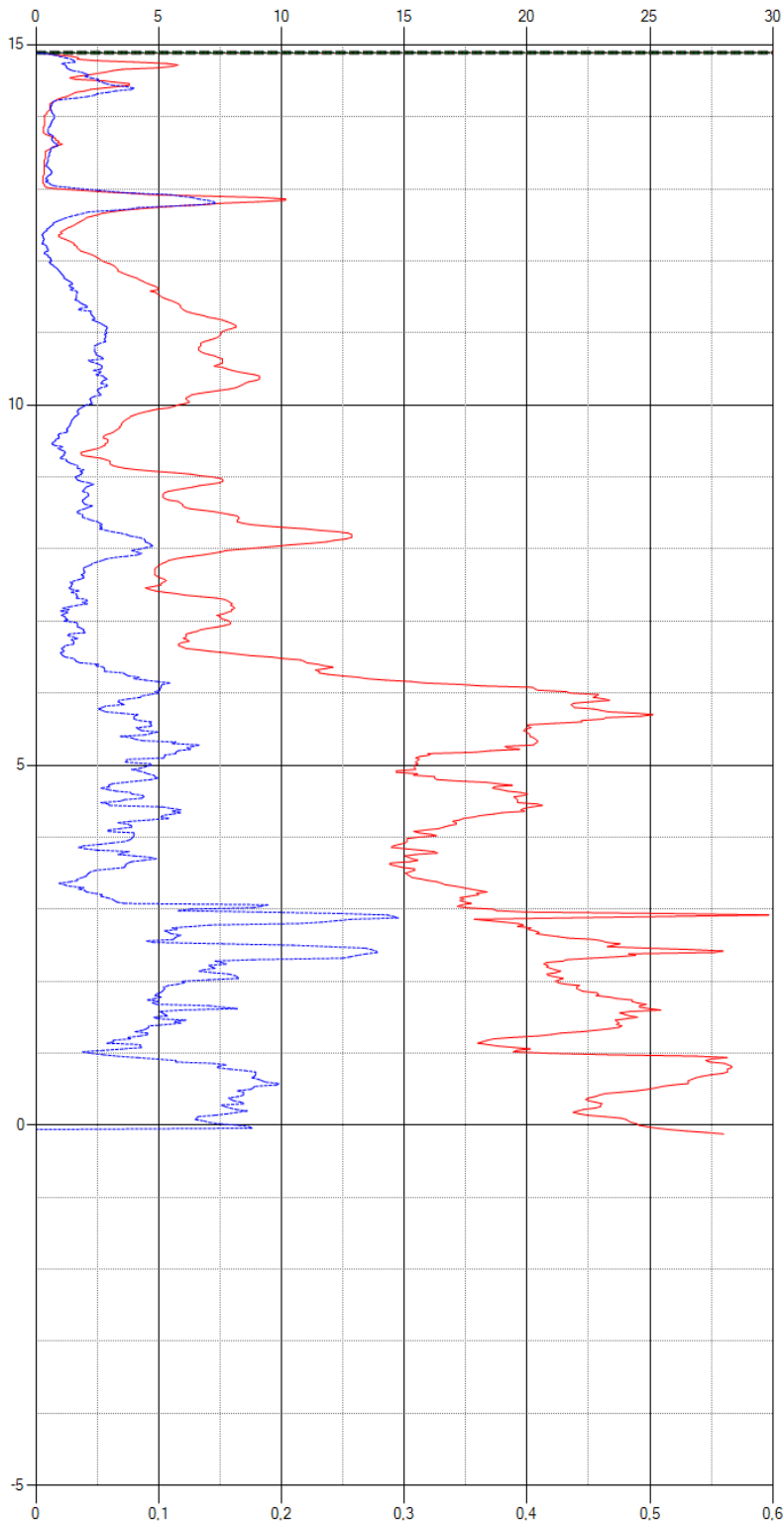
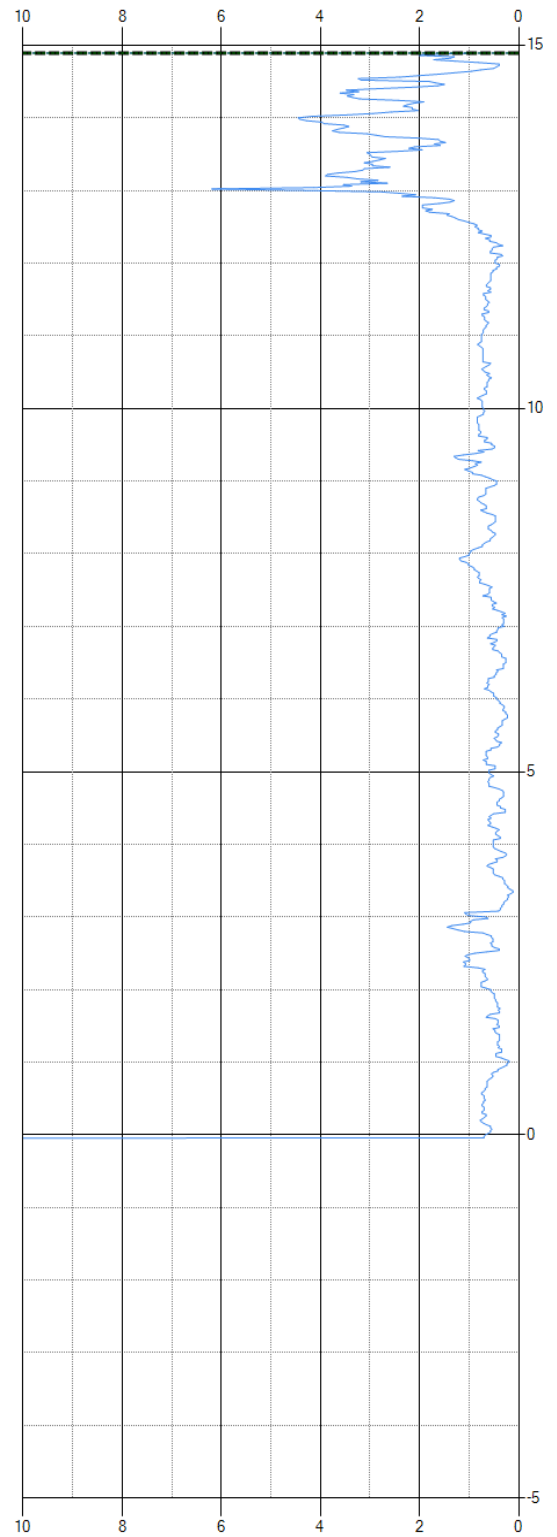
Conusweerstand  $q_c$  [MPa]

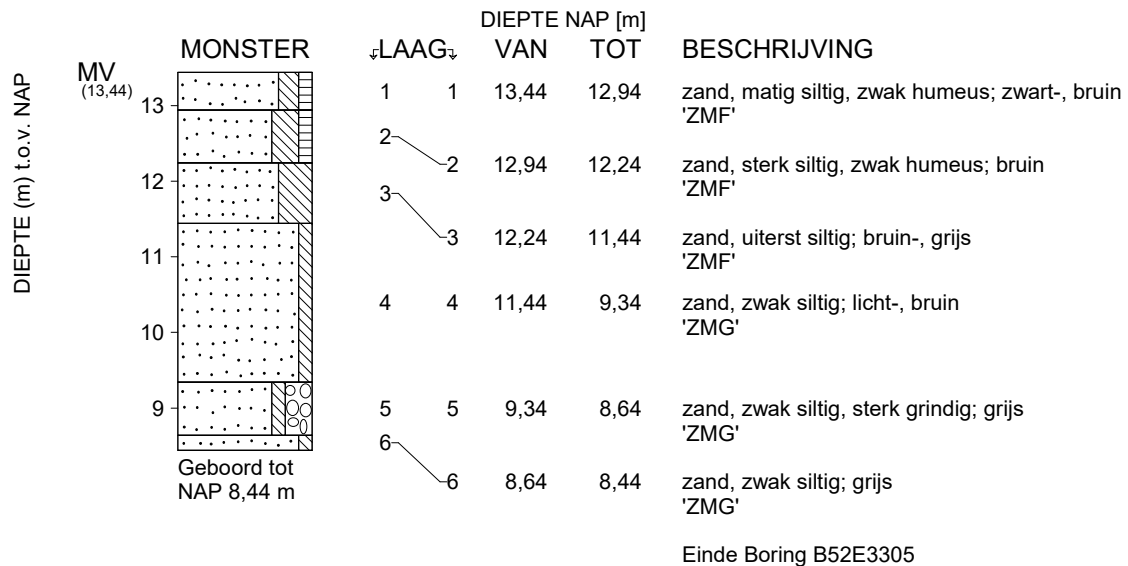
Wrijvingsgetal  $R_f$  [%]

Wrijvingsweerstand  $f_s$  [MPa]

Wrijvingsgetal  $R_f$  [%]

**CPT000000070871**

GEF : CPT000000070871

Conusweerstand  $q_c$  [MPa]

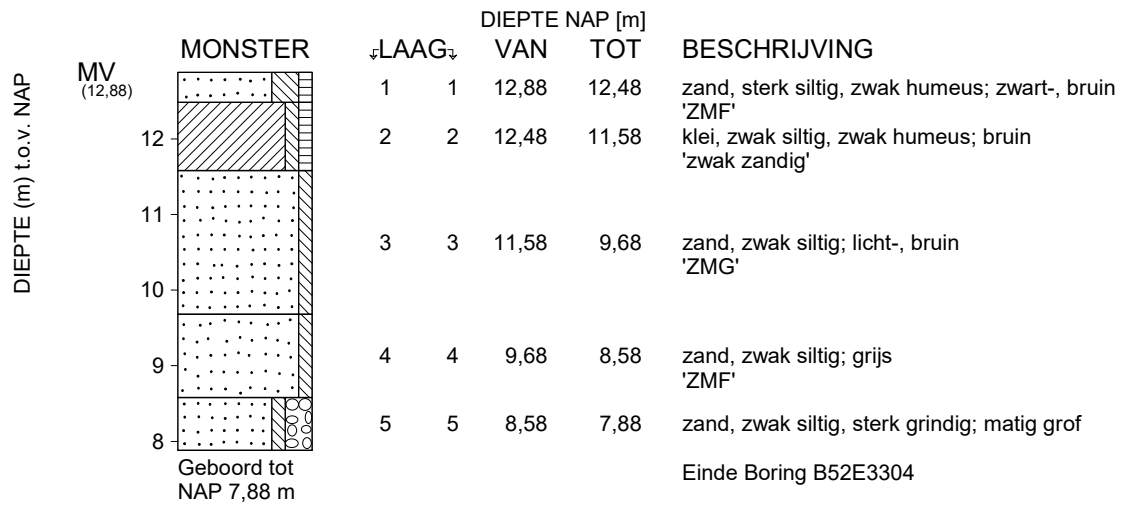
Wrijvingsgetal  $R_f$  [%]

Wrijvingsweerstand  $f_s$  [MPa]

Wrijvingsgetal  $R_f$  [%]



GWS 1,00

X = 200544 m Y = 399188 m (RD)

|   |   |   |   |   |            |       |
|---|---|---|---|---|------------|-------|
| - | - | - | - | - | datum      | get.  |
|   |   |   |   |   | 2013-02-28 | MOS-  |
|   |   |   |   |   | DINO-BOR   | gez.  |
| - | - | - | - | - | BIJL.      | form. |
|   |   |   |   |   |            | A4    |



GWS 1,00

X = 200555 m Y = 399157 m (RD)

|   |   |   |   |   |            |      |
|---|---|---|---|---|------------|------|
| - | - | - | - | - | datum      | get. |
|   |   |   |   |   | 2013-02-28 | MOS- |
|   |   |   |   |   | DINO-BOR   | gez. |
| - | - | - | - | - | form.      |      |
|   |   |   |   |   | BIJL.      | A4   |

## **Bijlage 4: Oriëntatiemelding WION**



KLIC

Datum  
27-02-2018 13:34

Onderwerp  
**Ontvangstbevestiging Oriëntatieverzoek  
18O015585**

Blad  
1 van 3

Geachte heer, mevrouw,

Het Kadaster heeft een Oriëntatieverzoek ontvangen

Het meldnummer van de Klic-melding is: **18O015585**  
Het ordernummer van de Klic-melding is: **9808068633/10**  
De referentie van de Klic-melding is: **2018-001 HDD5**

Hieronder treft u de gegevens aan van de melding en het overzicht, per thema, van beheerders met een belang in het opgegeven gebied. Het is mogelijk dat netbeheerders meerdere thema's in beheer hebben.

Uit de brief die u ontvangt bij de levering, kunt u opmaken voor welke thema's deze netbeheerders informatie hebben geleverd.

Let op: met een Oriëntatieverzoek kunt u in een vroeg stadium inzicht krijgen in de ligging van kabels en leidingen. Met een Oriëntatieverzoek mag u echter geen graafwerkzaamheden verrichten.

#### Gegevens aanvrager

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| <b>Naam</b>              | Tube                     |
| <b>E-mailadres</b>       | mtube@vhwengineering.nl  |
| <b>Relatienummer</b>     | 605534                   |
| <b>Bedrijf</b>           | VHW Engineering B.V.     |
| <b>Adres</b>             | Helftheuvelweg 11        |
| <b>Postcode / Plaats</b> | 5222AV, 'S-HERTOGENBOSCH |
| <b>Land</b>              | NL                       |
| <b>Telefoon</b>          | (06) 30 77 26 00         |
| <b>Datum aanvraag</b>    | 27-02-2018 13:34         |

|                                |                                           |
|--------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Aard graafwerkzaamheden</b> | Kabels/leidingen leggen<br>Persing/boring |
|--------------------------------|-------------------------------------------|

#### Oriëntatiegebied

|                              |                                                                                                                         |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RD-coördinaten</b>        | [(200654,399112), (200539,399325), (200504,399306), (200514,399288), (200628,399076), (200663,399095), (200654,399112)] |
| <b>Dichtstbijzijnd adres</b> | Kampweg 8-a, 5854RD Bergen L                                                                                            |

Overzicht van beheerders met een belang in het opgegeven gebied:



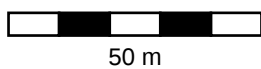
Datum  
27-02-2018 13:34

Onderwerp  
**Ontvangstbevestiging Oriëntatieverzoek  
18O015585**

Blad  
2 van 3

| Beheerder                | Contactpersoon                               | E-mail                                                                               | Tel             | Fax             | Thema                                                            |
|--------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| Enexis Netbeheer B.V.    | <a href="#">KLICINFO</a>                     | <a href="mailto:klicinfo@enexis.nl">klicinfo@enexis.nl</a>                           | 0888577271      | 0388527646      | gas hoge druk<br>gas lage druk<br>laagspanning<br>middenspanning |
| Gemeente Bergen (LB)     | <a href="#">Uijttewaal</a>                   | <a href="mailto:p.uijttewaal@bergen.nl">p.uijttewaal@bergen.nl</a>                   | (0485) 34 83 49 | (0485) 34 83 51 | riool onder druk<br>riool vrijval                                |
| KPN B.V.                 | <a href="#">Klic-loket</a>                   | <a href="mailto:orderintakeplan@kpn.com">orderintakeplan@kpn.com</a>                 | (030) 255 33 34 |                 | datatransport                                                    |
| NV. WML                  | <a href="#">Medewerker Klic</a>              | <a href="mailto:wion.klic@wml.nl">wion.klic@wml.nl</a>                               | 0438808671      | 0438808008      | datatransport<br>laagspanning<br>water                           |
| Reggefiber Operator B.V. | <a href="#">Regio Zuid</a>                   | <a href="mailto:klic-zuid@reggefiber.nl">klic-zuid@reggefiber.nl</a>                 | 0548800893      |                 | datatransport                                                    |
| Ziggo B.V.               | <a href="#">Network Infrastructure South</a> | <a href="mailto:topografie.zuid@office.ziggo.nl">topografie.zuid@office.ziggo.nl</a> | 0887168723      | 0887173711      | datatransport                                                    |

Grafische weergave van het gebied:



## **Bijlage 5:    Veiligheidszone- Sterkte- en muddrukberekeningen**

|                                                                                                                                                                             |                |                     |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------|
| Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2012                                                                                                                |                | Sigma 2018 1.0 ©    |                   |
| Algemene gegevens                                                                                                                                                           |                |                     |                   |
| Naam van het project : Enexis                                                                                                                                               |                |                     |                   |
| Projectonderdeel : Veiligheidszone HDD5 Kampweg 1x ø250 sdr11 HD Gas (intredezijde)                                                                                         |                |                     |                   |
| Gegevens van de leiding                                                                                                                                                     |                |                     |                   |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos) = Gas                                                                                                                            |                |                     |                   |
| Ontwerpdruk                                                                                                                                                                 | p <sub>d</sub> | = 0,8               | N/mm <sup>2</sup> |
| Afmetingen van de leiding                                                                                                                                                   |                |                     |                   |
| Uitwendige middellijn                                                                                                                                                       | D <sub>e</sub> | = 250               | mm                |
| Wanddikte                                                                                                                                                                   | d <sub>n</sub> | = 22,8              | mm                |
| Inwendige middellijn                                                                                                                                                        | D <sub>i</sub> | = 204,4             | mm                |
| Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld                                                                                                                                      | H              | = 1,0               | m                 |
| Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone                                                                                                                  |                |                     |                   |
| Waterstaatswerk: Niet Verheeld                                                                                                                                              |                |                     |                   |
| Hoogteverschil kruin-maaiveld                                                                                                                                               |                | = 4,03              | m                 |
| Berekening van de factor Φ                                                                                                                                                  |                |                     |                   |
| $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{8,00} \cdot 20 \cdot 0,20^2)^3}{(1,6 \cdot 0,20 + 1,0)^2} = 28,54$ |                |                     |                   |
| Berekening van de halve breedte van de erosiekrater G <sub>B</sub>                                                                                                          |                |                     |                   |
| $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$ $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{28,54} = 1,22 \text{ m}$                                                                                         |                |                     |                   |
| Berekening van de halve lengte van de erosiekrater G <sub>L</sub>                                                                                                           |                |                     |                   |
| $G_L = G_B / 4 = 1,22 / 4 = 0,31 \text{ m}$                                                                                                                                 |                |                     |                   |
| Berekening van de veiligheidszone                                                                                                                                           |                |                     |                   |
| Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:<br>Veiligheidszone = 4 · H <sub>werk</sub> + G <sub>B</sub> = 4 · 4,03 + 1,22 = 17,34 m                |                |                     |                   |
| Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:<br>Veiligheidszone = 4 · H <sub>werk</sub> + G <sub>L</sub> = 4 · 4,03 + 0,31 = 16,43 m                           |                |                     |                   |
| 2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                                                                                                                   |                | 26-02-2018 11:06:36 |                   |

