

Opdrachtgever : Liander N.V.
Contactpersoon : Dhr. L. van der Meiden
Adres : Basisweg 10
Plaats: : 1043 AP Amsterdam

MEMO

Onderwerp: Horizontaal gestuurde boring t.b.v. verleggen MS en LS

Horizontaal gestuurde boring

t.b.v. verleggen MS en LS CASE 0226322

Hogedijk te Zevenhoven



Figuur 1 overzicht werklocatie

Versie	Datum	Status	Opgesteld	Gecontroleerd	Akkoord
1	05-02-2020	Voor vergunning	BvdV	WH	LvdM
2					

Tabel 1 Versie- en wijzigingsoverzicht

Inhoudsopgave

1.	<i>Inleiding</i>	3
2.	<i>Uitgangspunten</i>	4
2.1	Informatie	4
2.2	Voorschriften en literatuur	4
2.3	Ontwerp.....	5
3.	<i>Werkomschrijving</i>	6
3.1	Algemeen	6
4.	<i>Materieel</i>	9
4.1	<i>Voorstel in te zetten boormaterieel</i>	9
4.2	<i>In te zetten meetsysteem</i>	9
4.3	Afwijkingen	10
4.4	Boortechnische wijze van uitvoeren.....	10
4.5	Kwaliteitsregistratie van de boring	11
4.6	Registratie bentoniet	11
4.7	Registratie aanmaakwater	11
4.8	Bouwmaterialen	12
5.	<i>Beoordeling gestuurde boring</i>	13
5.1	Tijdschema	13
5.2	Locatie in- en uittredepunt	13
5.3	Geotechnisch onderzoek	15
5.4	Beschrijving bodemgesteldheid	15
5.5	Grondwaterstanden.....	15
6.	<i>Berekeningsresultaten</i>	16
6.1	Boorspoeldrukken	16
6.2	Sterkteberekening	17
6.3	Trekkracht berekening	21

Lijst met tabellen

Tabel 1	Versie- en wijzigingsoverzicht	1
Tabel 2	Specificaties boring	5
Tabel 3	Specificaties produktleiding	5
Tabel 4	Specificaties mantelbuis	5
Tabel 4	Maximale afwijking pilotboring (volgens NEN 3650)	10
Tabel 5	Grondwaterstanden	15
Tabel 6	Optredende spanningen in de omtreksrichting van de leiding	18
Tabel 7	Optredende spanningen in de langsrichting van de leiding	19
Tabel 8	Optredende en toelaatbare deflectie van de leiding.....	20
Tabel 9	Berekening benodigde trekkracht op de leiding	21

Lijst met figuren

Figuur 1	overzicht werklocatie	1
Figuur 2	pilotboring	6
Figuur 3	ruimfase.....	7
Figuur 4	intrefase	8
Figuur 5	boor-rig	9
Figuur 6	intrede locatie	14
Figuur 7	uitrede locatie	14
Figuur 8	grafiek verwachte boorspoeldrukken tijdens de pilotboring	16

Lijst met bijlagen

Bijlage 1	Boortekening.....	22
Bijlage 2	Grondonderzoek	23
Bijlage 3	Resultaten sterkte- en mud-druk berekening	24
Bijlage 4	Beschrijving boorvloeistof	25

1. Inleiding

Liander N.V. heeft ATRON Engineering B.V. gevraagd om een horizontaal gestuurde boring te ontwerpen t.b.v. het verleggen van 1x middenspanning tracé en 2x laagspanningstracé in een regionale waterkering in het beheer van waterschap Amstel Gooi en vecht (Waternet).

De beoogde horizontaal gestuurde boring kruist de Molentocht en heeft een lengte van ca. 106,7 meter. De toe te passen mantelleiding is een Ø400mm PE100 SDR11 met daarin 1x Ø160mm t.b.v. MS kabel en 2x Ø110mm t.b.v. LS kabel

De horizontaal gestuurde boring treedt in naast de dijksloot van de Hogedijk en treedt uit in perceel A3322.

In dit boorplan wordt enkel de horizontaal gestuurde boring onder de Molentocht te Zevenhoven.

2. Uitgangspunten

2.1 Informatie

Voor dit schrijven hebben de volgende documenten als input gediend:

- Email Dhr. Van der Meiden d.d.29-11-2019
 - o Aanvraag HDD CASE 226322
- Tekening
 - o Plantekening CASE 226322
- Grondonderzoek
 - o Rapportage grondonderzoek Geonius met kenmerk GA200030.R01.v1
- Klic oriëntatiemelding
 - o 20O000357 (d.d. 06-01-2020)
- Leggerkaart
 - o Legger Waterschap Amstel gooi en Vecht. (Waternet)

2.2 Voorschriften en literatuur

Het ontwerp van de horizontaal gestuurde boringen en de berekeningen zijn gebaseerd op de volgende normen en voorschriften:

- NEN3650-1:2012 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemeen
- NEN3650-3:2012 Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 3: Kunststoffen
- NEN3651:2012 Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
- Richtlijn boortechnieken Rijkswaterstaat januari 2019
- DCA (Drilling Contractors Association) Technical Guidelines 2nd Edition february 2001

2.3 Ontwerp

Het ontwerp van de horizontaal gestuurde boring is weergegeven op de ontwerptekening welke is opgenomen in bijlage 1. In onderstaande tabel zijn de eigenschappen van de horizontaal gestuurde boring gespecificeerd:

De uiteindelijke civiele aannemer dient de ontwerpen te beoordelen op uitvoerbaarheid, risico's en afwijkingen in het ontwerp, grondslag en KLIC. Na controle zal hij hiervoor de ontwerpverantwoordelijkheid overnemen. Indien noodzakelijk zal de civiele aannemer de uitvoeringstekening aanpassen.

Omschrijving	HDD	Eenheid
Lengte	106,7	m
Intredehoek	16	°
Uittredehoek	18	°
Neergaande bochtstraal	110	m
Opgaande bochtstraal	110	m
Horizontale bochtstraal	250	m
Combistraal	100,68	m

Tabel 2 Specificaties boring

Omschrijving			
Materiaal	PE100 SDR11	Materiaal	PE100 SDR11
Uitwendige diameter	160mm	Uitwendige diameter	110mm
Wanddikte	14,6mm	Wanddikte	10mm
Aantal	1	Aantal	2

Tabel 3 Specificaties produktleiding

Omschrijving	
Materiaal	PE100 SDR11
Uitwendige diameter	400
Wanddikte	36,4mm
Aantal	1

Tabel 4 Specificaties mantelbuis

3. Werkomschrijving

3.1 Algemeen

Bij het aanleggen van ondergrondse netwerken, die bestaan uit kabels en leidingen, kunnen horizontaal gestuurde boringen worden toegepast om o.a. 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 mediumleiding.

Tijdens alle fasen wordt er gebruik gemaakt van boorspoeling. De boorspoeling is een water bentonietmengsel waar eventueel 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.

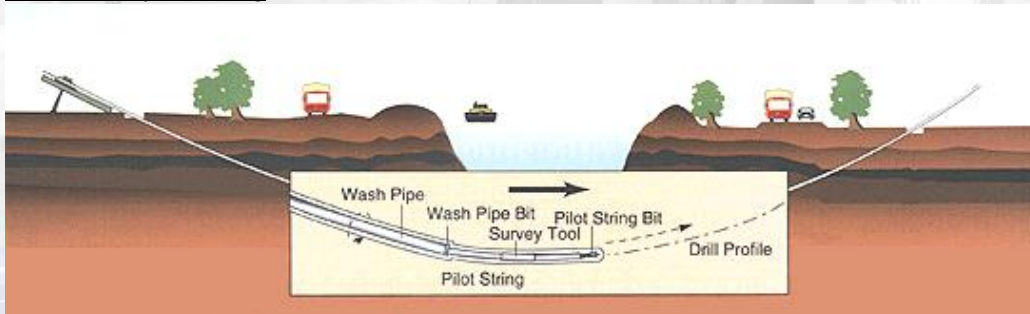
De voornaamste functies van de boorspoeling zijn:

- 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 mediumleiding;
- 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 boor-rig opgesteld is, en een pipe-site (uittredepunt) waar de in te trekken mantelbuis samengesteld en klaargelegd wordt.

Fase 1: De pilotboring



Figuur 2 pilotboring

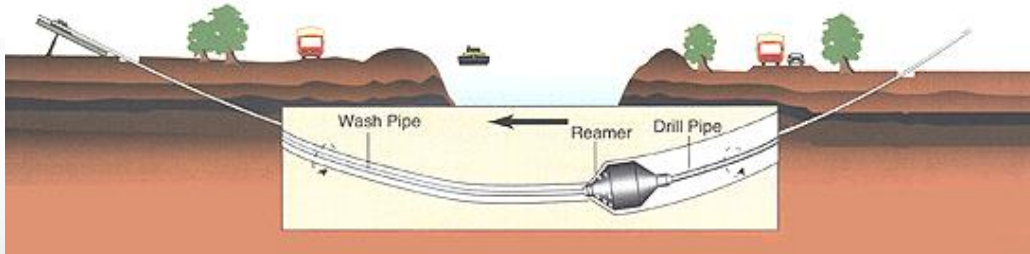
Aan de voorkant van de boorstreng is een boorkop aangebracht. De boorspoeling wordt via de boorstreng naar de boorkop gepompt en wordt samen met de losgewoelde grond langs de buitenzijde van de boorstreng door de boortunnel afgevoerd. Over het eerste gedeelte van de boorstreng kan eventueel een casing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

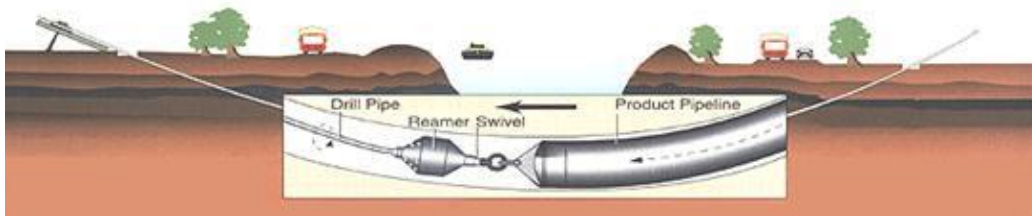


Figuur 3 ruimfase

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 mediumleiding of mantelbuis:



Figuur 4 intrekkfase

Tijdens de laatste fase van het boorproces wordt de mediumleiding 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 intrekkoperatie 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 of mantelbuis 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.

4. Materieel

4.1 Voorstel in te zetten boormaterieel

Onderstaand treft u een voorstel voor het in te zetten boormaterieel en de daarbij behorende technische specificaties. De berekeningen en het boorontwerp dienen door de aannemer gecontroleerd en indien nodig aangepast te worden in overeenstemming met het in te zetten materieel.



Figuur 5 boor-rig

Merk/type: DW – JT30

Trekkracht:	110kN
Torque:	5,42kNm
Spindle speed:	225rpm
Motor:	110 kW
Gewicht:	7.750kg
Lengte:	5,59m
Breedte:	2,03m
Hoogte:	2,39m
In-uittredehoek:	10° – 19°

4.2 In te zetten meetsysteem

Momenteel worden er doorgaans de volgende drie typen meetsystemen toegepast:

Walk-over meetsysteem

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

Steeringtool

De Steeringtool is een zeer nauwkeurig meetsysteem waarbij de boorkop gedetecteerd kan worden vanaf de boorslede zonder een (continue) ontvanger boven de boorkop. Ook deze signalen kunnen beïnvloed worden door omgevingsfactoren zoals damwanden, (tram)rails en andere kabels en leidingen. Voordelen ten opzichte van het walk-over meetsysteem zijn dat de steeringtool toepasbaar is bij grotere dieptes.

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 (AutoCAD).

Voor de uitvoering van deze gestuurde boring kunnen alle hierboven genoemde systemen worden toegepast. Het is aan de aannemer hier een keuze in te maken.

4.3 Afwijkingen

Het is mogelijk dat een pilotboring onder bepaalde omstandigheden afwijkt van het vooraf geplande boortracé. De boormeester en assistent-boormeester dienen continu en nauwlettend het boorproces in de gaten te houden en eventuele afwijkingen te registreren.

Wanneer de boring buiten de 'maximale toegestane afwijking' treedt zal door de aannemer contact moeten worden opgenomen met de opdrachtgever en vergunningverlener(s).

Volgens de NEN 3650-01 mag de afwijking in de lengte-, breedte- en diepteligging van de hartlijn van de leiding niet groter zijn dan aangegeven in onderstaande tabel.

Richting	Maximale afwijking
verticaal	+1m / -1m
Horizontaal (in lengterichting t.p.v. uittredepunt)	+5m / -2m
Horizontaal (in dwarsrichting t.p.v. uittredepunt)	+1m / -1m
Horizontaal (in dwarsrichting tracé tussen in-/uittredepunt)	+5m / -5m

Tabel 5 Maximale afwijking pilotboring (volgens NEN 3650)

4.4 Boortechnische wijze van uitvoeren

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);
- Mixen van de boorspoeling met water van voldoende kwaliteit;
- Opvang uitkomende boorspoeling bij intrede- en uittredepunt in de in- en uittredeputten, eventueel kunnen vloeistofdichte bakken geplaatst worden voor opvang en / of buffering van de boorspoeling;
- Eventueel kan door de aannemer gekozen worden voor hergebruik van boorspoeling. In dit geval zal een recyclinginstallatie geplaatst worden;
- Leegzuigen van de boorgaten en / of vloeistofdichte bakken met vloeistofdichte zuigwagens;
- Afvoeren overgebleven / overtollige boorspoeling naar een erkend verwerker.

4.5 Kwaliteitsregistratie van de boring

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

- Begintijd, stoptijd, koppel en de pomp tijd (uur:min);
- debiet boorvloeistof (ltr/min);
- druk boorvloeistof aan de pomp (bar);
- duwkracht aan de boorinstallatie (ton);
- trekkracht aan de boorinstallatie (ton);
- tevens vindt registratie van de locatie en de hoogteligging (RD coördinaten t.o.v NAP) plaats.
- Azimuth (graden), Pitch (graden), Diepte (meter);

Deze meetgegevens dienen te worden opgenomen in een "drill-sheet" (of vergelijkbaar document) en door het boorbedrijf te worden gearchiveerd. Deze meetgegevens worden samen met de veldmetingen verwerkt tot de vereiste revisie gegevens voor de opdrachtgever.

4.6 Registratie bentoniet

Van de bentoniet welke tijdens de pilotboring, het ruimen van het boorgat en het intrekken van de mantelbuis wordt toegepast zullen de volgende gegevens worden geregistreerd:

- Meettijdstip (uur : min);
- Viscositeit (sec);
- Soortelijk gewicht (kg/M3);
- Cuttings in/ Cuttings uit (-);
- Soort grond (visueel) (-);
- Eventuele toevoegingen (soort – kg/M3);

4.7 Registratie aanmaakwater

Van het water wat tijdens het aanmaken van bentoniet of andere toevoegstoffen wordt gebruikt tijdens de pilotboring, het ruimen van het boorgat en het intrekken van de mantelbuis, zullen de volgende gegevens worden geregistreerd:

- Datum (dd-mm-jj);
- meettijdstip (uur : min);
- PH waarde (-);
- chloride gehalte (µS/cm);
- hardheid (-);
- Eventuele toevoegingen (soort – kg/M3);

4.8 Bouwmaterialen

Buizen

De buizen kunnen in dit geval op twee manieren worden geleverd:

- ❖ Complete lengte op haspel (zonder KIWA keur);
- ❖ Kunnen in lengtes geleverd worden en door middel van lassen aan elkaar worden verbonden. De lasrillen in de buis dienen verwijderd te worden. Deze werkzaamheden dienen uitgevoerd te worden met gekwalificeerd personeel en gecertificeerd materiaal.

Boorvloeistof

Boorvloeistof dient te bestaan uit een mengsel van schoon water en bentoniet. De mix hoeveelheid kan van variëren omdat de mengverhouding wordt aangepast aan de lokaal geconstateerde grondslag. In Bijlage 5 is een voorbeeld toegevoegd voor de toepassing en eigenschappen van boorpoeling. In sommige gevallen zal de booraannemer voor de uitvoering van de werkzaamheden of het welslagen van de horizontaal gestuurde boring eventueel benodigde toevoegstoffen in de boorpoeling toe moeten passen.

