



Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen

Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen | Swalmen

6422-223536.R01 V1.0 | 22 December 2022

Definitief

Architektenbureau Jansen Eerbeek b.v.

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen
Documentnaam	Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen
Fugro-projectnr.	6422-223536
Fugro-documentnr.	6422-223536.R01
Versienummer	V1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Edisonlaan 31B, 6003 DB Weert

Klantgegevens

Klant	Architektenbureau Jansen Eerbeek b.v.
Adres klant	Postbus 7, 6960 AA Eerbeek
Contactpersoon klant	

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	22-12-2022	Definitief	Eerste versie			

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
Ing.		Senior Consultant Geotechniek
ir.		Consultant Geotechniek

Inhoudsopgave

1. Algemene toelichting	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Projectomschrijving	1
2. Geotechnisch onderzoek en bodemgesteldheid	2
2.1 Algemeen	2
2.2 Globale bodemgesteldheid	2
2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten	2
3. Funderingsadvies	3
3.1 Algemeen	3
3.2 Uitgangspunten	3
3.3 Op druk belaste palen	4
4. Uitvoering	5
4.1 Avegaarpalen	5

Bijlagen

A.1 Rapportage geotechnisch onderzoek
B.1 Uitgangspunten
B.2 Maximale draagkracht van de paalpunt
B.3 Maximale paalschachtwrijving
B.4 Maximale draagkracht
C.1 Uitvoering avegaarpalen en buisschroefpalen

1. Algemene toelichting

1.1 Inleiding

Op 25 oktober 2022 ontving Fugro te Weert van Architektenbureau Jansen Eerbeek bv te Eerbeek, de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek alsmede het uitbrengen van een funderingsadvies voor het project "Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen".

Fugro staat niet in voor de juistheid en/of volledigheid van de door derden verstrekte informatie en gegevens.

De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de opdracht en de in het rapport beschreven uitgangspunten. Fugro neemt geen verantwoordelijkheid voor de juistheid van andere dan door ons gerapporteerde conclusies en interpretaties. De gerapporteerde resultaten van het geotechnisch onderzoek mogen slechts worden gehanteerd voor het doel zoals in de opdracht is beschreven.

Dit rapport bevat:

- Een korte projectomschrijving;
- Een beschrijving van het uitgevoerde geotechnisch onderzoek en de bodemgesteldheid (hoofdstuk 2);
- Een funderingsadvies en berekening van de draagkracht (hoofdstuk 3);
- Aanbevelingen met betrekking tot de uitvoering (hoofdstuk 4).

1.2 Projectomschrijving

De bouwlocatie is gelegen aan de Boutestraat te Swalmen.

Het plan betreft de uitbreiding van een hal. Volgens opgave van de opdrachtgever is de bestaande hal destijds op avegaarpalen Ø600 mm gefundeerd met een paalpuntniveau van Peil -11,5 m en Peil -12,3 m. Naar verwachting zal het peil van de huidige bebouwing rond NAP +23,0 m liggen zodat dit overeenkomt met een paalpuntniveau van ca. NAP +11,5 m tot NAP +10,7 m.

Bovenstaande gegevens zijn door de opdrachtgever verstrekt.

Voor nadere gegevens omtrent de constructie verwijzen wij u naar de berekeningen en tekeningen van de constructeur.

2. Geotechnisch onderzoek en bodemgesteldheid

2.1 Algemeen

Het geotechnisch onderzoek voor dit project heeft bestaan uit 3 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand (code DKM).

De resultaten hiervan, eventuele afwijkingen van de opdracht en opmerkingen zijn gepresenteerd in de bijlage A "Rapportage Geotechnisch Veldwerk".

2.2 Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP +23,13 tot NAP +22,60 m.

Op basis van het geotechnisch onderzoek kan de bodemgesteldheid globaal worden geschematiseerd zoals in tabel 2.1.