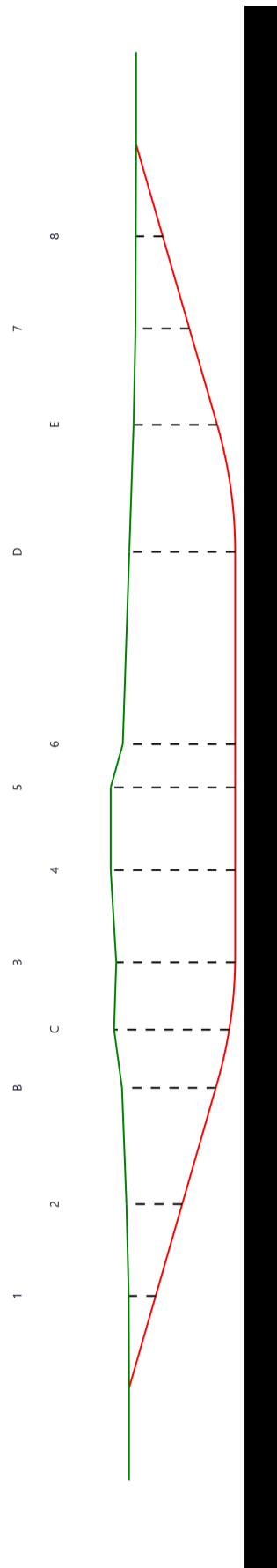
|                                                                                                                                                                             |       |                     |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------|-------------------|
| Berekening van de veiligheidszone conform NEN 3650/3651:2012                                                                                                                |       | Sigma 2018 1.0 ©    |                   |
| <b>Algemene gegevens</b>                                                                                                                                                    |       |                     |                   |
| Naam van het project : Enexis                                                                                                                                               |       |                     |                   |
| Projectonderdeel : Veiligheidszone HDD5 Kampweg 1x ø250 sdr11 HD Gas (uittredezijde)                                                                                        |       |                     |                   |
| <b>Gegevens van de leiding</b>                                                                                                                                              |       |                     |                   |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                                                                                                  |       | = Gas               |                   |
| Ontwerpdruk                                                                                                                                                                 | $p_d$ | = 0,8               | N/mm <sup>2</sup> |
| Afmetingen van de leiding                                                                                                                                                   |       |                     |                   |
| Uitwendige middellijn                                                                                                                                                       | $D_e$ | = 250               | mm                |
| Wanddikte                                                                                                                                                                   | $d_n$ | = 22,8              | mm                |
| Inwendige middellijn                                                                                                                                                        | $D_i$ | = 204,4             | mm                |
| Dekking van de leiding t.o.v. maaiveld                                                                                                                                      | $H$   | = 1,0               | m                 |
| <b>Gegevens waterstaatswerk i.v.m. berekening veiligheidszone</b>                                                                                                           |       |                     |                   |
| Waterstaatswerk: Niet Verheeld                                                                                                                                              |       |                     |                   |
| Hoogteverschil kruin-maaiveld                                                                                                                                               |       | = 3,74              | m                 |
| <b>Berekening van de factor F</b>                                                                                                                                           |       |                     |                   |
| $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{p_a} \cdot v_1 \cdot D_i^2)^3}{(1,6 \cdot D_i + H)^2}$ $\Phi = \frac{(1,4 \sqrt{8,00} \cdot 20 \cdot 0,20^2)^3}{(1,6 \cdot 0,20 + 1,0)^2} = 28,54$ |       |                     |                   |
| <b>Berekening van de halve breedte van de erosiekrater <math>G_B</math></b>                                                                                                 |       |                     |                   |
| $G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{\Phi}$<br>$G_B = 0,7 \cdot \sqrt[6]{28,54} = 1,22 \text{ m}$                                                                                      |       |                     |                   |
| <b>Berekening van de halve lengte van de erosiekrater <math>G_L</math></b>                                                                                                  |       |                     |                   |
| $G_L = G_B / 4 = 1,22 / 4 = 0,31 \text{ m}$                                                                                                                                 |       |                     |                   |
| <b>Berekening van de veiligheidszone</b>                                                                                                                                    |       |                     |                   |
| <i>Indien er sprake is van een evenwijdige ligging met een waterkering:</i><br>Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_B = 4 \cdot 3,74 + 1,22 = 16,18 \text{ m}$    |       |                     |                   |
| <i>Indien er sprake is van een kruising met een waterkering:</i><br>Veiligheidszone = $4 \cdot H_{\text{werk}} + G_L = 4 \cdot 3,74 + 0,31 = 15,27 \text{ m}$               |       |                     |                   |
| 2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                                                                                                                   |       | 26-02-2018 11:07:46 |                   |

|                                                                                              |                  |                         |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012            |                  | Sigma 2018 1.0 ©        |                     |
| Algemene gegevens                                                                            |                  |                         |                     |
| Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                      |                  |                         |                     |
| Projectonderdeel : HDD5 Kampweg 1x ø250 sdr11 + 1x ø160 sdr11 + 1x ø110 sdr11 + 1x ø63 sdr11 |                  |                         |                     |
| Materiaalgegevens                                                                            |                  |                         |                     |
| Materiaalsoort:                                                                              | PE               |                         |                     |
| Kwaliteit:                                                                                   | PE 100 SDR 11    |                         |                     |
| Lange-duur treksterkte                                                                       | MRS              | = 10                    | N/mm²               |
| Materiaalfactor                                                                              | γ <sub>M</sub>   | = 1,25                  | -                   |
| Toelaatbare langeduur spanning                                                               | σ <sub>t</sub>   | = 8,00                  | N/mm²               |
| Elasticiteitsmodulus korte duur                                                              | E                | = 975                   | N/mm²               |
| Elasticiteitsmodulus lange duur                                                              | E'               | = 350                   | N/mm²               |
| Lineaire uitzettingscoëfficiënt                                                              | α <sub>g</sub>   | = 16,0·10 <sup>-5</sup> | mm/(mm·K)           |
| Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal                                                               | α <sub>σ</sub>   | = 0,65                  | -                   |
| Soortelijk gewicht buis                                                                      | ρ <sub>L</sub>   | = 9,55                  | kN/m³               |
| Toelaatbare deflectie                                                                        | δ                | = 8                     | %                   |
| Leidinggegevens                                                                              |                  |                         |                     |
| Uitwendige middellijn                                                                        | D <sub>e</sub>   | = 250,00                | mm                  |
| Wanddikte                                                                                    | d <sub>n</sub>   | = 22,8                  | mm                  |
| Procesgegevens                                                                               |                  |                         |                     |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                   |                  | = Gas                   |                     |
| Ontwerpdruk                                                                                  | p <sub>d</sub>   | = 0,8                   | N/mm²               |
| Temperatuurverschil                                                                          | Δt               | = 10,0                  | °                   |
| Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren |                  |                         |                     |
| Percentage omtrek in aanraking met bentoniet                                                 |                  | = 100                   | %                   |
| Soortelijk gewicht boorvloeistof                                                             | ρ <sub>m</sub>   | = 11,5                  | kN/m³               |
| Zwichtspanning boorvloeistof                                                                 | τ <sub>y</sub>   | = 15                    | Pa                  |
| Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan                                               |                  |                         |                     |
| Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang                                                 |                  |                         |                     |
| Diameter ruimer ivm boorspoeldruk                                                            | D <sub>g</sub>   | = 535                   | mm                  |
| Diameter boorstang                                                                           | D <sub>b</sub>   | = 63                    | mm                  |
| Totale lengte                                                                                | L                | = 137,86                | m                   |
| Lengte 1e rechte deel                                                                        | L <sub>1</sub>   | = 34,43                 | m                   |
| Lengte neergaande bocht                                                                      | L <sub>2</sub>   | = 13,96                 | m                   |
| Lengte 2e rechte deel                                                                        | L <sub>3</sub>   | = 43,84                 | m                   |
| Lengte opgaande bocht                                                                        | L <sub>4</sub>   | = 13,96                 | m                   |
| Lengte 3e rechte deel                                                                        | L <sub>5</sub>   | = 31,67                 | m                   |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                   | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Straal neergaande bocht                                                                      | R <sub>1</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Straal opgaande bocht                                                                        | R <sub>2</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                              | α <sub>1</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %               |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                               | α <sub>2</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %               |
| Belastinghoek                                                                                | α                | = 30                    | °                   |
| Ondersteuningshoek                                                                           | β                | = 30                    | °                   |
| Horizontale steundrukhoek                                                                    | γ                | = 120                   | °                   |
| Geen grondmechanisch onderzoek uitgevoerd                                                    | γ                | = 1,1                   |                     |
| Totaalfactor bij boring met bundels                                                          | f                | = 1,8                   |                     |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |                     |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |                     |
| Wrijvingscoëff. met rollenbaan                                                               | f <sub>1</sub>   | = 0,1                   |                     |
| Wrijving tussen leiding/boorvloeistof                                                        | f <sub>2</sub>   | = 0,00005               | N/mm²               |
| Wrijving tussen leiding/boorgangwand                                                         | f <sub>3</sub>   | = 0,2                   |                     |
| 2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                                    |                  |                         |                     |
|                                                                                              |                  |                         | 01-03-2018 09:22:33 |

**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1       | 10,40                          | 2,90                        | Zand         | 20,00                                             | 35,00                     |
| 2       | 20,75                          | 6,00                        | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| B       | 33,89                          | 10,10                       | Zand         | 19,44                                             | 35,00                     |
| C       | 40,24                          | 12,40                       | Zand         | 19,48                                             | 35,00                     |
| 3       | 47,68                          | 12,80                       | Zand         | 19,34                                             | 35,00                     |
| 4       | 57,69                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 5       | 66,68                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 6       | 71,36                          | 12,10                       | Zand         | 19,45                                             | 35,00                     |
| D       | 92,23                          | 11,40                       | Zand         | 19,60                                             | 35,00                     |
| E       | 106,19                         | 9,00                        | Zand         | 19,78                                             | 35,00                     |
| 7       | 117,06                         | 5,80                        | Zand         | 19,74                                             | 35,00                     |
| 8       | 127,47                         | 2,90                        | Zand         | 19,80                                             | 35,00                     |

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | Hor. steun- druk | Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ] | Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ] | E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ] | Verkeersbelasting |
|---------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 2       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| B       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| C       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 3       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 4       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 5       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 6       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| D       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| E       | Homogeen (zand)             | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 7       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 8       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |



\* Niet op schaal

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**2. Eigenschappen van de leiding**

|                                 |                                        |                  |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| Inwendige middellijn            | $D_i = D_e - 2 \cdot d_n$              | = 204,40         | mm                               |
| Gemiddelde middellijn           | $D_g = (D_e + D_i)/2$                  | = 227,20         | mm                               |
| Uitwendige middellijn+bekleding | $D_o = D_e + 2 \cdot e$                | = 250,00         | mm                               |
| Uitwendige straal               | $r_e = D_e / 2$                        | = 125,00         | mm                               |
| Inwendige straal                | $r_i = D_i / 2$                        | = 102,20         | mm                               |
| Gemiddelde straal               | $r_g = (r_e + r_i) / 2$                | = 113,60         | mm                               |
| Traagheidsmoment buis           | $I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$ | = 106.064.835,12 | mm <sup>4</sup>                  |
| Weerstandsmoment buis           | $W_b = I_b / r_e$                      | = 848.518,68     | mm <sup>3</sup>                  |
| Wandtraagheidsmoment            | $I_w = d_n^3 / 12$                     | = 987,70         | mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Wandweerstandsmoment            | $W_w = d_n^2 / 6$                      | = 86,64          | mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Oppervlakte leiding             | $A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$    | = 16.273,95      | mm <sup>2</sup>                  |
| Gewicht leiding                 | $g = \rho_L \cdot A$                   | = 0,1554         | N/mm <sup>1</sup>                |

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

|                       | <i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i> | <i>Leiding in boorgat</i>         |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Gewicht mediumleiding | $g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$           | $g = 0,1554 \text{ N/mm}^1$       |
| Gewicht vulling       | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$           | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$       |
| Totaal gewicht        | $g_{rol} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$     | $g_{gat} = 0,1554 \text{ N/mm}^1$ |

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]    |
|---------------------------------------------------|--------|--------------|
| Starten met trekken                               | 137,86 | <b>3.857</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 106,19 | <b>2.971</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 92,23  | <b>2.580</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 48,39  | <b>1.354</b> |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 34,43  | <b>963</b>   |

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1554 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_1$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 3.857     | <b>0,24</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 2.971     | <b>0,18</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 2.580     | <b>0,16</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.354     | <b>0,08</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 963       | <b>0,06</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{16.273,95}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

#### 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835}{50.000} = 2.275.090,71 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{2.275.090,71}{848.519} = \mathbf{2,68 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 0,24                            | <b>1,98</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,18                            | <b>1,93</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,16                            | <b>1,90</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,08                            | <b>1,83</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,06                            | <b>1,80</b>                     |

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 2,68 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 785,40 \text{ mm}^1$ 

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,155 \text{ N/mm}^1$ 

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 250,00^2 \cdot \pi/4 = 0,565 \text{ N/mm}^1$ 

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,409 \text{ N/mm}^1$ 

| Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_2$ [N]     | $T_{3a}$ [N]  |
|---------------------------------------------------------------|--------|---------------|---------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 31,67  | <b>6.903</b>  | -             |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 45,63  | -             | <b>9.945</b>  |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 89,47  | <b>19.501</b> | -             |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 103,43 | -             | <b>22.543</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 137,86 | <b>30.048</b> | -             |

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$ 

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (785,40 \cdot 0,00005 + 0,409 \cdot 0,2)$ 
**5.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**

| Locatie | $\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ] | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{3b}$ [N] |
|---------|-------------------------------|-------|----------------------------|--------------|
| C       | 0,0020                        | 50    | 0,012                      | <b>3.364</b> |
| 3       | 0,0020                        | 50    | 0,012                      | <b>3.364</b> |
| D       | 0,0020                        | 50    | 0,012                      | <b>3.364</b> |

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 250 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$** 

| Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{bocht}}$ [N] |
|---------------------------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Neergaande bocht                                              | 2.580     | 9.945        | 3.364                     | -                       | <b>15.890</b>          |
| Opgaande bocht                                                | 963       | 22.543       | 3.364                     | 3.364                   | <b>30.235</b>          |

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}}$ 

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}} + T_{3a, \text{op}} + T_{3b, \text{op}, \text{max}}$ 

| Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N] | $\alpha$ [°] | $T_{\text{bocht}}$ [N] | $T_{3c}$ [N] |
|-----------------------------------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Neergaande bocht                                    | 8,00         | 15.890                 | <b>1.592</b> |
| Opgaande bocht                                      | 8,00         | 30.235                 | <b>3.030</b> |

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

**5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II**

| Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_2 / T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3c, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{3c, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{tot}}$ [N] |
|-------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 2.971     | 6.903              | -                         | -                         | -                       | -                       | <b>9.873</b>         |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 2.580     | 9.945              | 3.364                     | 1.592                     | -                       | -                       | <b>17.482</b>        |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 1.354     | 19.501             | 3.364                     | 1.592                     | -                       | -                       | <b>25.811</b>        |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 963       | 22.543             | 3.364                     | 1.592                     | 3.364                   | 3.030                   | <b>34.857</b>        |
| Geheel intrekken                                            | 0         | 30.048             | 3.364                     | 1.592                     | 3.364                   | 3.030                   | <b>41.398</b>        |

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}} + T_{3c, \text{neer}} + T_{3b, \text{op}, \text{max}} + T_{3c, \text{op}}$$

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{\text{tot}}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 9.873                | <b>0,61</b>                     |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 17.482               | <b>1,07</b>                     |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 25.811               | <b>1,59</b>                     |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 34.857               | <b>2,14</b>                     |
| Geheel intrekken                                                        | 41.398               | <b>2,54</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{16.273,95}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

### 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

#### 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 50.000} = 3.217.300,00 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{3.217.300,00}{848.518,68} = \mathbf{3,79 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{106.064.835,12}{0,9 \cdot 50.000} = 3.217.300,00 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{3.217.300,00}{848.518,68} = \mathbf{3,79 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{tot}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 9.873         | 0,61                            | -                               | <b>0,61</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 17.482        | 1,07                            | 3,79                            | <b>3,54</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 25.811        | 1,59                            | -                               | <b>1,59</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 34.857        | 2,14                            | 3,79                            | <b>4,61</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 41.398        | 2,54                            | -                               | <b>2,54</b>                     |

Rechte delen:  $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{16.273,95} = \sigma_t$

Gebogen delen:  $\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

$$D_g/d_n = 227,20/22,80 = 9,96 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{125,00^2 + 102,20^2}{125,00^2 - 102,20^2} \cdot 0,8 = 4,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,03 = 1,61 \text{ N/mm}^2$$

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

**6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

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

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 113,6^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 987,70} \right) = 0,74$$

**6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

| Locatie | h [m] | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|---------|-------|--------------------------------|
| 1       | 2,90  | 22,00                          |
| 2       | 6,00  | 21,21                          |
| B       | 10,10 | 21,38                          |
| C       | 12,40 | 21,43                          |
| 3       | 12,80 | 21,27                          |
| 4       | 13,40 | 21,21                          |
| 5       | 13,40 | 21,21                          |
| 6       | 12,10 | 21,40                          |
| D       | 11,40 | 21,56                          |
| E       | 9,00  | 21,76                          |
| 7       | 5,80  | 21,71                          |
| 8       | 2,90  | 21,78                          |

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

| Locatie | Gereduceerde<br>grondbelasting | $8 \cdot B_1$ [m] | $Q_n$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $Q_{n,r}$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1       | Geen                           | -                 | 15,95                         | -                                 |
| 2       | Geen                           | -                 | 31,81                         | -                                 |
| B       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 53,99                         | 4,79 <sup>(1)</sup>               |
| C       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 66,43                         | 4,80 <sup>(1)</sup>               |
| 3       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 68,08                         | 4,76 <sup>(1)</sup>               |
| 4       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 71,05                         | 4,75 <sup>(1)</sup>               |
| 5       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 71,05                         | 4,75 <sup>(1)</sup>               |
| 6       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 64,72                         | 4,79 <sup>(1)</sup>               |
| D       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 61,45                         | 4,83 <sup>(1)</sup>               |
| E       | Homogeen (zand)                | 2,14              | 48,96                         | 4,87 <sup>(1)</sup>               |
| 7       | Geen                           | -                 | 31,49                         | -                                 |
| 8       | Geen                           | -                 | 15,79                         | -                                 |

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_0 + D_0 \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0 = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \cdot D_0 \quad (1)$$