Drillgrout

De horizontaal gestuurde boring ligt binnen het beheersgebied Waterschap Amstel, Gooi en Vecht (Waternet). De produktbuizen van de horizontaal gestuurde boring worden geplaatst in één omhullende mantelbuis. Om eventuele kwel problematiek te voorkomen zal de boring worden ingetrokken met drillgrout.

Vrijkomende grond / boorpoeling

Op de projectlocatie mag enkel gerecyclede boorpoeling worden toegepast mits deze is voorzien van een geldig keuringscertificaat. In andere gevallen dient de boorpoeling vers te worden aangemaakt op de projectlocatie.

Alle vrijkomende grond die, op basis van chemische verontreinigingen dan wel op basis van fysische eigenschappen, niet geschikt is om herverwerkt te worden, boorpoeling of overtollige grond wordt geacht voor de opdrachtgever geen waarde te hebben.

Aannemer dient overtollige boorpoeling of vrijgekomen cuttings af te voeren naar een bewerkings-, verwerkings- of eindverwerkingsinrichting, als bedoeld in de Wet milieubeheer. Hierbij behoort tevens het afgeven van de grond aan de desbetreffende inrichting inclusief alle kosten zoals leges, acceptatiekosten en vervoerskosten tot klasse industrie.

Bij oplevering zullen geleide bewijzen, transportbrieven, stortbewijzen etc. dienen te worden getoond dan wel als hard copy bij de opleverbescheiden te worden aangeleverd.

5. Beoordeling gestuurde boring

5.1 Tijdschema

De bepaling van de tijdsduur voor het realiseren van de gestuurde boring is mede afhankelijk van het in te zetten materieel, locatie, in te trekken leiding(en) en de grondslag. Voor de uitvoering van deze gestuurde boring zal onderstaand gemiddelde tijdsschema van toepassing zijn:

- Inrichten werkterrein	: 0,50	dag(en)
- Uitvoeren van de pilotboring	: 0.50	dag(en)
- Uitvoeren eerste ruimgang	: 0.50	dag(en)
- Uitvoeren tweede ruimgang	: 0,50.	dag(en)
- Intrekken van de mantelbuizen	: 0,50	dag(en)
- Afvoer en opruimen werkterrein	: 0.50	dag(en)

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 inclusief het vestigen van zakelijk recht.

5.2 Locatie in- en uitredepunt

De horizontaal gestuurde boring treedt in de berm van Hogedijk nabij de in-uitrit van Hogedijk 11.

Ter plaatse van het intredepunt bevinden zich volgens de KLIC 20O000357 enkele kabels en leidingen. Ter voorkoming van eventuele graafschade is het noodzakelijk deze te lokaliseren door middel van proefsleuven.



Figuur 6 intrede locatie

De uittredelocatie bevindt zich Perceel A3322. Dit betreft een particulier perceel

Ter plaatse van het uittredepunt bevinden zich diverse kabels en leidingen. Ter voorkoming van eventuele graafschade is het noodzakelijk deze te lokaliseren door middel van proefsleuven. Hieruit kan volgen dat het noodzakelijk is het uittredepunt iets te verplaatsen.

De opslag en de samenstelling van de boorbuis en produktbuizen middels spiegellassen zijn voorzien in dit perceel. De aannemer zal naar eigen inzicht voorzieningen moeten treffen.

De aannemer dient rekening te houden met de bereikbaarheid voor belanghebbenden en omwonenden. Voor de uitvoering van de werkzaamheden zullen door de aannemer de benodigde verkeersplannen opgesteld dienen te worden om goedkeuring te verkrijgen van de wegbeheerders.

Het vaststellen van de precieze omvang van het werkterrein is onderdeel van de voorbereidingen van de uitvoering en behoeft goedkeuring van de opdrachtgever. Aannemer dient zich ten tijde van de aanbidding te vergewissen of er voldoende werkruimte aanwezig is.



Figuur 7 uittrede locatie

5.3 Geotechnisch onderzoek

Voorafgaand aan de uitvoering van de gestuurde boring dient de lokale geotechnische informatie te worden verzameld. Indien er geen geotechnische informatie beschikbaar is kan een geotechnisch onderzoek worden uitgevoerd.

Voor deze gestuurde boring is was geen geotechnisch onderzoek voorhanden. Geonius heeft grondonderzoek uitgevoerd. De rapportage van het onderzoek is terug te vinden in Bijlage 2.

Deze geotechnische informatie is als input gebruikt voor de sterkte- en mud-druk berekeningen welke middels het programma Sigma 2018 versie 1.5 zijn vervaardigd.

Indien de civiele aannemer het noodzakelijk acht aanvullend grondonderzoek uit te voeren dient hij dit mee te nemen in zijn aanbidding.

5.4 Beschrijving bodemgesteldheid

De bodemopbouw kan op basis van de sondering de uitgevoerde sondering van Geonius in kaart gebracht. Het toegepaste grondonderzoek is bijgevoegd in bijlage 2.

5.5 Grondwaterstanden

Ter plaatse van het in en uittredepunt zijn de grondwaterstanden gemeten. Deze waarden worden gebruikt voor de berekeningen zoals beschreven in hoofdstuk 6. In onderstaande tabel zijn de gemeten waarden weergegeven.

Omschrijving	+/- N.A.P.	Waarde
GWS watergang intredepunt	-	5.22m
GWS Molentocht	-	6,02m

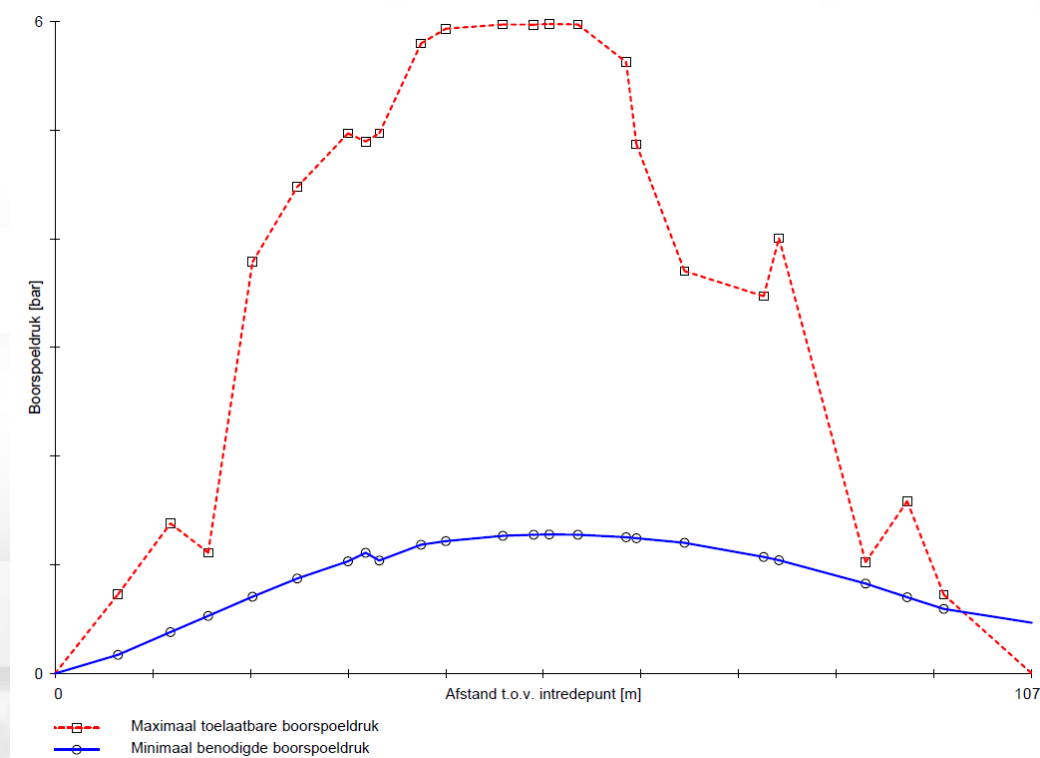
Tabel 6 Grondwaterstanden

6. Berekeningsresultaten

In onderstaande hoofdstukken zijn de resultaten weergegevens uit de sterkte en mud-druk berekeningen vervaardigd in het programma Sigma 2018 versie 1.5 conform de NEN 3650. Deze berekeningen zijn toegevoegd in Bijlage 3. De uiteindelijke civiele aannemer dient vooruitlopend op de werkzaamheden deze berekeningen te controleren en-/of controleberekeningen op te stellen ter verificatie van onderstaande conclusies.

6.1 Boorspoeldrukken

Het ontwerp van de horizontaal gestuurde boring is getoetst door middel van de uitvoering van een mud-druk berekening. Onderstaande figuur geeft de verwachtingswaarde weer voor de boorspoeldrukken gedurende de realisatie van de pilotboring:



Figuur 8 grafiek verwachte boorspoeldrukken tijdens de pilotboring

Uit de grafiek blijkt dat tijdens de pilotboring de minimaal benodigde boorspoeldruk de maximaal toelaatbare boorspoeldruk overstijgt. Dit betekent dat er vlak bij het einde van de pilot boring er een kans is op mud-uitbraak.

In de praktijk kan dit voorkomen worden door de pompdruk te verlagen en de voortgangssnelheid te verlagen.

De benodigde boorspoeldrukken zijn indicatief en onder andere afhankelijk van de boorapparatuur die de aannemer zal inzetten.

6.2 Sterkteberekening

Het ontwerp van de horizontaal gestuurde boring is getoetst door middel van de uitvoering van een sterkte- en mud-drukberkening.

In onderstaande tabel zijn de verwachtingswaarden weergegeven van de materiaalspanningen. De toetsing van de spanningen heeft betrekking op de volgende aspecten:

- Spanningen in de omtreksrichting van de leiding
- Spanningen in de langsrichting van de leiding
- Deflectie (vervorming van de leiding)
- Benodigde trekkracht op de leiding

9.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
A	1,13	-	0,65	0,73
B	1,78	-	0,65	1,15
C	2,11	-	0,65	1,37
2	2,76	-	0,65	1,80
D	3,50	0,36	0,65	2,51
E	4,00	0,36	0,65	2,83
F	3,83	0,36	0,65	2,72
G	4,00	0,36	0,65	2,84
H	5,16	0,36	0,65	3,59
I	5,34	0,36	0,65	3,71
3	5,34	0,36	0,65	3,71
4	5,35	0,36	0,65	3,71
5	5,36	0,36	0,65	3,72
J	5,37	0,36	0,65	3,72
K	4,90	0,36	0,65	3,42
L	3,73	0,36	0,65	2,66
6	2,34	0,36	0,65	1,76
M	2,19	0,36	0,65	1,65
N	2,96	0,36	0,65	2,16
7	1,83	-	0,65	1,19
O	1,66	-	0,65	1,08
P	1,42	-	0,65	0,92

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

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{td} = \sigma_t = 8,00$ N/mm²

Tabel 7 Optredende spanningen in de omtreksrichting van de leiding

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
A	0,00	0,00	-	-	0,00
B	0,00	0,00	-	-	0,00
C	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	-	-	0,00
D	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
E	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
F	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
G	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
H	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
I	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
3	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
4	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
5	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
J	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
K	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
L	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
6	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
M	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
N	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
7	0,00	0,00	-	-	0,00
O	0,00	0,00	-	-	0,00
P	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

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

Tabel 8 Optredende spanningen in de langsrichting van de leiding

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_Y [mm]	δ_Y/D_g [%]
A	7,07	2,85	-	0,12	0,032
B	14,37	1,26	-	0,19	0,051
C	17,67	0,89	-	0,15	0,041
2	23,66	0,65	-	0,38	0,10
D	30,31	0,51	0,012	0,48	0,13
E	35,18	0,00	0,012	0,55	0,15
F	33,67	0,00	0,012	0,52	0,14
G	35,24	0,00	0,012	0,55	0,15
H	44,73	0,67	0,012	0,70	0,19
I	46,37	0,65	0,012	0,73	0,20
3	46,70	0,33	0,012	0,73	0,20
4	46,72	0,33	0,012	0,73	0,20
5	46,85	0,33	0,012	0,73	0,20
J	46,93	0,34	0,012	0,73	0,20
K	42,73	0,38	0,012	0,67	0,18
L	32,82	0,00	0,012	0,51	0,14
6	20,62	0,00	0,012	0,32	0,088
M	19,23	0,00	0,012	0,30	0,082
N	25,48	0,54	0,012	0,40	0,11
7	15,32	0,83	-	0,13	0,035
O	13,41	1,17	-	0,16	0,044
P	10,72	1,76	-	0,11	0,031

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

$$\delta_Y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 181,80^3}{350 \cdot 4.019,05}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 363,60 = \mathbf{29,09 \text{ mm}}$$

Tabel 9 Optredende en toelaatbare deflectie van de leiding

De maximale deflectie op de mantelbuis bedraagt 0,73 mm (0,20% x Do) voor de 400mm. De maximaal toelaatbare deflectie bedraagt 29.09mm. De optredende maximale deflectie is dus toelaatbaar.

Het toegepaste materiaal PE100 SDR11 is hiermee voldoende sterk. Dit geldt zowel tijdens het intrekken van de mantelbuis als in de bedrijfsfase.

6.3 Trekkraft berekening

In onderstaande tabel zijn de verwachtingswaarden t.a.v. de trekkraft weergegeven. In de berekening wordt ervan uit gegaan dat de mantelbuis tijdens de intrekfase niet wordt gevuld met water.

De benodigde trekkraft voor het intrekken van de boorstreng bedraagt voor deze gestuurde boring circa 56.640 N = ca.5,67 ton

5.5 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 ^e deel intrekken	5.575	6.663	-	-	-	-	12.238
2 ^e deel intrekken	3.400	19.338	5.710	2.217	-	-	30.664
3 ^e deel intrekken	3.292	19.965	5.710	2.217	-	-	31.184
4 ^e deel intrekken	1.359	31.231	5.710	2.217	5.710	3.430	50.081
Geheel intrekken	0	39.148	5.710	2.217	5.710	3.430	56.640

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

Tabel 10 Berekening benodigde trekkraft op de leiding

Bijlage 1 Boortekening

Bijlage 2 Grondonderzoek

Geotechnisch onderzoek

t.b.v. gestuurde boring nabij Hogedijk 16 te Zevenhoven

GA200030.R01.v1.0

4 februari 2020



Geotechnisch onderzoek

t.b.v. gestuurde boring nabij Hogedijk 16 te Zevenhoven

Documentnummer GA200030.R01.v1.0

4 februari 2020

Opdrachtgever

ATRON Engineering
Hulsenboschstraat 22 B-1
4251 LR Werkendam

Auteurs

Adviseur geotechniek ir. T.C.F. Van Es
Collegiale toets ir. T.W. Snel

+31 88 130 06 00
info@geonius.nl
Postbus 1097
6160 BB Geleen

Geonius.nl

Functie	Naam	Paraaf
Adviseur geotechniek	ir. T.C.F. Van Es	
Collegiale toets	ir. T.W. Snel	

Inhoud

1	Inleiding.....	4
2	Grondonderzoek.....	5
2.1	Algemeen	5
2.2	Diepsonderingen	5
2.3	Inmeting	5
3	Grondslag	6
3.1	Terreingesteldheid	6
3.2	Bodemopbouw	6
3.3	Grondwater	6

Bijlagen

Bijlage 1 Situatiekening

Bijlage 2 Sondeergrafieken

1 Inleiding

Door ATRON Engineering werd aan Geonius Geotechniek B.V. opdracht gegeven een geotechnisch grondonderzoek uit te voeren. Dit onderzoek was nodig voor een gestuurde boring nabij Hogedijk 16 te Zevenhoven.

Voorliggend rapport bevat de resultaten van het grondonderzoek. Het onderzoek is uitgevoerd conform NEN 9997-1 (Geotechnisch ontwerp Deel 1: Algemene regels) en NEN 1997-2 (Geotechnisch ontwerp Deel 2: Grondonderzoek en beproeving). Beide delen vormen de basis van Eurocode 7.

2 Grondonderzoek

2.1 Algemeen

Ten behoeve van het grondonderzoek zijn in februari 2020 twee diepsonderingen uitgevoerd. Hieronder is het uitgevoerde onderzoek verder beschreven.

2.2 Diepsonderingen

De sonderingen zijn genummerd GA200030 SWW01 t/m SWW02. De diepsonderingen zijn gemaakt met een elektrische conus waarbij de conusweerstand continu wordt gemeten, elektrisch geregistreerd en digitaal vastgelegd. De sonderingen zijn uitgevoerd conform NEN-EN-ISO 22476-1.

