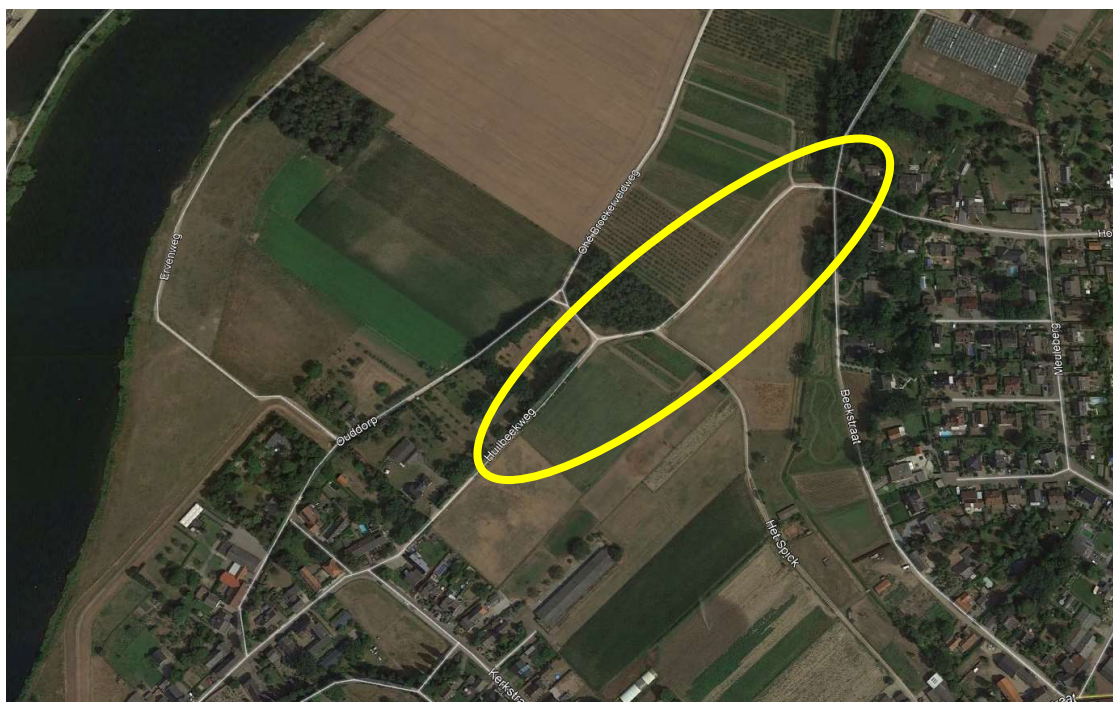


# Aanpassing kabels en leidingen

## Boorplan HDD Huilbeekweg te Beesel Ontwerpfase



**Opgesteld door:** VHW Engineering BV  
Victorialaan 15  
5213 JG 's-Hertogenbosch

|                       |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| <b>Datum</b>          | 09-10-2020                            |
| <b>Opdrachtgever</b>  | Enexis Netbeheer<br>De heer J. Beeren |
| <b>Projectnummer</b>  | 2020-003-001                          |
| <b>Documentnummer</b> | 2020-003-001-RAP-HDD-02               |
| <b>Status</b>         | Definitief                            |
| <b>Versie</b>         | 1.0                                   |
| <b>Auteur</b>         | M. Tubee                              |
| <b>Verificatie</b>    | J.P.M.M. van Helvoirt                 |
| <b>Autorisatie</b>    | H.J.D. van Wijlen                     |

## Inhoudsopgave

|                    |                                                                               |           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>          | <b>INLEIDING .....</b>                                                        | <b>3</b>  |
| <b>2.</b>          | <b>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.</b>          | <b>BOORTECHNISCHE WIJZE VAN UITVOEREN.....</b>                                | <b>9</b>  |
| 3.1                | Werkwijze van uitvoeren .....                                                 | 9         |
| 3.2                | Kwaliteitsregistratie van de boring .....                                     | 10        |
| <b>4.</b>          | <b>CONCLUSIE OP BEREKENINGEN .....</b>                                        | <b>11</b> |
| 4.1                | Samenvatting sterkte- en muddrukberekeningen .....                            | 11        |
| <b>BIJLAGE 1A:</b> | <b>BOORTEKENING ENEXIS .....</b>                                              | <b>12</b> |
| <b>BIJLAGE 1B:</b> | <b>BOORTEKENING GEMEENTE BEESEL.....</b>                                      | <b>13</b> |
| <b>BIJLAGE 2:</b>  | <b>LUCHTFOTO'S.....</b>                                                       | <b>14</b> |
| <b>BIJLAGE 3:</b>  | <b>GRONDMECHANISCH ONDERZOEK.....</b>                                         | <b>15</b> |
| <b>BIJLAGE 4:</b>  | <b>ORIËNTATIEMELDING WION .....</b>                                           | <b>16</b> |
| <b>BIJLAGE 5:</b>  | <b>VOORBEELD TYPE BOORRIG .....</b>                                           | <b>17</b> |
| <b>BIJLAGE 6:</b>  | <b>DRILL-SHEET .....</b>                                                      | <b>18</b> |
| <b>BIJLAGE 7A:</b> | <b>V&amp;G-GEVAREN VOORTVLOEIEND UIT DE OMGEVING VAN DE BOUWLOCATIE .....</b> | <b>19</b> |
| <b>BIJLAGE 7B:</b> | <b>V&amp;G-GEVAREN VOORTVLOEIEND UIT HET ONTWERP .....</b>                    | <b>20</b> |
| <b>BIJLAGE 8:</b>  | <b>STERKTE- EN MUDDRUKBEREKENINGEN .....</b>                                  | <b>21</b> |

## 1. Inleiding

In verband met een toekomstige dijkversterking in Beesel dienen diverse kabels en leidingen aangepast te worden. Daar waar conventionele aanlegmethoden niet mogelijk zijn door omgevingsfactoren kan ervoor gekozen worden de leiding aan te leggen door middel van een gestuurde boring (HDD).

Dit boorplan omschrijft een gestuurde boring onder de huidige en toekomstige primaire waterkering. De huidige en toekomstige zoneringen zijn weergegeven op de boortekening.

Het boorplan is gebaseerd op de volgende informatie:

- Concept boorontwerp Siers: S19586-HDD-1, versie C, d.d. 15-05-2020
- CB.25.004 Rapportage verdiepend geotechnisch onderzoek Beesel
- Boortekening 2020-003-001-TEK-HDD2a-v01, d.d. 08-10-2020;
- Boortekening 2020-003-001-TEK-HDD2b-v01, d.d. 08-10-2020;
- Oriëntatie graafmelding WION met nummer 200066582\_1, 22-07-2020;
- Voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende normeringen en richtlijnen:
  - NEN 3650-1 2020 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1 Algemene eisen
  - NEN-3650-3 2020 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3 Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof
  - NEN3651\_2020\_Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
  - NEN 6740; Geotechniek: Basiseisen en belastingen

## 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:

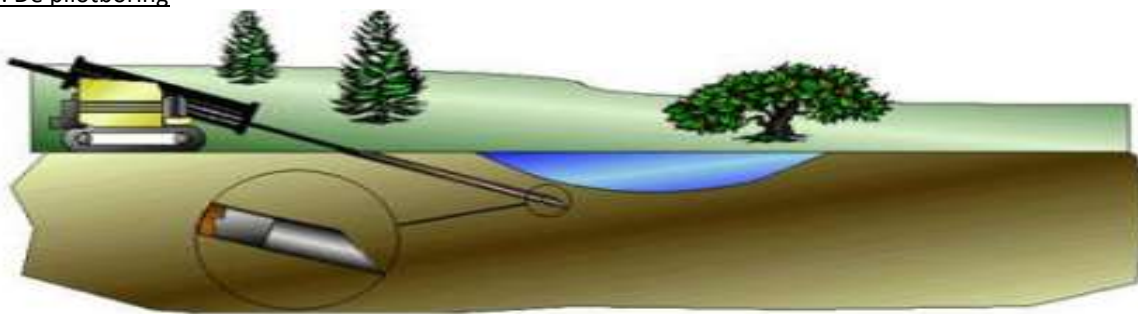
- Medium voor lossputten van grond via nozzles in de boorkop of ruimer;
- Afvoeren / transporteren losgespoten grond;
- In stand houden boorgat;
- Afpleisteren van de tunnelwand (filtercake);
- Smering van de boorstreng en de in te trekken mantelbuizen;
- Koeling van de boorkop / boorbit en aandrijven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



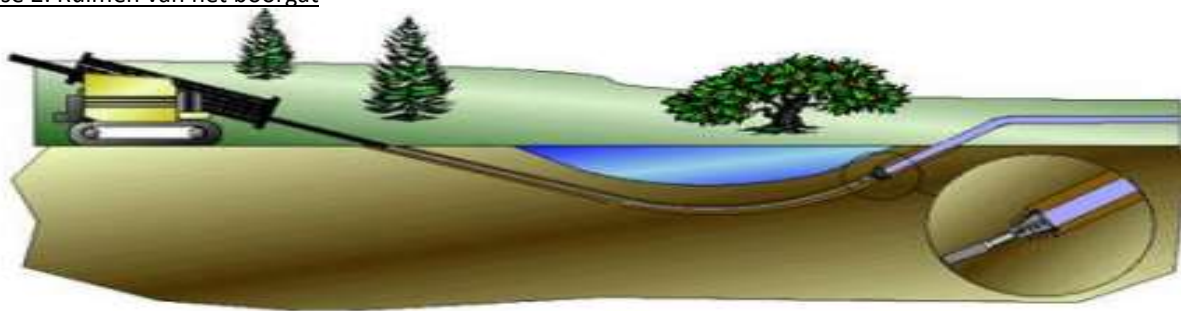
Aan de voorkant van de boorstreng is een boorkop aangebracht. De boorspoeling wordt via de boorstreng naar de boorkop gepompt en wordt samen met de losgewoelde grond langs de buitenzijde van de boorstreng door de boortunnel afgevoerd. Over het eerste gedeelte van de boorstreng kan eventueel een casing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

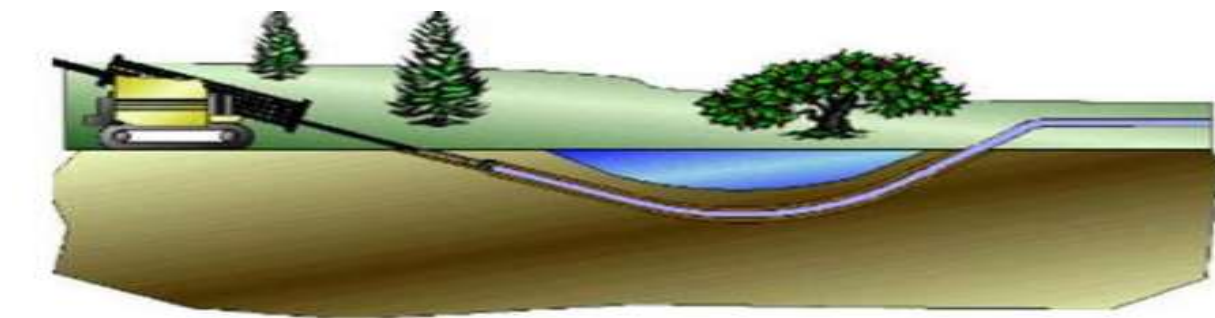
De driedimensionale plaatsbepaling van de boring wordt tijdens deze eerste fase verkregen door de geregistreerde coördinaten tijdens de pilotboring. De locatie van de boring, de eisen van de opdrachtgever, de eisen en wensen van de vergunningverlener, het te kruisen obstakel, storende externe invloeden 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 boortekeningen 2020-003-001-TEK-HDD2a-v01 en 2020-003-001-TEK-HDD2b-v01 d.d. 08-10-2020, 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. Uit het aangeleverde geotechnisch (zie bijlage 3) onderzoek blijkt dat er grindige grond en grindlagen aanwezig zijn. Geadviseerd wordt om extra grondonderzoek uit te laten voeren om de lokale bodemopbouw nauwkeuriger in kaart te brengen. Het boorontwerp en/of de uitvoeringsmethode dient hier mogelijk op aangepast te worden.

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 het opstellen van het boorontwerp is een oriëntatiemelding gedaan (zie bijlage 4). 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 5 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.

De aannemer die de boringen uit zal voeren dient gebruik te maken van een Gyroscope. De aannemer dient tevens de boring na te meten met een gyroscope of vergelijkbaar meetsysteem. De aangebrachte drinkwaterleiding mag hier niet voor gebruikt worden.

- Gyro steeringtool

De gyroscoop is een computergestuurde meettechniek waarmee lange, diepe en zéér nauwkeurige boringen uitgevoerd kunnen worden. De meting met behulp van een gyroscoop werkt met een data-uitwisseling via een PC. De gyroscoop is een zéér accuraat optisch meetsysteem dat volledig storingsvrij werkt en volgt perfect een vooropgesteld traject (ACAD).

## 2.9 Kwaliteit en keuring bouwmaterialen

### Buizen

De in te trekken (mantel)buizen HDPE ø110 PE100-RCM SDR11, HDPE ø110 PE100 SDR11, HDPE ø225 PE100 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.

## 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 boorequipement;
- 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.
- Indien noodzakelijk aanbrengen trekkoord;
- Demobilisatie boorequipement 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 6);
- Mixen van de boorspoeling met water van voldoende kwaliteit;
- Opvang uitkomende boorspoeling bij intrede- en uittredepunt in de in- en uittredeputten, eventueel kunnen vloeiëtdichte bakken geplaatst worden voor opvang en / of buffering van de boorspoeling. De aannemer die de werkzaamheden uit zal voeren dient dit aan te geven in zijn werkplan / plan van aanpak;
- Leegzuigen van de boorgaten en / of vloeiëtdichte bakken met vloeiëtdichte 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 gezondheidsgevaaren voortvloeiend uit de omgeving van de bouwlocatie en de veiligheids- en gezondheidsgevaaren 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 uit zal voeren 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 boorvloeiëtdof aan de pomp (bar);
- debiet vloeiëtdof (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 6. De meetgegevens van de survey (overzicht van meetinformatie) worden samen met de veldmetingen verwerkt tot de vereiste revisie gegevens.

Na voltooiing van de boring dient een van de aangebrachte buizen gyroscopisch (of vergelijkbaar) nagemeten te worden.

## 4. Conclusie op berekeningen

De bijgevoegde sterkte- en muddrukberkeningen zijn uitgevoerd op basis van de NEN3650 en de NEN3651 m.b.v. programmatuur Sigma versie 2020 – 1.0. De resultaten van de berekeningen voor de sterkte- en muddrukberkeningen zijn opgenomen in bijlage 8.

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 (HDPE Ø110 PE100-RCM SDR11, HDPE Ø110 PE100 SDR11 en HDPE Ø225 PE100 SDR11)**

### 4.1 Samenvatting sterkte- en muddrukberkeningen

#### Spanningen in omtreksrichting van de leiding

|                          | <b>Toegestane spanning</b> | <b>Maximaal optredende spanning</b> |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| HDPE100 (RCM) Ø110 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup>     | 5,21 N/mm <sup>2</sup>              |
| HDPE100 Ø110 sdr11       | 8,00 N/mm <sup>2</sup>     | 7,03 N/mm <sup>2</sup>              |
| HDPE100 Ø225 sdr11       | 8,00 N/mm <sup>2</sup>     | 6,52 N/mm <sup>2</sup>              |

#### Spanningen in langsrichting van de leiding

|                          | <b>Toegestane spanning</b> | <b>Maximaal optredende spanning</b> |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| HDPE100 (RCM) Ø110 sdr11 | 8,00 N/mm <sup>2</sup>     | 3,48 N/mm <sup>2</sup>              |
| HDPE100 Ø110 sdr11       | 8,00 N/mm <sup>2</sup>     | 0,30 N/mm <sup>2</sup>              |
| HDPE100 Ø225 sdr11       | 8,00 N/mm <sup>2</sup>     | 2,58 N/mm <sup>2</sup>              |

#### Totalisatie spanningen in boorgat tijdens trekoperatie

|                          | <b>Toegestane spanning</b> | <b>Maximaal optredende spanning</b> |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| HDPE100 (RCM) Ø110 sdr11 | 10,00 N/mm <sup>2</sup>    | 9,22 N/mm <sup>2</sup>              |
| HDPE100 Ø110 sdr11       | 10,00 N/mm <sup>2</sup>    | 9,22 N/mm <sup>2</sup>              |
| HDPE100 Ø225 sdr11       | 10,00 N/mm <sup>2</sup>    | 7,25 N/mm <sup>2</sup>              |

#### Deflectie

|                          | <b>Toegestane deflectie</b> | <b>Maximaal optredende deflectie</b> |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| HDPE100 (RCM) Ø110 sdr11 | 8,00 mm                     | 3,89 mm                              |
| HDPE100 Ø110 sdr11       | 8,00 mm                     | 3,89 mm                              |
| HDPE100 Ø225 sdr11       | 16,36 mm                    | 7,90 mm                              |

#### Benodigde trekkracht op de mantelbuis

|                          | <b>Toegestane trekkracht*</b> | <b>Maximale berekende trekkracht</b> |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| HDPE100 (RCM) Ø110 sdr11 | 31,41 kN                      | 28,42 kN                             |
| HDPE100 Ø110 sdr11       | 31,41 kN                      | 28,42 kN                             |
| HDPE100 Ø225 sdr11       | 131,69 kN                     | 88,47 kN                             |