#### 6.4 Berekening van de verkeersbelasting $Q_v$

| Locatie | Dekking t.o.v.<br>maaiveld [m] | Verkeers-<br>belasting | $q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1       | 2,90                           | Grafiek ½ x II         | 3,96                       | 0,99                       |
| 2       | 6,00                           | Grafiek ½ x II         | 1,61                       | 0,40                       |
| B       | 10,10                          | Grafiek ½ x II         | 0,83                       | 0,21                       |
| C       | 12,40                          | Grafiek ½ x II         | 0,62                       | 0,15                       |
| 3       | 12,80                          | Grafiek ½ x II         | 0,59                       | 0,15                       |
| 4       | 13,40                          | Grafiek ½ x II         | 0,55                       | 0,14                       |
| 5       | 13,40                          | Grafiek ½ x II         | 0,55                       | 0,14                       |
| 6       | 12,10                          | Grafiek ½ x II         | 0,64                       | 0,16                       |
| D       | 11,40                          | Grafiek ½ x II         | 0,70                       | 0,17                       |
| E       | 9,00                           | Grafiek ½ x II         | 0,96                       | 0,24                       |
| 7       | 5,80                           | Grafiek ½ x II         | 1,68                       | 0,42                       |
| 8       | 2,90                           | Grafiek ½ x II         | 3,96                       | 0,99                       |

$$Q_v = q_v \cdot D_0 = q_v \cdot 250$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen**

| Locatie | Hor. steundruk | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $M_q$ [Nmm]           | $\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|----------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1       | -              | 15,95                      | -                              | 0,99                       | 16,94                                   | 494,59 <sup>(1)</sup> | <b>4,23</b>                     |
| 2       | -              | 31,81                      | -                              | 0,40                       | 32,21                                   | 940,50 <sup>(1)</sup> | <b>8,05</b>                     |
| B       | ✓              | 53,99                      | 4,79                           | 0,21                       | 5,00                                    | 126,81 <sup>(4)</sup> | <b>1,09</b>                     |
| C       | ✓              | 66,43                      | 4,80                           | 0,15                       | 4,95                                    | 125,73 <sup>(4)</sup> | <b>1,08</b>                     |
| 3       | ✓              | 68,08                      | 4,76                           | 0,15                       | 4,91                                    | 124,67 <sup>(4)</sup> | <b>1,07</b>                     |
| 4       | ✓              | 71,05                      | 4,75                           | 0,14                       | 4,89                                    | 124,05 <sup>(4)</sup> | <b>1,06</b>                     |
| 5       | ✓              | 71,05                      | 4,75                           | 0,14                       | 4,89                                    | 124,05 <sup>(4)</sup> | <b>1,06</b>                     |
| 6       | ✓              | 64,72                      | 4,79                           | 0,16                       | 4,95                                    | 125,69 <sup>(4)</sup> | <b>1,08</b>                     |
| D       | ✓              | 61,45                      | 4,83                           | 0,17                       | 5,00                                    | 126,99 <sup>(4)</sup> | <b>1,09</b>                     |
| E       | -              | 48,96                      | 4,87                           | 0,24                       | 5,11                                    | 149,31 <sup>(2)</sup> | <b>1,28</b>                     |
| 7       | -              | 31,49                      | -                              | 0,42                       | 31,90                                   | 931,46 <sup>(1)</sup> | <b>7,97</b>                     |
| 8       | -              | 15,79                      | -                              | 0,99                       | 16,78                                   | 489,93 <sup>(1)</sup> | <b>4,19</b>                     |

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60 \quad (2)$$

Indien horizontale steundruk:  $M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (3)$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 113,60$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (4)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 113,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,74 \cdot \frac{M_q}{86,64}$$

**6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  t.g.v. grondreactie in de bochten**

| Locatie | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|----------------------------|------------------------------------|
| C       | 50    | 0,012                      | 0,77                               |
| 3       | 50    | 0,012                      | 0,77                               |
| D       | 50    | 0,012                      | 0,77                               |

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 250 \cdot \frac{125,00}{86,64}$$

**6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

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

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

**7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$** 

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{987,70}{227,2^3} = 0,0821 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,11 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Minimaal vereiste ringstijfheid} = \mathbf{2 \text{ kN/m}^2}$$

**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 987,70}{227,20^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,07** m grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen***9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding*

| Locatie | $\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1       | 4,23                            | -                                  | 0,65                | <b>2,75</b>                        |
| 2       | 8,05                            | -                                  | 0,65                | <b>5,23</b>                        |
| B       | 1,09                            | -                                  | 0,65                | <b>0,71</b>                        |
| C       | 1,08                            | 0,77                               | 0,65                | <b>1,20</b>                        |
| 3       | 1,07                            | 0,77                               | 0,65                | <b>1,20</b>                        |
| 4       | 1,06                            | -                                  | 0,65                | <b>0,69</b>                        |
| 5       | 1,06                            | -                                  | 0,65                | <b>0,69</b>                        |
| 6       | 1,08                            | -                                  | 0,65                | <b>0,70</b>                        |
| D       | 1,09                            | 0,77                               | 0,65                | <b>1,21</b>                        |
| E       | 1,28                            | -                                  | 0,65                | <b>0,83</b>                        |
| 7       | 7,97                            | -                                  | 0,65                | <b>5,18</b>                        |
| 8       | 4,19                            | -                                  | 0,65                | <b>2,73</b>                        |

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{td} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00 \text{ N/mm}^2}$

### 9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

| Locatie | $\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_{\sigma}$ [-] | $\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| 2       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| B       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| C       | 1,61                               | 1,56                               | 3,79                            | 0,65                  | <b>5,64</b>                     |
| 3       | 1,61                               | 1,56                               | 3,79                            | 0,65                  | <b>5,64</b>                     |
| 4       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| 5       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| 6       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| D       | 1,61                               | 1,56                               | 3,79                            | 0,65                  | <b>5,64</b>                     |
| E       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| 7       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |
| 8       | 1,61                               | 1,56                               | -                               | -                     | <b>3,17</b>                     |

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{pl} + \alpha_A \cdot \sigma_b + \sigma_{ax}$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>

### 10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie

| Locatie | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm]           | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|---------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1       | 15,95                      | -                              | 0,99                       | -                          | <b>3,85<sup>(1)</sup></b> | 1,70               |
| 2       | 31,81                      | -                              | 0,40                       | -                          | <b>7,32<sup>(1)</sup></b> | 3,22               |
| B       | 53,99                      | 4,79                           | 0,21                       | -                          | <b>1,41<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| C       | 66,43                      | 4,80                           | 0,15                       | 0,012                      | <b>1,40<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| 3       | 68,08                      | 4,76                           | 0,15                       | 0,012                      | <b>1,39<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 4       | 71,05                      | 4,75                           | 0,14                       | -                          | <b>1,38<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 5       | 71,05                      | 4,75                           | 0,14                       | -                          | <b>1,38<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 6       | 64,72                      | 4,79                           | 0,16                       | -                          | <b>1,40<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| D       | 61,45                      | 4,83                           | 0,17                       | 0,012                      | <b>1,41<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| E       | 48,96                      | 4,87                           | 0,24                       | -                          | <b>1,44<sup>(2)</sup></b> | 0,51               |
| 7       | 31,49                      | -                              | 0,42                       | -                          | <b>7,25<sup>(1)</sup></b> | 3,19               |
| 8       | 15,79                      | -                              | 0,99                       | -                          | <b>3,81<sup>(1)</sup></b> | 1,68               |

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{h,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 113,60^3}{350 \cdot 987,70}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 227,20 = **18,18** mm

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

| Locatie | H [m] | $\sigma_{\text{vert}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{\text{hor}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | G [MN/m <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1       | 2,90  | 52,73                                       | 22,48                                      | 37,61                            | 59,18                       | 28,85                  |
| 2       | 6,00  | 105,16                                      | 44,84                                      | 75,00                            | 118,02                      | 28,85                  |
| B       | 10,10 | 178,49                                      | 76,11                                      | 127,30                           | 200,32                      | 28,85                  |
| C       | 12,40 | 219,59                                      | 93,64                                      | 156,62                           | 246,45                      | 28,85                  |
| 3       | 12,80 | 225,05                                      | 95,97                                      | 160,51                           | 252,57                      | 28,85                  |
| 4       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 5       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 6       | 12,10 | 213,95                                      | 91,23                                      | 152,59                           | 240,11                      | 28,85                  |
| D       | 11,40 | 203,13                                      | 86,62                                      | 144,87                           | 227,97                      | 28,85                  |
| E       | 9,00  | 161,84                                      | 69,01                                      | 115,42                           | 181,63                      | 28,85                  |
| 7       | 5,80  | 104,08                                      | 44,38                                      | 74,23                            | 116,81                      | 28,85                  |
| 8       | 2,90  | 52,20                                       | 22,26                                      | 37,23                            | 58,58                       | 28,85                  |

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

| Locatie | Q [-]   | $R_{p,\text{max}}$ [m] | u [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{st}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\Delta p$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{lim}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1       | 0,00075 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 0,82                                  |
| 2       | 0,0015  | 2,19                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,27                                  |
| B       | 0,0025  | 1,68                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,77                                  |
| C       | 0,0031  | 1,52                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,02                                  |
| 3       | 0,0032  | 1,50                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,05                                  |
| 4       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 5       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 6       | 0,0030  | 1,54                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,99                                  |
| D       | 0,0029  | 1,58                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,92                                  |
| E       | 0,0023  | 1,77                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,66                                  |
| 7       | 0,0015  | 2,20                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,26                                  |
| 8       | 0,00074 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,02                            | 0,81                                  |

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,\text{max}} = \frac{H}{2}, R_{p,\text{max,zand}} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,\text{max}}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{\text{st}} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

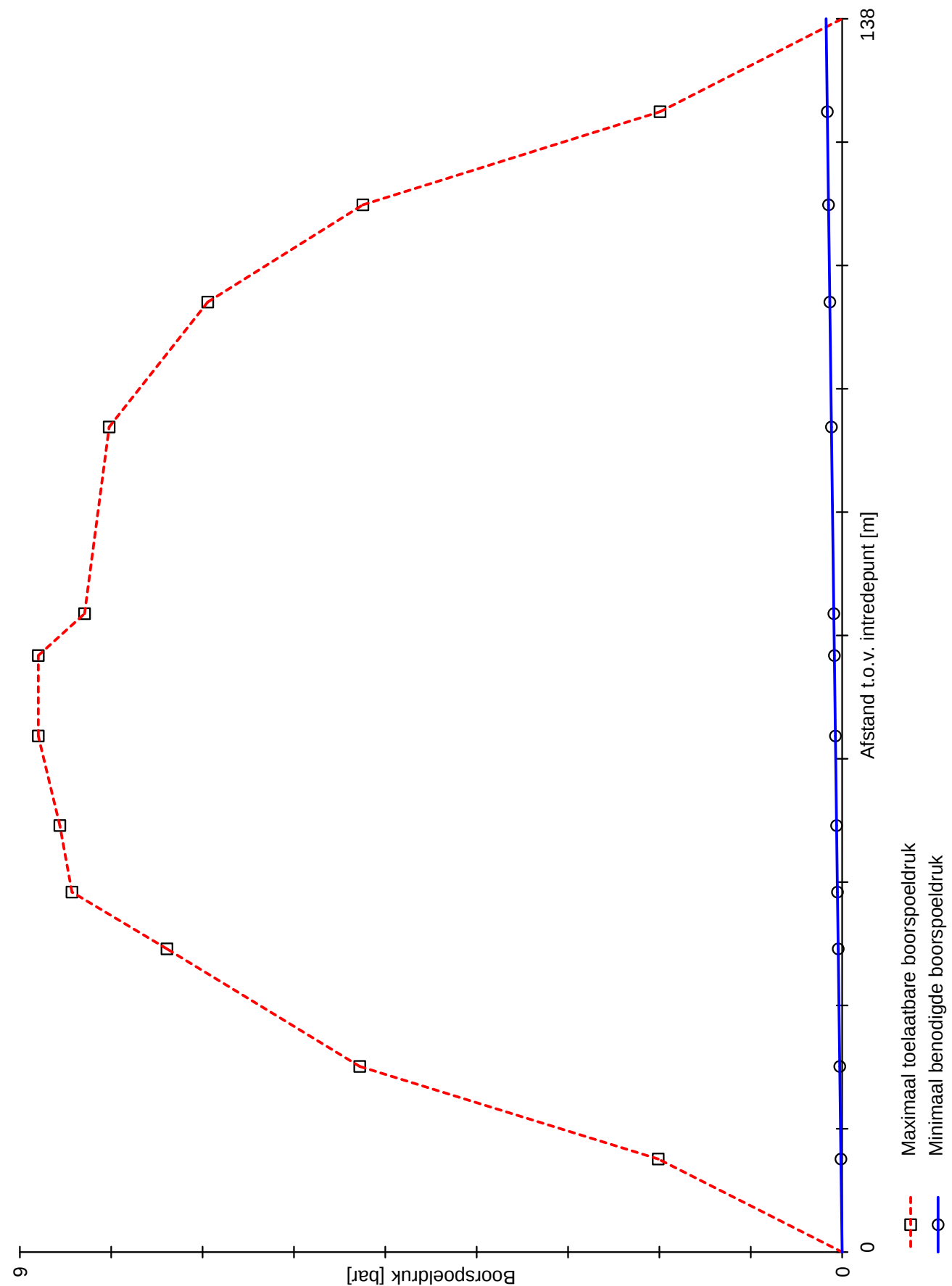
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{\text{lim}} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

| Locatie | $p_{\max}$ [kPa] | 90% $p_{lim}$ [kPa] | $p_{min}$ [kPa] | $p_{\max}$ [bar] | 90% $p_{lim}$ [bar] | $p_{min}$ [bar] |
|---------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 1       | <b>201,29</b>    | 734,37              | <b>1,32</b>     | <b>2,01</b>      | 7,34                | <b>0,01</b>     |
| 2       | <b>527,98</b>    | 1.138,82            | <b>2,64</b>     | <b>5,28</b>      | 11,39               | <b>0,03</b>     |
| B       | <b>738,98</b>    | 1.593,92            | <b>4,31</b>     | <b>7,39</b>      | 15,94               | <b>0,04</b>     |
| C       | <b>842,99</b>    | 1.818,26            | <b>5,12</b>     | <b>8,43</b>      | 18,18               | <b>0,05</b>     |
| 3       | <b>856,24</b>    | 1.846,84            | <b>6,06</b>     | <b>8,56</b>      | 18,47               | <b>0,06</b>     |
| 4       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>7,33</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,07</b>     |
| 5       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>8,48</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,08</b>     |
| 6       | <b>829,16</b>    | 1.788,43            | <b>9,07</b>     | <b>8,29</b>      | 17,88               | <b>0,09</b>     |
| D       | <b>802,25</b>    | 1.730,40            | <b>11,72</b>    | <b>8,02</b>      | 17,30               | <b>0,12</b>     |
| E       | <b>694,37</b>    | 1.497,71            | <b>13,50</b>    | <b>6,94</b>      | 14,98               | <b>0,13</b>     |
| 7       | <b>524,53</b>    | 1.131,38            | <b>14,88</b>    | <b>5,25</b>      | 11,31               | <b>0,15</b>     |
| 8       | <b>199,29</b>    | 729,70              | <b>16,20</b>    | <b>1,99</b>      | 7,30                | <b>0,16</b>     |

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$

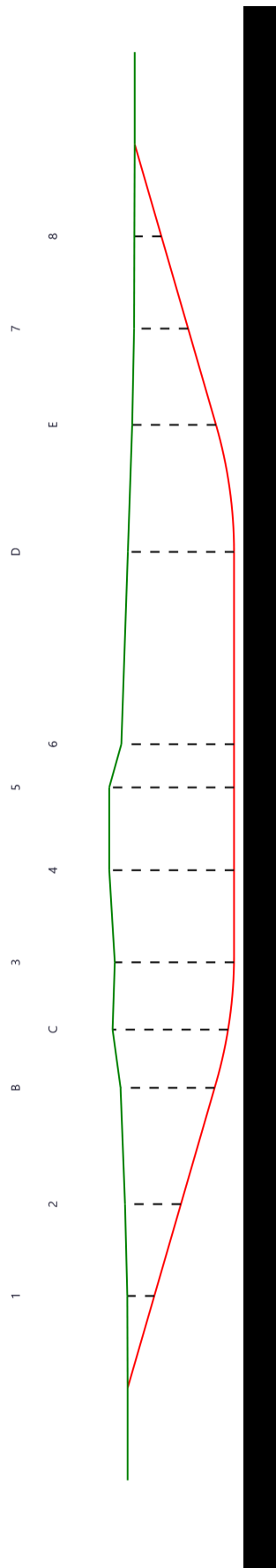


|                                                                                              |                  |                         |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012            |                  | Sigma 2018 1.0 ©        |           |
| Algemene gegevens                                                                            |                  |                         |           |
| Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                      |                  |                         |           |
| Projectonderdeel : HDD5 Kampweg 1x ø250 sdr11 + 1x ø160 sdr11 + 1x ø110 sdr11 + 1x ø63 sdr11 |                  |                         |           |
| Materiaalgegevens                                                                            |                  |                         |           |
| Materiaalsoort:                                                                              | PE               |                         |           |
| Kwaliteit:                                                                                   | PE 100 SDR 11    |                         |           |
| Lange-duur treksterkte                                                                       | MRS              | = 10                    | N/mm²     |
| Materiaalfactor                                                                              | γ <sub>M</sub>   | = 1,25                  | -         |
| Toelaatbare langeduur spanning                                                               | σ <sub>t</sub>   | = 8,00                  | N/mm²     |
| Elasticiteitsmodulus korte duur                                                              | E                | = 975                   | N/mm²     |
| Elasticiteitsmodulus lange duur                                                              | E'               | = 350                   | N/mm²     |
| Lineaire uitzettingscoëfficiënt                                                              | α <sub>g</sub>   | = 16,0·10 <sup>-5</sup> | mm/(mm·K) |
| Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal                                                               | α <sub>σ</sub>   | = 0,65                  | -         |
| Soortelijk gewicht buis                                                                      | ρ <sub>L</sub>   | = 9,55                  | kN/m³     |
| Toelaatbare deflectie                                                                        | δ                | = 8                     | %         |
| Leidinggegevens                                                                              |                  |                         |           |
| Uitwendige middellijn                                                                        | D <sub>e</sub>   | = 160,00                | mm        |
| Wanddikte                                                                                    | d <sub>n</sub>   | = 14,6                  | mm        |
| Procesgegevens                                                                               |                  |                         |           |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                   |                  | = Drukloos              |           |
| Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren |                  |                         |           |
| Percentage omtrek in aanraking met bentoniet                                                 |                  | = 100                   | %         |
| Soortelijk gewicht boorvloeistof                                                             | ρ <sub>m</sub>   | = 11,5                  | kN/m³     |
| Zwichtspanning boorvloeistof                                                                 | τ <sub>y</sub>   | = 15                    | Pa        |
| Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan                                               |                  |                         |           |
| Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang                                                 |                  |                         |           |
| Diameter ruimer ivm boorspoeldruk                                                            | D <sub>g</sub>   | = 535                   | mm        |
| Diameter boorstang                                                                           | D <sub>b</sub>   | = 63                    | mm        |
| Totale lengte                                                                                | L                | = 137,86                | m         |
| Lengte 1e rechte deel                                                                        | L <sub>1</sub>   | = 34,43                 | m         |
| Lengte neergaande bocht                                                                      | L <sub>2</sub>   | = 13,96                 | m         |
| Lengte 2e rechte deel                                                                        | L <sub>3</sub>   | = 43,84                 | m         |
| Lengte opgaande bocht                                                                        | L <sub>4</sub>   | = 13,96                 | m         |
| Lengte 3e rechte deel                                                                        | L <sub>5</sub>   | = 31,67                 | m         |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                   | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Straal neergaande bocht                                                                      | R <sub>1</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Straal opgaande bocht                                                                        | R <sub>2</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                              | α <sub>1</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %     |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                               | α <sub>2</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %     |
| Belastinghoek                                                                                | α                | = 30                    | °         |
| Ondersteuningshoek                                                                           | β                | = 30                    | °         |
| Horizontale steundrukhoek                                                                    | γ                | = 120                   | °         |
| Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd                                                         | γ                | = 1,1                   |           |
| Totaalfactor bij boring met bundels                                                          | f                | = 1,8                   |           |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |           |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |           |
| Wrijvingscoëff. met rollenbaan                                                               | f <sub>1</sub>   | = 0,1                   |           |
| Wrijving tussen leiding/boorvloeistof                                                        | f <sub>2</sub>   | = 0,00005               | N/mm²     |
| Wrijving tussen leiding/boorgangwand                                                         | f <sub>3</sub>   | = 0,2                   |           |
| 2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                                    |                  |                         |           |
| 01-03-2018 09:23:18                                                                          |                  |                         |           |