Bij de sonderingen is tevens de lokale wrijving en waterspanning gemeten. De continue registratie van de ondervonden bodemweerstand verzekert een gedetailleerd beeld van de bodemopbouw. Dit niet alleen voor wat betreft de sterkte van de bodem maar tevens met betrekking tot de aard van de aanwezige ongeroerde grondlagen.

De verhouding tussen de wrijvingsweerstand van de kleefmantel en de weerstand aan de conuspunt, het zogenaamde wrijvingsgetal, heeft voor iedere grondsoort een andere waarde. Voor een gladde elektrische conus gelden bij veel voorkomende ongeroerde gronden onder de grondwaterstand ongeveer de navolgende relaties:

Tabel 2.1: interpretatie van het wrijvingsgetal

Wrijvingsgetal in %	Grondsoort
0.3 – 1.5	Zand, grof tot fijn
1.5 – 2.5	Silt (leem)
2.5 – 5.0	Klei
> 5.0	Veen

Tussen de verschillende grondsoorten komen overgangsvormen voor waardoor de aangegeven grenzen niet als hard zijn te beschouwen.

In de elektrische conus bevindt zich een hellingmeter. Hierdoor is controle mogelijk op een eventueel afwijken van de verticaal. Bijzondere afwijkingen zijn niet vastgesteld.

2.3 Inmeting

De ligging van de onderzoekspunten is op situatietekening GA200030.T01 weergegeven. De resultaten van het grondonderzoek zijn in de bijlagen toegevoegd. De sondeergrafieken zijn getekend ten opzichte van NAP.

De onderzoekspunten zijn met behulp van 06-GPS ingemeten t.o.v. het Rijksdriehoekstelsel en NAP (nauwkeurigheid ca. 0,10 m). Alle gegevens van de inmetingen zijn een momentopname en zijn alleen te gebruiken voor voorliggend onderzoek.

3 Grondslag

3.1 Terreingesteldheid

De sonderingen zijn in de berm van de Hogedijk uitgevoerd. Ten tijde van het grondonderzoek lag het maaiveld ter plaatse van de sondeerpunten op een niveau van ca. NAP -3,9 tot -4,2 m. Het terrein kent hiermee een hoogteverschil van ca. 0,3 m.

3.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw kan op basis van de sonderingen door middel van het volgende lagensysteem worden beschreven:

Toplaag:

Vanaf maaiveld wordt tot een niveau van ca. NAP -9,6 à -9,9 m een zeer slap klei-/veenpakket aangetroffen. Tot ca. NAP -6,0 m bestaat de ondergrond vermoedelijk uit (veraard) veen. Vervolgens wordt vanaf ca. NAP -9,0 m humeuze klei aangetroffen. De onderkant van de toplaag wordt gemarkeerd door een laag Basisveen. De conusweerstand varieert van ca. 0,1 MPa in de zeer slappe (humeuze) klei tot ca. 0,5 MPa in de veraarde veenlaag en het Basisveen.

Onderlaag:

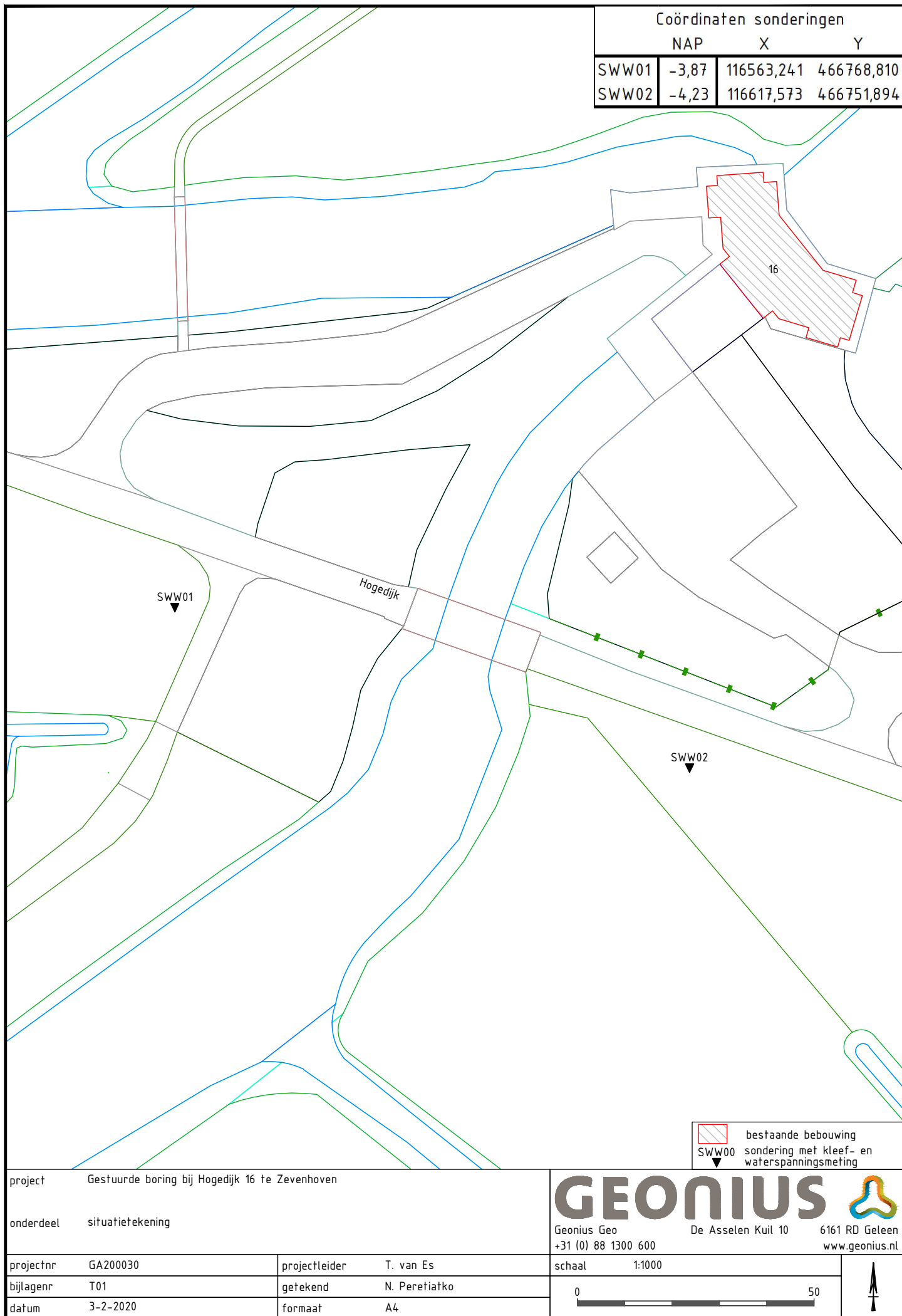
Hieronder wordt het Pleistocene zandpakket aangetroffen tot de maximaal verkende diepte van ca. NAP -19,2 m. De conusweerstand varieert van ca. 8 tot 25 MPa.

3.3 Grondwater

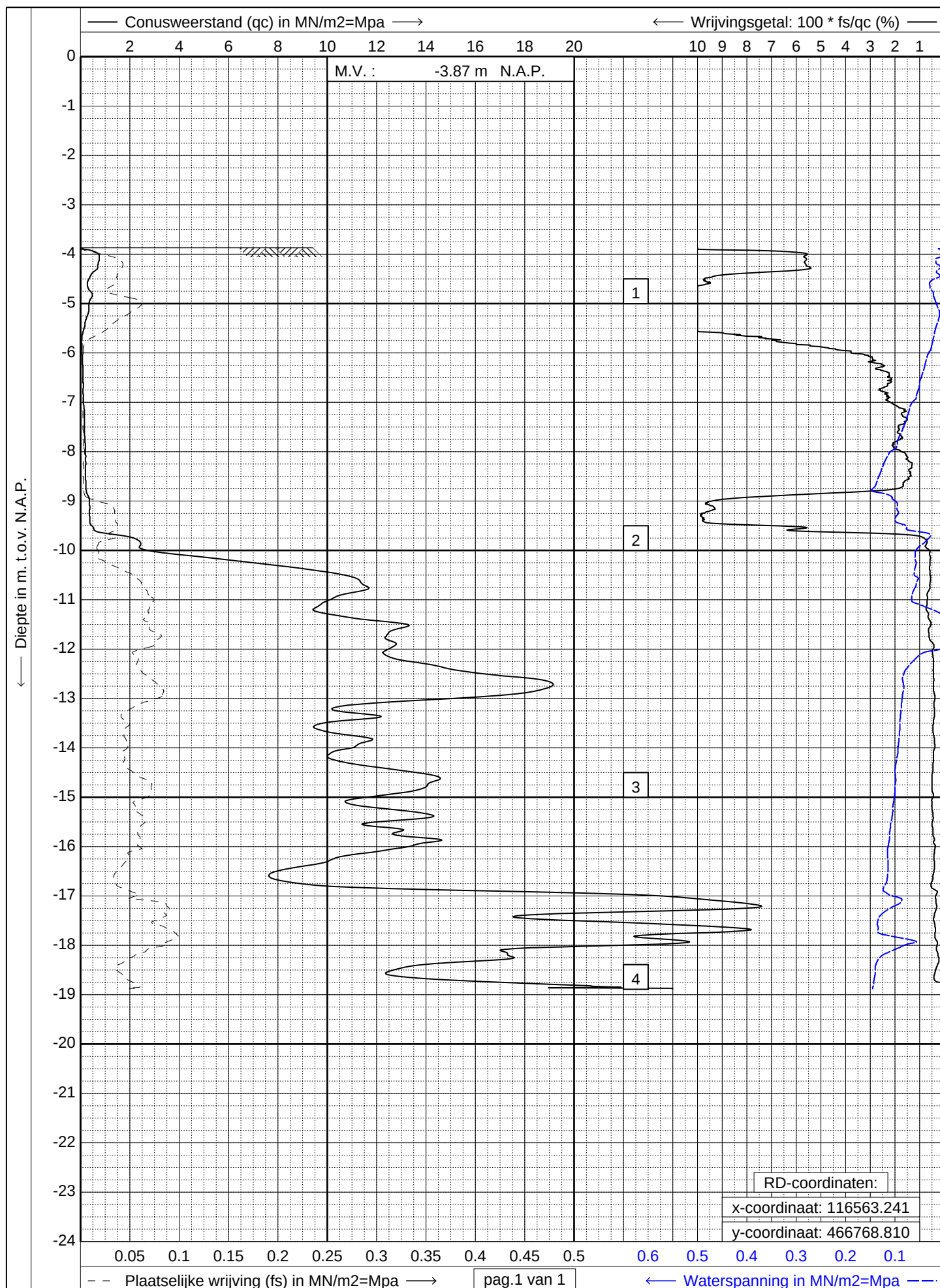
Tijdens het grondonderzoek is in de sondeergaten naar de actuele grondwaterstand gepeild. Deze werd niet aangetroffen tot een diepte van ca. 0,4 à 0,5 m- maaiveld, wat overeenkomt met ca. NAP -4,4 à -4,6 m. Op dit niveau waren de sondeergaten ingestort, vermoedelijk als gevolg van de grondwaterdruk net onder dit niveau. Het betreft hierbij slechts een eenmalige meting, waardoor deze waarneming slechts als indicatie kan gelden. Daarnaast kan als gevolg van spanningswater, lagenopbouw en lokale omstandigheden een afwijkende waarde worden aangetroffen.

Wij wijzen erop dat de grondwaterstand van seizoen tot seizoen kan verschillen en in nattere jaargetijden mogelijk hoger wordt aangetroffen dan thans het geval is. Exacte grondwaterstanden kunnen alleen middels peilbuismetingen worden verkregen.

Bijlage 1 Situatiekening



Bijlage 2 Sondeergrafieken



GEONIUS

www.geonius.eu
E-mail: info@geonius.eu
Tel.: 088-1300600
Fax.: 088-1300669

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2

Project : **Gestuurde boring**

Locatie : **Hogedijk 16 te Zevenhoven**

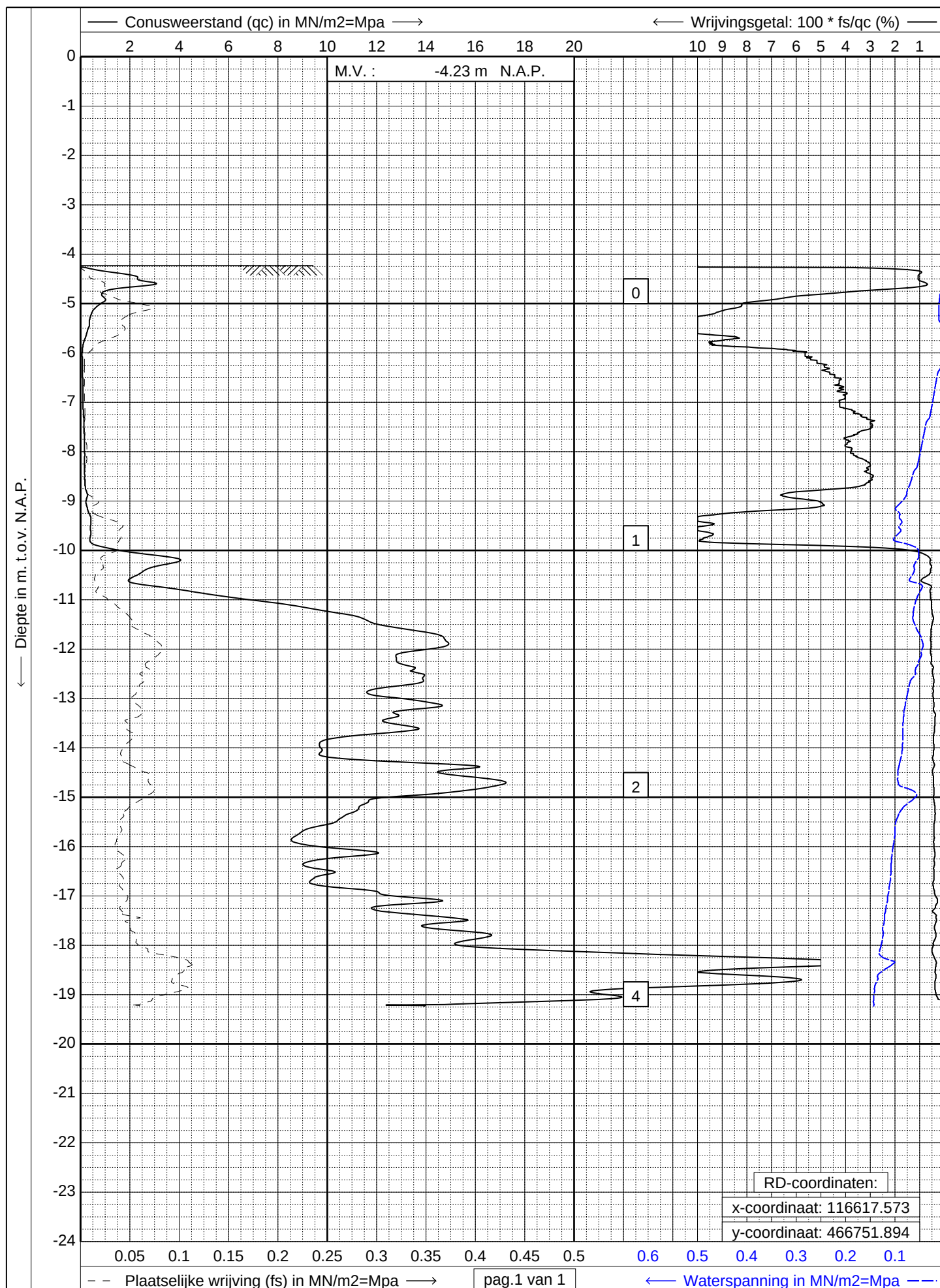
Datum : **02-02-2020**

Conus : **S15-CFIP.1616**

Opdracht : **GA200030**

Sondering : **01**

pag.1 van 1



GEONIUS

www.geonius.eu
E-mail: info@geonius.eu
Tel.: 088-1300600
Fax.: 088-1300669

Sondering volgens NEN-EN-ISO 22476-1, klasse 2

Project : **Gestuurde boring**

Locatie : **Hogedijk 16 te Zevenhoven**

Datum : **02-02-2020**

Conus : **S15-CFIP.1616**

Opdracht : **GA200030**

Sondering : **02**

Bijlage 3 Resultaten sterkte- en mud-druk berekening

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 2036-1119-01 BT Hogedijk Zevenhoven HDD onder de Molentocht			
Projectonderdeel : Pilotboring			
Materiaalgegevens (Mediumleiding)			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Materiaalgegevens (Mantelbuis)			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm ²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m ³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens (Mediumleiding)			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 8,1	mm
Leidinggegevens (Mantelbuis)			
Uitwendige middellijn	D _e	= 400,00	mm
Wanddikte	d _n	= 36,4	mm
Procesgegevens			
Mediumleiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Mantelbuis			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 210	mm
Diameter boorstang	D_b	= 73	mm
Totale lengte	L	= 106,75	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 21,59	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 30,72	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 1,71	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 34,56	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 18,17	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 110,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 110,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 16,00 / 28,67	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
			04-02-2020 14:50:18