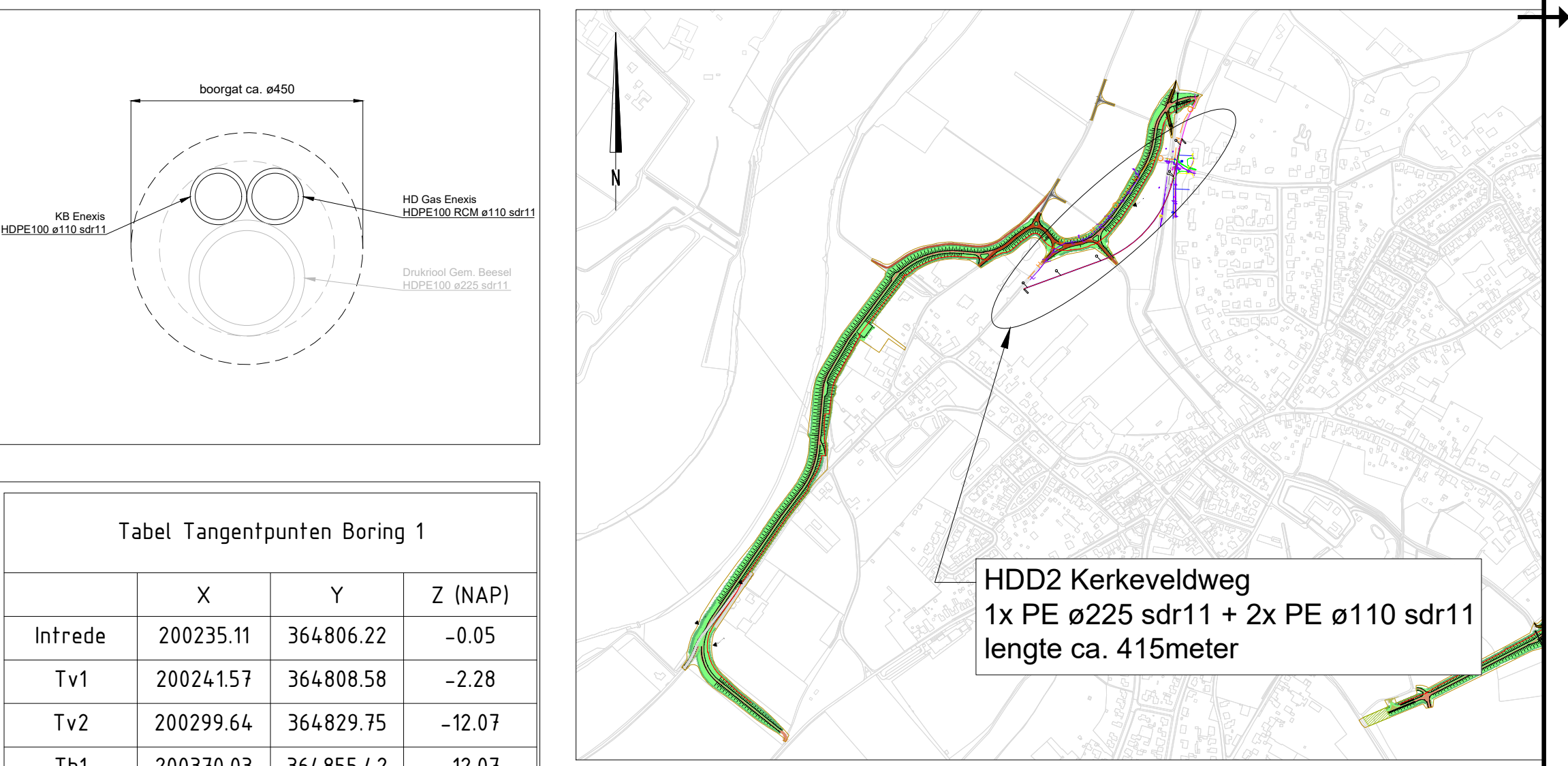
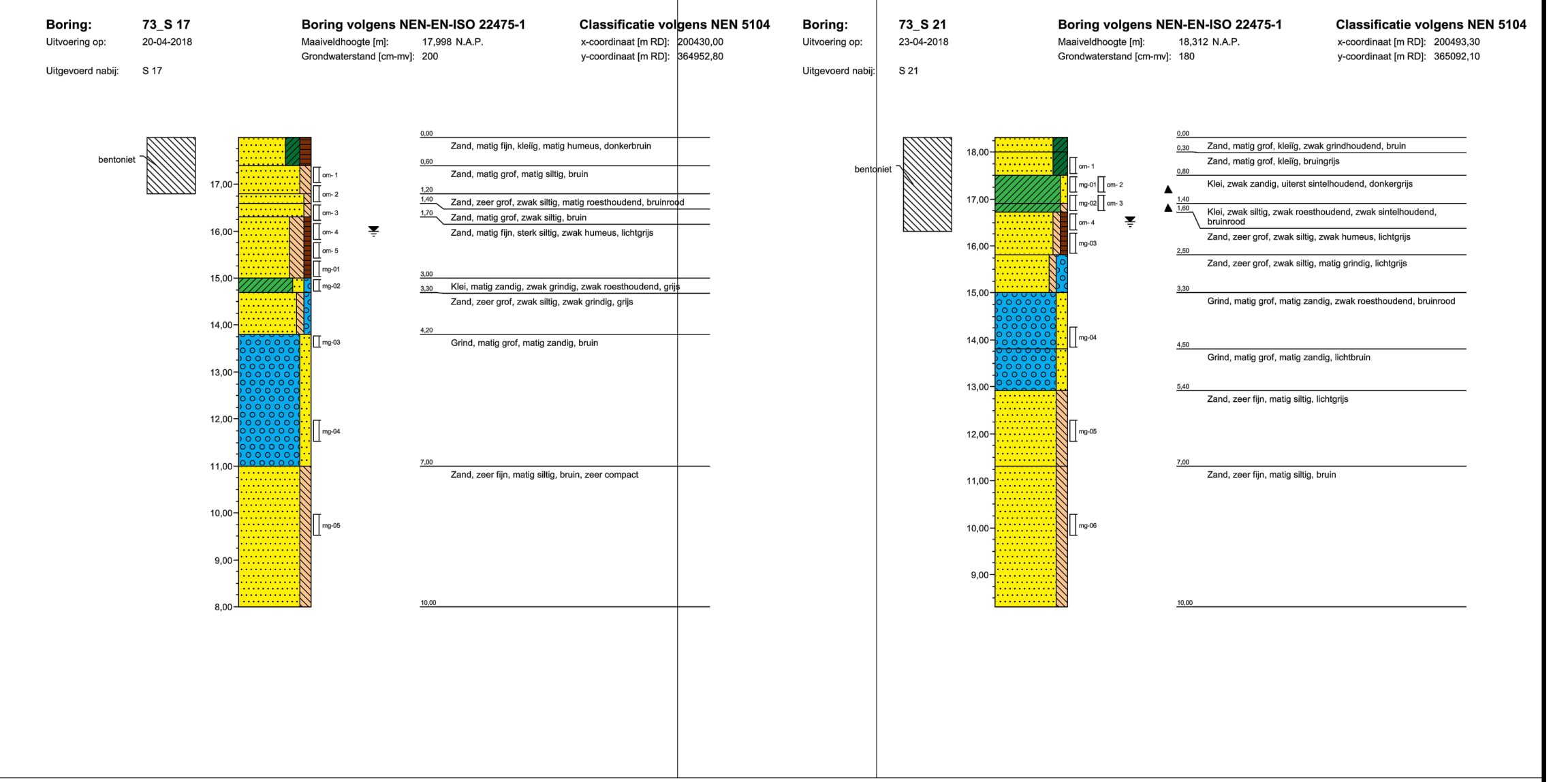
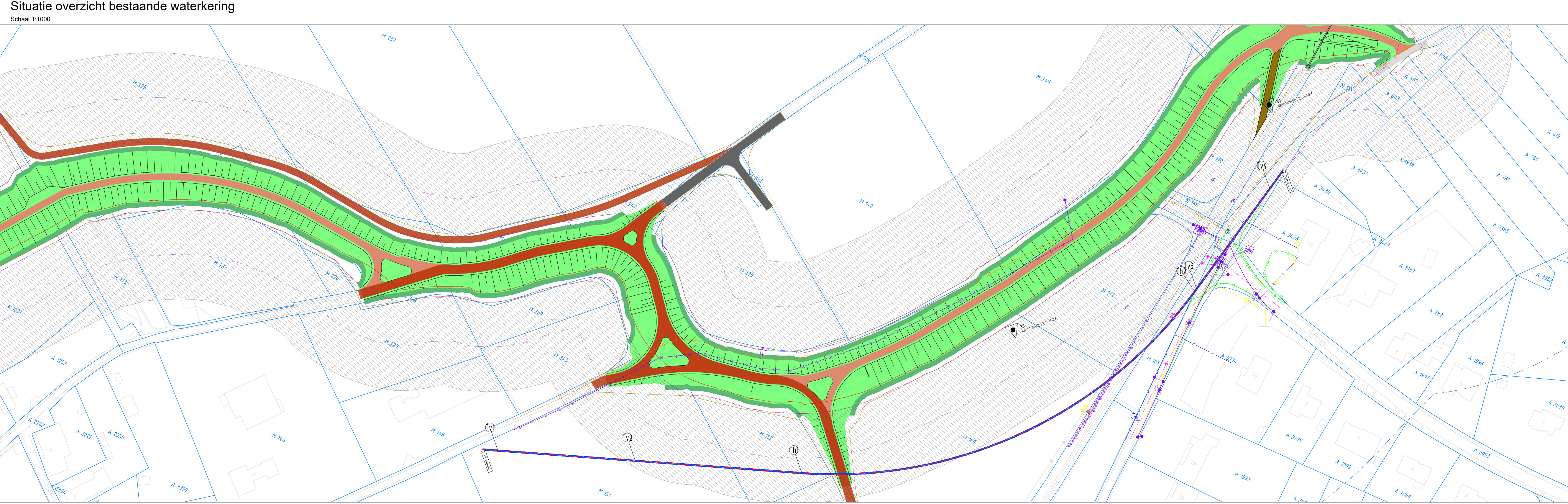
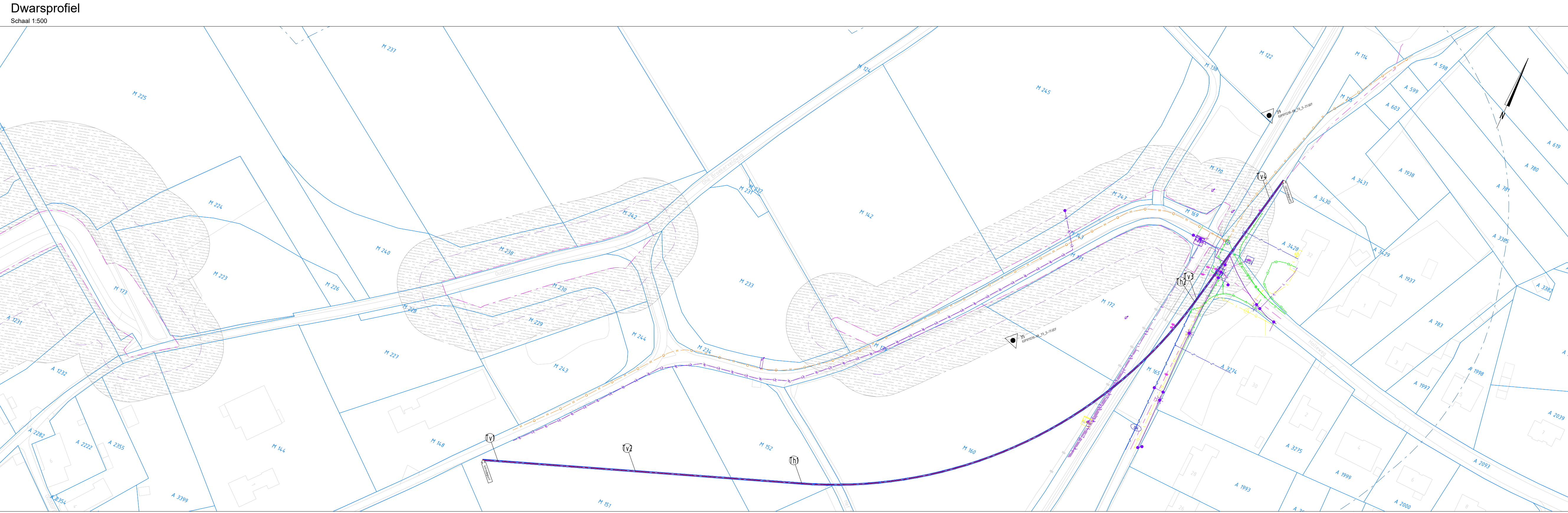
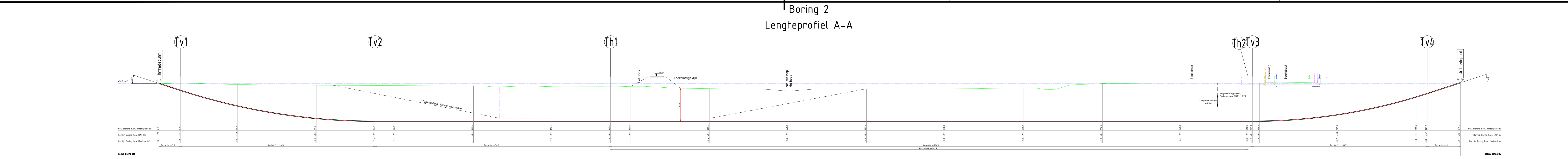
\*Toegestane trekkrachten volgens technische documentatie PipeLife.