**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1       | 10,40                          | 2,90                        | Zand         | 20,00                                             | 35,00                     |
| 2       | 20,75                          | 6,00                        | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| B       | 33,89                          | 10,10                       | Zand         | 19,44                                             | 35,00                     |
| C       | 40,24                          | 12,40                       | Zand         | 19,48                                             | 35,00                     |
| 3       | 47,68                          | 12,80                       | Zand         | 19,34                                             | 35,00                     |
| 4       | 57,69                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 5       | 66,68                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 6       | 71,36                          | 12,10                       | Zand         | 19,45                                             | 35,00                     |
| D       | 92,23                          | 11,40                       | Zand         | 19,60                                             | 35,00                     |
| E       | 106,19                         | 9,00                        | Zand         | 19,78                                             | 35,00                     |
| 7       | 117,06                         | 5,80                        | Zand         | 19,74                                             | 35,00                     |
| 8       | 127,47                         | 2,90                        | Zand         | 19,80                                             | 35,00                     |

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | Hor. steun- druk | Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ] | Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ] | E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ] | Verkeersbelasting |
|---------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 2       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| B       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| C       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 3       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 4       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 5       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 6       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| D       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| E       | Homogeen (zand)             | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 7       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 8       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |



\* Niet op schaal

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**2. Eigenschappen van de leiding**

|                                 |                                        |                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Inwendige middellijn            | $D_i = D_e - 2 \cdot d_n$              | = 130,80        | mm                               |
| Gemiddelde middellijn           | $D_g = (D_e + D_i)/2$                  | = 145,40        | mm                               |
| Uitwendige middellijn+bekleding | $D_o = D_e + 2 \cdot e$                | = 160,00        | mm                               |
| Uitwendige straal               | $r_e = D_e / 2$                        | = 80,00         | mm                               |
| Inwendige straal                | $r_i = D_i / 2$                        | = 65,40         | mm                               |
| Gemiddelde straal               | $r_g = (r_e + r_i) / 2$                | = 72,70         | mm                               |
| Traagheidsmoment buis           | $I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$ | = 17.801.758,07 | mm <sup>4</sup>                  |
| Weerstandsmoment buis           | $W_b = I_b / r_e$                      | = 222.521,98    | mm <sup>3</sup>                  |
| Wandtraagheidsmoment            | $I_w = d_n^3 / 12$                     | = 259,34        | mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Wandweerstandsmoment            | $W_w = d_n^2 / 6$                      | = 35,53         | mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Oppervlakte leiding             | $A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$    | = 6.669,10      | mm <sup>2</sup>                  |
| Gewicht leiding                 | $g = \rho_L \cdot A$                   | = 0,0637        | N/mm <sup>1</sup>                |

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

|                       | <i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i> | <i>Leiding in boorgat</i>         |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Gewicht mediumleiding | $g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$           | $g = 0,0637 \text{ N/mm}^1$       |
| Gewicht vulling       | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$           | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$       |
| Totaal gewicht        | $g_{rol} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$     | $g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$ |

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]    |
|---------------------------------------------------|--------|--------------|
| Starten met trekken                               | 137,86 | <b>1.580</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 106,19 | <b>1.217</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 92,23  | <b>1.057</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 48,39  | <b>555</b>   |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 34,43  | <b>395</b>   |

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0637 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_1$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 1.580     | <b>0,24</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.217     | <b>0,18</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.057     | <b>0,16</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 555       | <b>0,08</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 395       | <b>0,06</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{6.669,10}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

#### 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758}{50.000} = 381.847,71 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{381.847,71}{222.522} = \mathbf{1,72 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 0,24                            | <b>1,35</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,18                            | <b>1,30</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,16                            | <b>1,27</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,08                            | <b>1,20</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,06                            | <b>1,17</b>                     |

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,72 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 502,65 \text{ mm}^1$ 

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,0637 \text{ N/mm}^1$ 

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 160,00^2 \cdot \pi/4 = 0,231 \text{ N/mm}^1$ 

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,168 \text{ N/mm}^1$ 

| Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_2$ [N]     | $T_{3a}$ [N]  |
|---------------------------------------------------------------|--------|---------------|---------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 31,67  | <b>3.343</b>  | -             |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 45,63  | -             | <b>4.816</b>  |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 89,47  | <b>9.444</b>  | -             |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 103,43 | -             | <b>10.917</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 137,86 | <b>14.551</b> | -             |

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (502,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$ 

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (502,65 \cdot 0,00005 + 0,168 \cdot 0,2)$ 
**5.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**

| Locatie | $\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ] | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{3b}$ [N] |
|---------|-------------------------------|-------|----------------------------|--------------|
| C       | 0,0028                        | 50    | 0,0061                     | <b>789</b>   |
| 3       | 0,0028                        | 50    | 0,0061                     | <b>789</b>   |
| D       | 0,0028                        | 50    | 0,0061                     | <b>789</b>   |

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 160 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$** 

| Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{bocht}}$ [N] |
|---------------------------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Neergaande bocht                                              | 1.057     | 4.816        | 789                       | -                       | <b>6.663</b>           |
| Opgaande bocht                                                | 395       | 10.917       | 789                       | 789                     | <b>12.890</b>          |

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer, max}}$ 

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer, max}} + T_{3a, \text{op}} + T_{3b, \text{op, max}}$ 

| Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N] | $\alpha$ [°] | $T_{\text{bocht}}$ [N] | $T_{3c}$ [N] |
|-----------------------------------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Neergaande bocht                                    | 8,00         | 6.663                  | <b>668</b>   |
| Opgaande bocht                                      | 8,00         | 12.890                 | <b>1.292</b> |

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

**5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II**

| Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_2 / T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3c, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{3c, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{tot}}$ [N] |
|-------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 1.217     | 3.343              | -                         | -                         | -                       | -                       | <b>4.560</b>         |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 1.057     | 4.816              | 789                       | 668                       | -                       | -                       | <b>7.330</b>         |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 555       | 9.444              | 789                       | 668                       | -                       | -                       | <b>11.455</b>        |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 395       | 10.917             | 789                       | 668                       | 789                     | 1.292                   | <b>14.849</b>        |
| Geheel intrekken                                            | 0         | 14.551             | 789                       | 668                       | 789                     | 1.292                   | <b>18.088</b>        |

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, \text{neer, max}} + T_{3c, \text{neer}} + T_{3b, \text{op, max}} + T_{3c, \text{op}}$$

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{\text{tot}}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 4.560                | <b>0,68</b>                     |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 7.330                | <b>1,10</b>                     |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 11.455               | <b>1,72</b>                     |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 14.849               | <b>2,23</b>                     |
| Geheel intrekken                                                        | 18.088               | <b>2,71</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.669,10}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

### 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

#### 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 50.000} = 539.986,66 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{539.986,66}{222.521,98} = \mathbf{2,43 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{17.801.758,07}{0,9 \cdot 50.000} = 539.986,66 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{539.986,66}{222.521,98} = \mathbf{2,43 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{\text{tot}}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 4.560                | 0,68                            | -                               | <b>0,68</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 7.330                | 1,10                            | 2,43                            | <b>2,68</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 11.455               | 1,72                            | -                               | <b>1,72</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 14.849               | 2,23                            | 2,43                            | <b>3,80</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 18.088               | 2,71                            | -                               | <b>2,71</b>                     |

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{6.669,10} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

**6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

**6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

| Locatie | h [m] | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|---------|-------|--------------------------------|
| 1       | 2,90  | 22,00                          |
| 2       | 6,00  | 21,21                          |
| B       | 10,10 | 21,38                          |
| C       | 12,40 | 21,43                          |
| 3       | 12,80 | 21,27                          |
| 4       | 13,40 | 21,21                          |
| 5       | 13,40 | 21,21                          |
| 6       | 12,10 | 21,40                          |
| D       | 11,40 | 21,56                          |
| E       | 9,00  | 21,76                          |
| 7       | 5,80  | 21,71                          |
| 8       | 2,90  | 21,78                          |

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | $8 \cdot B_1$ [m] | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1       | Geen                        | -                 | 10,21                      | -                              |
| 2       | Geen                        | -                 | 20,36                      | -                              |
| B       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 34,56                      | 3,07 <sup>(1)</sup>            |
| C       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 42,51                      | 3,07 <sup>(1)</sup>            |
| 3       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 43,57                      | 3,05 <sup>(1)</sup>            |
| 4       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 45,47                      | 3,04 <sup>(1)</sup>            |
| 5       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 45,47                      | 3,04 <sup>(1)</sup>            |
| 6       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 41,42                      | 3,07 <sup>(1)</sup>            |
| D       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 39,33                      | 3,09 <sup>(1)</sup>            |
| E       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 31,33                      | 3,12 <sup>(1)</sup>            |
| 7       | Geen                        | -                 | 20,15                      | -                              |
| 8       | Geen                        | -                 | 10,11                      | -                              |

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_0 + D_0 \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0 = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{\frac{-K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \cdot D_0 \quad (1)$$

2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'

01-03-2018 09:23:18

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

| Locatie | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Verkeers- belasting | $q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1       | 2,90                        | Grafiek ½ x II      | 3,97                       | 0,63                       |
| 2       | 6,00                        | Grafiek ½ x II      | 1,61                       | 0,26                       |
| B       | 10,10                       | Grafiek ½ x II      | 0,83                       | 0,13                       |
| C       | 12,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,62                       | 0,10                       |
| 3       | 12,80                       | Grafiek ½ x II      | 0,59                       | 0,09                       |
| 4       | 13,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,55                       | 0,09                       |
| 5       | 13,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,55                       | 0,09                       |
| 6       | 12,10                       | Grafiek ½ x II      | 0,64                       | 0,10                       |
| D       | 11,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,70                       | 0,11                       |
| E       | 9,00                        | Grafiek ½ x II      | 0,96                       | 0,15                       |
| 7       | 5,80                        | Grafiek ½ x II      | 1,68                       | 0,27                       |
| 8       | 2,90                        | Grafiek ½ x II      | 3,97                       | 0,63                       |

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 160$$

**6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen**

| Locatie | Hor. steun- druk | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $M_q$ [Nmm]           | $\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1       | -                | 10,21                      | -                              | 0,63                       | 10,84                                   | 202,58 <sup>(1)</sup> | <b>5,70</b>                     |
| 2       | -                | 20,36                      | -                              | 0,26                       | 20,62                                   | 385,21 <sup>(1)</sup> | <b>10,84</b>                    |
| B       | ✓                | 34,56                      | 3,07                           | 0,13                       | 3,20                                    | 51,94 <sup>(4)</sup>  | <b>1,46</b>                     |
| C       | ✓                | 42,51                      | 3,07                           | 0,10                       | 3,17                                    | 51,50 <sup>(4)</sup>  | <b>1,45</b>                     |
| 3       | ✓                | 43,57                      | 3,05                           | 0,09                       | 3,14                                    | 51,06 <sup>(4)</sup>  | <b>1,44</b>                     |
| 4       | ✓                | 45,47                      | 3,04                           | 0,09                       | 3,13                                    | 50,81 <sup>(4)</sup>  | <b>1,43</b>                     |
| 5       | ✓                | 45,47                      | 3,04                           | 0,09                       | 3,13                                    | 50,81 <sup>(4)</sup>  | <b>1,43</b>                     |
| 6       | ✓                | 41,42                      | 3,07                           | 0,10                       | 3,17                                    | 51,48 <sup>(4)</sup>  | <b>1,45</b>                     |
| D       | ✓                | 39,33                      | 3,09                           | 0,11                       | 3,20                                    | 52,01 <sup>(4)</sup>  | <b>1,46</b>                     |
| E       | -                | 31,33                      | 3,12                           | 0,15                       | 3,27                                    | 61,15 <sup>(2)</sup>  | <b>1,72</b>                     |
| 7       | -                | 20,15                      | -                              | 0,27                       | 20,42                                   | 381,51 <sup>(1)</sup> | <b>10,74</b>                    |
| 8       | -                | 10,11                      | -                              | 0,63                       | 10,74                                   | 200,67 <sup>(1)</sup> | <b>5,65</b>                     |

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70 \quad (2)$$

$$\text{Indien horizontale steundruk: } M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (3)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 72,70$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (4)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 72,70$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{35,53}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  tgv. grondreactie in de bochten**

| Locatie | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|----------------------------|------------------------------------|
| C       | 50    | 0,0061                     | 0,39                               |
| 3       | 50    | 0,0061                     | 0,39                               |
| D       | 50    | 0,0061                     | 0,39                               |

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 160 \cdot \frac{80,00}{35,53}$$

**6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

Leiding is drukloos

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

**7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$** 

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{259,34}{145,4^3} = 0,0823 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{82,26 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m<sup>2</sup>**
**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$ 

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$ 

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 259,34}{145,40^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,12 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**
**9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding**

| Locatie | $\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1       | 5,70                            | -                                  | 0,65                | <b>3,71</b>                        |
| 2       | 10,84                           | -                                  | 0,65                | <b>7,05</b>                        |
| B       | 1,46                            | -                                  | 0,65                | <b>0,95</b>                        |
| C       | 1,45                            | 0,39                               | 0,65                | <b>1,20</b>                        |
| 3       | 1,44                            | 0,39                               | 0,65                | <b>1,19</b>                        |
| 4       | 1,43                            | -                                  | 0,65                | <b>0,93</b>                        |
| 5       | 1,43                            | -                                  | 0,65                | <b>0,93</b>                        |
| 6       | 1,45                            | -                                  | 0,65                | <b>0,94</b>                        |
| D       | 1,46                            | 0,39                               | 0,65                | <b>1,21</b>                        |
| E       | 1,72                            | -                                  | 0,65                | <b>1,12</b>                        |
| 7       | 10,74                           | -                                  | 0,65                | <b>6,98</b>                        |
| 8       | 5,65                            | -                                  | 0,65                | <b>3,67</b>                        |

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>

**9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding**

| Locatie | $\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 2       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| B       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| C       | 0,00                               | 0,00                               | 2,43                            | 0,65                | <b>1,58</b>                     |
| 3       | 0,00                               | 0,00                               | 2,43                            | 0,65                | <b>1,58</b>                     |
| 4       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 5       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 6       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| D       | 0,00                               | 0,00                               | 2,43                            | 0,65                | <b>1,58</b>                     |
| E       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 7       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 8       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{ax}$

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>

**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

| Locatie | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm]           | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|---------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1       | 10,21                      | -                              | 0,63                       | -                          | <b>2,46<sup>(1)</sup></b> | 1,69               |
| 2       | 20,36                      | -                              | 0,26                       | -                          | <b>4,68<sup>(1)</sup></b> | 3,22               |
| B       | 34,56                      | 3,07                           | 0,13                       | -                          | <b>0,90<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| C       | 42,51                      | 3,07                           | 0,10                       | 0,0061                     | <b>0,89<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| 3       | 43,57                      | 3,05                           | 0,09                       | 0,0061                     | <b>0,89<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 4       | 45,47                      | 3,04                           | 0,09                       | -                          | <b>0,88<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 5       | 45,47                      | 3,04                           | 0,09                       | -                          | <b>0,88<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 6       | 41,42                      | 3,07                           | 0,10                       | -                          | <b>0,89<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| D       | 39,33                      | 3,09                           | 0,11                       | 0,0061                     | <b>0,90<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| E       | 31,33                      | 3,12                           | 0,15                       | -                          | <b>0,92<sup>(2)</sup></b> | 0,51               |
| 7       | 20,15                      | -                              | 0,27                       | -                          | <b>4,63<sup>(1)</sup></b> | 3,19               |
| 8       | 10,11                      | -                              | 0,63                       | -                          | <b>2,44<sup>(1)</sup></b> | 1,68               |

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 72,70^3}{350 \cdot 259,34}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 145,40 = **11,63 mm**

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

| Locatie | H [m] | $\sigma_{\text{vert}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{\text{hor}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | G [MN/m <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1       | 2,90  | 52,73                                       | 22,48                                      | 37,61                            | 59,18                       | 28,85                  |
| 2       | 6,00  | 105,16                                      | 44,84                                      | 75,00                            | 118,02                      | 28,85                  |
| B       | 10,10 | 178,49                                      | 76,11                                      | 127,30                           | 200,32                      | 28,85                  |
| C       | 12,40 | 219,59                                      | 93,64                                      | 156,62                           | 246,45                      | 28,85                  |
| 3       | 12,80 | 225,05                                      | 95,97                                      | 160,51                           | 252,57                      | 28,85                  |
| 4       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 5       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 6       | 12,10 | 213,95                                      | 91,23                                      | 152,59                           | 240,11                      | 28,85                  |
| D       | 11,40 | 203,13                                      | 86,62                                      | 144,87                           | 227,97                      | 28,85                  |
| E       | 9,00  | 161,84                                      | 69,01                                      | 115,42                           | 181,63                      | 28,85                  |
| 7       | 5,80  | 104,08                                      | 44,38                                      | 74,23                            | 116,81                      | 28,85                  |
| 8       | 2,90  | 52,20                                       | 22,26                                      | 37,23                            | 58,58                       | 28,85                  |

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

| Locatie | Q [-]   | $R_{p,\text{max}}$ [m] | u [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{st}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\Delta p$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{lim}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1       | 0,00075 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 0,82                                  |
| 2       | 0,0015  | 2,19                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,27                                  |
| B       | 0,0025  | 1,68                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,77                                  |
| C       | 0,0031  | 1,52                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,02                                  |
| 3       | 0,0032  | 1,50                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,05                                  |
| 4       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 5       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 6       | 0,0030  | 1,54                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,99                                  |
| D       | 0,0029  | 1,58                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,92                                  |
| E       | 0,0023  | 1,77                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,66                                  |
| 7       | 0,0015  | 2,20                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,26                                  |
| 8       | 0,00074 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,02                            | 0,81                                  |

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,\text{max}} = \frac{H}{2}, R_{p,\text{max,zand}} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,\text{max}}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{\text{st}} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