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

Sigma 2018 1.5 ©

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 ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
A	6,88	1,88	0,62	Klei	11,38	16,24	25,00
B	12,62	3,47	0,58	Zand	11,40	18,10	25,00
C	16,74	4,62	0,57	Klei	11,43	17,40	15,00
2	21,59	5,98	0,55	Zand	11,40	17,84	35,00
D	26,47	7,28	0,56	Zand	11,42	18,39	35,00
E	32,02	8,23	0,32	Zand	11,10	18,75	35,00
F	33,95	8,23	-0,30	Zand	0,00	18,39	35,00
G	35,44	8,23	0,39	Zand	11,16	18,75	35,00
H	40,00	9,94	0,99	Zand	11,65	19,16	35,00
I	42,71	10,20	1,06	Zand	11,64	19,27	35,00
3	48,94	10,13	0,80	Zand	11,52	19,48	35,00
4	52,31	10,06	0,77	Zand	11,70	19,55	35,00
5	54,02	10,04	0,80	Zand	11,82	19,59	35,00
J	57,14	9,98	0,88	Zand	12,02	19,65	35,00
K	62,41	9,07	0,38	Zand	13,62	19,67	35,00
L	63,54	7,01	-1,56	Zand	0,00	19,73	35,00
6	68,79	6,43	-1,56	Zand	0,00	16,38	35,00
M	77,44	4,94	-1,56	Zand	0,00	17,94	35,00
N	79,11	6,89	0,72	Zand	12,14	17,06	35,00
7	88,58	4,87	0,97	Klei	12,37	14,94	15,00
O	93,12	3,69	1,08	Klei	13,80	15,06	22,50
P	97,12	2,67	1,17	Klei	14,77	13,81	17,50

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

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
B	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
C	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II
2	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
F	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
G	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
H	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek II
I	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek II
3	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
J	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
K	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
L	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
6	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
M	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
N	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II
O	Geen	-	5,00	3,00	Grafiek ½ x II
P	Geen	-	0,00	1,00	Grafiek ½ x II

04-02-2020 14:50:19

1. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
A	1,88	14,92	8,61	11,77	16,74	5,36
B	3,47	30,02	17,33	23,68	33,68	5,77
C	4,62	36,49	27,04	31,76	42,40	0,18
2	5,98	48,84	20,83	34,83	54,81	28,85
D	7,28	62,78	26,77	44,77	70,45	28,85
E	8,23	72,76	31,03	51,90	81,66	28,85
F	8,23	69,05	29,44	49,25	77,49	28,85
G	8,23	72,95	31,11	52,03	81,87	28,85
H	9,94	93,52	39,88	66,70	104,95	28,85
I	10,20	97,07	41,39	69,23	108,94	28,85
3	10,13	97,66	41,65	69,66	109,61	28,85
4	10,06	97,73	41,67	69,70	109,68	28,85
5	10,04	98,07	41,82	69,94	110,06	28,85
J	9,98	98,39	41,96	70,17	110,43	28,85
K	9,07	89,21	38,04	63,62	100,12	28,85
L	7,01	68,21	29,09	48,65	76,55	28,85
6	6,43	41,02	17,49	29,26	46,04	28,85
M	4,94	39,22	16,73	27,97	44,02	28,85
N	6,89	52,30	22,30	37,30	58,70	28,85
7	4,87	31,26	23,17	27,22	36,68	0,18
O	3,69	28,11	17,35	22,73	36,05	1,07
P	2,67	23,00	16,08	19,54	25,41	0,36

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

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

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

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

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

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

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
A	0,00093	0,94	0,0126	0,01421	0,00	0,15
B	0,0017	0,80	0,0289	0,03260	0,01	0,25
C	0,060	2,31	0,0405	0,04569	0,01	0,12
2	0,00069	1,26	0,0543	0,06126	0,01	0,83
D	0,00089	1,11	0,0672	0,07581	0,01	0,98
E	0,0010	1,03	0,0791	0,08924	0,01	1,08
F	0,00098	1,06	0,0853	0,09623	0,01	1,05
G	0,0010	1,03	0,0784	0,08845	0,02	1,08
H	0,0013	0,91	0,0895	0,1010	0,02	1,26
I	0,0014	0,89	0,0914	0,1031	0,02	1,29
3	0,0014	0,89	0,0933	0,1053	0,02	1,30
4	0,0014	0,89	0,0929	0,1048	0,02	1,30
5	0,0014	0,89	0,0924	0,1042	0,02	1,30
J	0,0014	0,89	0,0910	0,1027	0,03	1,30
K	0,0013	0,93	0,0869	0,09804	0,03	1,23
L	0,00097	1,07	0,0857	0,09668	0,03	1,05
6	0,00058	1,38	0,0799	0,09014	0,03	0,78
M	0,00056	1,41	0,0650	0,07333	0,03	0,74
N	0,00074	1,22	0,0617	0,06961	0,03	0,87
7	0,053	2,44	0,0390	0,04400	0,04	0,11
O	0,012	1,85	0,0261	0,02944	0,04	0,18
P	0,016	1,34	0,0150	0,01692	0,04	0,08

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

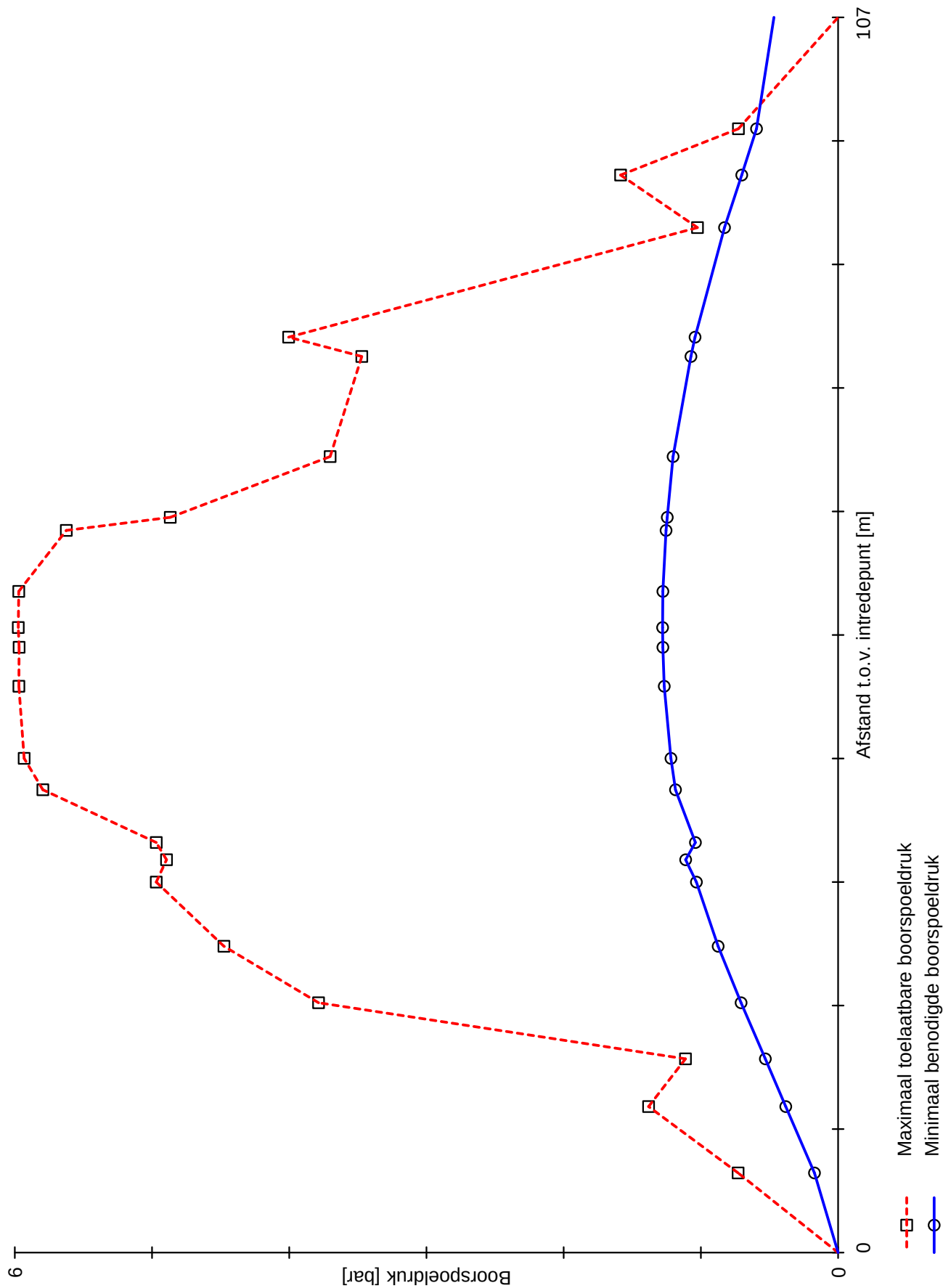
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	$p_{\max}$ [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	$p_{\max}$ [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
A	72,86	131,23	17,23	0,73	1,31	0,17
B	138,10	226,38	38,13	1,38	2,26	0,38
C	122,91	111,20	53,02	1,23	1,11	0,53
2	378,60	748,37	70,71	3,79	7,48	0,71
D	447,59	880,94	87,40	4,48	8,81	0,87
E	496,91	972,37	103,26	4,97	9,72	1,03
F	489,42	948,43	111,10	4,89	9,48	1,11
G	496,89	973,22	103,97	4,97	9,73	1,04
H	579,53	1.137,51	118,49	5,80	11,38	1,18
I	593,17	1.164,55	121,82	5,93	11,65	1,22
3	597,04	1.170,49	126,69	5,97	11,70	1,27
4	596,85	1.170,58	127,71	5,97	11,71	1,28
5	597,46	1.172,53	127,90	5,97	11,73	1,28
J	597,12	1.173,56	127,69	5,97	11,74	1,28
K	562,46	1.103,96	125,37	5,62	11,04	1,25
L	486,68	942,02	124,51	4,87	9,42	1,25
6	370,17	698,01	120,27	3,70	6,98	1,20
M	347,12	667,00	107,25	3,47	6,67	1,07
N	400,42	786,12	104,25	4,00	7,86	1,04
7	113,25	102,46	82,79	1,13	1,02	0,83
O	166,05	158,50	70,23	1,66	1,58	0,70
P	76,01	72,62	59,46	0,76	0,73	0,59

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_0}{R_{p,\max}} + Q \right)^{\frac{-\sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 2036-1119-01 BT Hogedijk Zevenhoven HDD onder de Molentocht			
Projectonderdeel : Ø400 PE100 SDR11 met daarin 1x Ø160 + 2x Ø110 PE100 SDR13,6-Berekening Ø160/Ø400mm			
Materiaalgegevens (Mediumleiding)			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ̄ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α _g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α _σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ _L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Materiaalgegevens (Mantelbuis)			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ _M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	σ̄ _t	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α _g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α _σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ _L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens (Mediumleiding)			
Uitwendige middellijn	D _e	= 160,00	mm
Wanddikte	d _n	= 11,8	mm
Leidinggegevens (Mantelbuis)			
Uitwendige middellijn	D _e	= 400,00	mm
Wanddikte	d _n	= 36,4	mm
Procesgegevens			
Mediumleiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Mantelbuis			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
</			

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 520	mm
Diameter boorstang	D_b	= 73	mm
Totale lengte	L	= 106,75	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 21,59	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 30,72	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 1,71	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 34,56	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 18,17	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 110,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 110,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 16,00 / 28,67	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
			04-02-2020 14:46:01

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

Sigma 2018 1.5 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

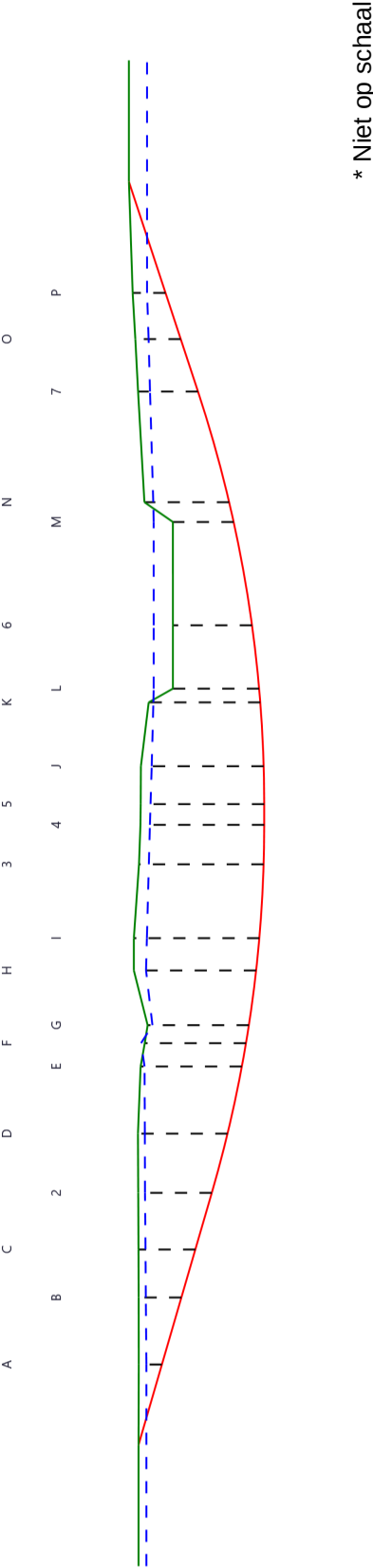
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m³]	Wrijvings- hoek grond [°]
A	6,88	1,88	0,62	Klei	11,38	16,24	25,00
B	12,62	3,47	0,58	Zand	11,40	18,10	25,00
C	16,74	4,62	0,57	Klei	11,43	17,40	15,00
2	21,59	5,98	0,55	Zand	11,40	17,84	35,00
D	26,47	7,28	0,56	Zand	11,42	18,39	35,00
E	32,02	8,23	0,32	Zand	11,10	18,75	35,00
F	33,95	8,23	-0,30	Zand	0,00	18,39	35,00
G	35,44	8,23	0,39	Zand	11,16	18,75	35,00
H	40,00	9,94	0,99	Zand	11,65	19,16	35,00
I	42,71	10,20	1,06	Zand	11,64	19,27	35,00
3	48,94	10,13	0,80	Zand	11,52	19,48	35,00
4	52,31	10,06	0,77	Zand	11,70	19,55	35,00
5	54,02	10,04	0,80	Zand	11,82	19,59	35,00
J	57,14	9,98	0,88	Zand	12,02	19,65	35,00
K	62,41	9,07	0,38	Zand	13,62	19,67	35,00
L	63,54	7,01	-1,56	Zand	0,00	19,73	35,00
6	68,79	6,43	-1,56	Zand	0,00	16,38	35,00
M	77,44	4,94	-1,56	Zand	0,00	17,94	35,00
N	79,11	6,89	0,72	Zand	12,14	17,06	35,00
7	88,58	4,87	0,97	Klei	12,37	14,94	15,00
O	93,12	3,69	1,08	Klei	13,80	15,06	22,50
P	97,12	2,67	1,17	Klei	14,77	13,81	17,50

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

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
B	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
C	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II
2	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
F	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
G	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
H	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek II
I	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek II
3	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
J	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
K	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
L	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
6	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
M	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
N	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II
O	Geen	-	5,00	3,00	Grafiek ½ x II
P	Geen	-	0,00	1,00	Grafiek ½ x II

04-02-2020 14:46:01



2. Eigenschappen van de leiding

		<i>Mediumleiding</i>	<i>Mantelbuis</i>	
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 136,40	= 327,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 148,20	= 363,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 160,00	= 400,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 80,00	= 200,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 68,20	= 163,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 74,10	= 181,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 15.178.578,57	= 694.006.811,09	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 189.732,23	= 3.470.034,06	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 136,92	= 4.019,05	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 23,21	= 220,83	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 5.493,89	= 41.579,10	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0525	= 0,3971	N/mm ¹