## Bijlage 1a: Boortekening Enexis

Boortekening 2020-003-001-TEK-HDD2a-v01, d.d. 08-10-2020





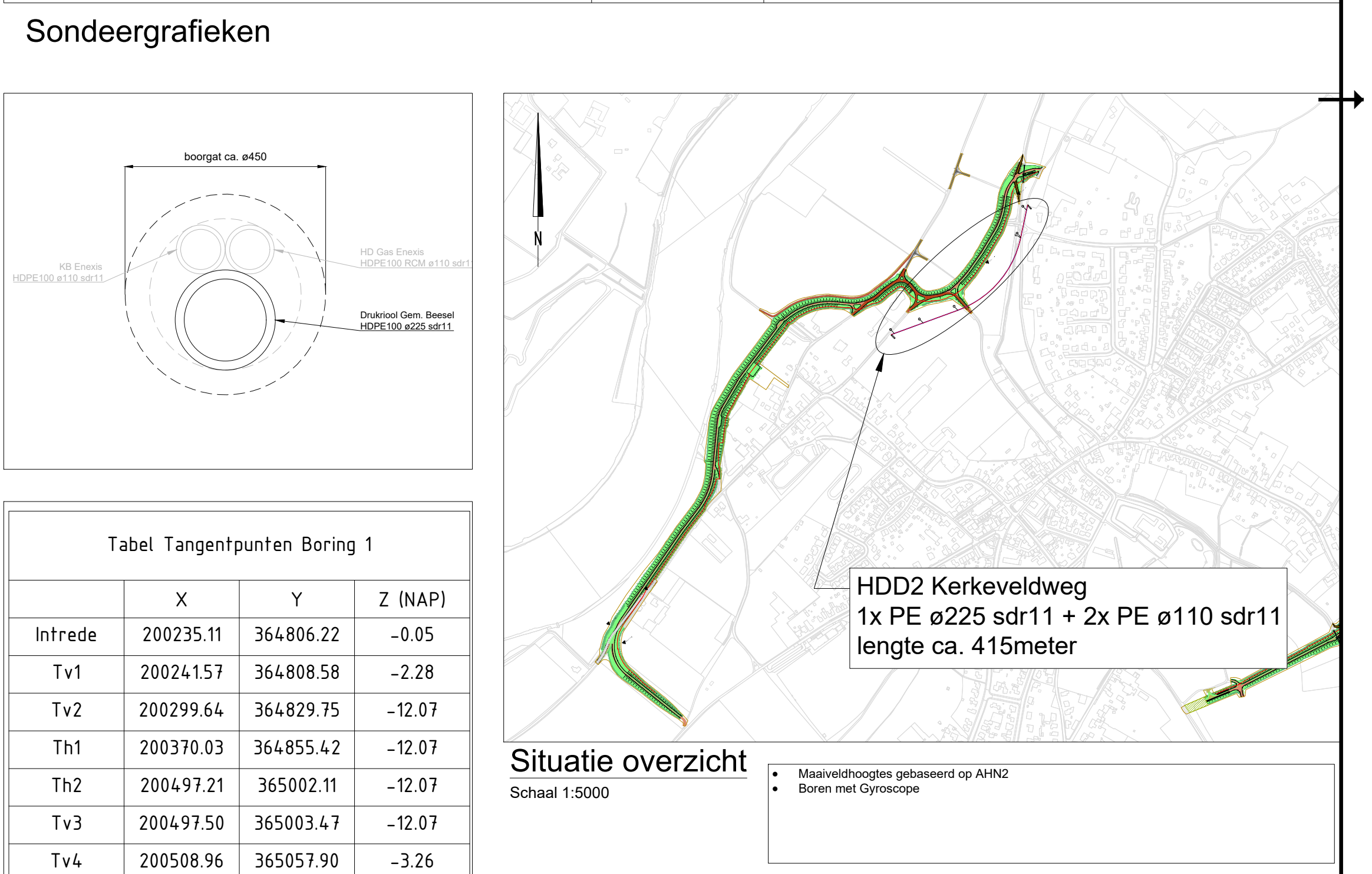
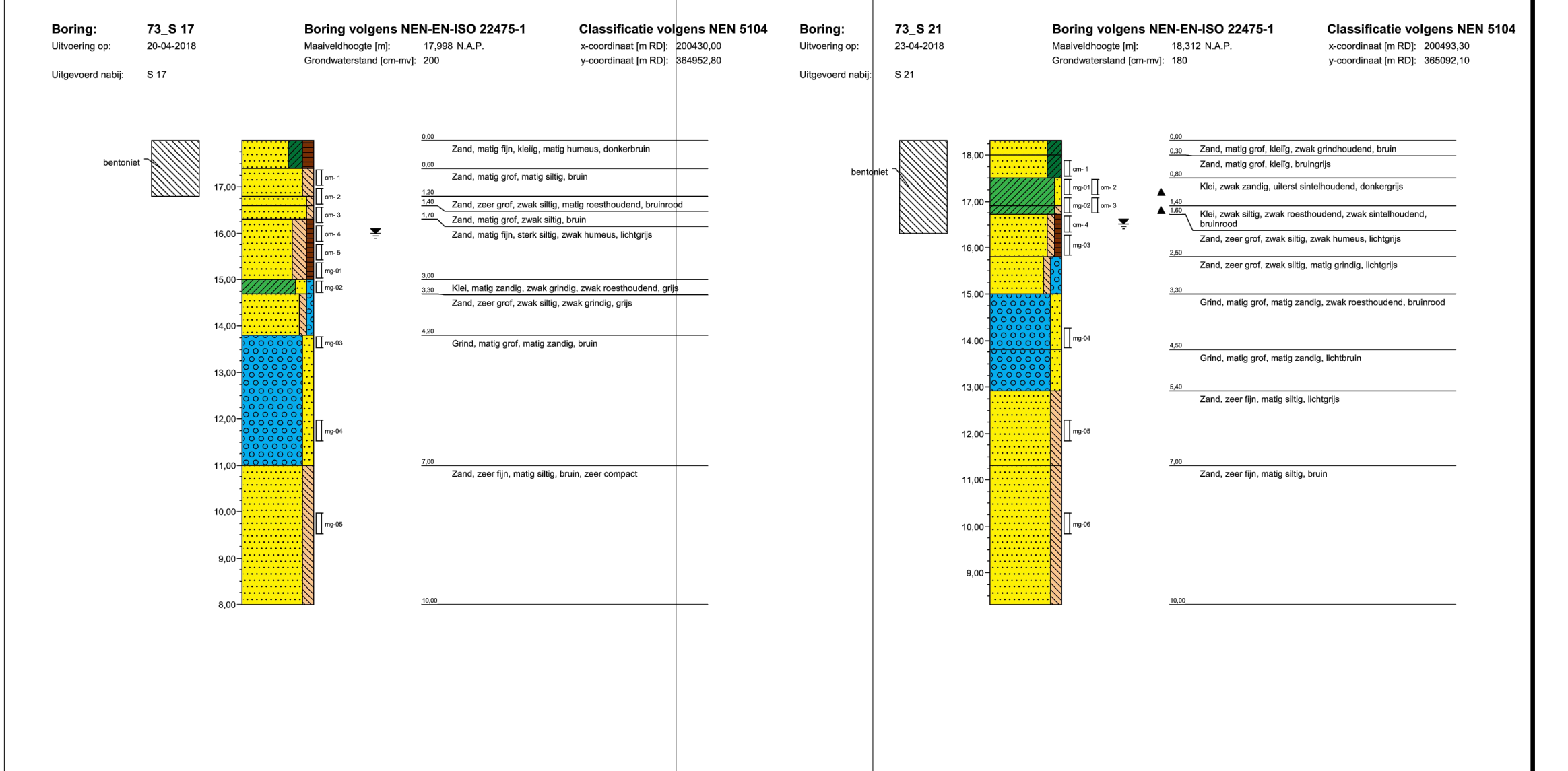
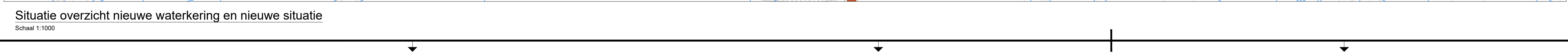
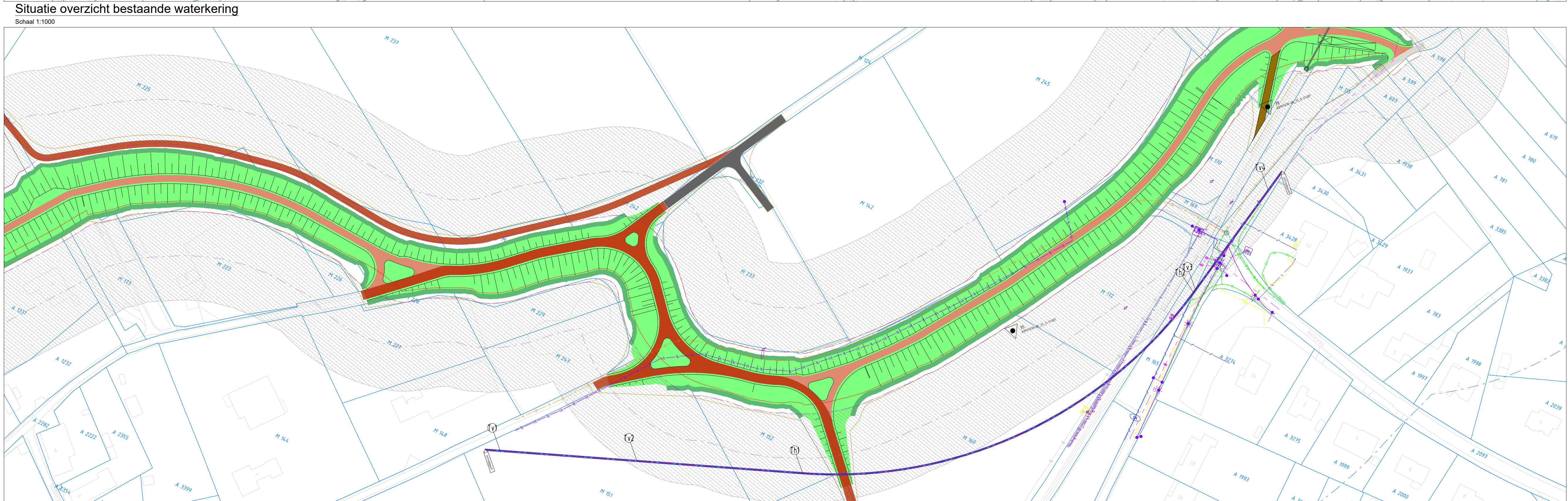
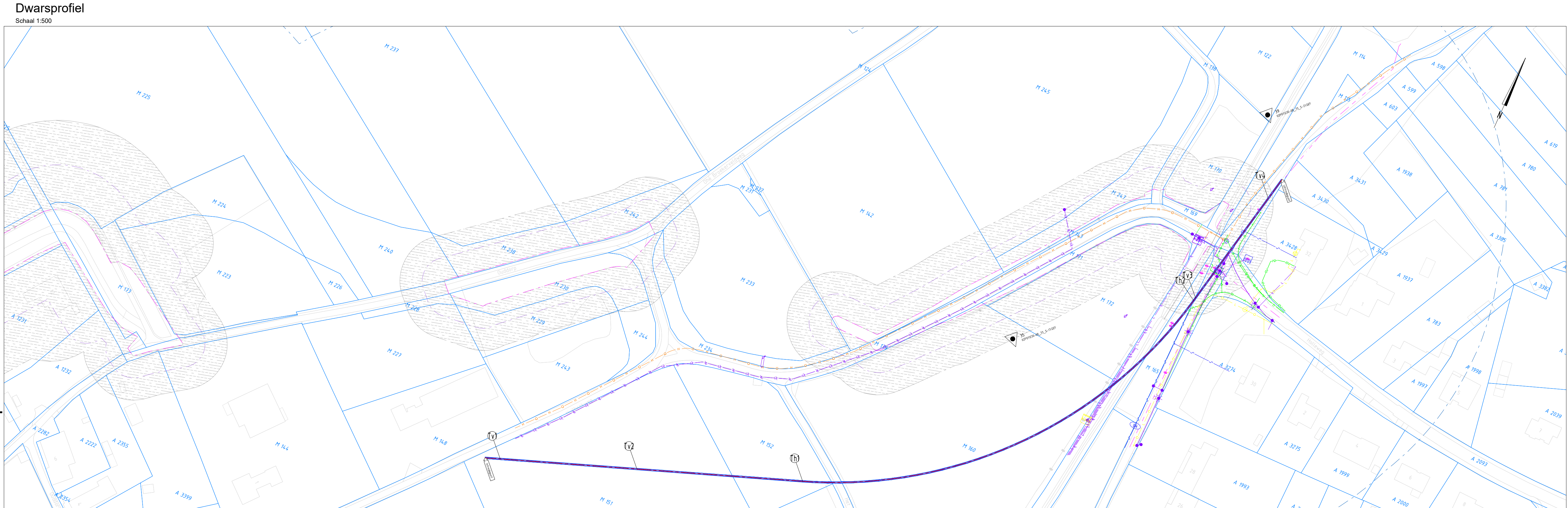
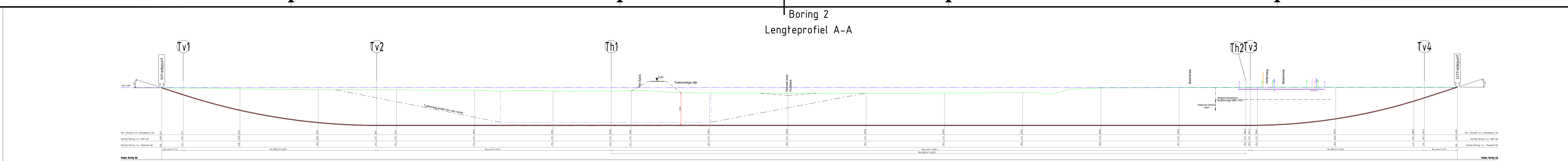
|                                                                                                                                                           |  |            |                                      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------------|--------------------------------------|------|------|
| 001                                                                                                                                                       |  | 08-10-2020 | Definitief t.b.v. vergunningaanvraag | MaTu | HvH  |
| Versie                                                                                                                                                    |  | Datum      | Wijziging                            | Get. | Gez. |
| In opdracht van:<br>Enxix<br>Heilerkerkweg 3<br>5928RM, Venlo                                                                                             |  |            |                                      |      |      |
| Vervaardigd door:<br>VHW Engineering BV<br>Focus op ondergrondse kabels en leidingen<br>VHW Engineering BV<br>Heilheuveweg 11<br>5222 AV 't Hartogenbosch |  |            |                                      |      |      |
| Project:<br>Dijkversterking DR73<br>HDD2 Huilbeekweg te Beesel                                                                                            |  |            |                                      |      |      |
| Omschrijving:<br>1x PE100 ø110 sdr11 (Enxix) + 1x PE100 RCM ø110 sdr11 (Enxix) +<br>PE100 ø225 sdr11 (Gem. Beesel)                                        |  |            |                                      |      |      |
| Schaal: divers<br>Formaat: A1<br>Datum: 23-07-2020<br>Projectnr: 2020-003-001<br>Status: Definitief<br>Tekeningnr: 2020-003-001-TEK-HDD2a-v1.0            |  |            |                                      |      |      |



## **Bijlage 1b: Boortekening Gemeente Beesel**

Boortekening 2020-003-001-TEK-HDD2b-v01, d.d. 08-10-2020





Tabel Tangentpunten Boring 1

|         | X         | Y         | Z (NAP) |
|---------|-----------|-----------|---------|
| Inrede  | 200235.11 | 364806.22 | -0.05   |
| Tv1     | 200241.57 | 364808.58 | -2.28   |
| Tv2     | 200299.64 | 364829.75 | -12.07  |
| Th1     | 200370.03 | 364855.42 | -12.07  |
| Th2     | 200497.21 | 365002.11 | -12.07  |
| Tv3     | 200497.50 | 365003.47 | -12.07  |
| Tv4     | 200508.96 | 365057.90 | -3.26   |
| Uitrede | 200511.13 | 365068.20 | 0.16    |

LEGENDA BESTAANDE KABELS & LEIDINGEN (NLCS)

|     |                 |
|-----|-----------------|
| --- | Datatransport   |
| --- | Laagspanning    |
| --- | Huidspanning    |
| --- | Hoogspanning    |
| --- | Gasunie         |
| --- | Drukoliëring    |
| --- | Vrijervariëring |
| --- | Water           |
| --- | Gas Hogedruk    |
| --- | Gas Lagedruk    |
| --- | HDD             |

Sondeerlocatie

Situatie overzicht  
Schaal 1:5000

HDD2 Kerkeveldweg  
1x PE ø225 sdr11 + 2x PE ø110 sdr11  
lengte ca. 415meter

Maatvelthoogtes gebaseerd op AHN2  
Boren met Gyroscopie

001  
Versie  
Datum  
Definitief t.b.v. vergunningaanvraag  
Wijziging

MaTu  
Get.  
HvH  
Gez.

In opdracht van:  
Gemeente Beesel

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

Project:  
Dijkversterking DR73  
HDD2 Huilbeekweg te Beesel

Omschrijving:  
1x PE100 ø110 sdr11 (Enaxis) + 1x PE100 RCM ø110 sdr11 (Enaxis) +  
PE100 ø225 sdr11 (Gem. Beesel)

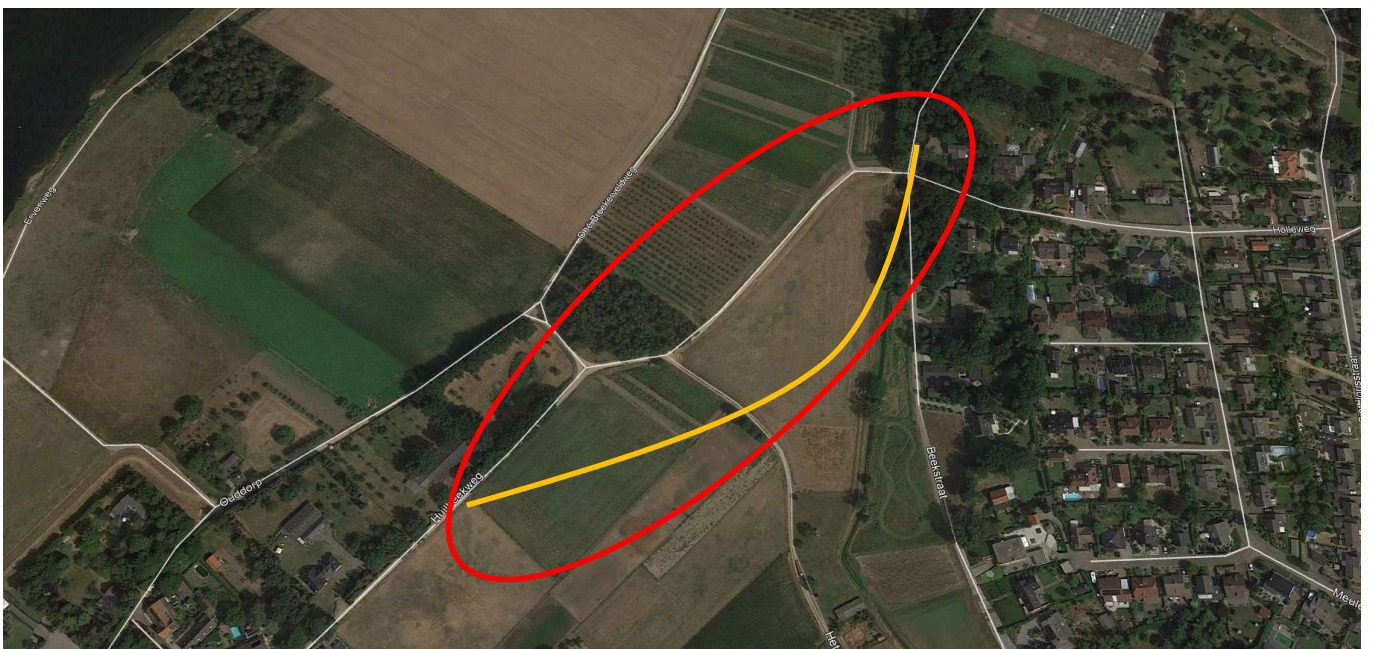
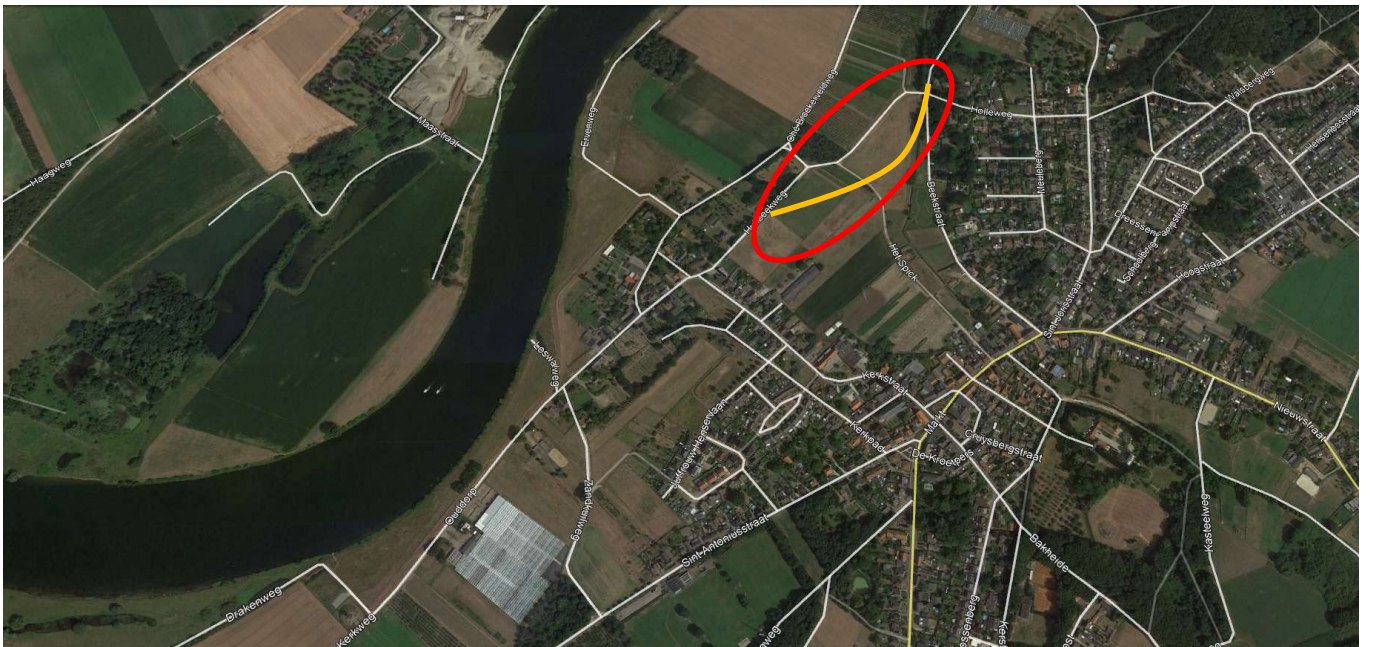
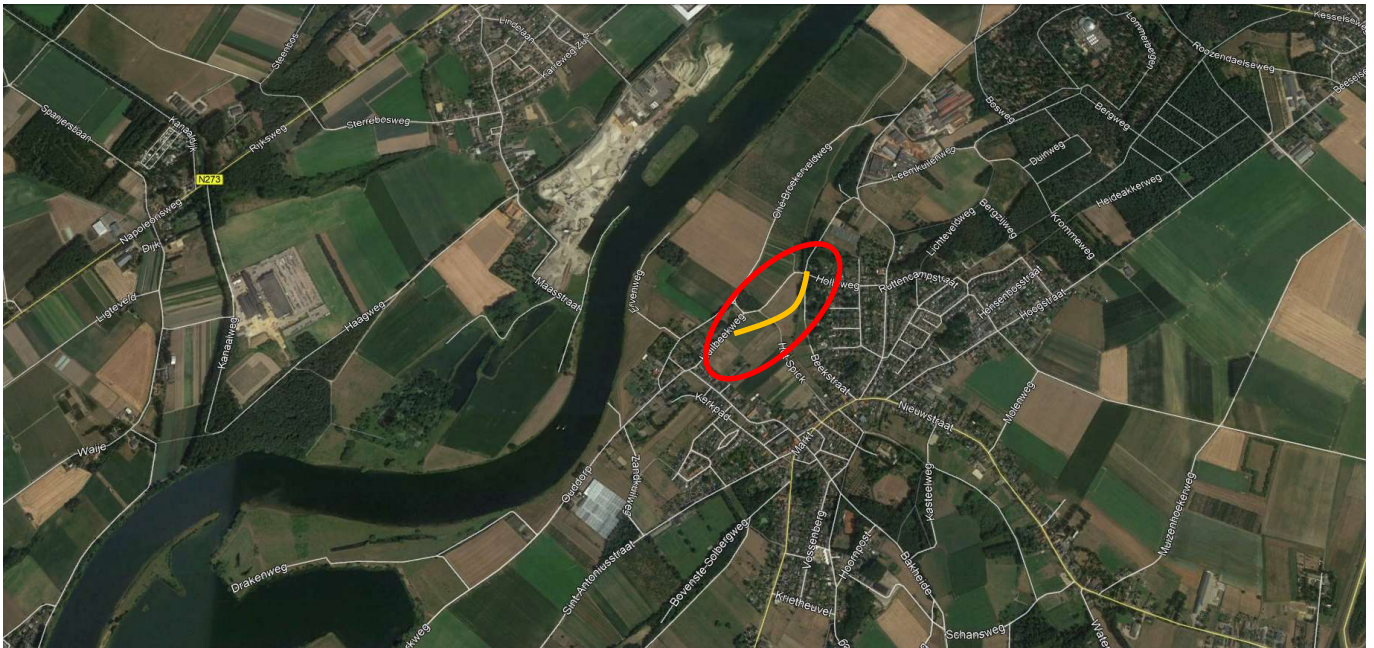
Schaal: divers  
Formaat: A1  
Datum: 23-07-2020  
Projectnr: 2020-003-001  
Status: Definitief  
Tekeningnr: 2020-003-001-TEK-HDD2b-v1.0