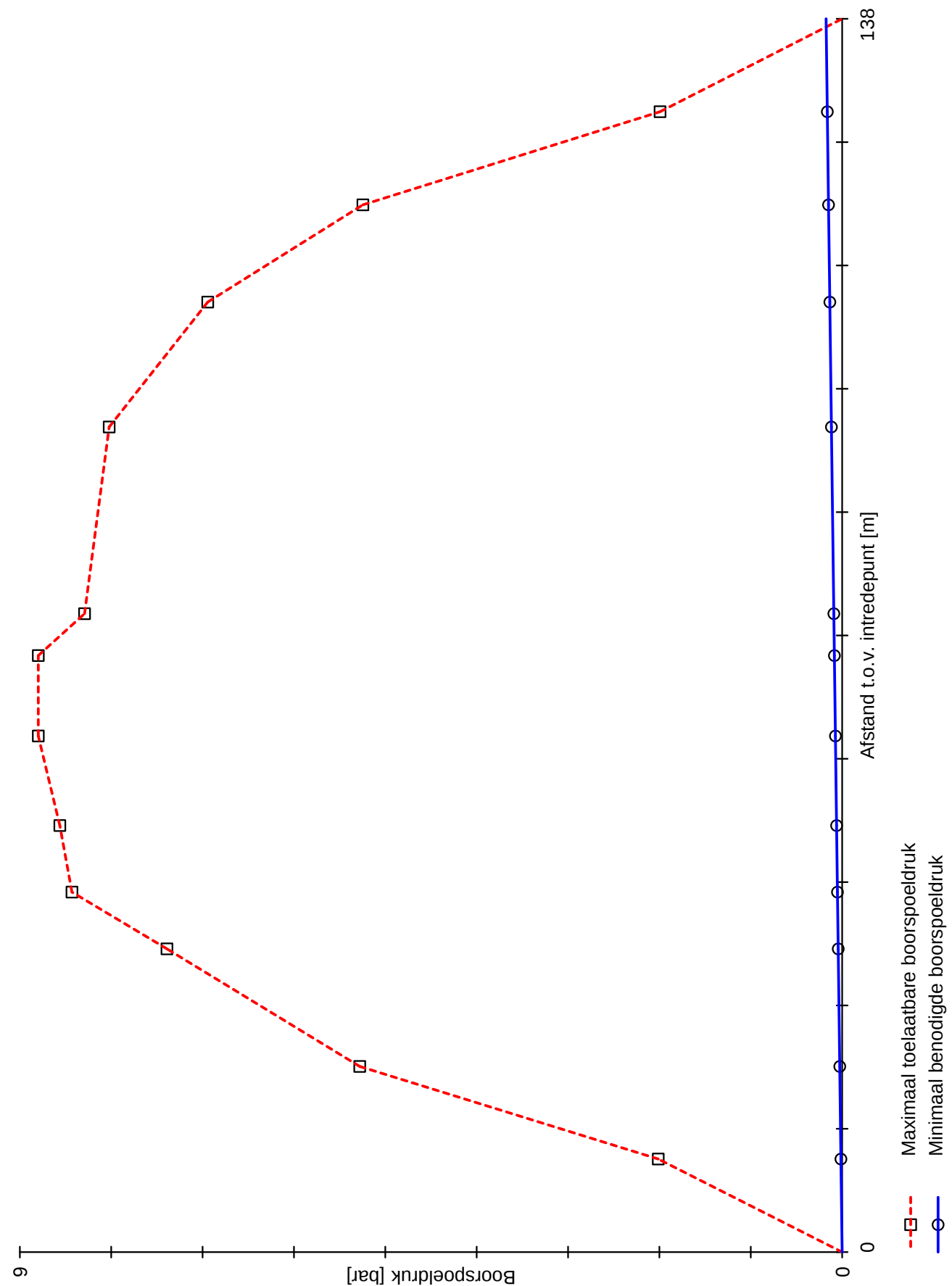
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{\text{lim}} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

| Locatie | $p_{\max}$ [kPa] | 90% $p_{lim}$ [kPa] | $p_{min}$ [kPa] | $p_{\max}$ [bar] | 90% $p_{lim}$ [bar] | $p_{min}$ [bar] |
|---------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 1       | <b>201,29</b>    | 734,37              | <b>1,32</b>     | <b>2,01</b>      | 7,34                | <b>0,01</b>     |
| 2       | <b>527,98</b>    | 1.138,82            | <b>2,64</b>     | <b>5,28</b>      | 11,39               | <b>0,03</b>     |
| B       | <b>738,98</b>    | 1.593,92            | <b>4,31</b>     | <b>7,39</b>      | 15,94               | <b>0,04</b>     |
| C       | <b>842,99</b>    | 1.818,26            | <b>5,12</b>     | <b>8,43</b>      | 18,18               | <b>0,05</b>     |
| 3       | <b>856,24</b>    | 1.846,84            | <b>6,06</b>     | <b>8,56</b>      | 18,47               | <b>0,06</b>     |
| 4       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>7,33</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,07</b>     |
| 5       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>8,48</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,08</b>     |
| 6       | <b>829,16</b>    | 1.788,43            | <b>9,07</b>     | <b>8,29</b>      | 17,88               | <b>0,09</b>     |
| D       | <b>802,25</b>    | 1.730,40            | <b>11,72</b>    | <b>8,02</b>      | 17,30               | <b>0,12</b>     |
| E       | <b>694,37</b>    | 1.497,71            | <b>13,50</b>    | <b>6,94</b>      | 14,98               | <b>0,13</b>     |
| 7       | <b>524,53</b>    | 1.131,38            | <b>14,88</b>    | <b>5,25</b>      | 11,31               | <b>0,15</b>     |
| 8       | <b>199,29</b>    | 729,70              | <b>16,20</b>    | <b>1,99</b>      | 7,30                | <b>0,16</b>     |

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$



|                                                                                              |                  |                         |                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012            |                  | Sigma 2018 1.0 ©        |                     |
| Algemene gegevens                                                                            |                  |                         |                     |
| Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                      |                  |                         |                     |
| Projectonderdeel : HDD5 Kampweg 1x ø250 sdr11 + 1x ø160 sdr11 + 1x ø110 sdr11 + 1x ø63 sdr11 |                  |                         |                     |
| Materiaalgegevens                                                                            |                  |                         |                     |
| Materiaalsoort:                                                                              | PE               |                         |                     |
| Kwaliteit:                                                                                   | PE 100 SDR 11    |                         |                     |
| Lange-duur treksterkte                                                                       | MRS              | = 10                    | N/mm²               |
| Materiaalfactor                                                                              | γ <sub>M</sub>   | = 1,25                  | -                   |
| Toelaatbare langeduur spanning                                                               | σ <sub>t</sub>   | = 8,00                  | N/mm²               |
| Elasticiteitsmodulus korte duur                                                              | E                | = 975                   | N/mm²               |
| Elasticiteitsmodulus lange duur                                                              | E'               | = 350                   | N/mm²               |
| Lineaire uitzettingscoëfficiënt                                                              | α <sub>g</sub>   | = 16,0·10 <sup>-5</sup> | mm/(mm·K)           |
| Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal                                                               | α <sub>σ</sub>   | = 0,65                  | -                   |
| Soortelijk gewicht buis                                                                      | ρ <sub>L</sub>   | = 9,55                  | kN/m³               |
| Toelaatbare deflectie                                                                        | δ                | = 8                     | %                   |
| Leidinggegevens                                                                              |                  |                         |                     |
| Uitwendige middellijn                                                                        | D <sub>e</sub>   | = 110,00                | mm                  |
| Wanddikte                                                                                    | d <sub>n</sub>   | = 10                    | mm                  |
| Procesgegevens                                                                               |                  |                         |                     |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                   |                  | = Drukloos              |                     |
| Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren |                  |                         |                     |
| Percentage omtrek in aanraking met bentoniet                                                 |                  | = 100                   | %                   |
| Soortelijk gewicht boorvloeistof                                                             | ρ <sub>m</sub>   | = 11,5                  | kN/m³               |
| Zwichtspanning boorvloeistof                                                                 | τ <sub>y</sub>   | = 15                    | Pa                  |
| Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan                                               |                  |                         |                     |
| Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang                                                 |                  |                         |                     |
| Diameter ruimer ivm boorspoeldruk                                                            | D <sub>g</sub>   | = 535                   | mm                  |
| Diameter boorstang                                                                           | D <sub>b</sub>   | = 63                    | mm                  |
| Totale lengte                                                                                | L                | = 137,86                | m                   |
| Lengte 1e rechte deel                                                                        | L <sub>1</sub>   | = 34,43                 | m                   |
| Lengte neergaande bocht                                                                      | L <sub>2</sub>   | = 13,96                 | m                   |
| Lengte 2e rechte deel                                                                        | L <sub>3</sub>   | = 43,84                 | m                   |
| Lengte opgaande bocht                                                                        | L <sub>4</sub>   | = 13,96                 | m                   |
| Lengte 3e rechte deel                                                                        | L <sub>5</sub>   | = 31,67                 | m                   |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                   | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Straal neergaande bocht                                                                      | R <sub>1</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Straal opgaande bocht                                                                        | R <sub>2</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                              | α <sub>1</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %               |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                               | α <sub>2</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %               |
| Belastinghoek                                                                                | α                | = 30                    | °                   |
| Ondersteuningshoek                                                                           | β                | = 30                    | °                   |
| Horizontale steundrukhoek                                                                    | γ                | = 120                   | °                   |
| Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd                                                         | γ                | = 1,1                   |                     |
| Totaalfactor bij boring met bundels                                                          | f                | = 1,8                   |                     |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |                     |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |                     |
| Wrijvingscoëff. met rollenbaan                                                               | f <sub>1</sub>   | = 0,1                   |                     |
| Wrijving tussen leiding/boorvloeistof                                                        | f <sub>2</sub>   | = 0,00005               | N/mm²               |
| Wrijving tussen leiding/boorgangwand                                                         | f <sub>3</sub>   | = 0,2                   |                     |
| 2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                                    |                  |                         |                     |
|                                                                                              |                  |                         | 01-03-2018 09:24:00 |

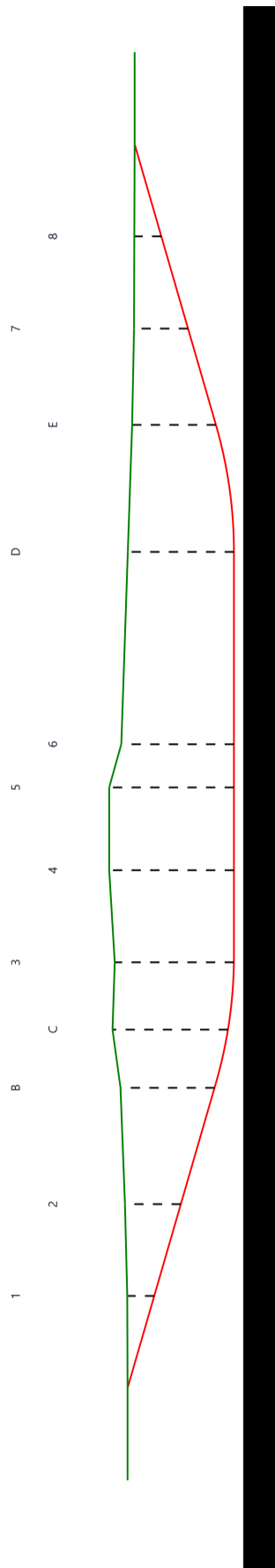
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1       | 10,40                          | 2,90                        | Zand         | 20,00                                             | 35,00                     |
| 2       | 20,75                          | 6,00                        | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| B       | 33,89                          | 10,10                       | Zand         | 19,44                                             | 35,00                     |
| C       | 40,24                          | 12,40                       | Zand         | 19,48                                             | 35,00                     |
| 3       | 47,68                          | 12,80                       | Zand         | 19,34                                             | 35,00                     |
| 4       | 57,69                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 5       | 66,68                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 6       | 71,36                          | 12,10                       | Zand         | 19,45                                             | 35,00                     |
| D       | 92,23                          | 11,40                       | Zand         | 19,60                                             | 35,00                     |
| E       | 106,19                         | 9,00                        | Zand         | 19,78                                             | 35,00                     |
| 7       | 117,06                         | 5,80                        | Zand         | 19,74                                             | 35,00                     |
| 8       | 127,47                         | 2,90                        | Zand         | 19,80                                             | 35,00                     |

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | Hor. steun- druk | Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ] | Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ] | E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ] | Verkeersbelasting |
|---------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 2       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| B       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| C       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 3       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 4       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 5       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 6       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| D       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| E       | Homogeen (zand)             | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 7       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 8       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |



\* Niet op schaal

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**2. Eigenschappen van de leiding**

|                                 |                                        |                |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Inwendige middellijn            | $D_i = D_e - 2 \cdot d_n$              | = 90,00        | mm                               |
| Gemiddelde middellijn           | $D_g = (D_e + D_i)/2$                  | = 100,00       | mm                               |
| Uitwendige middellijn+bekleding | $D_o = D_e + 2 \cdot e$                | = 110,00       | mm                               |
| Uitwendige straal               | $r_e = D_e / 2$                        | = 55,00        | mm                               |
| Inwendige straal                | $r_i = D_i / 2$                        | = 45,00        | mm                               |
| Gemiddelde straal               | $r_g = (r_e + r_i) / 2$                | = 50,00        | mm                               |
| Traagheidsmoment buis           | $I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$ | = 3.966.260,73 | mm <sup>4</sup>                  |
| Weerstandsmoment buis           | $W_b = I_b / r_e$                      | = 72.113,83    | mm <sup>3</sup>                  |
| Wandtraagheidsmoment            | $I_w = d_n^3 / 12$                     | = 83,33        | mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Wandweerstandsmoment            | $W_w = d_n^2 / 6$                      | = 16,67        | mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Oppervlakte leiding             | $A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$    | = 3.141,59     | mm <sup>2</sup>                  |
| Gewicht leiding                 | $g = \rho_L \cdot A$                   | = 0,0300       | N/mm <sup>1</sup>                |

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

|                       | <i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i> | <i>Leiding in boorgat</i>         |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Gewicht mediumleiding | $g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$           | $g = 0,0300 \text{ N/mm}^1$       |
| Gewicht vulling       | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$           | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$       |
| Totaal gewicht        | $g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$     | $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$ |

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]  |
|---------------------------------------------------|--------|------------|
| Starten met trekken                               | 137,86 | <b>744</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 106,19 | <b>573</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 92,23  | <b>498</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 48,39  | <b>261</b> |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 34,43  | <b>186</b> |

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0300 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_1$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 744       | <b>0,24</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 573       | <b>0,18</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 498       | <b>0,16</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 261       | <b>0,08</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 186       | <b>0,06</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{3.141,59}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

#### 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.261}{50.000} = 85.076,29 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{85.076,29}{72.114} = \mathbf{1,18 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 0,24                            | <b>1,00</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,18                            | <b>0,95</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,16                            | <b>0,93</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,08                            | <b>0,85</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,06                            | <b>0,83</b>                     |

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 1,18 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtr} = 345,58 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 110,00^2 \cdot \pi/4 = 0,109 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0793 \text{ N/mm}^1$

| Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_2$ [N]    | $T_{3a}$ [N] |
|---------------------------------------------------------------|--------|--------------|--------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 31,67  | <b>1.889</b> | -            |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 45,63  | -            | <b>2.722</b> |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 89,47  | <b>5.336</b> | -            |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 103,43 | -            | <b>6.169</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 137,86 | <b>8.223</b> | -            |

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

**5.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**

| Locatie | $\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ] | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{3b}$ [N] |
|---------|-------------------------------|-------|----------------------------|--------------|
| C       | 0,0037                        | 50    | 0,0035                     | <b>233</b>   |
| 3       | 0,0037                        | 50    | 0,0035                     | <b>233</b>   |
| D       | 0,0037                        | 50    | 0,0035                     | <b>233</b>   |

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 110 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$** 

| Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{bocht}}$ [N] |
|---------------------------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Neergaande bocht                                              | 498       | 2.722        | 233                       | -                       | <b>3.453</b>           |
| Opgaande bocht                                                | 186       | 6.169        | 233                       | 233                     | <b>6.821</b>           |

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer, max}}$ 

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer, max}} + T_{3a, \text{op}} + T_{3b, \text{op, max}}$ 

| Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N] | $\alpha$ [°] | $T_{\text{bocht}}$ [N] | $T_{3c}$ [N] |
|-----------------------------------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Neergaande bocht                                    | 8,00         | 3.453                  | <b>346</b>   |
| Opgaande bocht                                      | 8,00         | 6.821                  | <b>683</b>   |

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

**5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II**

| Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_2 / T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3c, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{3c, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{tot}}$ [N] |
|-------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 573       | 1.889              | -                         | -                         | -                       | -                       | <b>2.462</b>         |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 498       | 2.722              | 233                       | 346                       | -                       | -                       | <b>3.799</b>         |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 261       | 5.336              | 233                       | 346                       | -                       | -                       | <b>6.177</b>         |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 186       | 6.169              | 233                       | 346                       | 233                     | 683                     | <b>7.850</b>         |
| Geheel intrekken                                            | 0         | 8.223              | 233                       | 346                       | 233                     | 683                     | <b>9.718</b>         |

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, \text{neer, max}} + T_{3c, \text{neer}} + T_{3b, \text{op, max}} + T_{3c, \text{op}}$$

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm²] | $T_{\text{tot}}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm²] |
|------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                              | 2.462                | <b>0,78</b>        |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                              | 3.799                | <b>1,21</b>        |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                              | 6.177                | <b>1,97</b>        |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                              | 7.850                | <b>2,50</b>        |
| Geheel intrekken                                           | 9.718                | <b>3,09</b>        |

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{3.141,59}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

### 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

#### 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 50.000} = 120.309,91 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{120.309,91}{72.113,83} = \mathbf{1,67 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 50.000} = 120.309,91 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{120.309,91}{72.113,83} = \mathbf{1,67 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{tot}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 2.462         | 0,78                            | -                               | <b>0,78</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 3.799         | 1,21                            | 1,67                            | <b>2,29</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 6.177         | 1,97                            | -                               | <b>1,97</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 7.850         | 2,50                            | 1,67                            | <b>3,58</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 9.718         | 3,09                            | -                               | <b>3,09</b>                     |

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{3.141,59} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

**6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

**6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

| Locatie | h [m] | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|---------|-------|--------------------------------|
| 1       | 2,90  | 22,00                          |
| 2       | 6,00  | 21,21                          |
| B       | 10,10 | 21,38                          |
| C       | 12,40 | 21,43                          |
| 3       | 12,80 | 21,27                          |
| 4       | 13,40 | 21,21                          |
| 5       | 13,40 | 21,21                          |
| 6       | 12,10 | 21,40                          |
| D       | 11,40 | 21,56                          |
| E       | 9,00  | 21,76                          |
| 7       | 5,80  | 21,71                          |
| 8       | 2,90  | 21,78                          |

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | $8 \cdot B_1$ [m] | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1       | Geen                        | -                 | 7,02                       | -                              |
| 2       | Geen                        | -                 | 14,00                      | -                              |
| B       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 23,76                      | 2,11 <sup>(1)</sup>            |
| C       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 29,23                      | 2,11 <sup>(1)</sup>            |
| 3       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 29,95                      | 2,10 <sup>(1)</sup>            |
| 4       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 31,26                      | 2,09 <sup>(1)</sup>            |
| 5       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 31,26                      | 2,09 <sup>(1)</sup>            |
| 6       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 28,48                      | 2,11 <sup>(1)</sup>            |
| D       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 27,04                      | 2,12 <sup>(1)</sup>            |
| E       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 21,54                      | 2,14 <sup>(1)</sup>            |
| 7       | Geen                        | -                 | 13,85                      | -                              |
| 8       | Geen                        | -                 | 6,95                       | -                              |

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_0 + D_0 \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0 = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{\frac{-K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \cdot D_0 \quad (1)$$