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

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g_{med} = 0,0525 \text{ N/mm}^1$	$g_{med} = 0,0525 \text{ N/mm}^1$
Gewicht mantelbuis	$g_{man} = 0,3971 \text{ N/mm}^1$	$g_{man} = 0,3971 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,4495 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,4495 \text{ N/mm}^1$

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

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	106,75	6.718
Na 1 ^e deel intrekken	88,58	5.575
Na 2 ^e deel intrekken	54,02	3.400
Na 3 ^e deel intrekken	52,31	3.292
Na 4 ^e deel intrekken	21,59	1.359

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,4495 \cdot 0,1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	6.718	0,16
Na 1 ^e deel intrekken	5.575	0,13
Na 2 ^e deel intrekken	3.400	0,08
Na 3 ^e deel intrekken	3.292	0,08
Na 4 ^e deel intrekken	1.359	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{41.579,10}$$

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

4.3.1 Mediumleiding

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{15.178.579}{50.000} = 325.580,51 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{325.580,51}{189.732} = \mathbf{1,72 \text{ N/mm}^2}$$

4.3.2 Mantelbuis

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{694.006.811}{50.000} = 14.886.446,10 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{14.886.446,10}{3.470.034} = \mathbf{4,29 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,16	2,95
Na 1 ^e deel intrekken	0,13	2,92
Na 2 ^e deel intrekken	0,08	2,87
Na 3 ^e deel intrekken	0,08	2,87
Na 4 ^e deel intrekken	0,03	2,82

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 4,29 + \sigma_t$$

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

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

Sigma 2018 1.5 ©

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

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

 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 1.256,64 \text{ mm}^1$

 Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,450 \text{ N/mm}^1$

 Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 400,00^2 \cdot \pi/4 = 1,445 \text{ N/mm}^1$

 Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 0,996 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	18,17	6.663	-
2 ^e deel intrekken	52,73	-	19.338
3 ^e deel intrekken	54,44	19.965	-
4 ^e deel intrekken	85,16	-	31.231
Geheel ingetrokken	106,75	39.148	-

 Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.256,64 \cdot 0,00005 + 0,996 \cdot 0,2)$

 Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.256,64 \cdot 0,00005 + 0,996 \cdot 0,2)$
5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
D	0,0015	110,0	0,012	5.710
E	0,0015	110,0	0,012	5.710
F	0,0015	110,0	0,012	5.710
G	0,0015	110,0	0,012	5.710
H	0,0015	110,0	0,012	5.710
I	0,0015	110,0	0,012	5.710
3	0,0015	110,0	0,012	5.710
4	0,0015	110,0	0,012	5.710
5	0,0015	110	0,012	5.710
J	0,0015	110	0,012	5.710
K	0,0015	110	0,012	5.710
L	0,0015	110	0,012	5.710
6	0,0015	110	0,012	5.710
M	0,0015	110	0,012	5.710
N	0,0015	110	0,012	5.710

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 400 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

04-02-2020 14:46:01

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

Sigma 2018 1.5 ©

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	3.400	19.338	5.710	-	28.447
Opgaande bocht	1.359	31.231	5.710	5.710	44.009

 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]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	8,00	28.447	2.217
Opgaande bocht	9,00	44.009	3.430

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{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_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.575	6.663	-	-	-	-	12.238
2 ^e deel intrekken	3.400	19.338	5.710	2.217	-	-	30.664
3 ^e deel intrekken	3.292	19.965	5.710	2.217	-	-	31.184
4 ^e deel intrekken	1.359	31.231	5.710	2.217	5.710	3.430	50.081
Geheel intrekken	0	39.148	5.710	2.217	5.710	3.430	56.640

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
1 ^e deel intrekken	12.238	0,29
2 ^e deel intrekken	30.664	0,74
3 ^e deel intrekken	31.184	0,75
4 ^e deel intrekken	50.081	1,20
Geheel intrekken	56.640	1,36

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{41.579,10}$$

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

5.7.1 Mediumleiding: Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{15.178.578,57}{0,9 \cdot 110.000} = 209.280,40 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{209.280,40}{189.732,23} = \mathbf{1,10 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Mediumleiding: Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{15.178.578,57}{0,9 \cdot 110.000} = 209.280,40 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{209.280,40}{189.732,23} = \mathbf{1,10 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.3 Mantelbuis: Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{694.006.811,09}{0,9 \cdot 110.000} = 9.568.881,79 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{9.568.881,79}{3.470.034,06} = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.4 Mantelbuis: Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{694.006.811,09}{0,9 \cdot 110.000} = 9.568.881,79 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{9.568.881,79}{3.470.034,06} = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	12.238	0,29	-	0,29
Na 1 ^e deel intrekken	30.664	0,74	2,76	2,53
Na 2 ^e deel intrekken	31.184	0,75	-	0,75
Na 3 ^e deel intrekken	50.081	1,20	2,76	3,00
Na 4 ^e deel intrekken	56.640	1,36	-	1,36

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{41.579,10} = \sigma_t$

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00}$ N/mm²

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen s_p en s_{pl} t.g.v. inwendige druk
6.1.1 Mediumleiding

Leiding is drukloos:

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

6.1.2 Mantelbuis

Leiding is drukloos:

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

6.2.2 Mantelbuis

Leiding is drukloos:

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

6.3 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_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
A	1,88	0,62	Klei	7,76	22,51	30,27	7,07
B	3,47	0,58	Zand	7,27	57,54	64,81	14,37
C	4,62	0,57	Klei	7,17	77,52	84,68	17,67
2	5,98	0,55	Zand	6,90	106,56	113,46	23,66
D	7,28	0,56	Zand	7,03	135,94	142,97	30,31
E	8,23	0,32	Zand	3,91	163,14	167,05	35,18
F	8,23	-0,30	Zand	0,00	166,48	166,48	33,67
G	8,23	0,39	Zand	4,79	161,70	166,49	35,24
H	9,94	0,99	Zand	12,69	188,63	201,32	44,73
I	10,20	1,06	Zand	13,57	193,74	207,31	46,37
3	10,13	0,80	Zand	10,14	199,92	210,06	46,70
4	10,06	0,77	Zand	9,91	199,78	209,69	46,72
5	10,04	0,80	Zand	10,40	199,11	209,51	46,85
J	9,98	0,88	Zand	11,64	196,70	208,33	46,93
K	9,07	0,38	Zand	5,69	188,03	193,72	42,73
L	7,01	-1,56	Zand	0,00	152,14	152,14	32,82
6	6,43	-1,56	Zand	0,00	115,86	115,86	20,62
M	4,94	-1,56	Zand	0,00	97,49	97,49	19,23
N	6,89	0,72	Zand	9,61	115,79	125,40	25,48
7	4,87	0,97	Klei	13,20	64,09	77,29	15,32
O	3,69	1,08	Klei	16,39	43,24	59,63	13,41
P	2,67	1,17	Klei	19,01	22,79	41,80	10,72

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

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
A	1,88	Grafiek ½ x II	7,13	2,85
B	3,47	Grafiek ½ x II	3,15	1,26
C	4,62	Grafiek ½ x II	2,21	0,89
2	5,98	Grafiek ½ x II	1,62	0,65
D	7,28	Grafiek ½ x II	1,27	0,51
E	8,23	Geen	0,00	0,00
F	8,23	Geen	0,00	0,00
G	8,23	Geen	0,00	0,00
H	9,94	Grafiek II	1,69	0,67
I	10,20	Grafiek II	1,63	0,65
3	10,13	Grafiek ½ x II	0,82	0,33
4	10,06	Grafiek ½ x II	0,83	0,33
5	10,04	Grafiek ½ x II	0,83	0,33
J	9,98	Grafiek ½ x II	0,84	0,34
K	9,07	Grafiek ½ x II	0,95	0,38
L	7,01	Geen	0,00	0,00
6	6,43	Geen	0,00	0,00
M	4,94	Geen	0,00	0,00
N	6,89	Grafiek ½ x II	1,36	0,54
7	4,87	Grafiek ½ x II	2,08	0,83
O	3,69	Grafiek ½ x II	2,92	1,17
P	2,67	Grafiek ½ x II	4,40	1,76

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 400$$

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
A	7,07	2,85	9,92	248,86	1,13
B	14,37	1,26	15,63	392,04	1,78
C	17,67	0,89	18,56	465,61	2,11
2	23,66	0,65	24,31	609,85	2,76
D	30,31	0,51	30,82	773,12	3,50
E	35,18	0,00	35,18	882,62	4,00
F	33,67	0,00	33,67	844,82	3,83
G	35,24	0,00	35,24	883,99	4,00
H	44,73	0,67	45,40	1.139,06	5,16
I	46,37	0,65	47,02	1.179,57	5,34
3	46,70	0,33	47,03	1.179,99	5,34
4	46,72	0,33	47,05	1.180,37	5,35
5	46,85	0,33	47,18	1.183,64	5,36
J	46,93	0,34	47,27	1.185,89	5,37
K	42,73	0,38	43,11	1.081,54	4,90
L	32,82	0,00	32,82	823,28	3,73
6	20,62	0,00	20,62	517,38	2,34
M	19,23	0,00	19,23	482,56	2,19
N	25,48	0,54	26,02	652,87	2,96
7	15,32	0,83	16,15	405,10	1,83
O	13,41	1,17	14,58	365,80	1,66
P	10,72	1,76	12,48	313,09	1,42

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 181,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{220,83}$$

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

Sigma 2018 1.5 ©

 6.6 Optredende spanning s_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
D	110,0	0,012	0,36
E	110,0	0,012	0,36
F	110,0	0,012	0,36
G	110,0	0,012	0,36
H	110,0	0,012	0,36
I	110,0	0,012	0,36
3	110,0	0,012	0,36
4	110,0	0,012	0,36
5	110	0,012	0,36
J	110	0,012	0,36
K	110	0,012	0,36
L	110	0,012	0,36
6	110	0,012	0,36
M	110	0,012	0,36
N	110	0,012	0,36

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 400 \cdot \frac{200,00}{220,83}$$

 7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{4.019,05}{363,6^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 4.019,05}{363,60^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 4.019,05}{363,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,87** m grondwater boven de leiding

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

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
A	1,13	-	0,65	0,73
B	1,78	-	0,65	1,15
C	2,11	-	0,65	1,37
2	2,76	-	0,65	1,80
D	3,50	0,36	0,65	2,51
E	4,00	0,36	0,65	2,83
F	3,83	0,36	0,65	2,72
G	4,00	0,36	0,65	2,84
H	5,16	0,36	0,65	3,59
I	5,34	0,36	0,65	3,71
3	5,34	0,36	0,65	3,71
4	5,35	0,36	0,65	3,71
5	5,36	0,36	0,65	3,72
J	5,37	0,36	0,65	3,72
K	4,90	0,36	0,65	3,42
L	3,73	0,36	0,65	2,66
6	2,34	0,36	0,65	1,76
M	2,19	0,36	0,65	1,65
N	2,96	0,36	0,65	2,16
7	1,83	-	0,65	1,19
O	1,66	-	0,65	1,08
P	1,42	-	0,65	0,92

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

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

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

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
A	0,00	0,00	-	-	0,00
B	0,00	0,00	-	-	0,00
C	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	-	-	0,00
D	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
E	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
F	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
G	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
H	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
I	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
3	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
4	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
5	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
J	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
K	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
L	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
6	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
M	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
N	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
7	0,00	0,00	-	-	0,00
O	0,00	0,00	-	-	0,00
P	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie in de mantelbuis

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_y [mm]	δ_y/D_g [%]
A	7,07	2,85	-	0,12	0,032
B	14,37	1,26	-	0,19	0,051
C	17,67	0,89	-	0,15	0,041
2	23,66	0,65	-	0,38	0,10
D	30,31	0,51	0,012	0,48	0,13
E	35,18	0,00	0,012	0,55	0,15
F	33,67	0,00	0,012	0,52	0,14
G	35,24	0,00	0,012	0,55	0,15
H	44,73	0,67	0,012	0,70	0,19
I	46,37	0,65	0,012	0,73	0,20
3	46,70	0,33	0,012	0,73	0,20
4	46,72	0,33	0,012	0,73	0,20
5	46,85	0,33	0,012	0,73	0,20
J	46,93	0,34	0,012	0,73	0,20
K	42,73	0,38	0,012	0,67	0,18
L	32,82	0,00	0,012	0,51	0,14
6	20,62	0,00	0,012	0,32	0,088
M	19,23	0,00	0,012	0,30	0,082
N	25,48	0,54	0,012	0,40	0,11
7	15,32	0,83	-	0,13	0,035
O	13,41	1,17	-	0,16	0,044
P	10,72	1,76	-	0,11	0,031

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 181,80^3}{350 \cdot 4.019,05}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 363,60 = \mathbf{29,09 \text{ mm}}$$

11. Berekening van het totaal aan optredende spanningen in de mediumleiding
11.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]
A	0,00
B	0,00
C	0,00
2	0,00
D	0,00
E	0,00
F	0,00
G	0,00
H	0,00
I	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
J	0,00
K	0,00
L	0,00
6	0,00
M	0,00
N	0,00
7	0,00
O	0,00
P	0,00

$$\sigma_{y2} = 0$$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

11.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
A	0,00	0,00	-	-	0,00
B	0,00	0,00	-	-	0,00
C	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	-	-	0,00
D	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
E	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
F	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
G	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
H	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
I	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
3	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
4	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
5	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
J	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
K	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
L	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
6	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
M	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
N	0,00	0,00	1,10	0,65	0,72
7	0,00	0,00	-	-	0,00
O	0,00	0,00	-	-	0,00
P	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²

12. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
A	1,88	12,42	7,17	9,79	13,93	5,36
B	3,47	24,66	14,24	19,45	27,67	5,77
C	4,62	29,49	21,85	25,67	34,73	0,18
2	5,98	39,46	16,83	28,15	44,29	28,85
D	7,28	50,96	21,73	36,35	57,19	28,85
E	8,23	58,96	25,14	42,05	66,17	28,85
F	8,23	55,29	23,58	39,43	62,05	28,85
G	8,23	59,19	25,24	42,22	66,43	28,85
H	9,94	76,88	32,78	54,83	86,28	28,85
I	10,20	79,93	34,09	57,01	89,71	28,85
3	10,13	80,30	34,24	57,27	90,12	28,85
4	10,06	80,40	34,28	57,34	90,23	28,85
5	10,04	80,75	34,43	57,59	90,63	28,85
J	9,98	81,18	34,61	57,90	91,10	28,85
K	9,07	73,20	31,21	52,21	82,15	28,85
L	7,01	55,63	23,72	39,68	62,44	28,85
6	6,43	31,45	13,41	22,43	35,29	28,85
M	4,94	31,17	13,29	22,23	34,98	28,85
N	6,89	41,94	17,88	29,91	47,07	28,85
7	4,87	24,88	18,44	21,66	29,68	0,18
O	3,69	23,18	14,31	18,75	30,54	1,07
P	2,67	19,54	13,67	16,60	21,60	0,36

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

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

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

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

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

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

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
A	0,00077	0,94	0,0126	0,01421	0,00	0,13
B	0,0014	1,74	0,0289	0,03260	0,00	0,22
C	0,051	2,31	0,0405	0,04569	0,00	0,11
2	0,00056	2,99	0,0543	0,06126	0,00	0,73
D	0,00072	3,06	0,0672	0,07581	0,00	0,87
E	0,00084	2,84	0,0791	0,08924	0,00	0,96
F	0,00078	2,94	0,0853	0,09623	0,00	0,93
G	0,00084	2,84	0,0784	0,08845	0,00	0,96
H	0,0011	2,49	0,0895	0,1010	0,01	1,13
I	0,0011	2,44	0,0914	0,1031	0,01	1,15
3	0,0011	2,44	0,0933	0,1053	0,01	1,16
4	0,0011	2,43	0,0929	0,1048	0,01	1,16
5	0,0011	2,43	0,0924	0,1042	0,01	1,16
J	0,0012	2,42	0,0910	0,1027	0,01	1,16
K	0,0010	2,55	0,0869	0,09804	0,01	1,09
L	0,00079	2,93	0,0857	0,09668	0,01	0,93
6	0,00045	3,22	0,0799	0,09014	0,01	0,67
M	0,00044	2,47	0,0650	0,07333	0,01	0,65
N	0,00059	3,37	0,0617	0,06961	0,01	0,77
7	0,045	2,44	0,0390	0,04400	0,01	0,10
O	0,011	1,85	0,0261	0,02944	0,01	0,16
P	0,014	1,34	0,0150	0,01692	0,01	0,07