## Bijlage 2: Luchtfoto's



## Luchtfoto boorlocatie HDD2

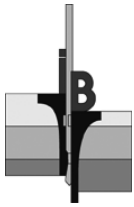




## **Bijlage 3: Grondmechanisch onderzoek**

- Selectie gebruikte sonderingen en grondboringen





Opdracht: 02P011230-08

Project: Geotechn. onderzoek Noordelijke Maasvallei DR73 te Beesel

**Boring: 73\_S 17**

Uitvoering op: 20-04-2018

Uitgevoerd nabij: S 17

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

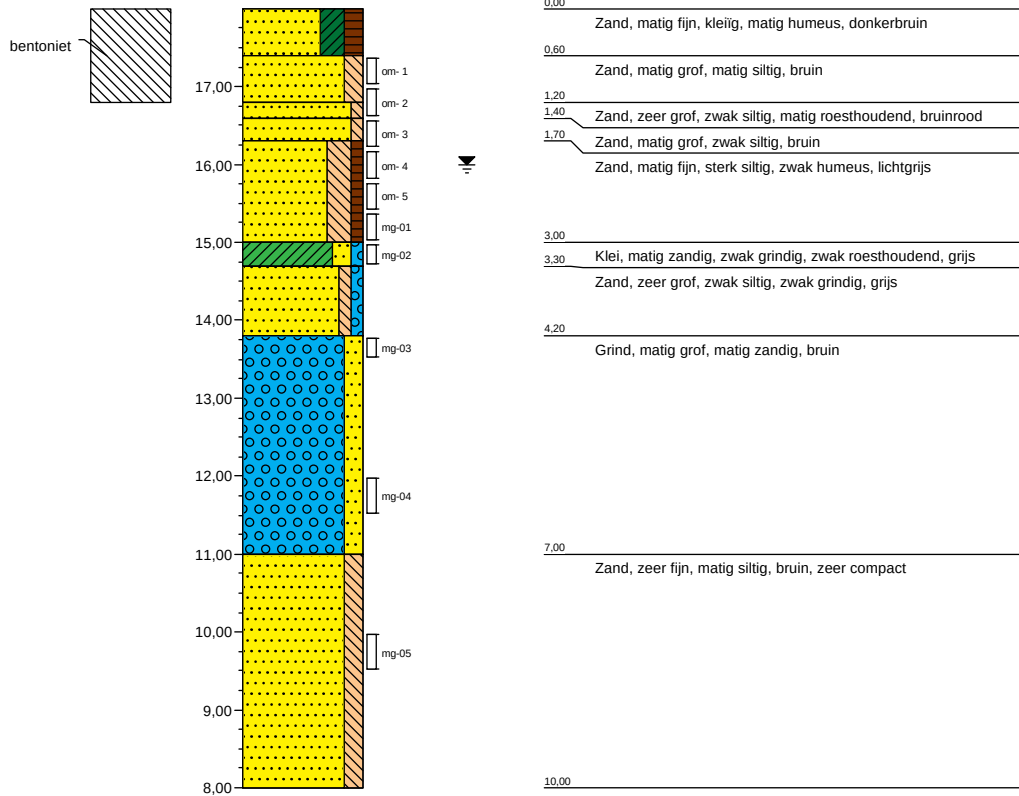
Maaiveldhoogte [m]: 17,998 N.A.P.

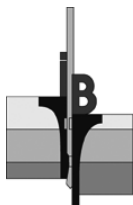
Grondwaterstand [cm-mv]: 200

**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 200430,00

y-coördinaat [m RD]: 364952,80





Opdracht: 02P011230-08

Project: Geotechn. onderzoek Noordelijke Maasvallei DR73 te Beesel

**Boring: 73\_S 21**

Uitvoering op: 23-04-2018

Uitgevoerd nabij: S 21

**Boring volgens NEN-EN-ISO 22475-1**

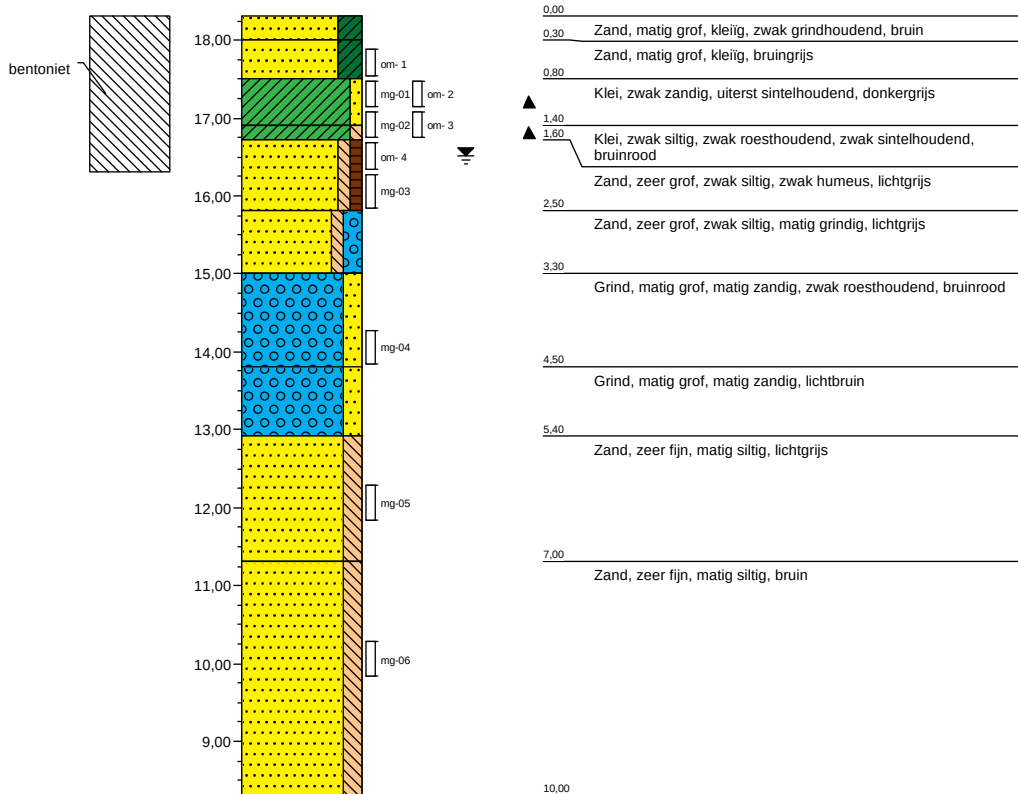
Maaiveldhoogte [m]: 18,312 N.A.P.

Grondwaterstand [cm-mv]: 180

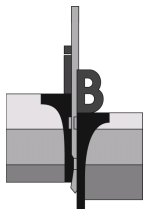
**Classificatie volgens NEN 5104**

x-coördinaat [m RD]: 200493,30

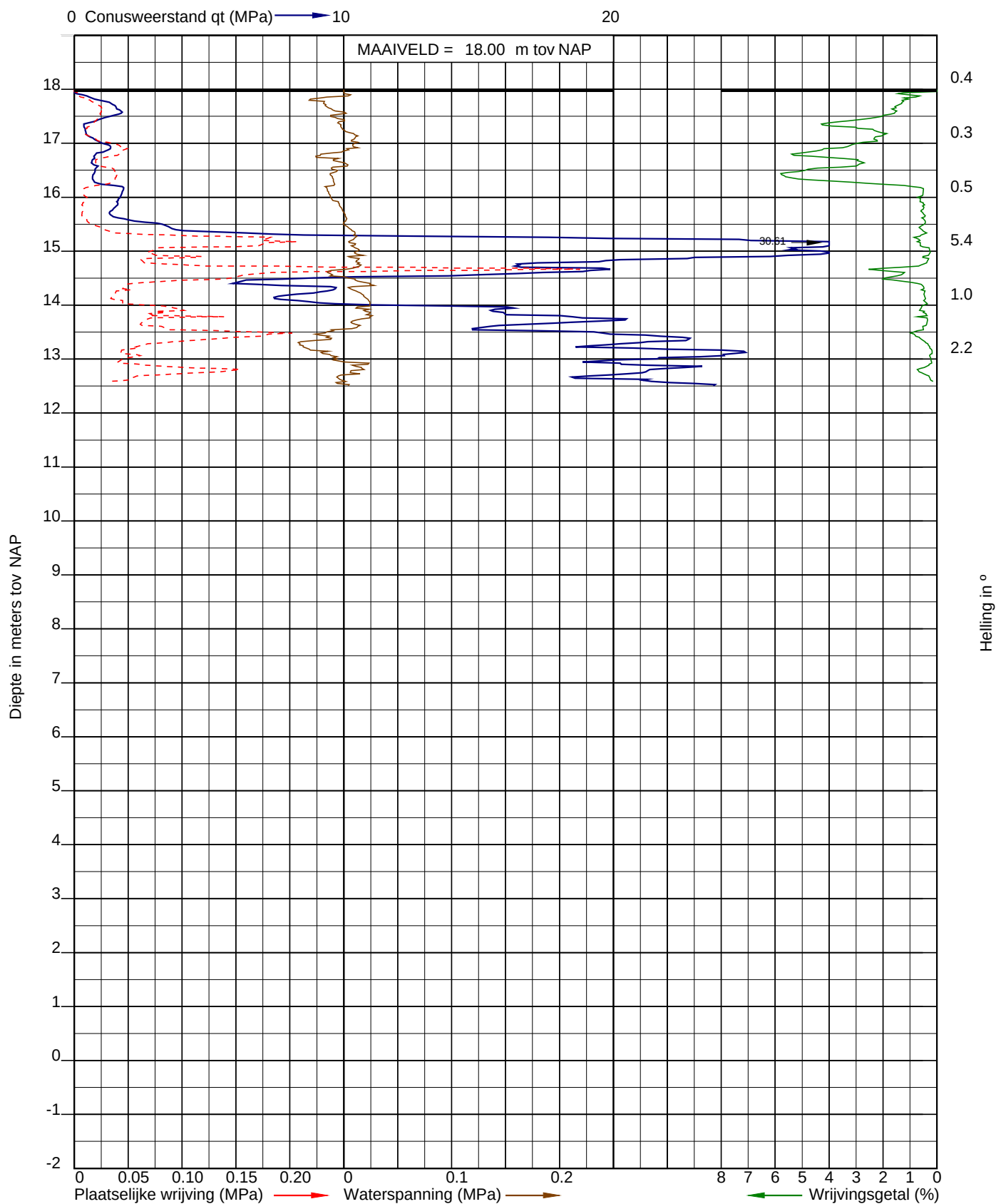
y-coördinaat [m RD]: 365092,10







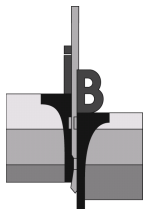
Opdracht: 02P011230-08  
Project: Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 73 te Beesel



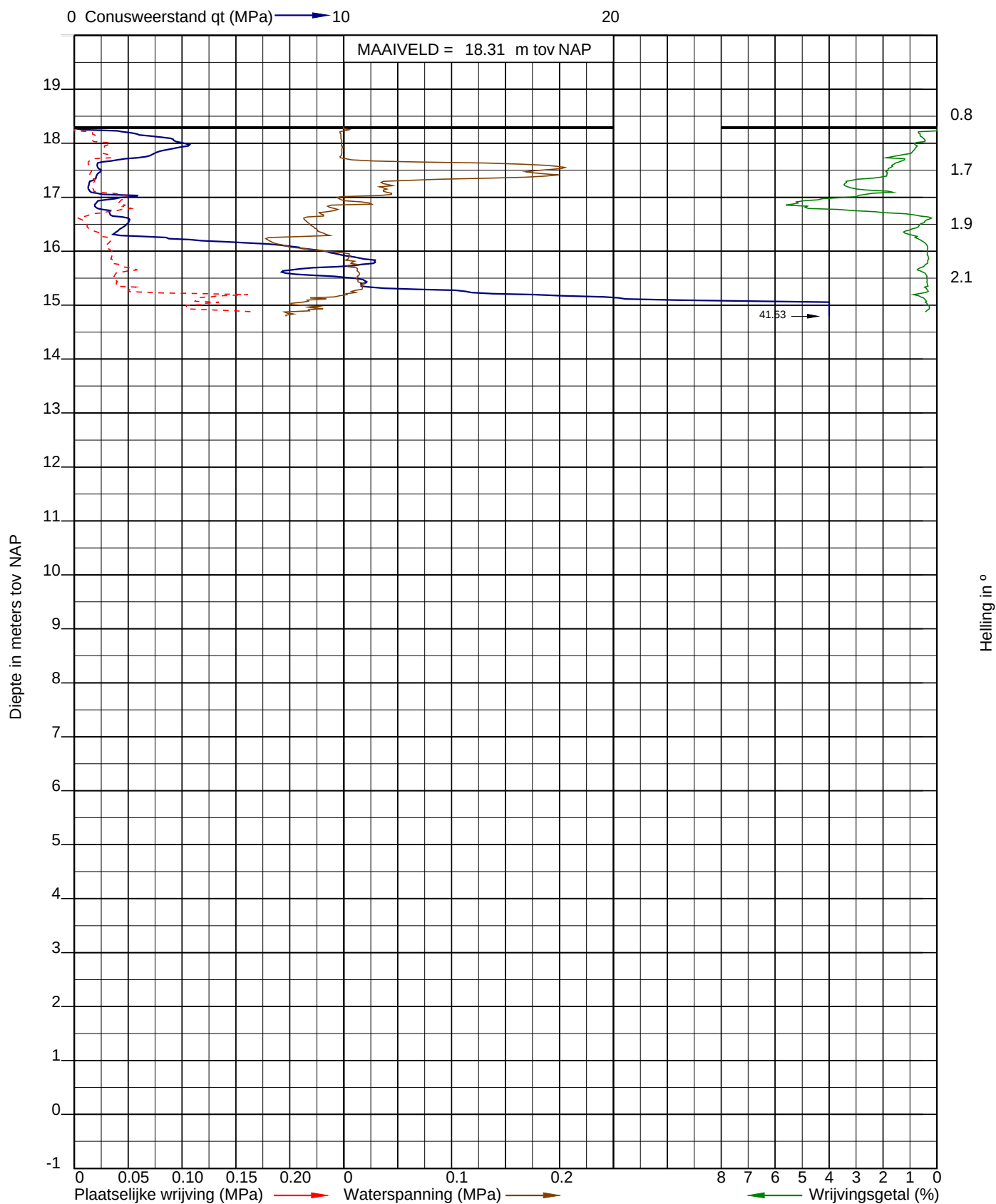
Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1  
Sondeerklasse 2  
Conusnummer 060077

Uitvoerder: MARK VOS  
Datum: 6-4-2018  
X: 200429,967  
Y: 364952,847

Sondering: 73\_S-17



Opdracht: 02P011230-08  
Project: Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 73 te Beesel



Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1  
Sondeerklasse 2  
Conusnummer 060021

Uitvoerder: MARK VOS  
Datum: 6-4-2018  
X: 200493,255  
Y: 365092,056

**Sondering: 73\_S-21**

## **Bijlage 4: Oriëntatiemelding WION**





Datum

22-07-2020 15:43

Onderwerp

**Ontvangstbevestiging Oriëntatieverzoek**

**20O066582**

Blad

1 van 3

Geachte heer, mevrouw,

Het Kadaster heeft een Oriëntatieverzoek ontvangen.