Tabel 2.1: Globale bodemgesteldheid

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving	
+23,1	à	+22,6	ZAND	Los tot matig dicht gepakt
+16,8	à	+15,5	KLEI/SILT	
+14,7	à	+13,5	ZAND/GRIND	Dicht tot zeer dicht gepakt
+12,3	à	+11,8	Maximale verkende diepte	

2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten

Door na het trekken van de sondeerstangen te peilen in één van de sondeergaten, is de grondwaterstand vastgesteld op NAP +18,90 m. Deze grondwaterstand is een éénmalige opname en slechts bedoeld als een oriënterend gegeven. De (grond)waterstand kan in de tijd (sterk) fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

3. Funderingsadvies

3.1 Algemeen

Gezien de aangetroffen bodemgesteldheid en de aard van de bebouwing komt voor dit project een fundering op palen in aanmerking.

Voor onderhavig project is uitgegaan van de toepassing avegaarpalen. Deze funderingsoplossing is in de volgende paragrafen van dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

Het funderingsadvies voor dit project is opgesteld conform de norm geotechniek NEN 9997-1. Conform 1.5.2.127 van NEN 9997-1 dient de minimale paallengte ten minste $5 \times D_{eq}$ te bedragen. Het mede op basis van dit advies gemaakte funderingsontwerp dient achteraf te worden getoetst aan de geldende geotechnische normen.

In het ontwerpstadium zijn in het algemeen geen gedetailleerde gegevens beschikbaar met betrekking tot het palenplan, de exacte paalbelastingen, de gebouwtijfheid en de vervormingseisen. Derhalve wordt in dit stadium van het project volstaan met de toetsing van de uiterste grenstoestand (UGT) type B op sterkte. Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en avegaarpalen met relatief kleine diameter, is deze grenstoestand veelal maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstostanden worden ondervangen.

Voor de paalfundering is uitgegaan van verticaal, centrisc en op druk belaste palen. Momenten, trekbelastingen en horizontale belastingen zijn niet beschouwd.

3.2 Uitgangspunten

Voor de uitwerking van het funderingsadvies voor dit project zijn de volgende door de constructeur verstrekte uitgangspunten gehanteerd:

- De rekenwaarden (UGT) voor de paalbelastingen vanuit de constructie (F_{cd}) bedraagt maximaal ca. 500 à 730 kN;
- Het terrein zal niet significant worden opgehoogd of ontgraven.

3.3 Op druk belaste palen

Voor het funderingsadvies voor op druk belaste palen is voor diverse schachtafmetingen van Paaltype op gekozen paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c,netd}$ in kN			
			Ø 500 mm	Ø 550 mm	Ø 600 mm	Ø 650 mm
DKM01	+22,60	+13,0	650	770	905	1050
DKM02	+23,04	+13,0	600	725	850	990
DKM03	+23,13	+13,0	440	530	625	730
Opmerkingen: $R_{c,netd}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal rekening houdend met negatieve kleef ($= R_{cd} - F_{neg}$) Δ = traject van mogelijke paalpuntniveaus						

Bij avegaarpalen wordt geadviseerd het paalpuntniveau van naast elkaar gelegen palen binnen een hart-op-hart-afstand van $8 \times D$ gelijk te houden.

De in de tabel gepresenteerde waarden voor de paal draagkracht zijn grondmechanische waarden. Door de constructeur dient te worden gecontroleerd of de bijbehorende paalschachtspanningen toelaatbaar zijn.

Voorbeeldberekeningen van de rekenwaarde van de netto draagkracht van een paal en de toetsing van UGT type B zijn gegeven in bijlage B.

Voor de berekening van de rekenwaarde van de maximale draagkracht en de toetsing van de UGT type B volgens 7.6.2.3 van NEN 9997-1 zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 2;
- omdat in dit stadium van het ontwerp de stijfheid van de constructie nog niet exact bekend is, is de stijfheid van de constructie niet in rekening gebracht. Volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 is voor de factoren ξ_3 en ξ_4 een waarde van 1,39 gehanteerd;
- aangezien geen terreinzakkingen groter dan 0,02 m verwacht worden is conform 7.3.2.2(a) van NEN 9997-1 in de berekeningen geen negatieve kleefbelasting verdisconteerd;
- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden:

α_p	0,56
α_s	0,006
β	1,0
s	1,0;
- Toetsing volgens de UGT type B houdt in dat voldaan moet worden aan: $F_{cd} \leq R_{cd}$.
De vervormingsgrenstoestanden zijn, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend.