2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'

01-03-2018 09:24:01

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

| Locatie | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Verkeers- belasting | $q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1       | 2,90                        | Grafiek ½ x II      | 3,97                       | 0,44                       |
| 2       | 6,00                        | Grafiek ½ x II      | 1,61                       | 0,18                       |
| B       | 10,10                       | Grafiek ½ x II      | 0,83                       | 0,09                       |
| C       | 12,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,62                       | 0,07                       |
| 3       | 12,80                       | Grafiek ½ x II      | 0,59                       | 0,06                       |
| 4       | 13,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,55                       | 0,06                       |
| 5       | 13,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,55                       | 0,06                       |
| 6       | 12,10                       | Grafiek ½ x II      | 0,64                       | 0,07                       |
| D       | 11,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,70                       | 0,08                       |
| E       | 9,00                        | Grafiek ½ x II      | 0,96                       | 0,11                       |
| 7       | 5,80                        | Grafiek ½ x II      | 1,68                       | 0,18                       |
| 8       | 2,90                        | Grafiek ½ x II      | 3,97                       | 0,44                       |

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 110$$

**6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen**

| Locatie | Hor. steun- druk | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $M_q$ [Nmm]           | $\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1       | -                | 7,02                       | -                              | 0,44                       | 7,45                                    | 95,79 <sup>(1)</sup>  | <b>5,75</b>                     |
| 2       | -                | 14,00                      | -                              | 0,18                       | 14,17                                   | 182,14 <sup>(1)</sup> | <b>10,93</b>                    |
| B       | ✓                | 23,76                      | 2,11                           | 0,09                       | 2,20                                    | 24,56 <sup>(4)</sup>  | <b>1,47</b>                     |
| C       | ✓                | 29,23                      | 2,11                           | 0,07                       | 2,18                                    | 24,35 <sup>(4)</sup>  | <b>1,46</b>                     |
| 3       | ✓                | 29,95                      | 2,10                           | 0,06                       | 2,16                                    | 24,14 <sup>(4)</sup>  | <b>1,45</b>                     |
| 4       | ✓                | 31,26                      | 2,09                           | 0,06                       | 2,15                                    | 24,02 <sup>(4)</sup>  | <b>1,44</b>                     |
| 5       | ✓                | 31,26                      | 2,09                           | 0,06                       | 2,15                                    | 24,02 <sup>(4)</sup>  | <b>1,44</b>                     |
| 6       | ✓                | 28,48                      | 2,11                           | 0,07                       | 2,18                                    | 24,34 <sup>(4)</sup>  | <b>1,46</b>                     |
| D       | ✓                | 27,04                      | 2,12                           | 0,08                       | 2,20                                    | 24,59 <sup>(4)</sup>  | <b>1,48</b>                     |
| E       | -                | 21,54                      | 2,14                           | 0,11                       | 2,25                                    | 28,91 <sup>(2)</sup>  | <b>1,73</b>                     |
| 7       | -                | 13,85                      | -                              | 0,18                       | 14,04                                   | 180,39 <sup>(1)</sup> | <b>10,82</b>                    |
| 8       | -                | 6,95                       | -                              | 0,44                       | 7,38                                    | 94,89 <sup>(1)</sup>  | <b>5,69</b>                     |

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00 \quad (2)$$

$$\text{Indien horizontale steundruk: } M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (3)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 50,00$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (4)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 50,00$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  tgv. grondreactie in de bochten**

| Locatie | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|----------------------------|------------------------------------|
| C       | 50    | 0,0035                     | 0,23                               |
| 3       | 50    | 0,0035                     | 0,23                               |
| D       | 50    | 0,0035                     | 0,23                               |

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 110 \cdot \frac{55,00}{16,67}$$

**6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

Leiding is drukloos

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

**7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$** 

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{83,33}{100^3} = 0,0812 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,25 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m<sup>2</sup>**
**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$ 

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$ 

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 83,33}{100,00^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,78 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**
**9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding**

| Locatie | $\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1       | 5,75                            | -                                  | 0,65                | <b>3,74</b>                        |
| 2       | 10,93                           | -                                  | 0,65                | <b>7,10</b>                        |
| B       | 1,47                            | -                                  | 0,65                | <b>0,96</b>                        |
| C       | 1,46                            | 0,23                               | 0,65                | <b>1,10</b>                        |
| 3       | 1,45                            | 0,23                               | 0,65                | <b>1,09</b>                        |
| 4       | 1,44                            | -                                  | 0,65                | <b>0,94</b>                        |
| 5       | 1,44                            | -                                  | 0,65                | <b>0,94</b>                        |
| 6       | 1,46                            | -                                  | 0,65                | <b>0,95</b>                        |
| D       | 1,48                            | 0,23                               | 0,65                | <b>1,11</b>                        |
| E       | 1,73                            | -                                  | 0,65                | <b>1,13</b>                        |
| 7       | 10,82                           | -                                  | 0,65                | <b>7,04</b>                        |
| 8       | 5,69                            | -                                  | 0,65                | <b>3,70</b>                        |

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ 

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ 

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>
**9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding**

| Locatie | $\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 2       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| B       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| C       | 0,00                               | 0,00                               | 1,67                            | 0,65                | <b>1,08</b>                     |
| 3       | 0,00                               | 0,00                               | 1,67                            | 0,65                | <b>1,08</b>                     |
| 4       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 5       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 6       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| D       | 0,00                               | 0,00                               | 1,67                            | 0,65                | <b>1,08</b>                     |
| E       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 7       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 8       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{ax}$ 

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$ 

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>

**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

| Locatie | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm]           | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|---------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1       | 7,02                       | -                              | 0,44                       | -                          | <b>1,71<sup>(1)</sup></b> | 1,71               |
| 2       | 14,00                      | -                              | 0,18                       | -                          | <b>3,26<sup>(1)</sup></b> | 3,26               |
| B       | 23,76                      | 2,11                           | 0,09                       | -                          | <b>0,63<sup>(2)</sup></b> | 0,51               |
| C       | 29,23                      | 2,11                           | 0,07                       | 0,0035                     | <b>0,62<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| 3       | 29,95                      | 2,10                           | 0,06                       | 0,0035                     | <b>0,62<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| 4       | 31,26                      | 2,09                           | 0,06                       | -                          | <b>0,61<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 5       | 31,26                      | 2,09                           | 0,06                       | -                          | <b>0,61<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| 6       | 28,48                      | 2,11                           | 0,07                       | -                          | <b>0,62<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| D       | 27,04                      | 2,12                           | 0,08                       | 0,0035                     | <b>0,63<sup>(2)</sup></b> | 0,51               |
| E       | 21,54                      | 2,14                           | 0,11                       | -                          | <b>0,64<sup>(2)</sup></b> | 0,52               |
| 7       | 13,85                      | -                              | 0,18                       | -                          | <b>3,23<sup>(1)</sup></b> | 3,23               |
| 8       | 6,95                       | -                              | 0,44                       | -                          | <b>1,70<sup>(1)</sup></b> | 1,70               |

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 100,00 = **8,00 mm**

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

| Locatie | H [m] | $\sigma_{\text{vert}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{\text{hor}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | G [MN/m <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1       | 2,90  | 52,73                                       | 22,48                                      | 37,61                            | 59,18                       | 28,85                  |
| 2       | 6,00  | 105,16                                      | 44,84                                      | 75,00                            | 118,02                      | 28,85                  |
| B       | 10,10 | 178,49                                      | 76,11                                      | 127,30                           | 200,32                      | 28,85                  |
| C       | 12,40 | 219,59                                      | 93,64                                      | 156,62                           | 246,45                      | 28,85                  |
| 3       | 12,80 | 225,05                                      | 95,97                                      | 160,51                           | 252,57                      | 28,85                  |
| 4       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 5       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 6       | 12,10 | 213,95                                      | 91,23                                      | 152,59                           | 240,11                      | 28,85                  |
| D       | 11,40 | 203,13                                      | 86,62                                      | 144,87                           | 227,97                      | 28,85                  |
| E       | 9,00  | 161,84                                      | 69,01                                      | 115,42                           | 181,63                      | 28,85                  |
| 7       | 5,80  | 104,08                                      | 44,38                                      | 74,23                            | 116,81                      | 28,85                  |
| 8       | 2,90  | 52,20                                       | 22,26                                      | 37,23                            | 58,58                       | 28,85                  |

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

| Locatie | Q [-]   | $R_{p,\text{max}}$ [m] | u [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{st}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\Delta p$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{lim}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1       | 0,00075 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 0,82                                  |
| 2       | 0,0015  | 2,19                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,27                                  |
| B       | 0,0025  | 1,68                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,77                                  |
| C       | 0,0031  | 1,52                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,02                                  |
| 3       | 0,0032  | 1,50                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,05                                  |
| 4       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 5       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 6       | 0,0030  | 1,54                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,99                                  |
| D       | 0,0029  | 1,58                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,92                                  |
| E       | 0,0023  | 1,77                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,66                                  |
| 7       | 0,0015  | 2,20                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,26                                  |
| 8       | 0,00074 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,02                            | 0,81                                  |

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,\text{max}} = \frac{H}{2}, R_{p,\text{max,zand}} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,\text{max}}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{\text{st}} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

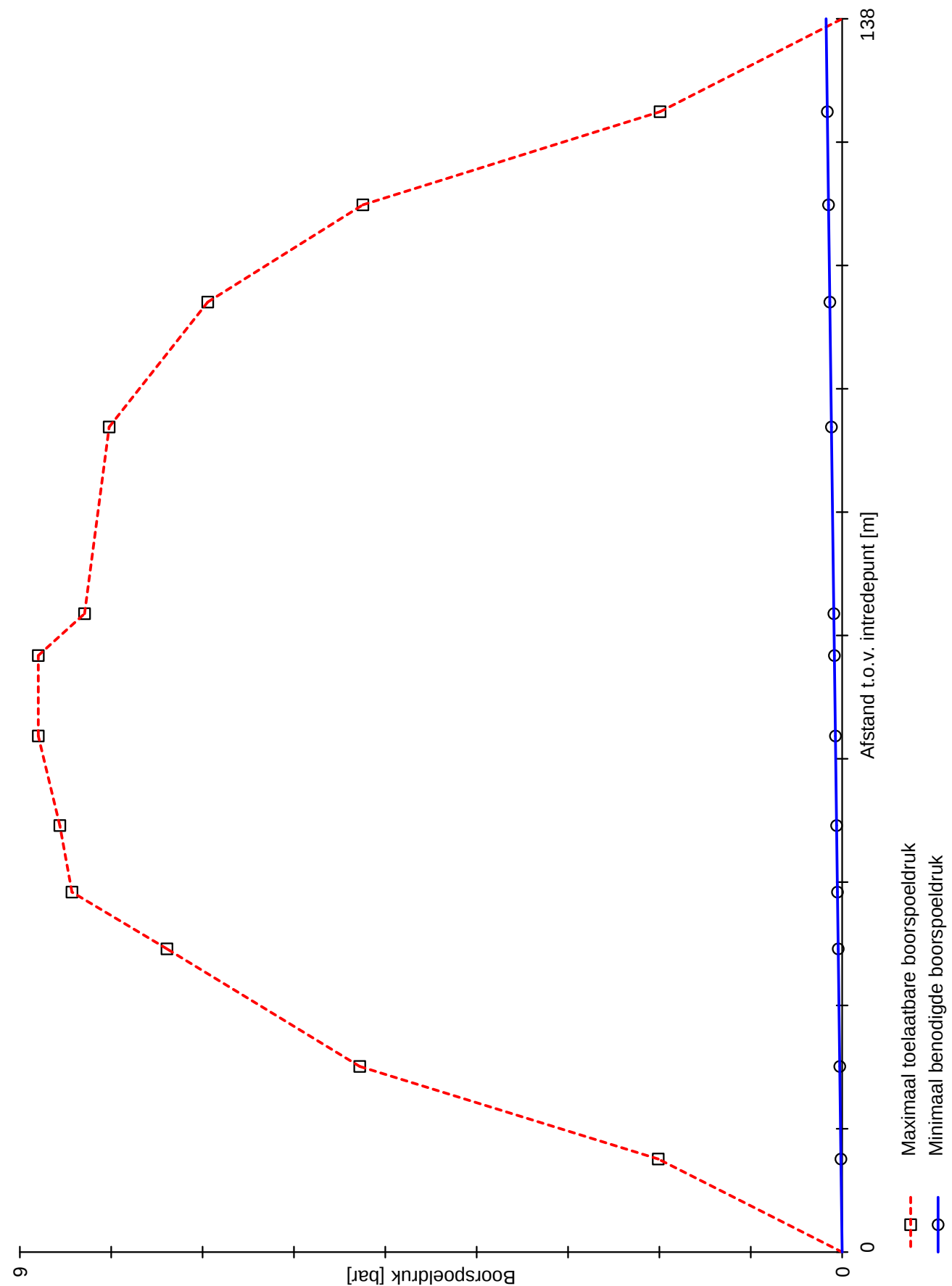
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{\text{lim}} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

| Locatie | $p_{\max}$ [kPa] | 90% $p_{lim}$ [kPa] | $p_{min}$ [kPa] | $p_{\max}$ [bar] | 90% $p_{lim}$ [bar] | $p_{min}$ [bar] |
|---------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 1       | <b>201,29</b>    | 734,37              | <b>1,32</b>     | <b>2,01</b>      | 7,34                | <b>0,01</b>     |
| 2       | <b>527,98</b>    | 1.138,82            | <b>2,64</b>     | <b>5,28</b>      | 11,39               | <b>0,03</b>     |
| B       | <b>738,98</b>    | 1.593,92            | <b>4,31</b>     | <b>7,39</b>      | 15,94               | <b>0,04</b>     |
| C       | <b>842,99</b>    | 1.818,26            | <b>5,12</b>     | <b>8,43</b>      | 18,18               | <b>0,05</b>     |
| 3       | <b>856,24</b>    | 1.846,84            | <b>6,06</b>     | <b>8,56</b>      | 18,47               | <b>0,06</b>     |
| 4       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>7,33</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,07</b>     |
| 5       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>8,48</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,08</b>     |
| 6       | <b>829,16</b>    | 1.788,43            | <b>9,07</b>     | <b>8,29</b>      | 17,88               | <b>0,09</b>     |
| D       | <b>802,25</b>    | 1.730,40            | <b>11,72</b>    | <b>8,02</b>      | 17,30               | <b>0,12</b>     |
| E       | <b>694,37</b>    | 1.497,71            | <b>13,50</b>    | <b>6,94</b>      | 14,98               | <b>0,13</b>     |
| 7       | <b>524,53</b>    | 1.131,38            | <b>14,88</b>    | <b>5,25</b>      | 11,31               | <b>0,15</b>     |
| 8       | <b>199,29</b>    | 729,70              | <b>16,20</b>    | <b>1,99</b>      | 7,30                | <b>0,16</b>     |

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$

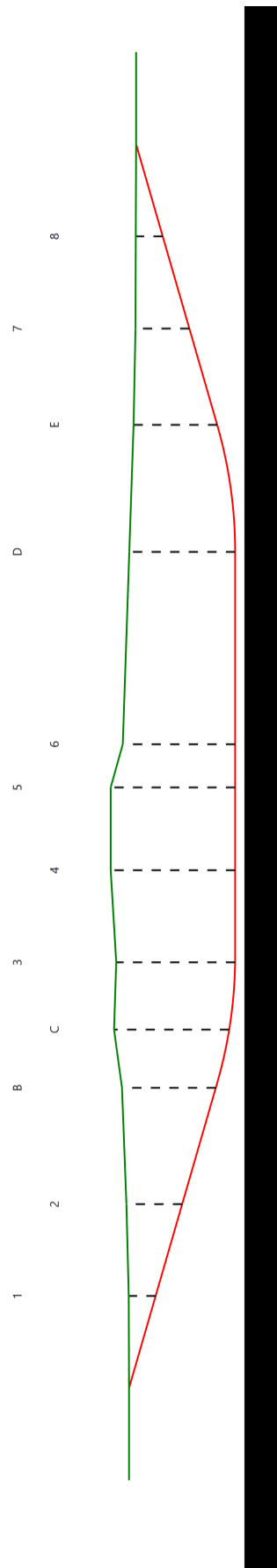


|                                                                                              |                  |                         |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012            |                  | Sigma 2018 1.0 ©        |           |
| Algemene gegevens                                                                            |                  |                         |           |
| Naam van het project : Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                      |                  |                         |           |
| Projectonderdeel : HDD5 Kampweg 1x ø250 sdr11 + 1x ø160 sdr11 + 1x ø110 sdr11 + 1x ø63 sdr11 |                  |                         |           |
| Materiaalgegevens                                                                            |                  |                         |           |
| Materiaalsoort:                                                                              | PE               |                         |           |
| Kwaliteit:                                                                                   | PE 100 SDR 11    |                         |           |
| Lange-duur treksterkte                                                                       | MRS              | = 10                    | N/mm²     |
| Materiaalfactor                                                                              | γ <sub>M</sub>   | = 1,25                  | -         |
| Toelaatbare langeduur spanning                                                               | σ <sub>t</sub>   | = 8,00                  | N/mm²     |
| Elasticiteitsmodulus korte duur                                                              | E                | = 975                   | N/mm²     |
| Elasticiteitsmodulus lange duur                                                              | E'               | = 350                   | N/mm²     |
| Lineaire uitzettingscoëfficiënt                                                              | α <sub>g</sub>   | = 16,0·10 <sup>-5</sup> | mm/(mm·K) |
| Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal                                                               | α <sub>σ</sub>   | = 0,65                  | -         |
| Soortelijk gewicht buis                                                                      | ρ <sub>L</sub>   | = 9,55                  | kN/m³     |
| Toelaatbare deflectie                                                                        | δ                | = 8                     | %         |
| Leidinggegevens                                                                              |                  |                         |           |
| Uitwendige middellijn                                                                        | D <sub>e</sub>   | = 63,00                 | mm        |
| Wanddikte                                                                                    | d <sub>n</sub>   | = 5,8                   | mm        |
| Procesgegevens                                                                               |                  |                         |           |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                   |                  | = Drukloos              |           |
| Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren |                  |                         |           |
| Percentage omtrek in aanraking met bentoniet                                                 |                  | = 100                   | %         |
| Soortelijk gewicht boorvloeistof                                                             | ρ <sub>m</sub>   | = 11,5                  | kN/m³     |
| Zwichtspanning boorvloeistof                                                                 | τ <sub>y</sub>   | = 15                    | Pa        |
| Leiding wordt niet verzwaaard t.p.v. rollenbaan                                              |                  |                         |           |
| Leiding wordt niet verzwaaard t.p.v. boorgang                                                |                  |                         |           |
| Diameter ruimer ivm boorspoeldruk                                                            | D <sub>g</sub>   | = 535                   | mm        |
| Diameter boorstang                                                                           | D <sub>b</sub>   | = 63                    | mm        |
| Totale lengte                                                                                | L                | = 137,86                | m         |
| Lengte 1e rechte deel                                                                        | L <sub>1</sub>   | = 34,43                 | m         |
| Lengte neergaande bocht                                                                      | L <sub>2</sub>   | = 13,96                 | m         |
| Lengte 2e rechte deel                                                                        | L <sub>3</sub>   | = 43,84                 | m         |
| Lengte opgaande bocht                                                                        | L <sub>4</sub>   | = 13,96                 | m         |
| Lengte 3e rechte deel                                                                        | L <sub>5</sub>   | = 31,67                 | m         |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                   | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Straal neergaande bocht                                                                      | R <sub>1</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Straal opgaande bocht                                                                        | R <sub>2</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                              | α <sub>1</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %     |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                               | α <sub>2</sub>   | = 16,00 / 28,67         | ° / %     |
| Belastinghoek                                                                                | α                | = 30                    | °         |
| Ondersteuningshoek                                                                           | β                | = 30                    | °         |
| Horizontale steundrukhoek                                                                    | γ                | = 120                   | °         |
| Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd                                                         | γ                | = 1,1                   |           |
| Totaalfactor bij boring met bundels                                                          | f                | = 1,8                   |           |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |           |
| Belastingfactor                                                                              | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |           |
| Wrijvingscoëff. met rollenbaan                                                               | f <sub>1</sub>   | = 0,1                   |           |
| Wrijving tussen leiding/boorvloeistof                                                        | f <sub>2</sub>   | = 0,00005               | N/mm²     |
| Wrijving tussen leiding/boorgangwand                                                         | f <sub>3</sub>   | = 0,2                   |           |
|                                                                                              |                  |                         |           |
| 2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'                                                    |                  | 01-03-2018 09:25:03     |           |