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

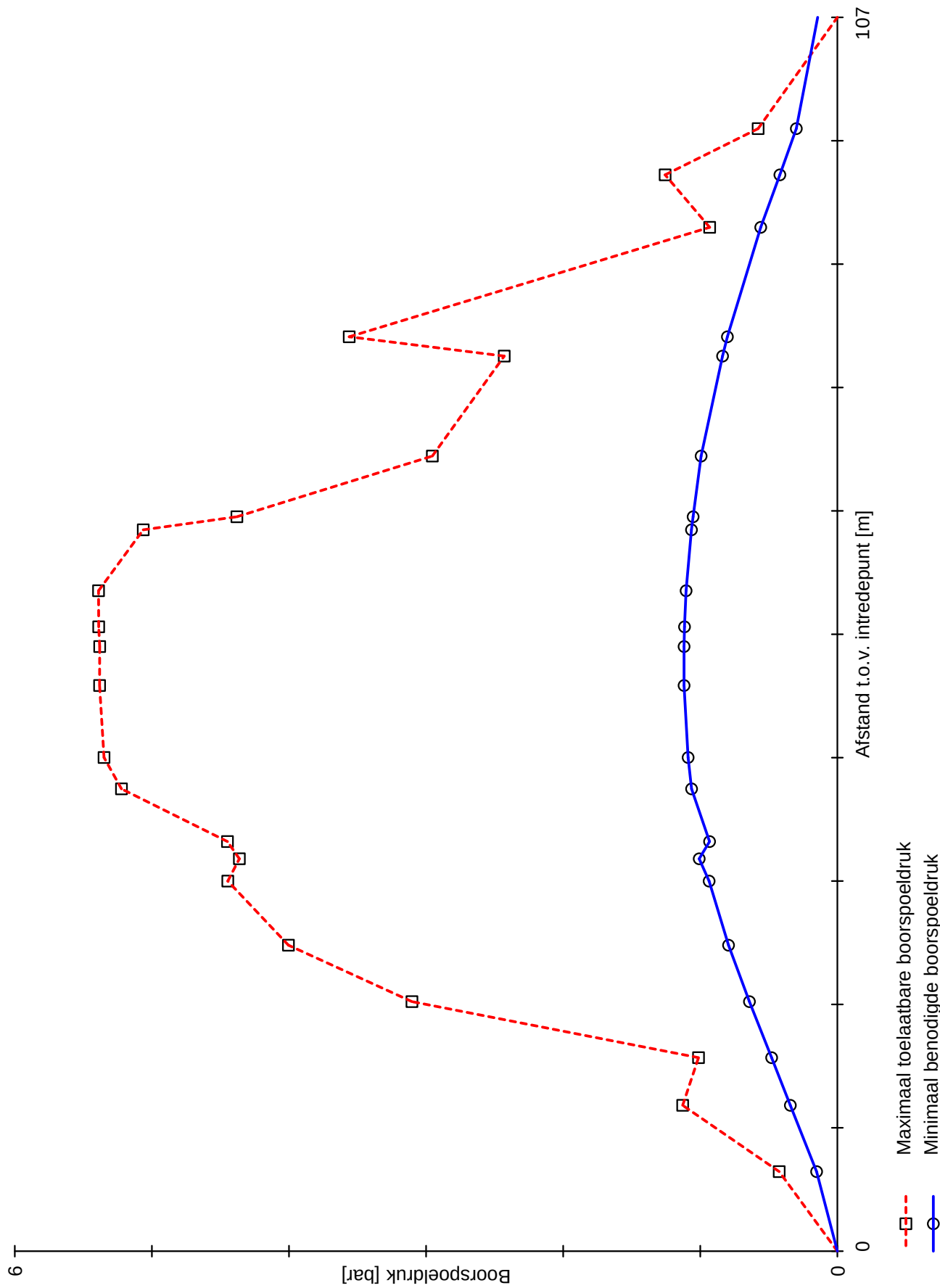
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	$p_{\max}$ [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	$p_{\max}$ [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
A	42,41	116,72	15,14	0,42	1,17	0,15
B	112,83	200,52	34,30	1,13	2,01	0,34
C	108,86	101,25	47,94	1,09	1,01	0,48
2	310,32	659,75	64,16	3,10	6,60	0,64
D	400,37	779,11	79,36	4,00	7,79	0,79
E	444,62	859,59	93,53	4,45	8,60	0,94
F	436,20	833,63	100,79	4,36	8,34	1,01
G	444,84	860,95	93,20	4,45	8,61	0,93
H	522,17	1.013,78	106,34	5,22	10,14	1,06
I	534,91	1.038,89	108,85	5,35	10,39	1,09
3	538,12	1.043,42	111,83	5,38	10,43	1,12
4	538,05	1.043,78	111,83	5,38	10,44	1,12
5	538,80	1.046,01	111,49	5,39	10,46	1,11
J	538,88	1.047,95	110,33	5,39	10,48	1,10
K	506,29	982,80	106,41	5,06	9,83	1,06
L	437,98	836,97	105,21	4,38	8,37	1,05
6	295,42	600,71	99,37	2,95	6,01	0,99
M	242,98	584,28	83,72	2,43	5,84	0,84
N	356,07	690,46	80,23	3,56	6,90	0,80
7	100,14	93,15	55,89	1,00	0,93	0,56
O	125,61	146,21	41,94	1,26	1,46	0,42
P	57,80	65,66	29,96	0,58	0,66	0,30

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_0}{R_{p,\max}} \right)^{\frac{2 \cdot \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

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



Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Algemene gegevens			
Naam van het project : 2036-1119-01 BT Hogedijk Zevenhoven HDD onder de Molentocht			
Projectonderdeel : Ø400 PE100 SDR11 met daarin 1x Ø160 + 2x Ø110 PE100 SDR13,6-Berekening Ø110/Ø400mm			
Materiaalgegevens (Mediumleiding)			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 13,6		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Materiaalgegevens (Mantelbuis)			
Materiaalsoort:	PE		
Kwaliteit:	PE 100 SDR 11		
Lange-duur treksterkte	MRS	= 10	N/mm²
Materiaalfactor	γ_M	= 1,25	-
Toelaatbare langeduur spanning	$\bar{\sigma}_t$	= 8,00	N/mm²
Elasticiteitsmodulus korte duur	E	= 975	N/mm²
Elasticiteitsmodulus lange duur	E'	= 350	N/mm²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α_g	= 16,0·10 ⁻⁵	mm/(mm·K)
Alfa Tangentiëel / Alfa Axiaal	α_σ	= 0,65	-
Soortelijk gewicht buis	ρ_L	= 9,55	kN/m³
Toelaatbare deflectie	δ	= 8	%
Leidinggegevens (Mediumleiding)			
Uitwendige middellijn	D _e	= 110,00	mm
Wanddikte	d _n	= 8,1	mm
Leidinggegevens (Mantelbuis)			
Uitwendige middellijn	D _e	= 400,00	mm
Wanddikte	d _n	= 36,4	mm
Procesgegevens			
Mediumleiding			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	
Mantelbuis			
Soort leiding (Vloeistof / Gas / Drukloos)		= Drukloos	

Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012			Sigma 2018 1.5 ©
Uitvoeringsaspecten, tracé boring, in- en uittredehoeken, onzekerheids- en wrijvingsfactoren			
Percentage omtrek in aanraking met bentoniet		= 100	%
Soortelijk gewicht boorvloeistof	ρ_m	= 11,5	kN/m ³
Zwichtspanning boorvloeistof	τ_y	= 15	Pa
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. rollenbaan			
Leiding wordt niet verzwaard t.p.v. boorgang			
Diameter ruimer ivm boorspoeldruk	D_g	= 520	mm
Diameter boorstang	D_b	= 73	mm
Totale lengte	L	= 106,75	m
Lengte 1e rechte deel	L_1	= 21,59	m
Lengte neergaande bocht	L_2	= 30,72	m
Lengte 2e rechte deel	L_3	= 1,71	m
Lengte opgaande bocht	L_4	= 34,56	m
Lengte 3e rechte deel	L_5	= 18,17	m
Straal maaiveld/rollenbaan	R_r	= 50,00	m
Straal neergaande bocht	R_1	= 110,00	m
Straal opgaande bocht	R_2	= 110,00	m
Intrede-hoek (bij boorstelling)	α_1	= 16,00 / 28,67	° / %
Uittrede-hoek (bij rollenbaan)	α_2	= 18,00 / 32,49	° / %
Belastinghoek	α	= 180	°
Ondersteuningshoek	β	= 120	°
Horizontale steundrukhoek	γ	= 120	°
Grondmechanisch onderzoek uitgevoerd	γ	= 1,1	
Totaalfactor bij normale boring	f	= 1,4	
Belastingfactor, bovengronds	$f_{k,b}$	= 1,1	
Belastingfactor, ondergronds	$f_{k,o}$	= 1,4	
Onzekerheidsfactor straal, ondergronds	$f_{r,o}$	= 0,9	
Wrijvingscoëff. met rollenbaan	f_1	= 0,1	
Wrijving tussen leiding/boorvloeistof	f_2	= 0,00005	N/mm ²
Wrijving tussen leiding/boorgangwand	f_3	= 0,2	
			04-02-2020 14:47:26

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

Sigma 2018 1.5 ©

Grondmechanische gegevens en verkeersbelasting

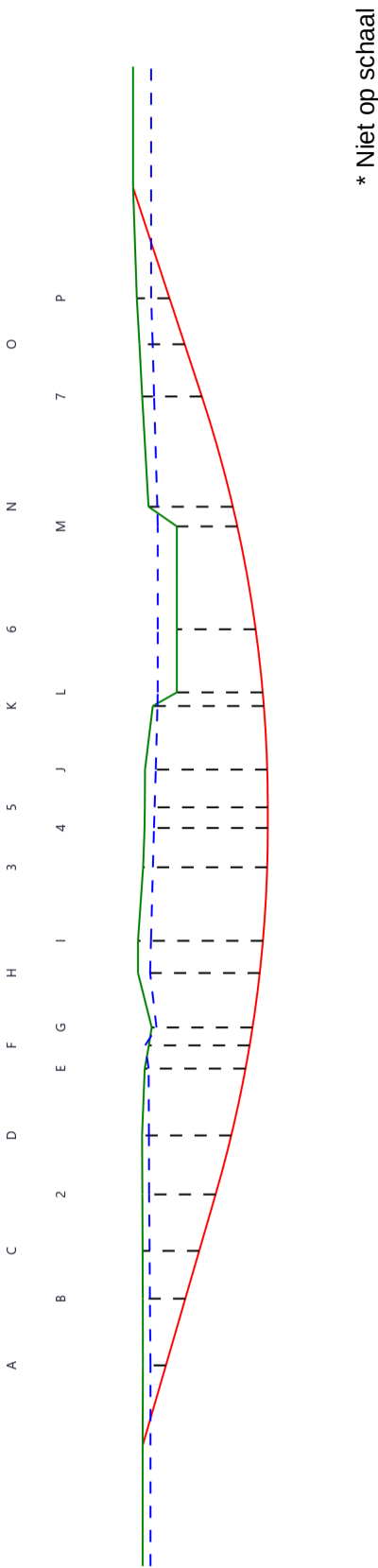
Locatie	Afstand t.o.v. intredepunt [m]	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	G.W.S. t.o.v. maaiveld [m]	Grond- soort	Volumiek gewicht droge grond [kN/m ³]	Volumiek gewicht natte grond [kN/m ³]	Wrijvings- hoek grond [°]
A	6,88	1,88	0,62	Klei	11,38	16,24	25,00
B	12,62	3,47	0,58	Zand	11,40	18,10	25,00
C	16,74	4,62	0,57	Klei	11,43	17,40	15,00
2	21,59	5,98	0,55	Zand	11,40	17,84	35,00
D	26,47	7,28	0,56	Zand	11,42	18,39	35,00
E	32,02	8,23	0,32	Zand	11,10	18,75	35,00
F	33,95	8,23	-0,30	Zand	0,00	18,39	35,00
G	35,44	8,23	0,39	Zand	11,16	18,75	35,00
H	40,00	9,94	0,99	Zand	11,65	19,16	35,00
I	42,71	10,20	1,06	Zand	11,64	19,27	35,00
3	48,94	10,13	0,80	Zand	11,52	19,48	35,00
4	52,31	10,06	0,77	Zand	11,70	19,55	35,00
5	54,02	10,04	0,80	Zand	11,82	19,59	35,00
J	57,14	9,98	0,88	Zand	12,02	19,65	35,00
K	62,41	9,07	0,38	Zand	13,62	19,67	35,00
L	63,54	7,01	-1,56	Zand	0,00	19,73	35,00
6	68,79	6,43	-1,56	Zand	0,00	16,38	35,00
M	77,44	4,94	-1,56	Zand	0,00	17,94	35,00
N	79,11	6,89	0,72	Zand	12,14	17,06	35,00
7	88,58	4,87	0,97	Klei	12,37	14,94	15,00
O	93,12	3,69	1,08	Klei	13,80	15,06	22,50
P	97,12	2,67	1,17	Klei	14,77	13,81	17,50

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

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	Gereduceerde grondbelasting	Gemiddelde verticale beddingconstante [N/mm ³]	Effectieve cohesie [kN/m ²]	E-modulus ondergrond [MN/m ²]	Verkeersbelasting
A	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
B	Geen	-	0,00	15,00	Grafiek ½ x II
C	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II
2	Geen	-	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
D	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
E	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
F	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
G	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
H	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek II
I	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek II
3	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
4	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
5	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
J	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
K	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
L	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
6	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
M	Geen	0,0320	0,00	75,00	Geen
N	Geen	0,0320	0,00	75,00	Grafiek ½ x II
7	Geen	-	2,50	0,50	Grafiek ½ x II
O	Geen	-	5,00	3,00	Grafiek ½ x II
P	Geen	-	0,00	1,00	Grafiek ½ x II

04-02-2020 14:47:27



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

Sigma 2018 1.5 ©

2. Eigenschappen van de leiding

		<i>Mediumleiding</i>	<i>Mantelbuis</i>	
Inwendige middellijn	$D_i = D_e - 2 \cdot d_n$	= 93,80	= 327,20	mm
Gemiddelde middellijn	$D_g = (D_e + D_i)/2$	= 101,90	= 363,60	mm
Uitwendige middellijn+bekleding	$D_o = D_e + 2 \cdot e$	= 110,00	= 400,00	mm
Uitwendige straal	$r_e = D_e / 2$	= 55,00	= 200,00	mm
Inwendige straal	$r_i = D_i / 2$	= 46,90	= 163,60	mm
Gemiddelde straal	$r_g = (r_e + r_i) / 2$	= 50,95	= 181,80	mm
Traagheidsmoment buis	$I_b = (D_e^4 - D_i^4) \cdot \pi / 64$	= 3.386.904,58	= 694.006.811,09	mm ⁴
Weerstandsmoment buis	$W_b = I_b / r_e$	= 61.580,08	= 3.470.034,06	mm ³
Wandtraagheidsmoment	$I_w = d_n^3 / 12$	= 44,29	= 4.019,05	mm ⁴ /mm ¹
Wandweerstandsmoment	$W_w = d_n^2 / 6$	= 10,94	= 220,83	mm ³ /mm ¹
Oppervlakte leiding	$A = \pi \cdot (D_e^2 - D_i^2) / 4$	= 2.593,04	= 41.579,10	mm ²
Gewicht leiding	$g = \rho_L \cdot A$	= 0,0248	= 0,3971	N/mm ¹

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

	<i>Leiding op rollenbaan/maaiveld</i>	<i>Leiding in boorgat</i>
Gewicht mediumleiding	$g_{med} = 0,0248 \text{ N/mm}^1$	$g_{med} = 0,0248 \text{ N/mm}^1$
Gewicht mantelbuis	$g_{man} = 0,3971 \text{ N/mm}^1$	$g_{man} = 0,3971 \text{ N/mm}^1$
Gewicht vulling	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$	$g_{vul} = \text{N.v.t.} +$
Totaal gewicht	$g_{rol} = 0,4218 \text{ N/mm}^1$	$g_{gat} = 0,4218 \text{ N/mm}^1$