Het meldnummer van de KLIC-melding is: **20O066582**

Het ordernummer van de KLIC-melding is: **9812299867/10**

De referentie van de KLIC-melding is: **2020-003-001**

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 en of er een Eis Voorzorgsmaatregel van toepassing is waarvoor u contact met de netbeheerder dient op te nemen.

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>       | mtubee@vhwengineering.nl  |
| <b>Relatienummer</b>     | 605534                    |
| <b>Bedrijf</b>           | VHW Engineering B.V.      |
| <b>KvK-nummer</b>        | 17242946                  |
| <b>Adres</b>             | Victorialaan 15-Locatie C |
| <b>Postcode / Plaats</b> | 5213JG, 'S-HERTOGENBOSCH  |
| <b>Land</b>              | Nederland                 |
| <b>Telefoon</b>          | (06) 30 77 26 00          |
| <b>Datum aanvraag</b>    | 22-07-2020 15:43          |

#### **Aard graafwerkzaamheden**

Kabels/leidingen leggen  
Persing/boring

#### **Oriëntatiegebied**

|                              |                                                                                                                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RD-coördinaten</b>        | [(200197,364793), (200216,364762), (200365,364826), (200447,364867), (200507,364920), (200512,365052), (200481,365050), (200449,364937), (200197,364793)] |
| <b>Dichtstbijzijnd adres</b> | Beekstraat 24, 5954AW Beesel                                                                                                                              |

Overzicht van beheerders met een belang in het opgegeven gebied:



Datum

22-07-2020 15:43

Onderwerp

**Ontvangstbevestiging Oriëntatieverzoek**

**20O066582**

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      |     | gas hoge druk<br>gas lage druk<br>laagspanning<br>middenspanning       |
| Gemeente Beesel                     | <a href="#">Vaessen</a>                      | <a href="mailto:jan.vaessen@beesel.nl">jan.vaessen@beesel.nl</a>                       | (077) 474 92 92 |     | riool onder druk<br>riool vrijverval<br>laagspanning<br>wees<br>overig |
| Waterschapsbedrijf Limburg p/a      | <a href="#">J. Bohlen, WML</a>               | <a href="mailto:Klicinfo@wml.nl">Klicinfo@wml.nl</a>                                   | 0438808200      |     | riool onder druk<br>riool vrijverval                                   |
| Cif p/a NKM Network Services B.V.   | <a href="#">Kappers</a>                      | <a href="mailto:klic.algemeen@nkm.nl">klic.algemeen@nkm.nl</a>                         | 0318531594      |     | datatransport<br>laagspanning<br>warmte                                |
| KPN B.V.                            | <a href="#">Klic</a>                         | <a href="mailto:orderintakeplan@kpn.com">orderintakeplan@kpn.com</a>                   | (030) 255 33 34 |     | datatransport                                                          |
| NV Waterleidingmaatschappij Limburg | <a href="#">Orientatie</a>                   | <a href="mailto:KLICWIBON@WML.nl">KLICWIBON@WML.nl</a>                                 | 0438808671      |     | datatransport<br>laagspanning<br>water                                 |
| Reggefiber Operator B.V.            | <a href="#">Reggefiber ttH B.V.</a>          | <a href="mailto:klic-reggefiber@kpn.com">klic-reggefiber@kpn.com</a>                   | 088-0063767     |     | datatransport                                                          |
| Waterschap Limburg                  | <a href="#">servicedesk</a>                  | <a href="mailto:servicedesk@waterschaplimburg.nl">servicedesk@waterschaplimburg.nl</a> | +31888890555    |     | datatransport<br>laagspanning<br>overig                                |
| Ziggo B.V.                          | <a href="#">Network Inventory Management</a> | <a href="mailto:klic@vodafoneziggo.com">klic@vodafoneziggo.com</a>                     | 088-7174401     |     | datatransport                                                          |

Wij vertrouwen erop u hiermee voldoende te hebben geïnformeerd.

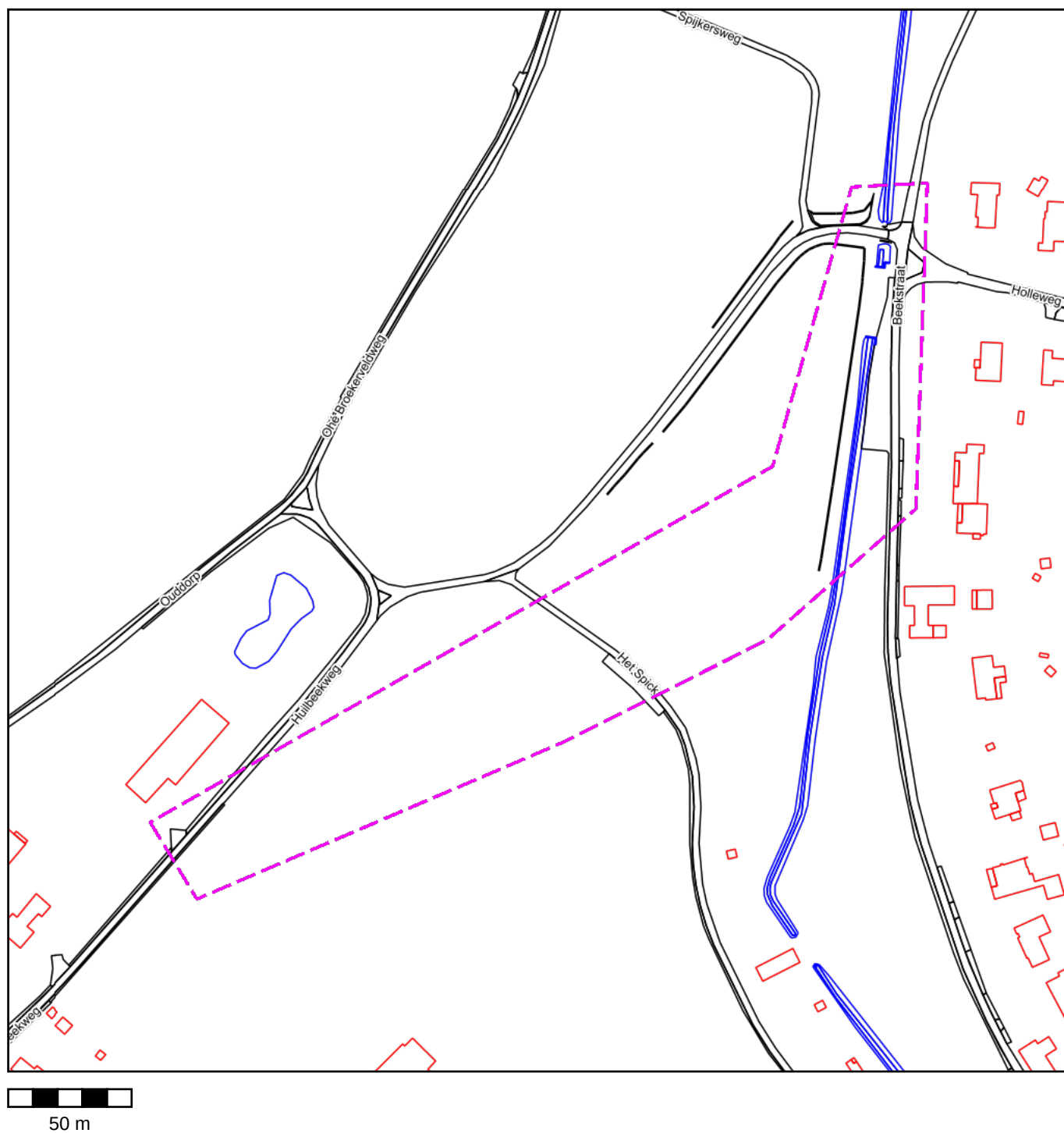
Met vriendelijke groet,

Kadaster Klantcontactcenter

[klic@kadaster.nl](mailto:klic@kadaster.nl)

(0800) 00 80

Grafische weergave van het gebied:





## **Bijlage 5: Voorbeeld type boorrig**

# JT100 DIRECTIONAL DRILL

| OPERATION                      | U.S.           | METRIC    |
|--------------------------------|----------------|-----------|
| Spindle speed, max             | 210 rpm        |           |
| Spindle torque, max            | 12,000 ft·lb   | 16300 N·m |
| Carriage thrust travel speed   | 150 fpm        | 46 m/min  |
| Carriage pullback travel speed | 150 fpm        | 46 m/min  |
| Thrust force                   | 70,000 lb      | 311 kn    |
| Pullback force                 | 100,000 lb     | 445 kn    |
| Bore diameter                  | 6 in           | 152 mm    |
| Backream diameter              | Soil dependent |           |
| Ground travel speed            |                |           |
| Forward/reverse                | 3.6 mph        | 5.8 km/h  |

| POWER                             | U.S.                             | METRIC      |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Engine                            | Cummins QSB6.7                   |             |
| Fuel                              | Diesel                           |             |
| Cooling medium                    | Liquid                           |             |
| Injection                         | Direct                           |             |
| Aspiration                        | Turbocharged & charge air cooled |             |
| Number of cylinders               | 6                                |             |
| Displacement                      | 409 in <sup>3</sup>              | 6.7 L       |
| Bore                              | 4.21 in                          | 107 mm      |
| Stroke                            | 4.88 in                          | 124 mm      |
| Manufacturer's gross power rating | 260 hp                           | 194 kW      |
| Rated speed                       | 2,200 rpm                        |             |
| Emissions compliance              | EPA Tier 4                       | EU Stage IV |

| DIMENSIONS         | U.S.      | METRIC    |
|--------------------|-----------|-----------|
| Length             | 368 in    | 9.35 m    |
| Width              | 101 in    | 2.57 m    |
| Height             | 110 in    | 2.79 m    |
| Weight             | 47,470 lb | 21,532 kg |
| Entry angle        | 10-15°    |           |
| Angle of approach  | 13°       |           |
| Angle of departure | 17°       |           |

**DRILLING FLUID SYSTEM (ON BOARD)****U.S.****METRIC**

|                              |           |           |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Drilling fluid pressure, max | 1,000 psi | 69 bar    |
| Drilling fluid flow, max     | 230 gpm   | 870 l/min |

**FLUID CAPACITIES****U.S.****METRIC**

|                     |        |       |
|---------------------|--------|-------|
| Hydraulic reservoir | 47 gal | 180 L |
| Fuel tank           | 97 gal | 370 L |

**DRILL PIPE****U.S.****METRIC**

|                                        |          |         |
|----------------------------------------|----------|---------|
| Length of drill pipe, nominal          | 177 in   | 4.5 m   |
| Diameter of drill pipe, tool joint end | 4 in     | 102 mm  |
| Diameter of drill pipe                 | 3.63 in  | 92 mm   |
| Bend radius, min                       | 205 ft   | 63 m    |
| Weight of drill pipe                   | 229 lb   | 104 kg  |
| Weight of drill pipe & box (12 pipe)   | 3,760 lb | 1710 kg |

**BATTERY (2 USED)**

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| SAE reserve capacity rating         | 450 min    |
| SAE cold crank rating @ 0°F (-18°C) | 1,400 amps |

Specifications are general and subject to change without notice. If exact measurements are required, equipment should be weighed and measured. Due to selected options, delivered equipment may not necessarily match that shown.



**Bijlage 6: Drill-Sheet**

## Drill-Sheet

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

| Stang<br>(nr) | Afstand<br>(m) | Start/stop<br>(tijd) | Push<br>kN | Pull<br>(cm/min of kN) | Torque<br>(Nm) | Muddruk<br>(bar) | Mudflow<br>(l/min) | Inclination<br>(mm/m) | Azimut<br>(graden) |
|---------------|----------------|----------------------|------------|------------------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|---------------|----------------|----------------------|------------|------------------------|----------------|------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|



## Focus op ondergrondse kabels en leidingen

www.vhwengineering.nl

[illegible]

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

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**



## **Bijlage 7b: V&G-gevaren voortvloeiend uit het ontwerp**

Veiligheids- en gezondheidsgevaaren 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<br>Beschadiging kabels en leidingen<br>machines en apparatuur<br>Bezwijken boorstangen | Keuring materieel en apparatuur.<br>Voorlichting en instructie V&G.<br>Persoonlijke beschermingsmiddelen.<br>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:     Sterkte- en muddrukberekeningen**

|                                                                                                      |                  |                         |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020                    |                  |                         | Sigma 2020 1.0 ©    |
| Algemene gegevens                                                                                    |                  |                         |                     |
| Naam van het project : HDD boring Huilbeekweg<br>Projectonderdeel : HDPE100 RCM ø110sdr11 Gasleiding |                  |                         |                     |
| 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 Tangentieel / 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)                                                           |                  | = Gas                   |                     |
| Ontwerpdruk                                                                                          | p <sub>d</sub>   | = 0,8                   | N/mm²               |
| Volumieke massa medium                                                                               | ρ <sub>omg</sub> | = 0,833                 | kg/m³               |
| Temperatuurverschil                                                                                  | Δ <sub>t</sub>   | = 10                    | °                   |
| 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 boorkop/ruimer ivm boorspoeldruk                                                            | D <sub>g</sub>   | = 450                   | mm                  |
| Diameter boorstang                                                                                   | D <sub>b</sub>   | = 73                    | mm                  |
| Totale lengte                                                                                        | L                | = 416,71                | m                   |
| Lengte 1e rechte deel                                                                                | L <sub>1</sub>   | = 7,23                  | m                   |
| Lengte neergaande bocht                                                                              | L <sub>2</sub>   | = 62,83                 | m                   |
| Lengte 2e rechte deel                                                                                | L <sub>3</sub>   | = 279,03                | m                   |
| Lengte opgaande bocht                                                                                | L <sub>4</sub>   | = 56,55                 | m                   |
| Lengte 3e rechte deel                                                                                | L <sub>5</sub>   | = 11,07                 | m                   |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                           | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Straal neergaande bocht                                                                              | R <sub>1</sub>   | = 200,00                | m                   |
| Straal opgaande bocht                                                                                | R <sub>2</sub>   | = 180,00                | m                   |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                                      | α <sub>1</sub>   | = 18,00 / 32,49         | ° / %               |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                                       | α <sub>2</sub>   | = 18,00 / 32,49         | ° / %               |
| 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, bovengronds                                                                         | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |                     |
| Belastingfactor, ondergronds                                                                         | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |                     |
| Onzekerheidsfactor straal, ondergronds                                                               | f <sub>r,o</sub> | = 0,9                   |                     |
| 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                   |                     |
| Gestuurde boring                                                                                     |                  |                         | 13-10-2020 16:10:04 |



**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie          | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | G.W.S. t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1e rechte deel   | 7,23                           | 2,10                        | 1,81                       | Zand         | 18,00                                             | 19,17                                             | 30,00                     |
| Neergaande bocht | 70,06                          | 11,40                       | 1,31                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| 2e rechte deel   | 209,575                        | 10,30                       | 0,22                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| Opgaande bocht   | 349,09                         | 12,20                       | 2,13                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| 3e rechte deel   | 405,64                         | 3,40                        | 2,16                       | Zand         | 18,00                                             | 17,98                                             | 17,50                     |

| 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 |
|------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 15,00                                     | Geen              |
| Neergaande bocht | Geen                        | ✓                | 0,0290                                                     | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| 2e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| Opgaande bocht   | Geen                        | ✓                | 0,0290                                                     | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| 3e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 15,00                                     | Grafiek 1/2 x II  |

**1. 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>                |

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

|                       | Leiding op rollenbaan/maaiveld    | Leiding in boorgat                |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 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        | $g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$ | $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$ |

**3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]    |
|---------------------------------------------------|--------|--------------|
| Starten met trekken                               | 416,71 | <b>2.250</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 405,64 | <b>2.191</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 349,09 | <b>1.885</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 70,06  | <b>378</b>   |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 7,23   | <b>39</b>    |

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

**3.2 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                                                     | 2.250     | <b>0,72</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 2.191     | <b>0,70</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.885     | <b>0,60</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 378       | <b>0,12</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 39        | <b>0,01</b>                     |

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

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

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

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

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

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

### 3.4 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                                                     | 0,72                            | <b>1,48</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,70                            | <b>1,46</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,60                            | <b>1,37</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,12                            | <b>0,89</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,01                            | <b>0,78</b>                     |

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

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

**4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**4.1 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:  $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

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                                 | 11,07  | <b>660</b>    | -             |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 67,62  | -             | <b>4.033</b>  |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 346,65 | <b>20.676</b> | -             |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 409,48 | -             | <b>24.423</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 416,71 | <b>24.855</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:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

**4.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**
**4.3.1 Neergaande bocht**

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,00 \cdot 0,0290}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0038 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0038^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}{110,00 \cdot 0,9 \cdot 200.000} = 0,0009 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0009}{2} \cdot 110,00 \cdot \frac{\pi}{0,0038} \cdot 0,2 = \mathbf{59,30 \text{ N}}$$