**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1       | 10,40                          | 2,90                        | Zand         | 20,00                                             | 35,00                     |
| 2       | 20,75                          | 6,00                        | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| B       | 33,89                          | 10,10                       | Zand         | 19,44                                             | 35,00                     |
| C       | 40,24                          | 12,40                       | Zand         | 19,48                                             | 35,00                     |
| 3       | 47,68                          | 12,80                       | Zand         | 19,34                                             | 35,00                     |
| 4       | 57,69                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 5       | 66,68                          | 13,40                       | Zand         | 19,28                                             | 35,00                     |
| 6       | 71,36                          | 12,10                       | Zand         | 19,45                                             | 35,00                     |
| D       | 92,23                          | 11,40                       | Zand         | 19,60                                             | 35,00                     |
| E       | 106,19                         | 9,00                        | Zand         | 19,78                                             | 35,00                     |
| 7       | 117,06                         | 5,80                        | Zand         | 19,74                                             | 35,00                     |
| 8       | 127,47                         | 2,90                        | Zand         | 19,80                                             | 35,00                     |

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | Hor. steun- druk | Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm <sup>3</sup> ] | Effectieve cohesie [kN/m <sup>2</sup> ] | E-modulus ondergrond [MN/m <sup>2</sup> ] | Verkeersbelasting |
|---------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 2       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| B       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| C       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 3       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 4       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 5       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 6       | Homogeen (zand)             | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| D       | Homogeen (zand)             | ✓                | 0,0270                                                     | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| E       | Homogeen (zand)             | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 7       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |
| 8       | Geen                        | -                | -                                                          | 0,00                                    | 75,00                                     | Grafiek ½ x II    |



\* Niet op schaal

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**2. Eigenschappen van de leiding**

|                                 |                                        |              |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Inwendige middellijn            | $D_i = D_e - 2 \cdot d_n$              | = 51,40      | mm                               |
| Gemiddelde middellijn           | $D_g = (D_e + D_i)/2$                  | = 57,20      | mm                               |
| Uitwendige middellijn+bekleding | $D_o = D_e + 2 \cdot e$                | = 63,00      | mm                               |
| Uitwendige straal               | $r_e = D_e / 2$                        | = 31,50      | mm                               |
| Inwendige straal                | $r_i = D_i / 2$                        | = 25,70      | mm                               |
| Gemiddelde straal               | $r_g = (r_e + r_i) / 2$                | = 28,60      | mm                               |
| Traagheidsmoment buis           | $I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$ | = 430.644,04 | mm <sup>4</sup>                  |
| Weerstandsmoment buis           | $W_b = I_b / r_e$                      | = 13.671,24  | mm <sup>3</sup>                  |
| Wandtraagheidsmoment            | $I_w = d_n^3 / 12$                     | = 16,26      | mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Wandweerstandsmoment            | $W_w = d_n^2 / 6$                      | = 5,61       | mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Oppervlakte leiding             | $A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$    | = 1.042,25   | mm <sup>2</sup>                  |
| Gewicht leiding                 | $g = \rho_L \cdot A$                   | = 0,0100     | N/mm <sup>1</sup>                |

**3. Berekening van het gewicht van de leiding tijdens het intrekken van de leiding**

|                       | <i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i> | <i>Leiding in boorgat</i>         |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Gewicht mediumleiding | $g = 0,0100 \text{ N/mm}^1$           | $g = 0,0100 \text{ N/mm}^1$       |
| Gewicht vulling       | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$           | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$       |
| Totaal gewicht        | $g_{rol} = 0,0100 \text{ N/mm}^1$     | $g_{gat} = 0,0100 \text{ N/mm}^1$ |

**4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]  |
|---------------------------------------------------|--------|------------|
| Starten met trekken                               | 137,86 | <b>247</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 106,19 | <b>190</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 92,23  | <b>165</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 48,39  | <b>87</b>  |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 34,43  | <b>62</b>  |

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,0100 \cdot 0,1$$

**4.2 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_1$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 247       | <b>0,24</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 190       | <b>0,18</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 165       | <b>0,16</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 87        | <b>0,08</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 62        | <b>0,06</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{1.042,25}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

#### 4.3 Berekening van de optredende spanning t.g.v. kromming van de leiding op rollenbaan/maaiveld

$$M_b = f_{k,b} \cdot E \cdot \frac{I_b}{R_r}$$

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{430.644}{50.000} = 9.237,31 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{9.237,31}{13.671} = \mathbf{0,68 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 0,24                            | <b>0,68</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,18                            | <b>0,62</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,16                            | <b>0,60</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,08                            | <b>0,52</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,06                            | <b>0,50</b>                     |

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 0,68 + \sigma_t$$

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**5.1 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_2$  en  $T_{3a}$  in verband met wrijving tussen leiding en boorvloeistof/boorgangwand**

Tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat treedt er wrijving op tussen de leiding en boorvloeistof.

100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt:  $D_{e,omtrek} = 197,92 \text{ mm}^1$ 

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,00995 \text{ N/mm}^1$ 

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 63,00^2 \cdot \pi/4 = 0,0358 \text{ N/mm}^1$ 

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,0259 \text{ N/mm}^1$ 

| Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_2$ [N]    | $T_{3a}$ [N] |
|---------------------------------------------------------------|--------|--------------|--------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 31,67  | <b>859</b>   | -            |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 45,63  | -            | <b>1.238</b> |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 89,47  | <b>2.428</b> | -            |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 103,43 | -            | <b>2.807</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 137,86 | <b>3.741</b> | -            |

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (197,92 \cdot 0,00005 + 0,0259 \cdot 0,2)$ 

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (197,92 \cdot 0,00005 + 0,0259 \cdot 0,2)$ 
**5.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**

| Locatie | $\lambda$ [mm <sup>-1</sup> ] | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{3b}$ [N] |
|---------|-------------------------------|-------|----------------------------|--------------|
| C       | 0,0056                        | 50    | 0,0015                     | <b>38</b>    |
| 3       | 0,0056                        | 50    | 0,0015                     | <b>38</b>    |
| D       | 0,0056                        | 50    | 0,0015                     | <b>38</b>    |

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

$$Q_r = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot 0,9 \cdot R}$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 63 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**5.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht  $T_{3c}$** 

| Trekkraft $T_{\text{bocht}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{bocht}}$ [N] |
|---------------------------------------------------------------|-----------|--------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| Neergaande bocht                                              | 165       | 1.238        | 38                        | -                       | <b>1.442</b>           |
| Opgaande bocht                                                | 62        | 2.807        | 38                        | 38                      | <b>2.945</b>           |

Neergaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}}$ 

Opgaande bocht:  $T_{\text{bocht}} = T_1 + T_{3a, \text{neer}} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}} + T_{3a, \text{op}} + T_{3b, \text{op}, \text{max}}$ 

| Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N] | $\alpha$ [°] | $T_{\text{bocht}}$ [N] | $T_{3c}$ [N] |
|-----------------------------------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Neergaande bocht                                    | 8,00         | 1.442                  | <b>144</b>   |
| Opgaande bocht                                      | 8,00         | 2.945                  | <b>295</b>   |

$$T_{3c} = f \cdot L_B \cdot g_t \cdot f_3$$

$$L_B = 2 \cdot R \cdot 2\pi \cdot \frac{\alpha}{360}$$

$$g_t = \frac{2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha)}{L_B}$$

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,8 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

**5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II**

| Trekkraft $T_{\text{tot}}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_2 / T_{3a}$ [N] | $T_{3b, \text{neer}}$ [N] | $T_{3c, \text{neer}}$ [N] | $T_{3b, \text{op}}$ [N] | $T_{3c, \text{op}}$ [N] | $T_{\text{tot}}$ [N] |
|-------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 190       | 859                | -                         | -                         | -                       | -                       | <b>1.050</b>         |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 165       | 1.238              | 38                        | 144                       | -                       | -                       | <b>1.586</b>         |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 87        | 2.428              | 38                        | 144                       | -                       | -                       | <b>2.697</b>         |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 62        | 2.807              | 38                        | 144                       | 38                      | 295                     | <b>3.384</b>         |
| Geheel intrekken                                            | 0         | 3.741              | 38                        | 144                       | 38                      | 295                     | <b>4.257</b>         |

$$T_{\text{tot}} = T_1 + T_2 + T_{3a} + T_{3b, \text{neer}, \text{max}} + T_{3c, \text{neer}} + T_{3b, \text{op}, \text{max}} + T_{3c, \text{op}}$$

**5.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II**

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{\text{tot}}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 1.050                | <b>1,01</b>                     |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 1.586                | <b>1,52</b>                     |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 2.697                | <b>2,59</b>                     |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 3.384                | <b>3,25</b>                     |
| Geheel intrekken                                                        | 4.257                | <b>4,08</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{1.042,25}$$

### 5.7 Optredende spanningen t.g.v. kromming van de leiding in het boorgat

#### 5.7.1 Neergaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{430.644,04}{0,9 \cdot 50.000} = 13.062,87 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{13.062,87}{13.671,24} = \mathbf{0,96 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.7.2 Opgaande bocht

$$M_b = f_{k,o} \cdot E \cdot \frac{I_b}{0,9 \cdot R}$$

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{430.644,04}{0,9 \cdot 50.000} = 13.062,87 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{13.062,87}{13.671,24} = \mathbf{0,96 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

| Spanningen $\sigma_a$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{tot}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_a$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Starten met trekken                                                     | 1.050         | 1,01                            | -                               | <b>1,01</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.586         | 1,52                            | 0,96                            | <b>2,14</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 2.697         | 2,59                            | -                               | <b>2,59</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 3.384         | 3,25                            | 0,96                            | <b>3,87</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 4.257         | 4,08                            | -                               | <b>4,08</b>                     |

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{1.042,25} = \sigma_t$$

$$\text{Gebogen delen: } \sigma_a = \alpha_\sigma \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot \sigma_b + \sigma_t$$

$$\text{Toelaatbare spanning: } \sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00 \text{ N/mm}^2}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**6.1 Berekening van de spanningen  $\sigma_p$  en  $\sigma_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

Leiding is drukloos:

$$\sigma_p = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

**6.2 Berekening reroundingfactor  $f_{rr}$** 

Leiding is drukloos:

$$f_{rr} = 1,00$$

**6.3 Berekening van de neutrale grondbelasting  $Q_n$** 

| Locatie | h [m] | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ] |
|---------|-------|--------------------------------|
| 1       | 2,90  | 22,00                          |
| 2       | 6,00  | 21,21                          |
| B       | 10,10 | 21,38                          |
| C       | 12,40 | 21,43                          |
| 3       | 12,80 | 21,27                          |
| 4       | 13,40 | 21,21                          |
| 5       | 13,40 | 21,21                          |
| 6       | 12,10 | 21,40                          |
| D       | 11,40 | 21,56                          |
| E       | 9,00  | 21,76                          |
| 7       | 5,80  | 21,71                          |
| 8       | 2,90  | 21,78                          |

$$\gamma' = \frac{\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w}{h}$$

| Locatie | Gereduceerde grondbelasting | $8 \cdot B_1$ [m] | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1       | Geen                        | -                 | 4,02                       | -                              |
| 2       | Geen                        | -                 | 8,02                       | -                              |
| B       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 13,61                      | 1,21 <sup>(1)</sup>            |
| C       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 16,74                      | 1,21 <sup>(1)</sup>            |
| 3       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 17,16                      | 1,20 <sup>(1)</sup>            |
| 4       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 17,90                      | 1,20 <sup>(1)</sup>            |
| 5       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 17,90                      | 1,20 <sup>(1)</sup>            |
| 6       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 16,31                      | 1,21 <sup>(1)</sup>            |
| D       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 15,48                      | 1,22 <sup>(1)</sup>            |
| E       | Homogeen (zand)             | 2,14              | 12,34                      | 1,23 <sup>(1)</sup>            |
| 7       | Geen                        | -                 | 7,93                       | -                              |
| 8       | Geen                        | -                 | 3,98                       | -                              |

$$B_1 = \frac{1}{2} \cdot D_0 + D_0 \cdot \tan(45^\circ - \frac{1}{2} \cdot \varphi) \geq R$$

$$K = 1 - \sin(\varphi)$$

$$Q_n = (\gamma \cdot \gamma_d \cdot H_d + \gamma \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0 = (1,1 \cdot \gamma_d \cdot H_d + 1,1 \cdot \gamma_n \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w) \cdot D_0$$

Indien gereduceerde grondbelasting volgens berekeningswijze 'Homogeen (zand)': ( $h \geq 8 \cdot B_1$ ):

$$Q_{n,r1} = \frac{B_1 \cdot (\gamma' - c/B_1)}{K \cdot \tan(\varphi)} \cdot (1 - e^{-\frac{K \cdot h \cdot \tan \varphi}{B_1}}) \cdot D_0 \quad (1)$$

2018-001 Enexis HDD's 'Eiland van Bergen'

01-03-2018 09:25:03

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.4 Berekening van de verkeersbelasting  $Q_v$** 

| Locatie | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | Verkeers- belasting | $q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1       | 2,90                        | Grafiek ½ x II      | 3,97                       | 0,25                       |
| 2       | 6,00                        | Grafiek ½ x II      | 1,61                       | 0,10                       |
| B       | 10,10                       | Grafiek ½ x II      | 0,83                       | 0,05                       |
| C       | 12,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,62                       | 0,04                       |
| 3       | 12,80                       | Grafiek ½ x II      | 0,59                       | 0,04                       |
| 4       | 13,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,55                       | 0,03                       |
| 5       | 13,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,55                       | 0,03                       |
| 6       | 12,10                       | Grafiek ½ x II      | 0,64                       | 0,04                       |
| D       | 11,40                       | Grafiek ½ x II      | 0,70                       | 0,04                       |
| E       | 9,00                        | Grafiek ½ x II      | 0,96                       | 0,06                       |
| 7       | 5,80                        | Grafiek ½ x II      | 1,68                       | 0,11                       |
| 8       | 2,90                        | Grafiek ½ x II      | 3,97                       | 0,25                       |

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 63$$

**6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen**

| Locatie | Hor. steun- druk | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{\text{boven}}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $M_q$ [Nmm]          | $\sigma_q$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|---------|------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1       | -                | 4,02                       | -                              | 0,25                       | 4,27                                    | 31,38 <sup>(1)</sup> | <b>5,60</b>                     |
| 2       | -                | 8,02                       | -                              | 0,10                       | 8,12                                    | 59,67 <sup>(1)</sup> | <b>10,64</b>                    |
| B       | ✓                | 13,61                      | 1,21                           | 0,05                       | 1,26                                    | 8,05 <sup>(4)</sup>  | <b>1,43</b>                     |
| C       | ✓                | 16,74                      | 1,21                           | 0,04                       | 1,25                                    | 7,98 <sup>(4)</sup>  | <b>1,42</b>                     |
| 3       | ✓                | 17,16                      | 1,20                           | 0,04                       | 1,24                                    | 7,91 <sup>(4)</sup>  | <b>1,41</b>                     |
| 4       | ✓                | 17,90                      | 1,20                           | 0,03                       | 1,23                                    | 7,87 <sup>(4)</sup>  | <b>1,40</b>                     |
| 5       | ✓                | 17,90                      | 1,20                           | 0,03                       | 1,23                                    | 7,87 <sup>(4)</sup>  | <b>1,40</b>                     |
| 6       | ✓                | 16,31                      | 1,21                           | 0,04                       | 1,25                                    | 7,97 <sup>(4)</sup>  | <b>1,42</b>                     |
| D       | ✓                | 15,48                      | 1,22                           | 0,04                       | 1,26                                    | 8,06 <sup>(4)</sup>  | <b>1,44</b>                     |
| E       | -                | 12,34                      | 1,23                           | 0,06                       | 1,29                                    | 9,47 <sup>(2)</sup>  | <b>1,69</b>                     |
| 7       | -                | 7,93                       | -                              | 0,11                       | 8,04                                    | 59,10 <sup>(1)</sup> | <b>10,54</b>                    |
| 8       | -                | 3,98                       | -                              | 0,25                       | 4,23                                    | 31,08 <sup>(1)</sup> | <b>5,54</b>                     |

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 28,60 \quad (1)$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 28,60 \quad (2)$$

$$\text{Indien horizontale steundruk: } M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g \quad (3)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 28,60 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 28,60$$

$$M_q = K_b \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g - K_b \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot \gamma) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot r_g \quad (4)$$

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 28,60 - 0,143 \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) \cdot 28,60$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{5,61}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**6.6 Optredende spanning  $\sigma_{qr}$  tgv. grondreactie in de bochten**

| Locatie | R [m] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|----------------------------|------------------------------------|
| C       | 50    | 0,0015                     | 0,096                              |
| 3       | 50    | 0,0015                     | 0,096                              |
| D       | 50    | 0,0015                     | 0,096                              |

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,179 \cdot Q_r \cdot 63 \cdot \frac{31,50}{5,61}$$

**6.7 Berekening van de spanning  $\sigma_{ax}$  t.g.v. temperatuurverschil**

Leiding is drukloos

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

**7. Toetsing op minimale ringstijfheid  $S_N$** 

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{16,26}{57,2^3} = 0,0847 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{84,71 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m<sup>2</sup>**
**8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk**

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor langdurige onderdruk:  $\gamma = 3$ 

Veiligheidsfactor  $\gamma$  voor kortdurende onderdruk:  $\gamma = 1,5$ 

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 1,61 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 16,26}{57,20^3} = 0,29 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **28,96 m** grondwater boven de leiding