4. Berekening van de trekkrachten en spanningen bovengronds

4.1 Berekening van de benodigde trekkrachten op rollenbaan/maaiveld

Trekkracht T_1 tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_1 [N]
Starten met trekken	106,75	6.304
Na 1 ^e deel intrekken	88,58	5.231
Na 2 ^e deel intrekken	54,02	3.190
Na 3 ^e deel intrekken	52,31	3.089
Na 4 ^e deel intrekken	21,59	1.275

$$T_1 = f \cdot L \cdot g_{rol} \cdot f_1 = 1,4 \cdot L \cdot 0,4218 \cdot 0,1$$

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_1 [N]	σ_t [N/mm ²]
Starten met trekken	6.304	0,15
Na 1 ^e deel intrekken	5.231	0,13
Na 2 ^e deel intrekken	3.190	0,08
Na 3 ^e deel intrekken	3.089	0,07
Na 4 ^e deel intrekken	1.275	0,03

$$\sigma_t = \frac{T_1}{A} = \frac{T_1}{41.579,10}$$

04-02-2020 14:47:27

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

4.3.1 Mediumleiding

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{3.386.905}{50.000} = 72.649,10 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{72.649,10}{61.580} = \mathbf{1,18 \text{ N/mm}^2}$$

4.3.2 Mantelbuis

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

$$M_b = 1,1 \cdot 975 \cdot \frac{694.006.811}{50.000} = 14.886.446,10 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{14.886.446,10}{3.470.034} = \mathbf{4,29 \text{ N/mm}^2}$$

4.4 Totalisatie van de optredende spanningen op rollenbaan/maaiveld

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	σ_t [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	0,15	2,94
Na 1 ^e deel intrekken	0,13	2,91
Na 2 ^e deel intrekken	0,08	2,87
Na 3 ^e deel intrekken	0,07	2,86
Na 4 ^e deel intrekken	0,03	2,82

$$\sigma_a = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_b + \sigma_t = 0,65 \cdot 4,29 + \sigma_t$$

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

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

Sigma 2018 1.5 ©

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

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

 100% van de omtrek van de leiding komt in aanraking met bentoniet. Hieruit volgt: $D_{e,omtrek} = 1.256,64 \text{ mm}^1$

 Gewicht van de leiding (+vulling) in het boorgat $g_{gat} = 0,422 \text{ N/mm}^1$

 Gelet op het gewicht van de boorvloeistof: $g_{opw} = \rho_m \cdot D_e^2 \cdot \pi/4 = 11,5 \cdot 400,00^2 \cdot \pi/4 = 1,445 \text{ N/mm}^1$

 Gelet hierop is $g_{eff} = |g_{gat} - g_{opw}| = 1,023 \text{ N/mm}^1$

Trekkracht T_2 en T_{3a} tijdens verschillende stadia [N]	L [m]	T_2 [N]	T_{3a} [N]
1 ^e deel intrekken	18,17	6.804	-
2 ^e deel intrekken	52,73	-	19.747
3 ^e deel intrekken	54,44	20.387	-
4 ^e deel intrekken	85,16	-	31.891
Geheel ingetrokken	106,75	39.976	-

 Rechte delen: $T_2 = f \cdot L \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.256,64 \cdot 0,00005 + 1,023 \cdot 0,2)$

 Gebogen delen: $T_{3a} = f \cdot L_B \cdot (D_{e,omtr} \cdot f_2 + g_{eff} \cdot f_3) = 1,4 \cdot L \cdot (1.256,64 \cdot 0,00005 + 1,023 \cdot 0,2)$
5.3 Berekening van de vereiste trekkracht T_{3b} in verband met wrijving door grondreactie in de bochten

Locatie	λ [mm ⁻¹]	R [m]	Q_r [N/mm ²]	T_{3b} [N]
D	0,0015	110,0	0,012	5.710
E	0,0015	110,0	0,012	5.710
F	0,0015	110,0	0,012	5.710
G	0,0015	110,0	0,012	5.710
H	0,0015	110,0	0,012	5.710
I	0,0015	110,0	0,012	5.710
3	0,0015	110,0	0,012	5.710
4	0,0015	110,0	0,012	5.710
5	0,0015	110	0,012	5.710
J	0,0015	110	0,012	5.710
K	0,0015	110	0,012	5.710
L	0,0015	110	0,012	5.710
6	0,0015	110	0,012	5.710
M	0,0015	110	0,012	5.710
N	0,0015	110	0,012	5.710

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

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

$$T_{3b} = f \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot D_o \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot f_3 = 1,4 \cdot 4 \cdot \frac{Q_r}{2} \cdot 400 \cdot \frac{\pi}{\lambda} \cdot 0,2$$

04-02-2020 14:47:27

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

Sigma 2018 1.5 ©

5.4 Berekening van de wrijving door bochtcracht T_{3c}

Trekkraft T_{bocht} tijdens verschillende stadia [N]	T_1 [N]	T_{3a} [N]	$T_{3b, \text{neer}}$ [N]	$T_{3b, \text{op}}$ [N]	T_{bocht} [N]
Neergaande bocht	3.190	19.747	5.710	-	28.647
Opgaande bocht	1.275	31.891	5.710	5.710	44.586

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

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

Trekkraft T_{3c} tijdens verschillende stadia [N]	α [°]	T_{bocht} [N]	T_{3c} [N]
Neergaande bocht	8,00	28.647	2.233
Opgaande bocht	9,00	44.586	3.475

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

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

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

$$\rightarrow T_{3c} = f \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot f_3 = 1,4 \cdot 2 \cdot T_{\text{bocht}} \cdot \sin(\alpha) \cdot 0,2$$

5.5 Totalisatie van de trekkrachten in fase II

Trekkraft T_{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_{tot} [N]
1 ^e deel intrekken	5.231	6.804	-	-	-	-	12.036
2 ^e deel intrekken	3.190	19.747	5.710	2.233	-	-	30.879
3 ^e deel intrekken	3.089	20.387	5.710	2.233	-	-	31.419
4 ^e deel intrekken	1.275	31.891	5.710	2.233	5.710	3.475	50.724
Geheel intrekken	0	39.976	5.710	2.233	5.710	3.475	57.534

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

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

Spanningen σ_t tijdens verschillende stadia [N/mm²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm²]
1 ^e deel intrekken	12.036	0,29
2 ^e deel intrekken	30.879	0,74
3 ^e deel intrekken	31.419	0,76
4 ^e deel intrekken	50.724	1,22
Geheel intrekken	57.534	1,38

$$\sigma_t = \frac{T_{\text{tot}}}{A} = \frac{T_{\text{tot}}}{41.579,10}$$

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

5.7.1 Mediumleiding: Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.386.904,58}{0,9 \cdot 110.000} = 46.698,23 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{46.698,23}{61.580,08} = \mathbf{0,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.2 Mediumleiding: Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{3.386.904,58}{0,9 \cdot 110.000} = 46.698,23 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{46.698,23}{61.580,08} = \mathbf{0,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.3 Mantelbuis: Neergaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{694.006.811,09}{0,9 \cdot 110.000} = 9.568.881,79 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{9.568.881,79}{3.470.034,06} = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.7.4 Mantelbuis: Opgaande bocht

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

$$M_b = 1,4 \cdot 975 \cdot \frac{694.006.811,09}{0,9 \cdot 110.000} = 9.568.881,79 \text{ Nmm}$$

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

$$\sigma_b = \frac{9.568.881,79}{3.470.034,06} = \mathbf{2,76 \text{ N/mm}^2}$$

5.8 Totalisatie van de spanningen in het boorgat tijdens de trekoperatie

Spanningen σ_a tijdens verschillende stadia [N/mm ²]	T_{tot} [N]	σ_t [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	σ_a [N/mm ²]
Starten met trekken	12.036	0,29	-	0,29
Na 1 ^e deel intrekken	30.879	0,74	2,76	2,54
Na 2 ^e deel intrekken	31.419	0,76	-	0,76
Na 3 ^e deel intrekken	50.724	1,22	2,76	3,01
Na 4 ^e deel intrekken	57.534	1,38	-	1,38

Rechte delen: $\sigma_a = \frac{T_{tot}}{A} = \frac{T_{tot}}{41.579,10} = \sigma_t$

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

Toelaatbare spanning: $\sigma_{kd} = MRS = \mathbf{10,00}$ N/mm²

6. Fase III: Berekening van de optredende spanningen tijdens de gebruiksfase
6.1 Berekening van de spanningen σ_p en σ_{pl} t.g.v. inwendige druk
6.1.1 Mediumleiding

Leiding is drukloos:

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

6.1.2 Mantelbuis

Leiding is drukloos:

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

6.2.2 Mantelbuis

Leiding is drukloos:

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

6.3 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_{droog} [kN/m ²]	q_{nat} [kN/m ²]	q_{totaal} [kN/m ²]	Q_n [N/mm ¹]
A	1,88	0,62	Klei	7,76	22,51	30,27	7,07
B	3,47	0,58	Zand	7,27	57,54	64,81	14,37
C	4,62	0,57	Klei	7,17	77,52	84,68	17,67
2	5,98	0,55	Zand	6,90	106,56	113,46	23,66
D	7,28	0,56	Zand	7,03	135,94	142,97	30,31
E	8,23	0,32	Zand	3,91	163,14	167,05	35,18
F	8,23	-0,30	Zand	0,00	166,48	166,48	33,67
G	8,23	0,39	Zand	4,79	161,70	166,49	35,24
H	9,94	0,99	Zand	12,69	188,63	201,32	44,73
I	10,20	1,06	Zand	13,57	193,74	207,31	46,37
3	10,13	0,80	Zand	10,14	199,92	210,06	46,70
4	10,06	0,77	Zand	9,91	199,78	209,69	46,72
5	10,04	0,80	Zand	10,40	199,11	209,51	46,85
J	9,98	0,88	Zand	11,64	196,70	208,33	46,93
K	9,07	0,38	Zand	5,69	188,03	193,72	42,73
L	7,01	-1,56	Zand	0,00	152,14	152,14	32,82
6	6,43	-1,56	Zand	0,00	115,86	115,86	20,62
M	4,94	-1,56	Zand	0,00	97,49	97,49	19,23
N	6,89	0,72	Zand	9,61	115,79	125,40	25,48
7	4,87	0,97	Klei	13,20	64,09	77,29	15,32
O	3,69	1,08	Klei	16,39	43,24	59,63	13,41
P	2,67	1,17	Klei	19,01	22,79	41,80	10,72

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

6.4 Berekening van de verkeersbelasting Q_v

Locatie	Dekking t.o.v. maaiveld [m]	Verkeers- belasting	q_v [kN/m ²]	Q_v [N/mm ¹]
A	1,88	Grafiek ½ x II	7,13	2,85
B	3,47	Grafiek ½ x II	3,15	1,26
C	4,62	Grafiek ½ x II	2,21	0,89
2	5,98	Grafiek ½ x II	1,62	0,65
D	7,28	Grafiek ½ x II	1,27	0,51
E	8,23	Geen	0,00	0,00
F	8,23	Geen	0,00	0,00
G	8,23	Geen	0,00	0,00
H	9,94	Grafiek II	1,69	0,67
I	10,20	Grafiek II	1,63	0,65
3	10,13	Grafiek ½ x II	0,82	0,33
4	10,06	Grafiek ½ x II	0,83	0,33
5	10,04	Grafiek ½ x II	0,83	0,33
J	9,98	Grafiek ½ x II	0,84	0,34
K	9,07	Grafiek ½ x II	0,95	0,38
L	7,01	Geen	0,00	0,00
6	6,43	Geen	0,00	0,00
M	4,94	Geen	0,00	0,00
N	6,89	Grafiek ½ x II	1,36	0,54
7	4,87	Grafiek ½ x II	2,08	0,83
O	3,69	Grafiek ½ x II	2,92	1,17
P	2,67	Grafiek ½ x II	4,40	1,76

$$Q_v = q_v \cdot D_o = q_v \cdot 400$$

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

Sigma 2018 1.5 ©

6.5 Momenten en spanningen t.g.v. bovenbelastingen

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_{boven} [N/mm ¹]	M_q [Nmm]	σ_q [N/mm ²]
A	7,07	2,85	9,92	248,86	1,13
B	14,37	1,26	15,63	392,04	1,78
C	17,67	0,89	18,56	465,61	2,11
2	23,66	0,65	24,31	609,85	2,76
D	30,31	0,51	30,82	773,12	3,50
E	35,18	0,00	35,18	882,62	4,00
F	33,67	0,00	33,67	844,82	3,83
G	35,24	0,00	35,24	883,99	4,00
H	44,73	0,67	45,40	1.139,06	5,16
I	46,37	0,65	47,02	1.179,57	5,34
3	46,70	0,33	47,03	1.179,99	5,34
4	46,72	0,33	47,05	1.180,37	5,35
5	46,85	0,33	47,18	1.183,64	5,36
J	46,93	0,34	47,27	1.185,89	5,37
K	42,73	0,38	43,11	1.081,54	4,90
L	32,82	0,00	32,82	823,28	3,73
6	20,62	0,00	20,62	517,38	2,34
M	19,23	0,00	19,23	482,56	2,19
N	25,48	0,54	26,02	652,87	2,96
7	15,32	0,83	16,15	405,10	1,83
O	13,41	1,17	14,58	365,80	1,66
P	10,72	1,76	12,48	313,09	1,42

$$M_q = K_b \cdot (Q_n + Q_v) \cdot r_g = 0,138 \cdot (Q_n + Q_v) \cdot 181,80$$

$$\sigma_q = f_{rr} \cdot \frac{M_q}{W_w} = 1,00 \cdot \frac{M_q}{220,83}$$

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

Sigma 2018 1.5 ©

 6.6 Optredende spanning σ_{qr} tgv. grondreactie in de bochten

Locatie	R [m]	Q_r [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]
D	110,0	0,012	0,36
E	110,0	0,012	0,36
F	110,0	0,012	0,36
G	110,0	0,012	0,36
H	110,0	0,012	0,36
I	110,0	0,012	0,36
3	110,0	0,012	0,36
4	110,0	0,012	0,36
5	110	0,012	0,36
J	110	0,012	0,36
K	110	0,012	0,36
L	110	0,012	0,36
6	110	0,012	0,36
M	110	0,012	0,36
N	110	0,012	0,36

$$\sigma_{qr} = K_{b,ind} \cdot Q_r \cdot D_o \cdot \frac{r_u}{W_w} = 0,083 \cdot Q_r \cdot 400 \cdot \frac{200,00}{220,83}$$

 7. Toetsing op minimale ringstijfheid S_N

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

$$S_N = 975 \cdot \frac{4.019,05}{363,6^3} = 0,0815 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{81,52 \text{ kN/m}^2}$$

 Minimaal vereiste ringstijfheid = 2 kN/m²

8. Toetsing op implosie: berekening van de alzijdige overdruk

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

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

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

$$p_{o,kort} = \frac{1}{1,5 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 975,00 \cdot 4.019,05}{363,60^3} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{o,lang} = \frac{1}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot \frac{24 \cdot 350,00 \cdot 4.019,05}{363,60^3} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

 Conclusie: Kans op implosie bij **27,87** m grondwater boven de leiding

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

Locatie	σ_q [N/mm ²]	σ_{qr} [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_{y2} [N/mm ²]
A	1,13	-	0,65	0,73
B	1,78	-	0,65	1,15
C	2,11	-	0,65	1,37
2	2,76	-	0,65	1,80
D	3,50	0,36	0,65	2,51
E	4,00	0,36	0,65	2,83
F	3,83	0,36	0,65	2,72
G	4,00	0,36	0,65	2,84
H	5,16	0,36	0,65	3,59
I	5,34	0,36	0,65	3,71
3	5,34	0,36	0,65	3,71
4	5,35	0,36	0,65	3,71
5	5,36	0,36	0,65	3,72
J	5,37	0,36	0,65	3,72
K	4,90	0,36	0,65	3,42
L	3,73	0,36	0,65	2,66
6	2,34	0,36	0,65	1,76
M	2,19	0,36	0,65	1,65
N	2,96	0,36	0,65	2,16
7	1,83	-	0,65	1,19
O	1,66	-	0,65	1,08
P	1,42	-	0,65	0,92

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

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

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

9.2 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
A	0,00	0,00	-	-	0,00
B	0,00	0,00	-	-	0,00
C	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	-	-	0,00
D	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
E	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
F	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
G	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
H	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
I	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
3	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
4	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
5	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
J	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
K	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
L	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
6	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
M	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
N	0,00	0,00	2,76	0,65	1,79
7	0,00	0,00	-	-	0,00
O	0,00	0,00	-	-	0,00
P	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²