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

#### 4.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,00 \cdot 0,0290}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0038 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0038^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}{110,00 \cdot 0,9 \cdot 180.000} = 0,0010 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0010}{2} \cdot 110,00 \cdot \frac{\pi}{0,0038} \cdot 0,2 = \mathbf{65,89 \text{ N}}$$

#### 4.4 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                                              | 1.885     | 4.033        | 59                        | -                       | <b>5.978</b>           |
| Opgaande bocht                                                | 39        | 24.423       | 59                        | 66                      | <b>24.588</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                                    | 9,00         | 5.978                  | <b>673</b>   |
| Opgaande bocht                                      | 9,00         | 24.588                 | <b>2.769</b> |

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

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

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

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

#### 4.5 Totalisatie van de trekkraften 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                               | 2.191     | 660                | -                         | -                         | -                       | -                       | <b>2.851</b>         |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 1.885     | 4.033              | 59                        | 673                       | -                       | -                       | <b>6.651</b>         |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 378       | 20.676             | 59                        | 673                       | -                       | -                       | <b>21.787</b>        |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 39        | 24.423             | 59                        | 673                       | 66                      | 2.769                   | <b>28.030</b>        |
| Geheel intrekken                                            | 0         | 24.855             | 59                        | 673                       | 66                      | 2.769                   | <b>28.422</b>        |

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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:10:06

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

#### 4.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{tot}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 2.851         | <b>0,91</b>                     |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 6.651         | <b>2,12</b>                     |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 21.787        | <b>6,93</b>                     |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 28.030        | <b>8,92</b>                     |
| Geheel intrekken                                                        | 28.422        | <b>9,05</b>                     |

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

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

##### 4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 200.000} = 30.077,48 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{30.077,48}{72.113,83} = \mathbf{0,42 \text{ N/mm}^2}$$

##### 4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 180.000} = 33.419,42 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{33.419,42}{72.113,83} = \mathbf{0,46 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.8 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                                                     | 2.851         | 0,91                            | -                               | <b>0,91</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 6.651         | 2,12                            | 0,42                            | <b>2,39</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 21.787        | 6,93                            | -                               | <b>6,93</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 28.030        | 8,92                            | 0,46                            | <b>9,22</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 28.422        | 9,05                            | -                               | <b>9,05</b>                     |

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

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

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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:10:06

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

**5. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**5.1 Berekening van de spanningen  $s_p$  en  $s_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

$$D_g/d_n = 100,00/10,00 = 10,00 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{55,00^2 + 45,00^2}{55,00^2 - 45,00^2} \cdot 0,8 = 4,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 4,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 4,04 = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 50^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 83,33} \right) = 0,74$$

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

| Locatie          | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | G.W.S. t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | $q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{\text{totaal}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10                        | 1,81                       | Zand         | 35,84                                   | 6,12                                  | 41,95                                    | 4,30                       |
| Neergaande bocht | 11,40                       | 1,31                       | Zand         | 25,94                                   | 221,98                                | 247,92                                   | 16,17                      |
| 2e rechte deel   | 10,30                       | 0,22                       | Zand         | 4,36                                    | 221,76                                | 226,12                                   | 13,78                      |
| Opgaande bocht   | 12,20                       | 2,13                       | Zand         | 42,17                                   | 221,54                                | 263,71                                   | 17,93                      |
| 3e rechte deel   | 3,40                        | 2,16                       | Zand         | 42,77                                   | 24,52                                 | 67,29                                    | 6,04                       |

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

**5.4 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> ] |
|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10                        | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| Neergaande bocht | 11,40                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| 2e rechte deel   | 10,30                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| Opgaande bocht   | 12,20                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| 3e rechte deel   | 3,40                        | Grafiek ½ x II      | 3,24                       | 0,36                       |

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

### 5.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

| Locatie          | Hor. steundruk | $Q_n$<br>[N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$<br>[N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{\text{boven}}$<br>[N/mm <sup>1</sup> ] | $M_q$<br>[Nmm]        | $\sigma_q$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1e rechte deel   | ✓              | 4,30                          | 0,00                          | 4,30                                       | 41,90 <sup>(1)</sup>  | <b>1,86</b>                        |
| Neergaande bocht | ✓              | 16,17                         | 0,00                          | 16,17                                      | 161,48 <sup>(1)</sup> | <b>7,17</b>                        |
| 2e rechte deel   | ✓              | 13,78                         | 0,00                          | 13,78                                      | 137,64 <sup>(1)</sup> | <b>6,11</b>                        |
| Opgaande bocht   | ✓              | 17,93                         | 0,00                          | 17,93                                      | 179,05 <sup>(1)</sup> | <b>7,95</b>                        |
| 3e rechte deel   | ✓              | 6,04                          | 0,36                          | 6,39                                       | 54,48 <sup>(1)</sup>  | <b>2,42</b>                        |

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

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

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,74 \cdot \frac{M_q}{16,67}$$

### 5.6 Optredende spanning $\sigma_{qr}$ tgv. grondreactie in de bochten

#### 5.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0009 \cdot 110,00 \cdot \frac{55,00}{16,67} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0010 \cdot 110,00 \cdot \frac{55,00}{16,67} = \mathbf{0,07 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.7 Berekening van de spanning $\sigma_{ax}$ t.g.v. temperatuurverschil

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

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

### 6. 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>**

### 7. 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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:10:07

**8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**
**8.1 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> ] |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1e rechte deel   | 1,86                            | -                                  | 0,65                | <b>1,21</b>                        |
| Neergaande bocht | 7,17                            | 0,059                              | 0,65                | <b>4,70</b>                        |
| 2e rechte deel   | 6,11                            | -                                  | 0,65                | <b>3,97</b>                        |
| Opgaande bocht   | 7,95                            | 0,065                              | 0,65                | <b>5,21</b>                        |
| 3e rechte deel   | 2,42                            | -                                  | 0,65                | <b>1,57</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>
**8.2 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> ] |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1e rechte deel   | 1,62                               | 1,56                               | -                               | -                   | <b>3,18</b>                     |
| Neergaande bocht | 1,62                               | 1,56                               | 0,42                            | 0,65                | <b>3,45</b>                     |
| 2e rechte deel   | 1,62                               | 1,56                               | -                               | -                   | <b>3,18</b>                     |
| Opgaande bocht   | 1,62                               | 1,56                               | 0,46                            | 0,65                | <b>3,48</b>                     |
| 3e rechte deel   | 1,62                               | 1,56                               | -                               | -                   | <b>3,18</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>
**9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

| Locatie          | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm] | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|
| 1e rechte deel   | 4,30                       | 0,00                       | -                          | <b>0,87</b>     | 0,87               |
| Neergaande bocht | 16,17                      | 0,00                       | 0,00090                    | <b>3,51</b>     | 3,51               |
| 2e rechte deel   | 13,78                      | 0,00                       | -                          | <b>2,99</b>     | 2,99               |
| Opgaande bocht   | 17,93                      | 0,00                       | 0,0010                     | <b>3,89</b>     | 3,89               |
| 3e rechte deel   | 6,04                       | 0,36                       | -                          | <b>0,82</b>     | 0,82               |

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

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



**10. 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> ] |
|------------------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10  | 31,77                                       | 15,89                                      | 23,83                            | 35,74                       | 5,63                   |
| Neergaande bocht | 11,40 | 103,99                                      | 48,12                                      | 76,05                            | 116,92                      | 17,09                  |
| 2e rechte deel   | 10,30 | 86,07                                       | 39,83                                      | 62,95                            | 96,77                       | 17,09                  |
| Opgaande bocht   | 12,20 | 117,25                                      | 54,25                                      | 85,75                            | 131,82                      | 17,09                  |
| 3e rechte deel   | 3,40  | 43,21                                       | 30,22                                      | 36,72                            | 47,76                       | 5,31                   |

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

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

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

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

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

| 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> ] |
|------------------|--------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1e rechte deel   | 0,0021 | 1,05                   | 0,0029                 | 0,003272                             | 0,00                            | 0,28                                  |
| Neergaande bocht | 0,0024 | 1,46                   | 0,1009                 | 0,1138                               | 0,01                            | 1,06                                  |
| 2e rechte deel   | 0,0020 | 1,60                   | 0,1008                 | 0,1137                               | 0,03                            | 0,95                                  |
| Opgaande bocht   | 0,0027 | 1,37                   | 0,1007                 | 0,1136                               | 0,06                            | 1,14                                  |
| 3e rechte deel   | 0,0021 | 1,56                   | 0,0124                 | 0,01399                              | 0,06                            | 0,21                                  |

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

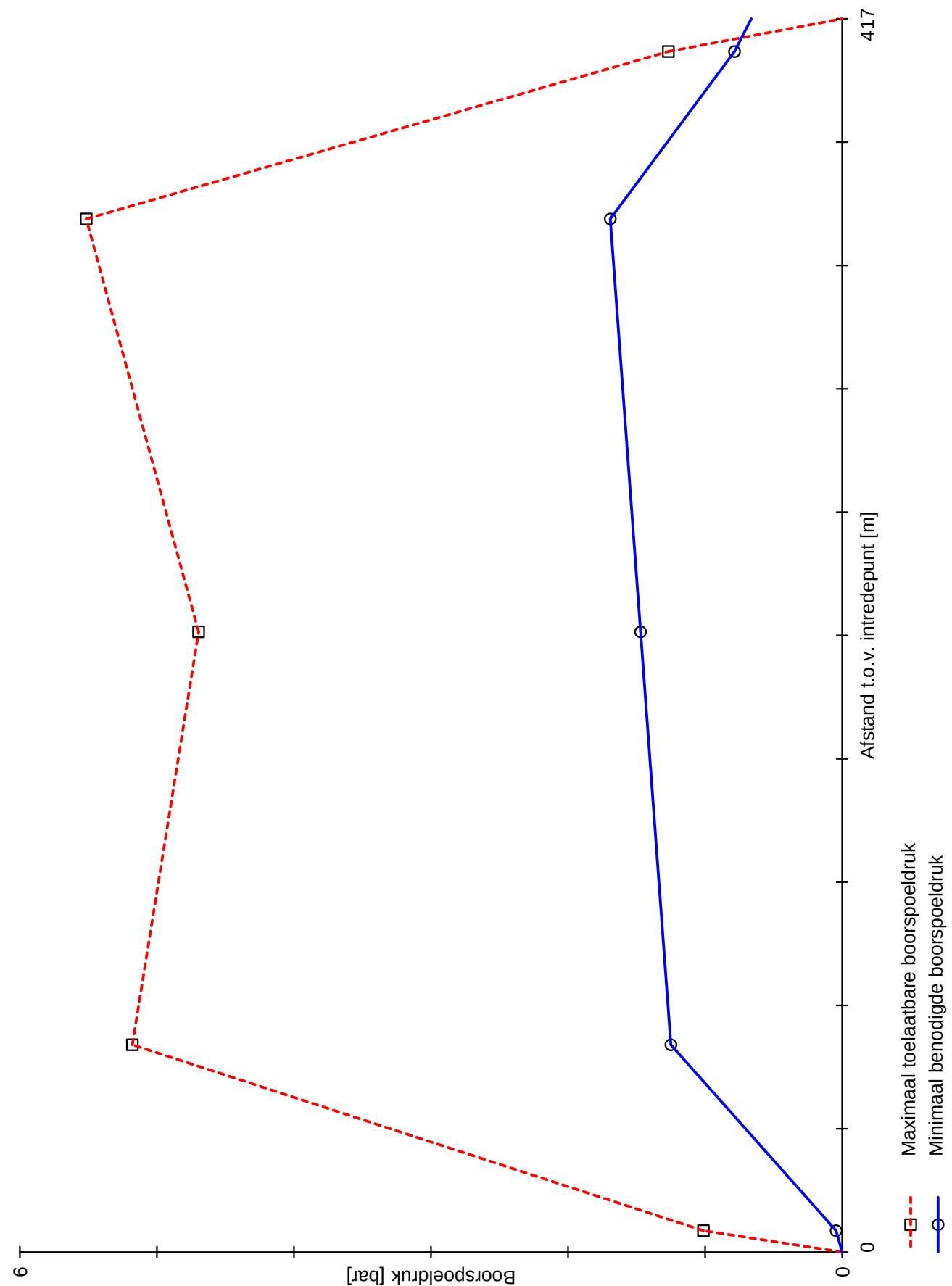
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

| Locatie          | $p_{\text{max}}$ [kPa] | 90% $p_{\text{lim}}$ [kPa] | $p_{\text{min}}$ [kPa] | $p_{\text{max}}$ [bar] | 90% $p_{\text{lim}}$ [bar] | $p_{\text{min}}$ [bar] |
|------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1e rechte deel   | <b>101,23</b>          | 253,10                     | <b>4,42</b>            | <b>1,01</b>            | 2,53                       | <b>0,04</b>            |
| Neergaande bocht | <b>517,90</b>          | 958,47                     | <b>124,98</b>          | <b>5,18</b>            | 9,58                       | <b>1,25</b>            |
| 2e rechte deel   | <b>469,53</b>          | 857,95                     | <b>147,07</b>          | <b>4,70</b>            | 8,58                       | <b>1,47</b>            |
| Opgaande bocht   | <b>551,54</b>          | 1.028,72                   | <b>169,16</b>          | <b>5,52</b>            | 10,29                      | <b>1,69</b>            |
| 3e rechte deel   | <b>126,80</b>          | 190,39                     | <b>78,55</b>           | <b>1,27</b>            | 1,90                       | <b>0,79</b>            |

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

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



|                                                                                              |                  |                         |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|-----------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020            |                  | Sigma 2020 1.0 ©        |           |
| Algemene gegevens                                                                            |                  |                         |           |
| Naam van het project : HDD boring Huilbeekweg<br>Projectonderdeel : HDPE100 ø110sdr11 KB     |                  |                         |           |
| 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 Tangentieel / 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 boorkop/ruimer ivm boorspoeldruk                                                    | D <sub>g</sub>   | = 450                   | mm        |
| Diameter boorstang                                                                           | D <sub>b</sub>   | = 73                    | mm        |
| Totale lengte                                                                                | L                | = 416,71                | m         |
| Lengte 1e rechte deel                                                                        | L <sub>1</sub>   | = 7,23                  | m         |
| Lengte neergaande bocht                                                                      | L <sub>2</sub>   | = 62,83                 | m         |
| Lengte 2e rechte deel                                                                        | L <sub>3</sub>   | = 279,03                | m         |
| Lengte opgaande bocht                                                                        | L <sub>4</sub>   | = 56,55                 | m         |
| Lengte 3e rechte deel                                                                        | L <sub>5</sub>   | = 11,07                 | m         |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                   | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m         |
| Straal neergaande bocht                                                                      | R <sub>1</sub>   | = 200,00                | m         |
| Straal opgaande bocht                                                                        | R <sub>2</sub>   | = 180,00                | m         |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                              | α <sub>1</sub>   | = 18,00 / 32,49         | ° / %     |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                               | α <sub>2</sub>   | = 18,00 / 32,49         | ° / %     |
| 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, bovengronds                                                                 | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |           |
| Belastingfactor, ondergronds                                                                 | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |           |
| Onzekerheidsfactor straal, ondergronds                                                       | f <sub>r,o</sub> | = 0,9                   |           |
| 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                   |           |
|                                                                                              |                  |                         |           |
| Gestuurde boring                                                                             |                  | 13-10-2020 16:10:45     |           |

**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie          | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | G.W.S. t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1e rechte deel   | 7,23                           | 2,10                        | 1,81                       | Zand         | 18,00                                             | 19,17                                             | 30,00                     |
| Neergaande bocht | 70,06                          | 11,40                       | 1,31                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| 2e rechte deel   | 209,575                        | 10,30                       | 0,22                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| Opgaande bocht   | 349,09                         | 12,20                       | 2,13                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| 3e rechte deel   | 405,64                         | 3,40                        | 2,16                       | Zand         | 18,00                                             | 17,98                                             | 17,50                     |

| 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 |
|------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 15,00                                     | Geen              |
| Neergaande bocht | Geen                        | ✓                | 0,0290                                                     | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| 2e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| Opgaande bocht   | Geen                        | ✓                | 0,0290                                                     | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| 3e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 15,00                                     | Grafiek 1/2 x II  |

**1. 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>                |

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

|                       | Leiding op rollenbaan/maaiveld    | Leiding in boorgat                |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 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        | $g_{rol} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$ | $g_{gat} = 0,0300 \text{ N/mm}^1$ |

**3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]    |
|---------------------------------------------------|--------|--------------|
| Starten met trekken                               | 416,71 | <b>2.250</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 405,64 | <b>2.191</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 349,09 | <b>1.885</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 70,06  | <b>378</b>   |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 7,23   | <b>39</b>    |

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

**3.2 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                                                     | 2.250     | <b>0,72</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 2.191     | <b>0,70</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.885     | <b>0,60</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 378       | <b>0,12</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 39        | <b>0,01</b>                     |

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

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

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

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

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

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

### 3.4 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                                                     | 0,72                            | <b>1,48</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,70                            | <b>1,46</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,60                            | <b>1,37</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,12                            | <b>0,89</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,01                            | <b>0,78</b>                     |

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

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

**4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**4.1 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:  $D_{e,omtrek} = 345,58 \text{ mm}^1$

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                                 | 11,07  | <b>660</b>    | -             |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 67,62  | -             | <b>4.033</b>  |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 346,65 | <b>20.676</b> | -             |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 409,48 | -             | <b>24.423</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 416,71 | <b>24.855</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:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (345,58 \cdot 0,00005 + 0,0793 \cdot 0,2)$

**4.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**
**4.3.1 Neergaande bocht**

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,00 \cdot 0,0290}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0038 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0038^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}{110,00 \cdot 0,9 \cdot 200.000} = 0,0009 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0009}{2} \cdot 110,00 \cdot \frac{\pi}{0,0038} \cdot 0,2 = \mathbf{59,30 \text{ N}}$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