**9. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**
**9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding**

| Locatie | $\sigma_q$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{qr}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_{y2}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1       | 5,60                            | -                                  | 0,65                | <b>3,64</b>                        |
| 2       | 10,64                           | -                                  | 0,65                | <b>6,92</b>                        |
| B       | 1,43                            | -                                  | 0,65                | <b>0,93</b>                        |
| C       | 1,42                            | 0,096                              | 0,65                | <b>0,99</b>                        |
| 3       | 1,41                            | 0,096                              | 0,65                | <b>0,98</b>                        |
| 4       | 1,40                            | -                                  | 0,65                | <b>0,91</b>                        |
| 5       | 1,40                            | -                                  | 0,65                | <b>0,91</b>                        |
| 6       | 1,42                            | -                                  | 0,65                | <b>0,92</b>                        |
| D       | 1,44                            | 0,096                              | 0,65                | <b>1,00</b>                        |
| E       | 1,69                            | -                                  | 0,65                | <b>1,10</b>                        |
| 7       | 10,54                           | -                                  | 0,65                | <b>6,85</b>                        |
| 8       | 5,54                            | -                                  | 0,65                | <b>3,60</b>                        |

Rechte delen:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_q$ 

Bochten:  $\sigma_{y2} = \alpha_\sigma \cdot (\sigma_q + \sigma_{qr})$ 

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>
**9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding**

| Locatie | $\sigma_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_{ax}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\sigma_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\alpha_\sigma$ [-] | $\sigma_x$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 2       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| B       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| C       | 0,00                               | 0,00                               | 0,96                            | 0,65                | <b>0,62</b>                     |
| 3       | 0,00                               | 0,00                               | 0,96                            | 0,65                | <b>0,62</b>                     |
| 4       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 5       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 6       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| D       | 0,00                               | 0,00                               | 0,96                            | 0,65                | <b>0,62</b>                     |
| E       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 7       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| 8       | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |

Rechte delen:  $\sigma_x = \sigma_{ax}$ 

Bochten:  $\sigma_x = \sigma_{ax} + \alpha_\sigma \cdot \sigma_b$ 

Toelaatbare spanning:  $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>

**10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

| Locatie | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{n,r}$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm]           | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|---------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1       | 4,02                       | -                              | 0,25                       | -                          | <b>0,94<sup>(1)</sup></b> | 1,64               |
| 2       | 8,02                       | -                              | 0,10                       | -                          | <b>1,79<sup>(1)</sup></b> | 3,13               |
| B       | 13,61                      | 1,21                           | 0,05                       | -                          | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| C       | 16,74                      | 1,21                           | 0,04                       | 0,0015                     | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,48               |
| 3       | 17,16                      | 1,20                           | 0,04                       | 0,0015                     | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,48               |
| 4       | 17,90                      | 1,20                           | 0,03                       | -                          | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,47               |
| 5       | 17,90                      | 1,20                           | 0,03                       | -                          | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,47               |
| 6       | 16,31                      | 1,21                           | 0,04                       | -                          | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,48               |
| D       | 15,48                      | 1,22                           | 0,04                       | 0,0015                     | <b>0,34<sup>(2)</sup></b> | 0,49               |
| E       | 12,34                      | 1,23                           | 0,06                       | -                          | <b>0,35<sup>(2)</sup></b> | 0,50               |
| 7       | 7,93                       | -                              | 0,11                       | -                          | <b>1,77<sup>(1)</sup></b> | 3,10               |
| 8       | 3,98                       | -                              | 0,25                       | -                          | <b>0,93<sup>(1)</sup></b> | 1,63               |

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,h} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (1)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 28,60^3}{350 \cdot 16,26}$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot Q - 0,083 \cdot Q_{n,r} + 0,048 \cdot Q_r) \cdot r_g^3}{E' \cdot I_w} \quad (2)$$

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_{n,r} + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi)/(1 + \sin \varphi) \cdot (Q_{n,r} + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 28,60^3}{350 \cdot 16,26}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 57,20 = \mathbf{4,58 \text{ mm}}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.0 ©

**11. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase**

| Locatie | H [m] | $\sigma_{\text{vert}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_{\text{hor}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $\sigma_o'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $p_f'$ [kN/m <sup>2</sup> ] | G [MN/m <sup>2</sup> ] |
|---------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1       | 2,90  | 52,73                                       | 22,48                                      | 37,61                            | 59,18                       | 28,85                  |
| 2       | 6,00  | 105,16                                      | 44,84                                      | 75,00                            | 118,02                      | 28,85                  |
| B       | 10,10 | 178,49                                      | 76,11                                      | 127,30                           | 200,32                      | 28,85                  |
| C       | 12,40 | 219,59                                      | 93,64                                      | 156,62                           | 246,45                      | 28,85                  |
| 3       | 12,80 | 225,05                                      | 95,97                                      | 160,51                           | 252,57                      | 28,85                  |
| 4       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 5       | 13,40 | 234,87                                      | 100,15                                     | 167,51                           | 263,59                      | 28,85                  |
| 6       | 12,10 | 213,95                                      | 91,23                                      | 152,59                           | 240,11                      | 28,85                  |
| D       | 11,40 | 203,13                                      | 86,62                                      | 144,87                           | 227,97                      | 28,85                  |
| E       | 9,00  | 161,84                                      | 69,01                                      | 115,42                           | 181,63                      | 28,85                  |
| 7       | 5,80  | 104,08                                      | 44,38                                      | 74,23                            | 116,81                      | 28,85                  |
| 8       | 2,90  | 52,20                                       | 22,26                                      | 37,23                            | 58,58                       | 28,85                  |

$$\sigma_{\text{vert}} = \frac{\gamma_d}{\gamma} \cdot H_d + \frac{\gamma_n}{\gamma} \cdot H_n - \gamma_w \cdot H_w$$

$$\sigma_{\text{hor}} = \sigma_{\text{vert}} \cdot (1 - \sin(\varphi))$$

$$\sigma_o' = \frac{\sigma_{\text{vert}} + \sigma_{\text{hor}}}{2}$$

$$p_f' = \sigma_o' \cdot (1 + \sin(\varphi)) + c \cdot \cos(\varphi)$$

$$G = \frac{E_{100}}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

| Locatie | Q [-]   | $R_{p,\text{max}}$ [m] | u [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{st}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\Delta p$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $p_{\text{lim}}$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|---------|---------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1       | 0,00075 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 0,82                                  |
| 2       | 0,0015  | 2,19                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,27                                  |
| B       | 0,0025  | 1,68                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,00                            | 1,77                                  |
| C       | 0,0031  | 1,52                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,02                                  |
| 3       | 0,0032  | 1,50                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,05                                  |
| 4       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 5       | 0,0033  | 1,47                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 2,11                                  |
| 6       | 0,0030  | 1,54                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,99                                  |
| D       | 0,0029  | 1,58                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,92                                  |
| E       | 0,0023  | 1,77                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,66                                  |
| 7       | 0,0015  | 2,20                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,01                            | 1,26                                  |
| 8       | 0,00074 | 1,45                   | 0,0000                 | 0,0000                               | 0,02                            | 0,81                                  |

$$Q = \frac{\sigma_o' \cdot \sin(\varphi) + c \cdot \cos(\varphi)}{G}$$

$$R_{p,\text{max}} = \frac{H}{2}, R_{p,\text{max,zand}} = \sqrt{\frac{R_o^2}{Q} \cdot 2 \cdot \epsilon_{g,\text{max}}} \text{ of } \frac{H}{2}$$

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

$$p_{\text{st}} = \rho_m \cdot g \cdot h_z$$

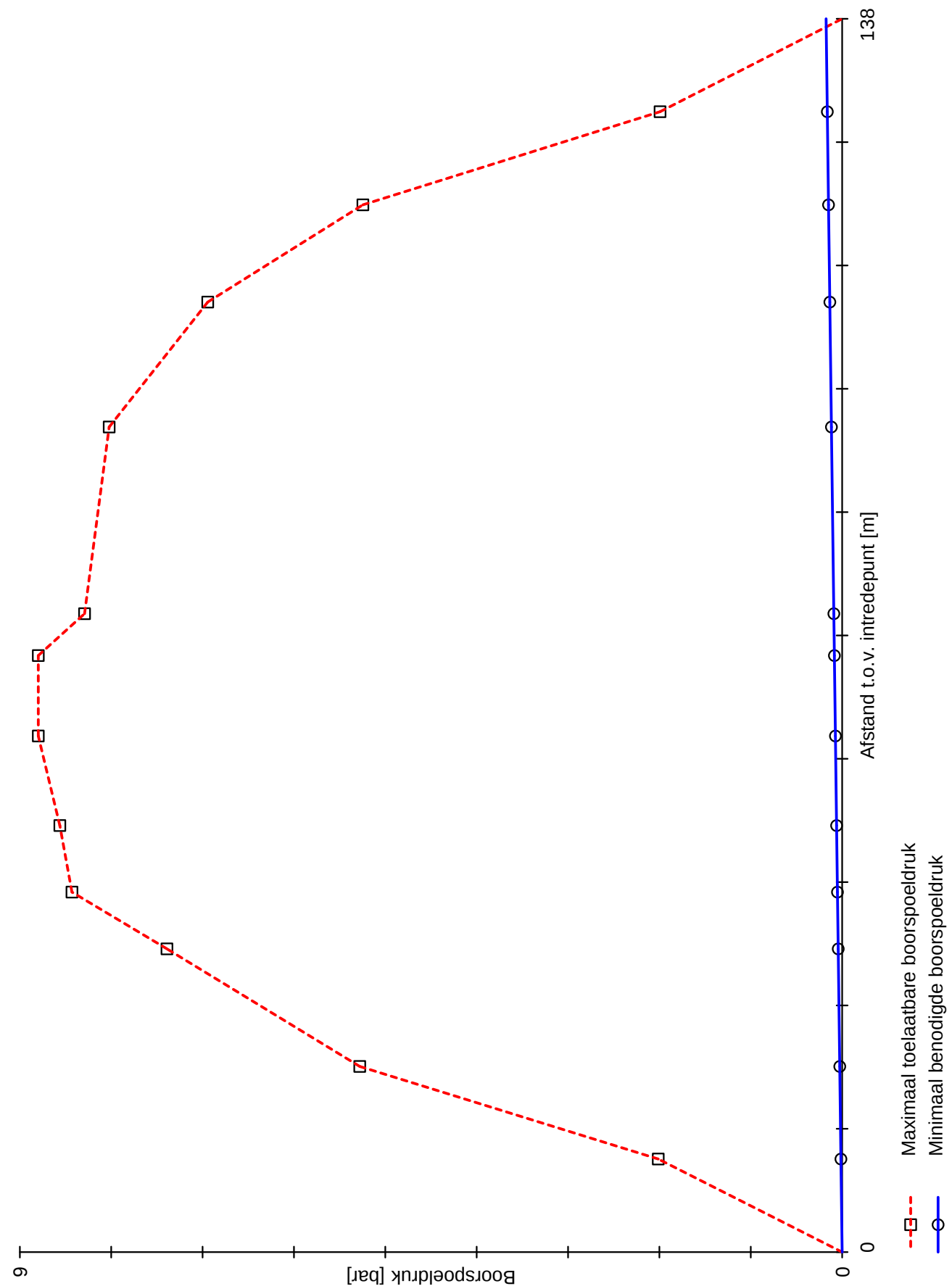
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

$$p_{\text{lim}} = (p_f' + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot Q^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

| Locatie | $p_{\max}$ [kPa] | 90% $p_{lim}$ [kPa] | $p_{min}$ [kPa] | $p_{\max}$ [bar] | 90% $p_{lim}$ [bar] | $p_{min}$ [bar] |
|---------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 1       | <b>201,29</b>    | 734,37              | <b>1,32</b>     | <b>2,01</b>      | 7,34                | <b>0,01</b>     |
| 2       | <b>527,98</b>    | 1.138,82            | <b>2,64</b>     | <b>5,28</b>      | 11,39               | <b>0,03</b>     |
| B       | <b>738,98</b>    | 1.593,92            | <b>4,31</b>     | <b>7,39</b>      | 15,94               | <b>0,04</b>     |
| C       | <b>842,99</b>    | 1.818,26            | <b>5,12</b>     | <b>8,43</b>      | 18,18               | <b>0,05</b>     |
| 3       | <b>856,24</b>    | 1.846,84            | <b>6,06</b>     | <b>8,56</b>      | 18,47               | <b>0,06</b>     |
| 4       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>7,33</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,07</b>     |
| 5       | <b>879,79</b>    | 1.897,64            | <b>8,48</b>     | <b>8,80</b>      | 18,98               | <b>0,08</b>     |
| 6       | <b>829,16</b>    | 1.788,43            | <b>9,07</b>     | <b>8,29</b>      | 17,88               | <b>0,09</b>     |
| D       | <b>802,25</b>    | 1.730,40            | <b>11,72</b>    | <b>8,02</b>      | 17,30               | <b>0,12</b>     |
| E       | <b>694,37</b>    | 1.497,71            | <b>13,50</b>    | <b>6,94</b>      | 14,98               | <b>0,13</b>     |
| 7       | <b>524,53</b>    | 1.131,38            | <b>14,88</b>    | <b>5,25</b>      | 11,31               | <b>0,15</b>     |
| 8       | <b>199,29</b>    | 729,70              | <b>16,20</b>    | <b>1,99</b>      | 7,30                | <b>0,16</b>     |

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left( \frac{R_o^2}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

$$p_{\min} = p_{st} + \Delta p$$



## **Bijlage 6: Voorbeeld type boorrig**

## Vermeer D60x90



|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| <b>Merk</b>             | <b>Vermeer</b>           |
| <b>Type</b>             | <b>D60x90</b>            |
| Lengte                  | 780 cm                   |
| Breedte                 | 220 cm                   |
| Hoogte                  | 200 cm                   |
| Gewicht                 | 9910 kg                  |
| Trekkkracht             | 27000 kg                 |
| Maximaal draaimoment    | 12000 Nm                 |
| Snelheid boormotor      | 190 RPM                  |
| Hogedruk bentoniet pomp | 570 / 265 ltr per minuut |
| Boorstang               | Firestick                |
| Lengte boorstang        | 4,6 / 3,0 meter          |
| Type motor              | John Deere 6068I Tier 4  |
| Vermogen motor          | 185 pk                   |

**Bijlage 7: V&G-gevaren voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie**

**V&G-gevaren voortvloeiend uit het ontwerp**

Veiligheids- en gezondheidsgevaaren voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie

| Omgevingsfactor                                                            | Activiteit                                                 | Arbo-Risico                                                                       | Risico-oorzaak                                                          | Suggesties                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verkeerswegen                                                              | Alle                                                       | Lichamelijk letsel door aanrijding of botsing                                     | Aanrijding, aanwezigheid van obstakels                                  | Weg afsluiten voor doorgaand verkeer. Omleidingroutes en waarschuwingtekens aanbrengen voor verkeer. Lokaal gebonden verkeersmaatregelen treffen. Veiligheidsvesten.                                                                                               |
| Omwonenden, bezoekers, passanten en onbevoegden (inclusief (brom)fietzers) | Alle                                                       | Lichamelijk letsel door aanrijding, val, botsing, obstakels o.i.d.                | Aanrijding, bouwverkeer, obstakels, sleuven, gaten, vallende voorwerpen | Alternatieve wandel- en fietsroutes. Afzetten of beschermen werklocaties / -stroken. Beveiliging inzetten. Verkeersmaatregelen treffen. (Brom)fietzers af laten stappen.                                                                                           |
| Kabels en leidingen van derden                                             | Werkzaamheden nabij bestaande kabels en leidingen          | Verstikking/ bedwelming, verdrinking, letsel door explosie, brand en elektrocutie | Beschadiging en/of breken van bestaande kabels en leidingen             | Vrij laten schakelen kabels. Drukloos maken leidingen. Bestaande kabels en leidingen uit laten zetten. Proefsleuven maken. Kick-off meeting met betrokken kabel- en leidingeigenaren. Houden aan regels en voorschriften van betrokken kabel- en leidingeigenaren. |
| Sleuven / gaten                                                            | Graven en aanvullen sleuven en gaten<br>Werken in de sleuf | Bedelving / verstikking                                                           | Inzakken sleuf of gat na graven                                         | Opvolgen voorschriften van ISZW en "veilig werken in en om putten en sleuven" uitgegeven door de Veiligheids Informatiegroep "Bouw".                                                                                                                               |
| Bodemverontreinigingen                                                     | Graafwerkzaamheden en bemalingen                           | Vergiftiging / bedwelming                                                         | Blootstelling aan toxische stoffen                                      | Stoppen werkzaamheden. Saneren. Ander tracé. Zuiveren bemalingswater. PBM's beschikbaar stellen.                                                                                                                                                                   |
| Werken in de nabijheid van olieopslagtanks                                 | Hot-work                                                   | Lichamelijk letsel door brand of explosie                                         | Hot-work                                                                | Vergunning van het betreffende bedrijf. V&G overleg.                                                                                                                                                                                                               |
| Kruisen watergang                                                          | Werkzaamheden nabij water                                  | Verdrinking                                                                       | Opkomend water, kwelwater, doorbreken dam / waterkering                 | Aanvullende maatregelen beheerder (HHRs / WS) opvolgen. Weersverwachting. Pompen water. Zo nodig PBM's.                                                                                                                                                            |
| Grondwaterbeschermings-gebied                                              | Werken met verontreinigende stoffen                        | Vergiftiging drinkwatervoorziening                                                | Morsen                                                                  | Volgen provinciale milieuverordening.                                                                                                                                                                                                                              |
| Overige                                                                    |                                                            |                                                                                   |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Risico's en beheersmaatregelen door aannemer in te vullen**

Veiligheids- en gezondheidsgevaar voortvloeiend uit het ontwerp

| Bouwfase  | Activiteit                                 | Arbo-Risico                      | Risico-oorzaak                                                                                | Suggesties                                                                                                                                                         |
|-----------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grondwerk | Graven en aanvullen sleuven en gaten       | Bedelving                        | Inzakken sleuf of gat na graven                                                               | Opvolgen "Veilig werken in en om putten en sleuven" uitgegeven door veiligheids Informatiegroep "Bouw". Werkinstructie Ladders. Persoonlijke beschermingsmiddelen. |
| Boorwerk  | HDD boorwerkzaamheden                      | Lichamelijk letsel, elektrocutie | Draaiende delen Beschadiging kabels en leidingen machines en apparatuur Bezwijken boorstangen | Keuring materieel en apparatuur. Voorlichting en instructie V&G. Persoonlijke beschermingsmiddelen. Gekwalificeerd personeel.                                      |
| Hijswerk  | Werken met kranen en andere hijswerktuigen | Vallende voorwerpen              | Geraakt worden door vallende voorwerpen                                                       | Opvolgen voorschriften in publicatie AI 17. Dragen van veiligheidshelm en veiligheidsschoenen.                                                                     |
| Overig    |                                            |                                  |                                                                                               |                                                                                                                                                                    |

Risico's en beheersmaatregelen door aannemer in te vullen

## **Bijlage 8: Drill-Sheet**

## Drill-Sheet

| Rig nummer | Fase | Project nr. |
|------------|------|-------------|
|------------|------|-------------|

|       |            |                |
|-------|------------|----------------|
| Datum | O.D. Pilot | Projectlocatie |
|-------|------------|----------------|

|      |             |              |
|------|-------------|--------------|
| Blad | O.D. Ruimer | Mudpomp type |
|------|-------------|--------------|

[illegible]