10. Berekening van de optredende en toelaatbare deflectie in de mantelbuis

Locatie	Q_n [N/mm ¹]	Q_v [N/mm ¹]	Q_r [N/mm ²]	δ_y [mm]	δ_y/D_g [%]
A	7,07	2,85	-	0,04	0,011
B	14,37	1,26	-	0,06	0,017
C	17,67	0,89	-	0,05	0,013
2	23,66	0,65	-	0,12	0,034
D	30,31	0,51	0,012	0,16	0,043
E	35,18	0,00	0,012	0,18	0,049
F	33,67	0,00	0,012	0,17	0,047
G	35,24	0,00	0,012	0,18	0,049
H	44,73	0,67	0,012	0,23	0,063
I	46,37	0,65	0,012	0,24	0,065
3	46,70	0,33	0,012	0,24	0,065
4	46,72	0,33	0,012	0,24	0,065
5	46,85	0,33	0,012	0,24	0,065
J	46,93	0,34	0,012	0,24	0,066
K	42,73	0,38	0,012	0,22	0,060
L	32,82	0,00	0,012	0,17	0,046
6	20,62	0,00	0,012	0,10	0,029
M	19,23	0,00	0,012	0,10	0,027
N	25,48	0,54	0,012	0,13	0,036
7	15,32	0,83	-	0,04	0,011
O	13,41	1,17	-	0,05	0,014
P	10,72	1,76	-	0,04	0,0100

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

$$\delta_y = \frac{(0,089 \cdot (Q_n + Q_v) - 0,083 \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot (Q_n + Q_v) + 0,048 \cdot Q_r) \cdot 181,80^3}{350 \cdot 4.019,05}$$

$$\text{Toelaatbare deflectie} = 8\% \cdot D_g = 0,08 \cdot 363,60 = \mathbf{29,09 \text{ mm}}$$

11. Berekening van het totaal aan optredende spanningen in de mediumleiding
11.1 Optredende spanningen in omtreksrichting van de leiding

Locatie	σ_{y2} [N/mm ²]
A	0,00
B	0,00
C	0,00
2	0,00
D	0,00
E	0,00
F	0,00
G	0,00
H	0,00
I	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
J	0,00
K	0,00
L	0,00
6	0,00
M	0,00
N	0,00
7	0,00
O	0,00
P	0,00

 $\sigma_{y2} = 0$

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = 8,00$ N/mm²

112 Optredende spanningen in langsrichting van de leiding

Locatie	σ_{pl} [N/mm ²]	σ_{ax} [N/mm ²]	σ_b [N/mm ²]	α_σ [-]	σ_x [N/mm ²]
A	0,00	0,00	-	-	0,00
B	0,00	0,00	-	-	0,00
C	0,00	0,00	-	-	0,00
2	0,00	0,00	-	-	0,00
D	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
E	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
F	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
G	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
H	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
I	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
3	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
4	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
5	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
J	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
K	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
L	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
6	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
M	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
N	0,00	0,00	0,76	0,65	0,49
7	0,00	0,00	-	-	0,00
O	0,00	0,00	-	-	0,00
P	0,00	0,00	-	-	0,00

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

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

 Toelaatbare spanning: $\sigma_{ld} = \bar{\sigma}_t = \mathbf{8,00}$ N/mm²

12. Berekening van de boorspoeldrukken tijdens de trekfase

Locatie	H [m]	σ_{vert} [kN/m ²]	σ_{hor} [kN/m ²]	σ_o' [kN/m ²]	p_f' [kN/m ²]	G [MN/m ²]
A	1,88	12,42	7,17	9,79	13,93	5,36
B	3,47	24,66	14,24	19,45	27,67	5,77
C	4,62	29,49	21,85	25,67	34,73	0,18
2	5,98	39,46	16,83	28,15	44,29	28,85
D	7,28	50,96	21,73	36,35	57,19	28,85
E	8,23	58,96	25,14	42,05	66,17	28,85
F	8,23	55,29	23,58	39,43	62,05	28,85
G	8,23	59,19	25,24	42,22	66,43	28,85
H	9,94	76,88	32,78	54,83	86,28	28,85
I	10,20	79,93	34,09	57,01	89,71	28,85
3	10,13	80,30	34,24	57,27	90,12	28,85
4	10,06	80,40	34,28	57,34	90,23	28,85
5	10,04	80,75	34,43	57,59	90,63	28,85
J	9,98	81,18	34,61	57,90	91,10	28,85
K	9,07	73,20	31,21	52,21	82,15	28,85
L	7,01	55,63	23,72	39,68	62,44	28,85
6	6,43	31,45	13,41	22,43	35,29	28,85
M	4,94	31,17	13,29	22,23	34,98	28,85
N	6,89	41,94	17,88	29,91	47,07	28,85
7	4,87	24,88	18,44	21,66	29,68	0,18
O	3,69	23,18	14,31	18,75	30,54	1,07
P	2,67	19,54	13,67	16,60	21,60	0,36

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

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

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

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

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

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

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	Q [-]	R _{p,max} [m]	u [N/mm ²]	p _{st} [N/mm ²]	Δ _p [N/mm ²]	p _{lim} [N/mm ²]
A	0,00077	0,94	0,0126	0,01421	0,00	0,13
B	0,0014	1,74	0,0289	0,03260	0,00	0,22
C	0,051	2,31	0,0405	0,04569	0,00	0,11
2	0,00056	2,99	0,0543	0,06126	0,00	0,73
D	0,00072	3,06	0,0672	0,07581	0,00	0,87
E	0,00084	2,84	0,0791	0,08924	0,00	0,96
F	0,00078	2,94	0,0853	0,09623	0,00	0,93
G	0,00084	2,84	0,0784	0,08845	0,00	0,96
H	0,0011	2,49	0,0895	0,1010	0,01	1,13
I	0,0011	2,44	0,0914	0,1031	0,01	1,15
3	0,0011	2,44	0,0933	0,1053	0,01	1,16
4	0,0011	2,43	0,0929	0,1048	0,01	1,16
5	0,0011	2,43	0,0924	0,1042	0,01	1,16
J	0,0012	2,42	0,0910	0,1027	0,01	1,16
K	0,0010	2,55	0,0869	0,09804	0,01	1,09
L	0,00079	2,93	0,0857	0,09668	0,01	0,93
6	0,00045	3,22	0,0799	0,09014	0,01	0,67
M	0,00044	2,47	0,0650	0,07333	0,01	0,65
N	0,00059	3,37	0,0617	0,06961	0,01	0,77
7	0,045	2,44	0,0390	0,04400	0,01	0,10
O	0,011	1,85	0,0261	0,02944	0,01	0,16
P	0,014	1,34	0,0150	0,01692	0,01	0,07

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

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

$$u = \gamma_w \cdot H_n$$

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

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

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

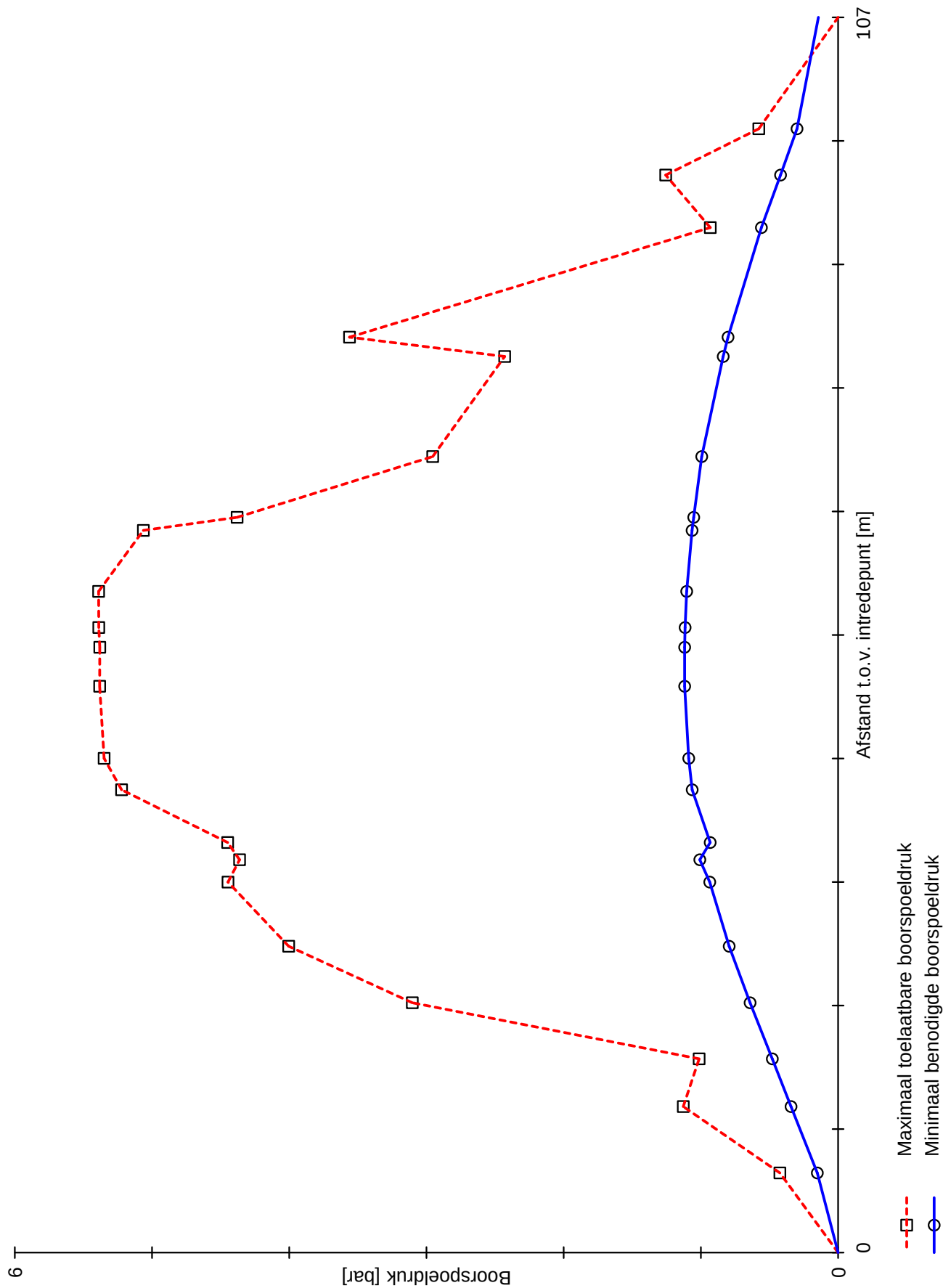
Sterkteberekening van een horizontaal gestuurde boring conform NEN 3650/3651:2012

Sigma 2018 1.5 ©

Locatie	$p_{\max}$ [kPa]	90% p_{lim} [kPa]	p_{min} [kPa]	$p_{\max}$ [bar]	90% p_{lim} [bar]	p_{min} [bar]
A	42,41	116,72	15,14	0,42	1,17	0,15
B	112,83	200,52	34,30	1,13	2,01	0,34
C	108,86	101,25	47,94	1,09	1,01	0,48
2	310,32	659,75	64,16	3,10	6,60	0,64
D	400,37	779,11	79,36	4,00	7,79	0,79
E	444,62	859,59	93,53	4,45	8,60	0,94
F	436,20	833,63	100,79	4,36	8,34	1,01
G	444,84	860,95	93,20	4,45	8,61	0,93
H	522,17	1.013,78	106,34	5,22	10,14	1,06
I	534,91	1.038,89	108,85	5,35	10,39	1,09
3	538,12	1.043,42	111,83	5,38	10,43	1,12
4	538,05	1.043,78	111,83	5,38	10,44	1,12
5	538,80	1.046,01	111,49	5,39	10,46	1,11
J	538,88	1.047,95	110,33	5,39	10,48	1,10
K	506,29	982,80	106,41	5,06	9,83	1,06
L	437,98	836,97	105,21	4,38	8,37	1,05
6	295,42	600,71	99,37	2,95	6,01	0,99
M	242,98	584,28	83,72	2,43	5,84	0,84
N	356,07	690,46	80,23	3,56	6,90	0,80
7	100,14	93,15	55,89	1,00	0,93	0,56
O	125,61	146,21	41,94	1,26	1,46	0,42
P	57,80	65,66	29,96	0,58	0,66	0,30

$$p_{\max} = (p'_f + c \cdot \cot(\varphi)) \cdot \left(\frac{R_0}{R_{p,\max}} \right)^{\frac{2 \cdot \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}} + Q - c \cdot \cot(\varphi) + u$$

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



Bijlage 4 Beschrijving boorvloeistof

CEBOGEL OCMA

Toepassing

- Aanmaken boorvloeistof voor gestuurde boringen. CEBOGEL OCMA is een allround boorproduct dat met name geschikt is voor machines met een trekkracht vanaf circa 30 ton.
- Aanmaken boorvloeistof voor grondboringen.

Voor een optimaal rendement heeft het **aanmaakwater** van de spoeling de volgende eigenschappen:

- Geleidbaarheid : $\leq 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$
- pH : 4,5 - 9

Omschrijving

De basis voor CEBOGEL OCMA is een geactiveerde natrium bentoniet. CEBOGEL OCMA voldoet aan de OCMA-specificaties zoals vastgesteld voor olieboringen en is tevens KIWA-gecertificeerd.

Voordelen

- Stabiliseert het boorgat
- Verbeterd de afvoer van boorgruis
- Vermindert de torsie
- Makkelijk te recyclen
- Uitstekende prijs-kwaliteitverhouding
- Gecertificeerd volgens KIWA-ATA, dus veilig voor gebruik in drinkwatergebieden.

Specificatie

- Voldoet aan de specificaties voor bentoniet zoals opgesteld door de "Oil Companies Materials Association DFCP-4"
- Wordt onder Kiwa Attest Toxicologische aspecten (ATA) geleverd, hetgeen garant staat voor een 100 % milieuvriendelijk product.

Parameter	Methode	Eis	Typische Waarde
Yield	OCMA DFCP-4	$\geq 16,0 \text{ m}^3/\text{ton}$	17,4 m ³ /ton
API Filtraatwaterverlies	OCMA DFCP-4	$\leq 15 \text{ ml}$	13 ml
Droge zeefanalyse door 150 μm	OCMA DFCP-4	$\geq 98 \%$	99 %

Cebo Holland BV
Westerduinweg 1
NL-1976 BV IJMUIDEN
P.O. Box 70
NL-1970 AB IJMUIDEN

Tel.: +31 255546262
Fax: +31 255546202
e-mail : sales@ceboholland.com
www.ceboholland.com

Voor zover wij kunnen beoordelen is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.

PRODUCT DATA



Parameter	Methode	Eis	Typische Waarde
Natte zeefanalyse 75 µm	OCMA DFCP-4	≤ 2,5 %	2 %
Vochtgehalte	OCMA DFCP-4	≤ 15,0 %	9,8 %

Chemische en fysische eigenschappen

Samenstelling	Hoogwaardige geactiveerde natrium bentoniet
Kleur	Geelbeige
Vorm	Zacht poeder

Spoelingseigenschappen

Bij verschillende concentraties CEBOGEL OCMA aangemaakt in gedestilleerd water.

Parameter	Methode	30 kg/m ³	40 kg/m ³	50 kg/m ³	60 kg/m ³
Vloeigrens kogelnummer	Kugelharrfengerät DIN 4126	1	1	2	4
Dichtheid	Mudbalans	1,02 g/ml	1,03 g/ml	1,03 g/ml	1,04 g/ml
Filtraatwaterverlies	DIN 4127	15,5 ml	13 ml	10 ml	8 ml
Marshfunnel API	API RP 13B 2 (1 liter uit)	31 s	38,5 s	46 s	54 s

Verpakking

- 25 kg zakken per 1000 kg verpakt op een pallet met krimpfolie
- big bags van 1000 kg
- bulk

Cebo Holland BV
Westerduinweg 1
NL-1976 BV IJMUIDEN
P.O. Box 70
NL-1970 AB IJMUIDEN

Tel.: +31 255546262
Fax: +31 255546202
e-mail : sales@ceboholland.com
www.ceboholland.com

Revisiedatum : 28.09.2005
Document nr : OC01IP

Voor zover wij kunnen beoordelen is bovengenoemde informatie correct. Wij kunnen u echter geen garanties geven over de resultaten die u hiermee zult bereiken. Deze beschrijving wordt u aangeboden op voorwaarde dat u zelf bepaalt in hoeverre zij geschikt is voor uw doeleinden.