4. Uitvoering

4.1 Avegaarpalen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van avegaar palen wordt verwezen naar NEN-EN 1536 'Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Boorpalen'.

De avegaarpalen dienen te worden geïnstalleerd door een gerenommeerd en in dit paaltype gespecialiseerd bedrijf.

Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 "Toezicht op de realisatie van paalfunderingen".

Voor informatie en aanbevelingen betreffende installatievolgorde, installatieproces, ontgravingen, wapening, en uitvoerings- en kwaliteitscontrole wordt verwezen naar de bijlage C.1 "Uitvoering Avegaarpalen en Buisschroefpalen".

De kwaliteit van de geïnstalleerde paalschacht dient door middel van akoestische metingen te worden gecontroleerd.

Bijlage A

Geotechnisch onderzoek

A.1 Rapportage geotechnisch onderzoek



Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen

Rapportage geotechnisch onderzoek | Swalmen

6422-223536 | 29-11-2022

Definitief

Architektenbureau Jansen Eerbeek B.V.

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen
Documentnaam	Rapportage geotechnisch onderzoek
Fugro-projectnr.	6422-223536
Fugro-documentnr.	6422-223536-21-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Edisonlaan 31B, 6003 DB, Weert
Telefoonnummer	+31 495 513 560

Klantgegevens

Klant	Architektenbureau Jansen Eerbeek B.V.
Klant adres	Postbus 3, 6960 AA, EERBEEK
Contact klant	

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	29-11-2022	Definitief	Initiële versie			

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
	ing. J. Jansen	Senior Projectmanager Geo-Projecten

Inhoudsopgave

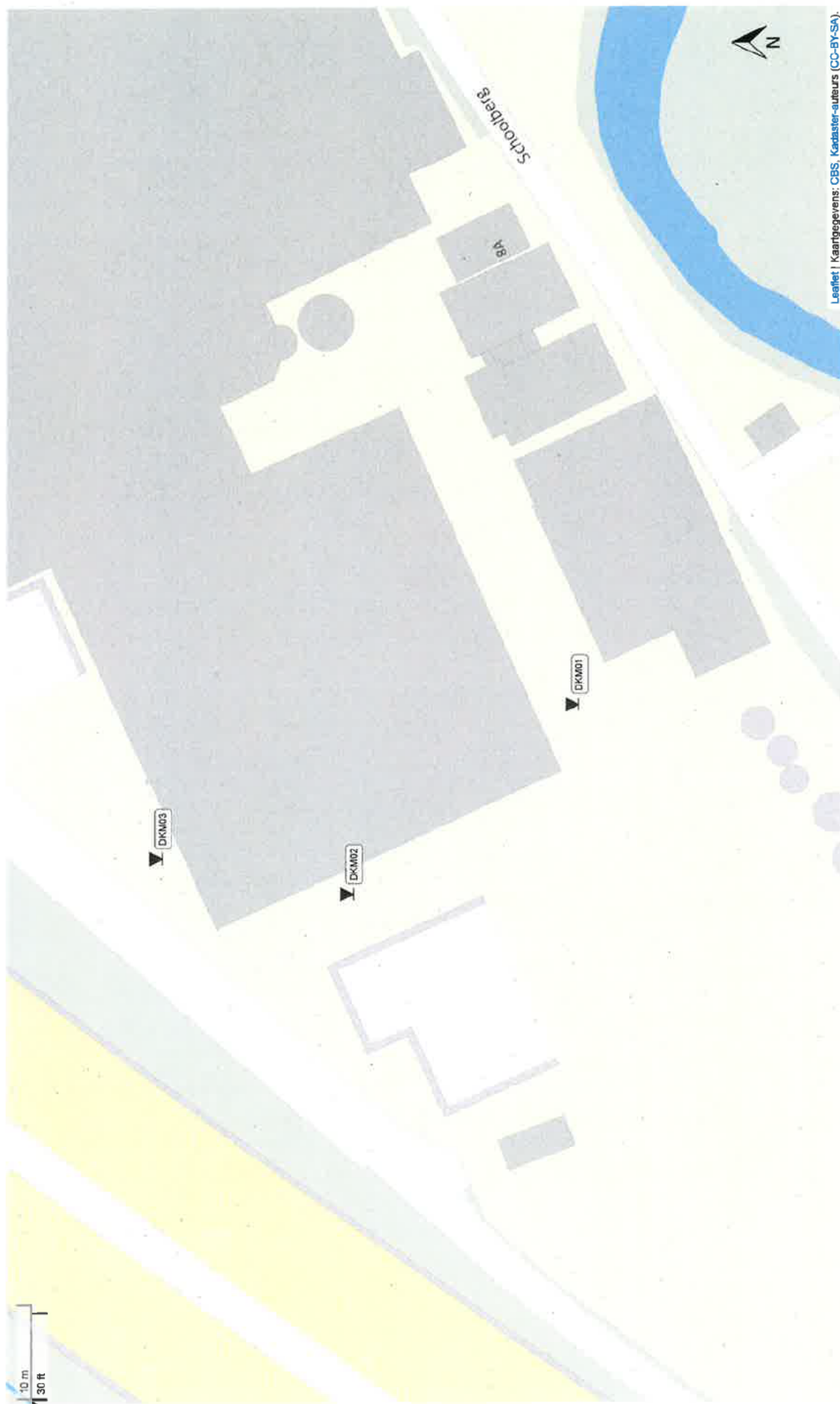
1. Rapportageoverzicht
2. Situatietekening(en)
3. Onderzoeksdata
4. Toelichting geotechnisch onderzoek
5. Continu elektrisch sonderen
6. Legenda terreinproeven