#### 4.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{110,00 \cdot 0,0290}{4 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}} = 0,0038 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0038^2 \cdot 975 \cdot 3.966.260,73}{110,00 \cdot 0,9 \cdot 180.000} = 0,0010 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0010}{2} \cdot 110,00 \cdot \frac{\pi}{0,0038} \cdot 0,2 = \mathbf{65,89 \text{ N}}$$

#### 4.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht $T_{3c}$

| 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                                              | 1.885     | 4.033        | 59                        | -                       | <b>5.978</b>           |
| Opgaande bocht                                                | 39        | 24.423       | 59                        | 66                      | <b>24.588</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                                    | 9,00         | 5.978                  | <b>673</b>   |
| Opgaande bocht                                      | 9,00         | 24.588                 | <b>2.769</b> |

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

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

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

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

#### 4.5 Totalisatie van de trekkraften 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                               | 2.191     | 660                | -                         | -                         | -                       | -                       | <b>2.851</b>         |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 1.885     | 4.033              | 59                        | 673                       | -                       | -                       | <b>6.651</b>         |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 378       | 20.676             | 59                        | 673                       | -                       | -                       | <b>21.787</b>        |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                               | 39        | 24.423             | 59                        | 673                       | 66                      | 2.769                   | <b>28.030</b>        |
| Geheel intrekken                                            | 0         | 24.855             | 59                        | 673                       | 66                      | 2.769                   | <b>28.422</b>        |

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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:10:46

#### 4.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{tot}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 2.851         | <b>0,91</b>                     |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 6.651         | <b>2,12</b>                     |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 21.787        | <b>6,93</b>                     |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 28.030        | <b>8,92</b>                     |
| Geheel intrekken                                                        | 28.422        | <b>9,05</b>                     |

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

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

##### 4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 200.000} = 30.077,48 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{30.077,48}{72.113,83} = \mathbf{0,42 \text{ N/mm}^2}$$

##### 4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.966.260,73}{0,9 \cdot 180.000} = 33.419,42 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{33.419,42}{72.113,83} = \mathbf{0,46 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.8 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                                                     | 2.851         | 0,91                            | -                               | <b>0,91</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 6.651         | 2,12                            | 0,42                            | <b>2,39</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 21.787        | 6,93                            | -                               | <b>6,93</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 28.030        | 8,92                            | 0,46                            | <b>9,22</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 28.422        | 9,05                            | -                               | <b>9,05</b>                     |

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

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

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

**5. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**5.1 Berekening van de spanningen  $s_p$  en  $s_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

Leiding is drukloos:

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

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

Leiding is drukloos:

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

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

| Locatie          | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | G.W.S. t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | $q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{\text{totaal}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10                        | 1,81                       | Zand         | 35,84                                   | 6,12                                  | 41,95                                    | 4,30                       |
| Neergaande bocht | 11,40                       | 1,31                       | Zand         | 25,94                                   | 221,98                                | 247,92                                   | 16,17                      |
| 2e rechte deel   | 10,30                       | 0,22                       | Zand         | 4,36                                    | 221,76                                | 226,12                                   | 13,78                      |
| Opgaande bocht   | 12,20                       | 2,13                       | Zand         | 42,17                                   | 221,54                                | 263,71                                   | 17,93                      |
| 3e rechte deel   | 3,40                        | 2,16                       | Zand         | 42,77                                   | 24,52                                 | 67,29                                    | 6,04                       |

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

**5.4 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> ] |
|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10                        | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| Neergaande bocht | 11,40                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| 2e rechte deel   | 10,30                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| Opgaande bocht   | 12,20                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| 3e rechte deel   | 3,40                        | Grafiek ½ x II      | 3,24                       | 0,36                       |

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

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

| Locatie          | Hor. steun- druk | $Q_n$ [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>2</sup> ] |
|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1e rechte deel   | ✓                | 4,30                       | 0,00                       | 4,30                                    | 41,90 <sup>(1)</sup>  | <b>2,51</b>                     |
| Neergaande bocht | ✓                | 16,17                      | 0,00                       | 16,17                                   | 161,48 <sup>(1)</sup> | <b>9,69</b>                     |
| 2e rechte deel   | ✓                | 13,78                      | 0,00                       | 13,78                                   | 137,64 <sup>(1)</sup> | <b>8,26</b>                     |
| Opgaande bocht   | ✓                | 17,93                      | 0,00                       | 17,93                                   | 179,05 <sup>(1)</sup> | <b>10,74</b>                    |
| 3e rechte deel   | ✓                | 6,04                       | 0,36                       | 6,39                                    | 54,48 <sup>(1)</sup>  | <b>3,27</b>                     |

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

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

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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:10:47



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

### 5.6 Optredende spanning $s_{qr}$ tgv. grondreactie in de bochten

#### 5.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0009 \cdot 110,00 \cdot \frac{55,00}{16,67} = \mathbf{0,06 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0010 \cdot 110,00 \cdot \frac{55,00}{16,67} = \mathbf{0,07 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.7 Berekening van de spanning $s_{ax}$ t.g.v. temperatuurverschil

Leiding is drukloos

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

### 6. 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>**

### 7. 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

### 8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen

#### 8.1 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> ] |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,51                            | -                                  | 0,65                | <b>1,63</b>                        |
| Neergaande bocht | 9,69                            | 0,059                              | 0,65                | <b>6,34</b>                        |
| 2e rechte deel   | 8,26                            | -                                  | 0,65                | <b>5,37</b>                        |
| Opgaande bocht   | 10,74                           | 0,065                              | 0,65                | <b>7,03</b>                        |
| 3e rechte deel   | 3,27                            | -                                  | 0,65                | <b>2,12</b>                        |

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

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

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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:10:48

### 8.2 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> ] |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1e rechte deel   | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| Neergaande bocht | 0,00                               | 0,00                               | 0,42                            | 0,65                | <b>0,27</b>                     |
| 2e rechte deel   | 0,00                               | 0,00                               | -                               | -                   | <b>0,00</b>                     |
| Opgaande bocht   | 0,00                               | 0,00                               | 0,46                            | 0,65                | <b>0,30</b>                     |
| 3e rechte deel   | 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:  $\sigma_{ld} = \sigma_t = \mathbf{8,00}$  N/mm<sup>2</sup>

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

| Locatie          | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm] | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|
| 1e rechte deel   | 4,30                       | 0,00                       | -                          | <b>0,87</b>     | 0,87               |
| Neergaande bocht | 16,17                      | 0,00                       | 0,00090                    | <b>3,51</b>     | 3,51               |
| 2e rechte deel   | 13,78                      | 0,00                       | -                          | <b>2,99</b>     | 2,99               |
| Opgaande bocht   | 17,93                      | 0,00                       | 0,0010                     | <b>3,89</b>     | 3,89               |
| 3e rechte deel   | 6,04                       | 0,36                       | -                          | <b>0,82</b>     | 0,82               |

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 50,00^3}{350 \cdot 83,33}$$

Toelaatbare deflectie =  $8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 100,00 = \mathbf{8,00}$  mm

**10. 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> ] |
|------------------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10  | 31,77                                       | 15,89                                      | 23,83                            | 35,74                       | 5,63                   |
| Neergaande bocht | 11,40 | 103,99                                      | 48,12                                      | 76,05                            | 116,92                      | 17,09                  |
| 2e rechte deel   | 10,30 | 86,07                                       | 39,83                                      | 62,95                            | 96,77                       | 17,09                  |
| Opgaande bocht   | 12,20 | 117,25                                      | 54,25                                      | 85,75                            | 131,82                      | 17,09                  |
| 3e rechte deel   | 3,40  | 43,21                                       | 30,22                                      | 36,72                            | 47,76                       | 5,31                   |

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

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

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

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

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

| 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> ] |
|------------------|--------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1e rechte deel   | 0,0021 | 1,05                   | 0,0029                 | 0,003272                             | 0,00                            | 0,28                                  |
| Neergaande bocht | 0,0024 | 1,46                   | 0,1009                 | 0,1138                               | 0,01                            | 1,06                                  |
| 2e rechte deel   | 0,0020 | 1,60                   | 0,1008                 | 0,1137                               | 0,03                            | 0,95                                  |
| Opgaande bocht   | 0,0027 | 1,37                   | 0,1007                 | 0,1136                               | 0,06                            | 1,14                                  |
| 3e rechte deel   | 0,0021 | 1,56                   | 0,0124                 | 0,01399                              | 0,06                            | 0,21                                  |

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

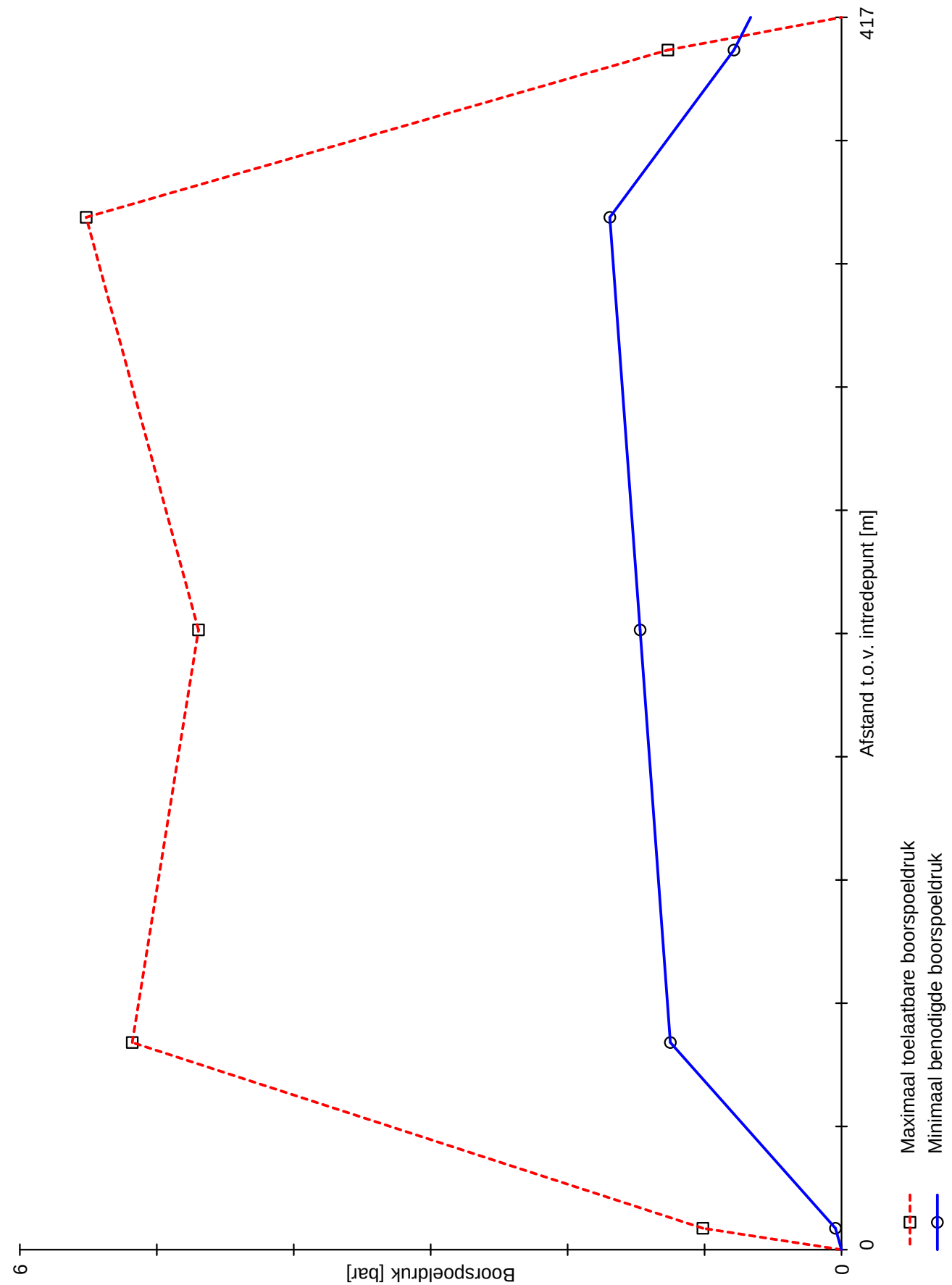
$$\Delta p = 4 \cdot \frac{\tau_y}{D_g - D_b} \cdot L$$

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

| Locatie          | $p_{\text{max}}$ [kPa] | 90% $p_{\text{lim}}$ [kPa] | $p_{\text{min}}$ [kPa] | $p_{\text{max}}$ [bar] | 90% $p_{\text{lim}}$ [bar] | $p_{\text{min}}$ [bar] |
|------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1e rechte deel   | <b>101,23</b>          | 253,10                     | <b>4,42</b>            | <b>1,01</b>            | 2,53                       | <b>0,04</b>            |
| Neergaande bocht | <b>517,90</b>          | 958,47                     | <b>124,98</b>          | <b>5,18</b>            | 9,58                       | <b>1,25</b>            |
| 2e rechte deel   | <b>469,53</b>          | 857,95                     | <b>147,07</b>          | <b>4,70</b>            | 8,58                       | <b>1,47</b>            |
| Opgaande bocht   | <b>551,54</b>          | 1.028,72                   | <b>169,16</b>          | <b>5,52</b>            | 10,29                      | <b>1,69</b>            |
| 3e rechte deel   | <b>126,80</b>          | 190,39                     | <b>78,55</b>           | <b>1,27</b>            | 1,90                       | <b>0,79</b>            |

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

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



|                                                                                                 |                  |                         |                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|
| Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020               |                  |                         | Sigma 2020 1.0 ©    |
| Algemene gegevens                                                                               |                  |                         |                     |
| Naam van het project : HDD boring Huilbeekweg<br>Projectonderdeel : HDPE100 ø225sdr11 Drukriool |                  |                         |                     |
| 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 Tangentieel / 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>   | = 225,00                | mm                  |
| Wanddikte                                                                                       | d <sub>n</sub>   | = 20,5                  | mm                  |
| Procesgegevens                                                                                  |                  |                         |                     |
| Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)                                                      |                  | = Vloeistof             |                     |
| Ontwerpdruk                                                                                     | p <sub>d</sub>   | = 0,2                   | N/mm²               |
| Volumieke massa medium                                                                          | ρ                | = 1000                  | kg/m³               |
| Temperatuurverschil                                                                             | Δ <sub>t</sub>   | = 10                    | °                   |
| 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 boorkop/ruimer ivm boorspoeldruk                                                       | D <sub>g</sub>   | = 450                   | mm                  |
| Diameter boorstang                                                                              | D <sub>b</sub>   | = 73                    | mm                  |
| Totale lengte                                                                                   | L                | = 416,71                | m                   |
| Lengte 1e rechte deel                                                                           | L <sub>1</sub>   | = 7,23                  | m                   |
| Lengte neergaande bocht                                                                         | L <sub>2</sub>   | = 62,83                 | m                   |
| Lengte 2e rechte deel                                                                           | L <sub>3</sub>   | = 279,03                | m                   |
| Lengte opgaande bocht                                                                           | L <sub>4</sub>   | = 56,55                 | m                   |
| Lengte 3e rechte deel                                                                           | L <sub>5</sub>   | = 11,07                 | m                   |
| Straal maaiveld/rollenbaan                                                                      | R <sub>r</sub>   | = 50,00                 | m                   |
| Straal neergaande bocht                                                                         | R <sub>1</sub>   | = 200,00                | m                   |
| Straal opgaande bocht                                                                           | R <sub>2</sub>   | = 180,00                | m                   |
| Intrede-hoek (bij boorstelling)                                                                 | α <sub>1</sub>   | = 18,00 / 32,49         | ° / %               |
| Uittrede-hoek (bij rollenbaan)                                                                  | α <sub>2</sub>   | = 18,00 / 32,49         | ° / %               |
| 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, bovengronds                                                                    | f <sub>k,b</sub> | = 1,1                   |                     |
| Belastingfactor, ondergronds                                                                    | f <sub>k,o</sub> | = 1,4                   |                     |
| Onzekerheidsfactor straal, ondergronds                                                          | f <sub>r,o</sub> | = 0,9                   |                     |
| 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                   |                     |
| Gestuurde boring                                                                                |                  |                         |                     |
|                                                                                                 |                  |                         | 13-10-2020 16:05:36 |



**Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting**

| Locatie          | Afstand t.o.v. intredepunt [m] | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | G.W.S. t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | Volumiek gewicht droge grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Volumiek gewicht natte grond [kN/m <sup>3</sup> ] | Wrijvings- hoek grond [°] |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| 1e rechte deel   | 7,23                           | 2,10                        | 1,81                       | Zand         | 18,00                                             | 19,17                                             | 30,00                     |
| Neergaande bocht | 70,06                          | 11,40                       | 1,31                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| 2e rechte deel   | 209,575                        | 10,30                       | 0,22                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| Opgaande bocht   | 349,09                         | 12,20                       | 2,13                       | Zand         | 18,00                                             | 20,00                                             | 32,50                     |
| 3e rechte deel   | 405,64                         | 3,40                        | 2,16                       | Zand         | 18,00                                             | 17,98                                             | 17,50                     |

| 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 |
|------------------|-----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|
| 1e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 15,00                                     | Geen              |
| Neergaande bocht | Geen                        | ✓                | 0,0290                                                     | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| 2e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| Opgaande bocht   | Geen                        | ✓                | 0,0290                                                     | 0,00                                    | 45,00                                     | Geen              |
| 3e rechte deel   | Geen                        | ✓                | -                                                          | 0,00                                    | 15,00                                     | Grafiek 1/2 x II  |