Rapportageoverzicht

Projectnaam: Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen

Fugro-projectnr.: 6422-223536

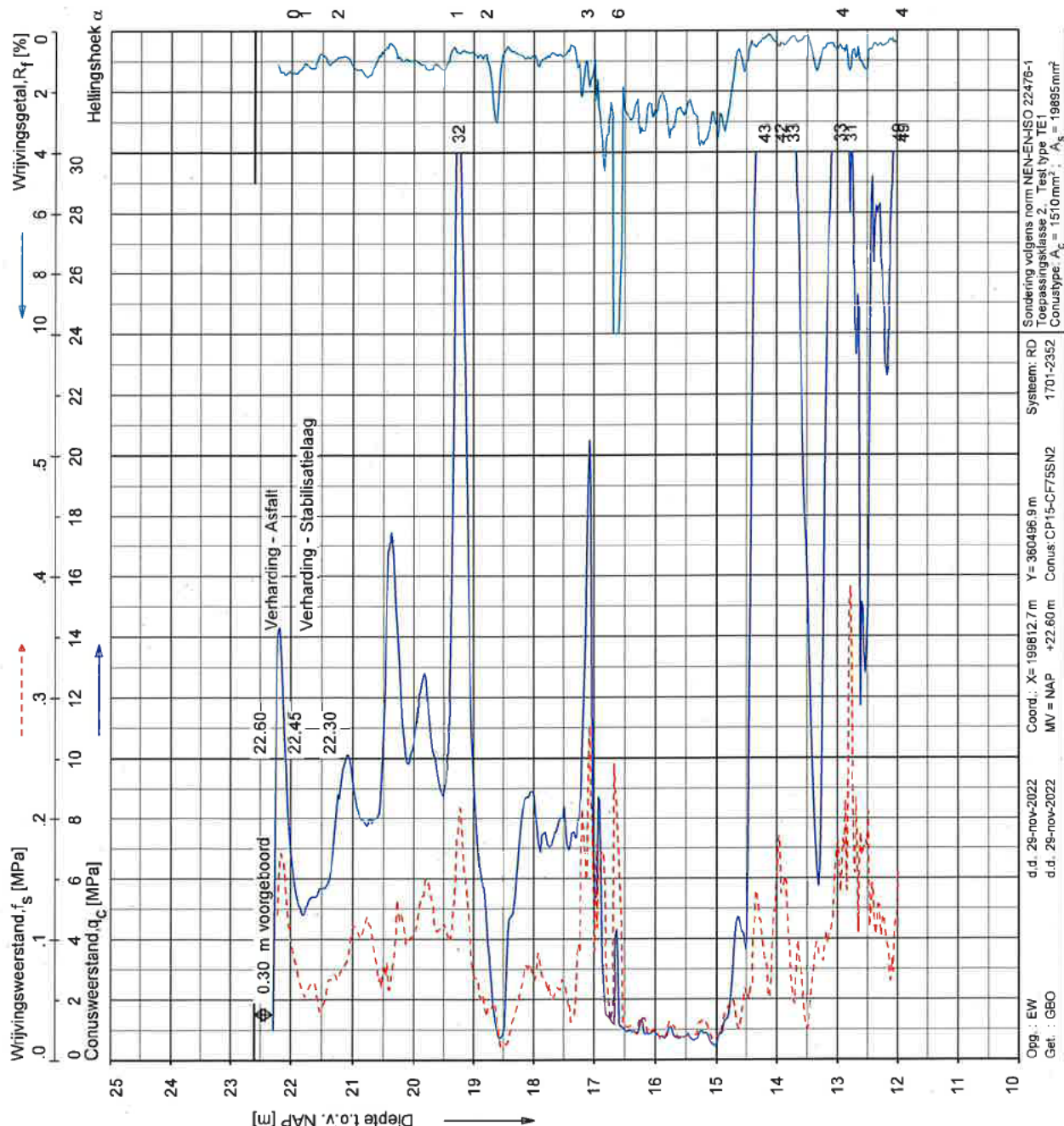
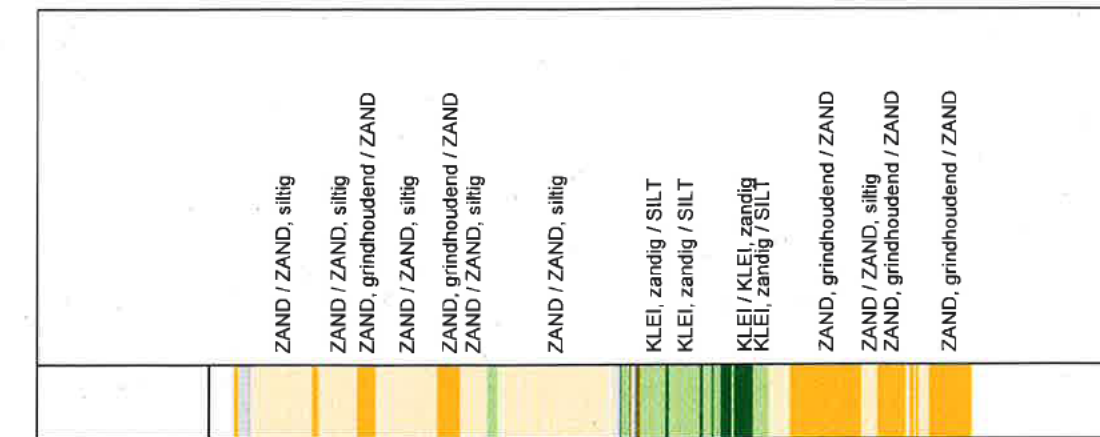
Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwaterstand (m) t.o.v. NAP	Opmerkingen
	X	Y			
DKM01	199812.7	360496.9	+22.60	+18.90	Gestaakt, max. totaaldruk
DKM02	199792.3	360521.2	+23.04		Gestaakt, max. totaaldruk
DKM03	199796.2	360541.6	+23.13		Gestaakt, max. totaaldruk



Opdr.: 6402-223536
Bijl.: 1

Situatie
Uitbreiding hal aan de Boutestraat 125 te Swalmen

Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data
 van de sondering, geldig onder
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



6422-223536

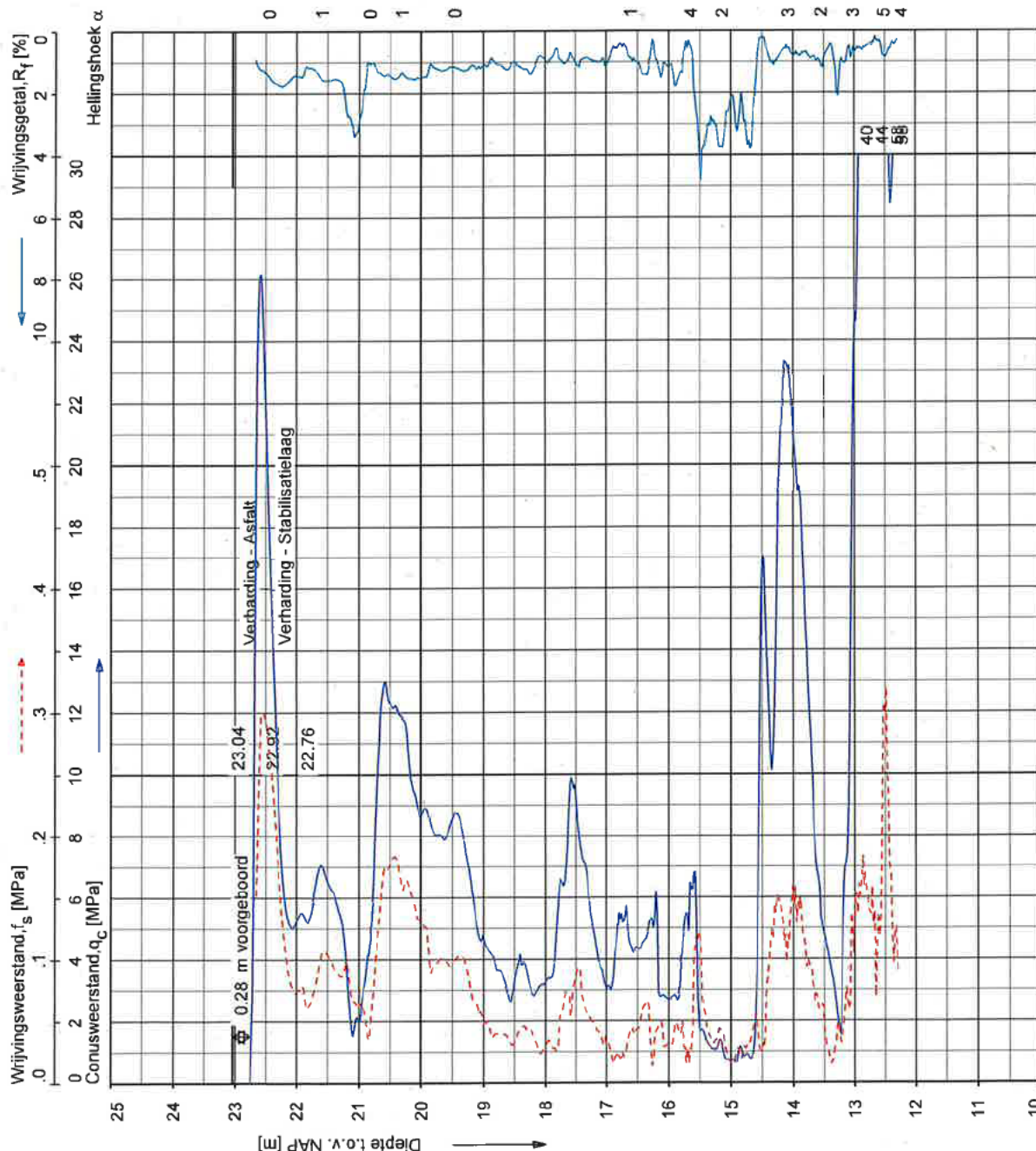
DKM01 - 1

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

UITBREIDING HAL AAN DE BOUTESTRAAT 125 TE SWALMEN

Opdr. 6422-223536
 Sond. DKM01

Indicatieve bodembeschrijving
Automatisch gegenereerd uit data
van de sondering, geldig onder
grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



6422-223536

DKM02 - 1

Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conus type: $A_0 = 1510 \text{ mm}^2$; $A_3 = 1995 \text{ mm}^2$