**1. Eigenschappen van de leiding**

|                                 |                                      |                 |                                  |
|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Inwendige middellijn            | $D_i = D_e - 2 \cdot d_n$            | = 184,00        | mm                               |
| Gemiddelde middellijn           | $D_g = (D_e + D_i)/2$                | = 204,50        | mm                               |
| Uitwendige middellijn+bekleding | $D_o = D_e + 2 \cdot e$              | = 225,00        | mm                               |
| Uitwendige straal               | $r_e = D_e / 2$                      | = 112,50        | mm                               |
| Inwendige straal                | $r_i = D_i / 2$                      | = 92,00         | mm                               |
| Gemiddelde straal               | $r_g = (r_e + r_i) / 2$              | = 102,25        | mm                               |
| Traagheidsmoment buis           | $I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi/64$ | = 69.540.227,86 | mm <sup>4</sup>                  |
| Weerstandsmoment buis           | $W_b = I_b / r_e$                    | = 618.135,36    | mm <sup>3</sup>                  |
| Wandtraagheidsmoment            | $I_w = d_n^3 / 12$                   | = 717,93        | mm <sup>4</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Wandweerstandsmoment            | $W_w = d_n^2 / 6$                    | = 70,04         | mm <sup>3</sup> /mm <sup>1</sup> |
| Oppervlakte leiding             | $A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$  | = 13.170,34     | mm <sup>2</sup>                  |
| Gewicht leiding                 | $g = \rho_L \cdot A$                 | = 0,1258        | N/mm <sup>1</sup>                |

**2. 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 | $g = 0,1258 \text{ N/mm}^1$           | $g = 0,1258 \text{ N/mm}^1$       |
| Gewicht vulling       | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$           | $g_{vul} = \text{N.v.t.} +$       |
| Totaal gewicht        | $g_{rol} = 0,1258 \text{ N/mm}^1$     | $g_{gat} = 0,1258 \text{ N/mm}^1$ |

**3. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds**
**3.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld**

| Trekkracht $T_1$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_1$ [N]    |
|---------------------------------------------------|--------|--------------|
| Starten met trekken                               | 416,71 | <b>9.434</b> |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 405,64 | <b>9.184</b> |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 349,09 | <b>7.903</b> |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 70,06  | <b>1.586</b> |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                  | 7,23   | <b>164</b>   |

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,8 \cdot L \cdot 0,1258 \cdot 0,1$$

**3.2 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                                                     | 9.434     | <b>0,72</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 9.184     | <b>0,70</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 7.903     | <b>0,60</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 1.586     | <b>0,12</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 164       | <b>0,01</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{13.170,34}$$

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

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{69.540.228}{50.000} = 1.491.637,89 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{1.491.637,89}{618.135} = \mathbf{2,41 \text{ N/mm}^2}$$

### 3.4 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                                                     | 0,72                            | <b>2,28</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,70                            | <b>2,27</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,60                            | <b>2,17</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,12                            | <b>1,69</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 0,01                            | <b>1,58</b>                     |

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 2,41 + \sigma_t$$

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

**4. Berekening van de optredende spanningen tijdens het intrekken van de leiding in het boorgat**
**4.1 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:  $D_{e,omtrek} = 706,86 \text{ mm}^1$

Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat  $g_{gat} = 0,126 \text{ N/mm}^1$

Gelet op het gewicht van de boorvloeistof:  $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 225,00^2 \cdot \pi/4 = 0,457 \text{ N/mm}^1$

Gelet hierop is  $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,331 \text{ N/mm}^1$

| Trekkracht $T_2$ en $T_{3a}$ tijdens verschillende stadia [N] | L [m]  | $T_2$ [N]     | $T_{3a}$ [N]  |
|---------------------------------------------------------------|--------|---------------|---------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 11,07  | <b>2.025</b>  | -             |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 67,62  | -             | <b>12.371</b> |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 346,65 | <b>63.419</b> | -             |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                 | 409,48 | -             | <b>74.913</b> |
| Geheel ingetrokken                                            | 416,71 | <b>76.236</b> | -             |

Rechte delen:  $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (706,86 \cdot 0,00005 + 0,331 \cdot 0,2)$

Gebogen delen:  $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,8 \cdot L \cdot (706,86 \cdot 0,00005 + 0,331 \cdot 0,2)$

**4.3 Berekening van de vereiste trekkracht  $T_{3b}$  in verband met wrijving door grondreactie in de bochten**
**4.3.1 Neergaande bocht**

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{225,00 \cdot 0,0290}{4 \cdot 975 \cdot 69.540.227,86}} = 0,0022 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r1} = \frac{0,322 \cdot 0,0022^2 \cdot 975 \cdot 69.540.227,86}{225,00 \cdot 0,9 \cdot 200.000} = 0,0026 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r1}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0026}{2} \cdot 225,00 \cdot \frac{\pi}{0,0022} \cdot 0,2 = \mathbf{607,61 \text{ N}}$$

#### 4.3.2 Opgaande bocht

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

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{225,00 \cdot 0,0290}{4 \cdot 975 \cdot 69.540.227,86}} = 0,0022 \text{ mm}^{-1}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot \lambda^2 \cdot E \cdot I_b}{D_o \cdot f_{r,o} \cdot R}$$

$$Q_{r2} = \frac{0,322 \cdot 0,0022^2 \cdot 975 \cdot 69.540.227,86}{225,00 \cdot 0,9 \cdot 180.000} = 0,0029 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_{r2}}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3$$

$$T_{3b} = 1,8 \cdot 4 \cdot \frac{0,0029}{2} \cdot 225,00 \cdot \frac{\pi}{0,0022} \cdot 0,2 = \mathbf{675,12 \text{ N}}$$

#### 4.4 Berekening van de wrijving door bochtkracht $T_{3c}$

| Trekkraft $T_{bocht}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_{3a}$ [N] | $T_{3b,neer}$ [N] | $T_{3b,op}$ [N] | $T_{bocht}$ [N] |
|--------------------------------------------------------|-----------|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Neergaande bocht                                       | 7.903     | 12.371       | 608               | -               | <b>20.882</b>   |
| Opgaande bocht                                         | 164       | 74.913       | 608               | 675             | <b>76.360</b>   |

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

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

| Trekkraft $T_{3c}$ tijdens verschillende stadia [N] | $\alpha$ [°] | $T_{bocht}$ [N] | $T_{3c}$ [N] |
|-----------------------------------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Neergaande bocht                                    | 9,00         | 20.882          | <b>2.352</b> |
| Opgaande bocht                                      | 9,00         | 76.360          | <b>8.601</b> |

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

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

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

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

#### 4.5 Totalisatie van de trekkraften in fase II

| Trekkraft $T_{tot}$ tijdens verschillende stadia [N] | $T_1$ [N] | $T_2 / T_{3a}$ [N] | $T_{3b,neer}$ [N] | $T_{3c,neer}$ [N] | $T_{3b,op}$ [N] | $T_{3c,op}$ [N] | $T_{tot}$ [N] |
|------------------------------------------------------|-----------|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                        | 9.184     | 2.025              | -                 | -                 | -               | -               | <b>11.209</b> |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                        | 7.903     | 12.371             | 608               | 2.352             | -               | -               | <b>23.234</b> |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                        | 1.586     | 63.419             | 608               | 2.352             | -               | -               | <b>67.964</b> |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                        | 164       | 74.913             | 608               | 2.352             | 675             | 8.601           | <b>87.312</b> |
| Geheel intrekken                                     | 0         | 76.236             | 608               | 2.352             | 675             | 8.601           | <b>88.471</b> |

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

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

#### 4.6 Berekening van de optredende spanningen t.g.v. de trekkrachten in fase II

| Spanningen $\sigma_t$ tijdens verschillende stadia [N/mm <sup>2</sup> ] | $T_{tot}$ [N] | $\sigma_t$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|
| 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 11.209        | <b>0,85</b>                     |
| 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 23.234        | <b>1,76</b>                     |
| 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 67.964        | <b>5,16</b>                     |
| 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                           | 87.312        | <b>6,63</b>                     |
| Geheel intrekken                                                        | 88.471        | <b>6,72</b>                     |

$$\sigma_t = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{13.170,34}$$

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

##### 4.7.1 Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{69.540.227,86}{0,9 \cdot 200.000} = 527.346,73 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{527.346,73}{618.135,36} = \mathbf{0,85 \text{ N/mm}^2}$$

##### 4.7.2 Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{69.540.227,86}{0,9 \cdot 180.000} = 585.940,81 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{585.940,81}{618.135,36} = \mathbf{0,95 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4.8 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                                                     | 11.209        | 0,85                            | -                               | <b>0,85</b>                     |
| Na 1 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 23.234        | 1,76                            | 0,85                            | <b>2,32</b>                     |
| Na 2 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 67.964        | 5,16                            | -                               | <b>5,16</b>                     |
| Na 3 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 87.312        | 6,63                            | 0,95                            | <b>7,25</b>                     |
| Na 4 <sup>e</sup> deel intrekken                                        | 88.471        | 6,72                            | -                               | <b>6,72</b>                     |

$$\text{Rechte delen: } \sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{13.170,34} = \sigma_t$$

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

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

Gestuurde boring

13-10-2020 16:05:38



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

**5. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase**
**5.1 Berekening van de spanningen  $s_p$  en  $s_{pl}$  t.g.v. inwendige druk**

$$D_g/d_n = 204,50/20,50 = 9,98 \rightarrow D_g/d_n \leq 20 \rightarrow \text{Dikwandige leiding}$$

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

$$\sigma_p = \frac{112,50^2 + 92,00^2}{112,50^2 - 92,00^2} \cdot 0,2 = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_p = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{pl} = \nu \cdot \sigma_p = 0,4 \cdot 1,01 = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

$$f_{rr} = 1 / \left( 1 + \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 102,25^3 \cdot 0,143}{975 \cdot 717,93} \right) = 0,92$$

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

| Locatie          | Dekking t.o.v. maaiveld [m] | G.W.S. t.o.v. maaiveld [m] | Grond- soort | $q_{\text{droog}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{\text{nat}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $q_{\text{totaal}}$ [kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10                        | 1,81                       | Zand         | 35,84                                   | 6,12                                  | 41,95                                    | 8,79                       |
| Neergaande bocht | 11,40                       | 1,31                       | Zand         | 25,94                                   | 221,98                                | 247,92                                   | 33,08                      |
| 2e rechte deel   | 10,30                       | 0,22                       | Zand         | 4,36                                    | 221,76                                | 226,12                                   | 28,20                      |
| Opgaande bocht   | 12,20                       | 2,13                       | Zand         | 42,17                                   | 221,54                                | 263,71                                   | 36,68                      |
| 3e rechte deel   | 3,40                        | 2,16                       | Zand         | 42,77                                   | 24,52                                 | 67,29                                    | 12,35                      |

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

**5.4 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> ] |
|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10                        | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| Neergaande bocht | 11,40                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| 2e rechte deel   | 10,30                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| Opgaande bocht   | 12,20                       | Geen                | 0,00                       | 0,00                       |
| 3e rechte deel   | 3,40                        | Grafiek ½ x II      | 3,24                       | 0,73                       |

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 225$$

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2020

Sigma 2020 1.0 ©

### 5.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

| Locatie          | Hor. steundruk | $Q_n$<br>[N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$<br>[N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_{\text{boven}}$<br>[N/mm <sup>1</sup> ] | $M_q$<br>[Nmm]        | $\sigma_q$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1e rechte deel   | ✓              | 8,79                          | 0,00                          | 8,79                                       | 175,27 <sup>(1)</sup> | <b>2,30</b>                        |
| Neergaande bocht | ✓              | 33,08                         | 0,00                          | 33,08                                      | 675,45 <sup>(1)</sup> | <b>8,87</b>                        |
| 2e rechte deel   | ✓              | 28,20                         | 0,00                          | 28,20                                      | 575,74 <sup>(1)</sup> | <b>7,56</b>                        |
| Opgaande bocht   | ✓              | 36,68                         | 0,00                          | 36,68                                      | 748,94 <sup>(1)</sup> | <b>9,83</b>                        |
| 3e rechte deel   | ✓              | 12,35                         | 0,73                          | 13,08                                      | 227,88 <sup>(1)</sup> | <b>2,99</b>                        |

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

$$M_q = 0,257 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 102,25 - 0,143 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot \sin(1/2 \cdot 120) \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 102,25$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 0,92 \cdot \frac{M_q}{70,04}$$

### 5.6 Optredende spanning $\sigma_{qr}$ tgv. grondreactie in de bochten

#### 5.6.1 Neergaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r1} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0026 \cdot 225,00 \cdot \frac{112,50}{70,04} = \mathbf{0,17 \text{ N/mm}^2}$$

#### 5.6.2 Opgaande bocht

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_{r2} \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w}$$

$$\sigma_{qr} = 0,179 \cdot 0,0029 \cdot 225,00 \cdot \frac{112,50}{70,04} = \mathbf{0,19 \text{ N/mm}^2}$$

### 5.7 Berekening van de spanning $\sigma_{ax}$ t.g.v. temperatuurverschil

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

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

### 6. Toetsing op minimale ringstijfheid $S_N$

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{717,93}{204,5^3} = 0,0818 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,85 \text{ kN/m}^2}$$

Minimaal vereiste ringstijfheid = **2 kN/m<sup>2</sup>**

### 7. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 717,93}{204,50^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 717,93}{204,50^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Conclusie: Kans op implosie bij **27,98 m** grondwater boven de leiding

Gestuurde boring

13-10-2020 16:05:39

**8. Berekening van het totaal aan optredende spanningen**
**8.1 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> ] |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,30                            | -                                  | 0,65                | <b>1,50</b>                        |
| Neergaande bocht | 8,87                            | 0,17                               | 0,65                | <b>5,88</b>                        |
| 2e rechte deel   | 7,56                            | -                                  | 0,65                | <b>4,91</b>                        |
| Opgaande bocht   | 9,83                            | 0,19                               | 0,65                | <b>6,52</b>                        |
| 3e rechte deel   | 2,99                            | -                                  | 0,65                | <b>1,94</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>
**8.2 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> ] |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1e rechte deel   | 0,40                               | 1,56                               | -                               | -                   | <b>1,96</b>                     |
| Neergaande bocht | 0,40                               | 1,56                               | 0,85                            | 0,65                | <b>2,52</b>                     |
| 2e rechte deel   | 0,40                               | 1,56                               | -                               | -                   | <b>1,96</b>                     |
| Opgaande bocht   | 0,40                               | 1,56                               | 0,95                            | 0,65                | <b>2,58</b>                     |
| 3e rechte deel   | 0,40                               | 1,56                               | -                               | -                   | <b>1,96</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>
**9. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie**

| Locatie          | $Q_n$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_v$ [N/mm <sup>1</sup> ] | $Q_r$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $\delta_Y$ [mm] | $\delta_Y/D_g$ [%] |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|
| 1e rechte deel   | 8,79                       | 0,00                       | -                          | <b>1,78</b>     | 0,87               |
| Neergaande bocht | 33,08                      | 0,00                       | 0,0026                     | <b>7,12</b>     | 3,48               |
| 2e rechte deel   | 28,20                      | 0,00                       | -                          | <b>6,07</b>     | 2,97               |
| Opgaande bocht   | 36,68                      | 0,00                       | 0,0029                     | <b>7,90</b>     | 3,86               |
| 3e rechte deel   | 12,35                      | 0,73                       | -                          | <b>1,67</b>     | 0,82               |

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + \frac{1}{2} \cdot Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 102,25^3}{350 \cdot 717,93}$$

Toelaatbare deflectie = 8% · D<sub>g</sub> = 0,08 · 204,50 = **16,36** mm

**10. 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> ] |
|------------------|-------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1e rechte deel   | 2,10  | 31,77                                       | 15,89                                      | 23,83                            | 35,74                       | 5,63                   |
| Neergaande bocht | 11,40 | 103,99                                      | 48,12                                      | 76,05                            | 116,92                      | 17,09                  |
| 2e rechte deel   | 10,30 | 86,07                                       | 39,83                                      | 62,95                            | 96,77                       | 17,09                  |
| Opgaande bocht   | 12,20 | 117,25                                      | 54,25                                      | 85,75                            | 131,82                      | 17,09                  |
| 3e rechte deel   | 3,40  | 43,21                                       | 30,22                                      | 36,72                            | 47,76                       | 5,31                   |

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

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

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

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

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

| 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> ] |
|------------------|--------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1e rechte deel   | 0,0021 | 1,05                   | 0,0029                 | 0,003272                             | 0,00                            | 0,28                                  |
| Neergaande bocht | 0,0024 | 1,46                   | 0,1009                 | 0,1138                               | 0,01                            | 1,06                                  |
| 2e rechte deel   | 0,0020 | 1,60                   | 0,1008                 | 0,1137                               | 0,03                            | 0,95                                  |
| Opgaande bocht   | 0,0027 | 1,37                   | 0,1007                 | 0,1136                               | 0,06                            | 1,14                                  |
| 3e rechte deel   | 0,0021 | 1,56                   | 0,0124                 | 0,01399                              | 0,06                            | 0,21                                  |

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

| Locatie          | $p_{\text{max}}$ [kPa] | 90% $p_{\text{lim}}$ [kPa] | $p_{\text{min}}$ [kPa] | $p_{\text{max}}$ [bar] | 90% $p_{\text{lim}}$ [bar] | $p_{\text{min}}$ [bar] |
|------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1e rechte deel   | <b>101,23</b>          | 253,10                     | <b>4,42</b>            | <b>1,01</b>            | 2,53                       | <b>0,04</b>            |
| Neergaande bocht | <b>517,90</b>          | 958,47                     | <b>124,98</b>          | <b>5,18</b>            | 9,58                       | <b>1,25</b>            |
| 2e rechte deel   | <b>469,53</b>          | 857,95                     | <b>147,07</b>          | <b>4,70</b>            | 8,58                       | <b>1,47</b>            |
| Opgaande bocht   | <b>551,54</b>          | 1.028,72                   | <b>169,16</b>          | <b>5,52</b>            | 10,29                      | <b>1,69</b>            |
| 3e rechte deel   | <b>126,80</b>          | 190,39                     | <b>78,55</b>           | <b>1,27</b>            | 1,90                       | <b>0,79</b>            |

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

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