Systeem: RD
 1701-2352

Conus: CP15-CF75SN2

Y = 360521.2 m

Coord.: X = 199792.3 m

MV = NAP

Coord.: X = 199792.3 m

Y = 360521.2 m

Conus: CP15-CF75SN2

Y = 360521.2 m

Conus: CP15-CF75SN2

Y = 360521.2 m

Conus: CP15-CF75SN2

Y = 360521.2 m

Conus: CP15-CF75SN2

Y = 360521.2 m

Conus: CP15-CF75SN2

Y = 360521.2 m

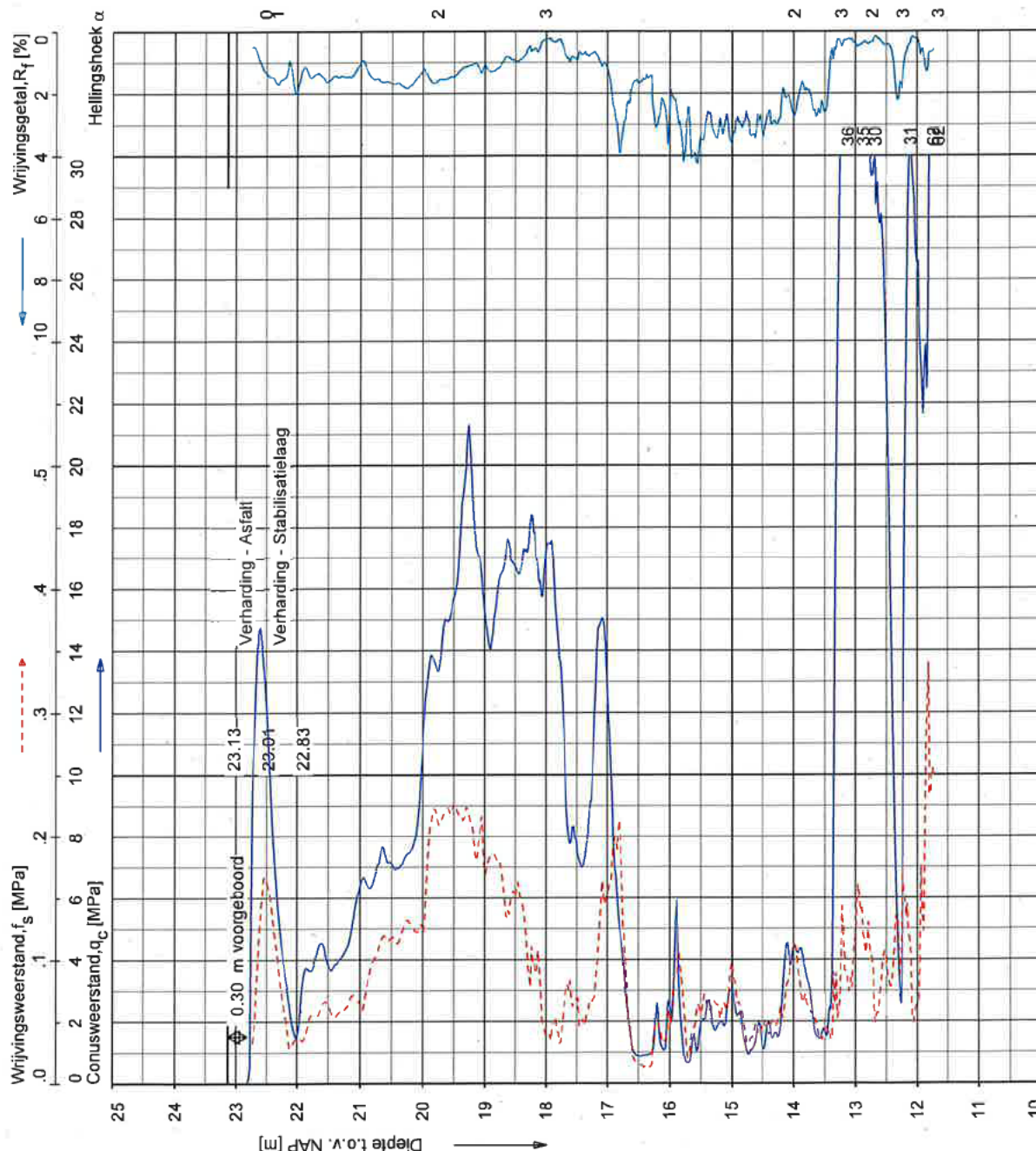
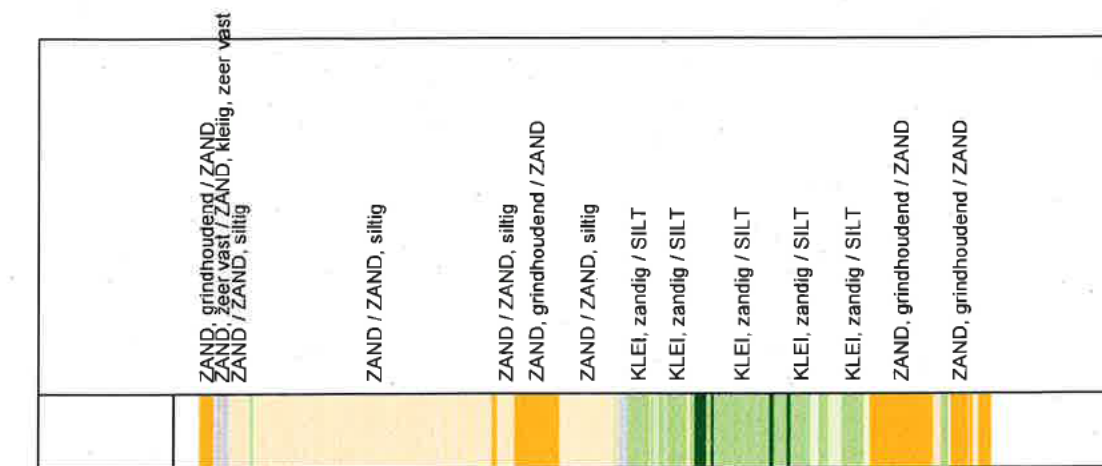
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

UITBREIDING HAL AAN DE BOUTESTRAAT 125 TE SWALMEN

Opdr. 6422-223536
 Sond. DKM02



Indicatieve bodembeschrijving
 Automatisch gegenereerd uit data
 van de sondering, geldig onder
 grondwaterpeil (Robertson 1990, NL corr.)



Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 2, Test type TE1
 Conus type: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

Systeem: RD
 1701-2352

Y = 360541.6 m
 Conus: CP15-CF75SN2

Coord.: X = 199796.2 m
 Y = 360541.6 m
 MV = NAP +23.13 m

d.d. 29-nov-2022
 d.d. 29-nov-2022

Opdr.: EW
 Get.: GEO

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

UITBREIDING HAL AAN DE BOUTESTRAAT 125 TE SWALMEN

Opdr. 6422-223536
 Sond. DKM03



Toelichting geotechnisch onderzoek

Coördinaten en hoogte van de onderzoekspunten

Indien de hoogte en coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD bedragen de maximale afwijking van de meting van de coördinaten ca. 10 cm en de maximale afwijking van de meting van de hoogte ca. 5 cm. Bij projecten waarbij de sonderingen zijn gerefereerd aan een lokaal vast punt bedraagt de maximale afwijking in de hoogte ca 5 cm. De maximale afwijking in de maatvoering door middel van traditioneel uitzetten met een meetband bedraagt ca. 25 cm.

Indien de onderzoekslocaties niet zijn gerefereerd aan een vaste referentiehoogte wijkt het onderzoek af van de gestelde eisen in de NEN-EN-ISO 22476-1.

De hoogtebepaling van de onderzoekslocaties is uitgevoerd met als doel de bodemopbouw te refereren aan een vaste referentiehoogte. Deze gegevens zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek.

Sonderen

Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage 'Continu Elektrisch Sonderen'.

Boren

Mechanisch boorwerk wordt verbuisd uitgevoerd, waarbij de grond uit de buis wordt verwijderd met behulp van een puls (niet-cohesieve gronden) en/of een avegaarboor (cohesieve gronden).

Bij handboren wordt gebruik gemaakt van een edelmanboor (cohesieve gronden) en een handpuls (niet-cohesieve gronden).

De werkzaamheden worden uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO 22475-1.

Peilbuizen worden gepresenteerd op de betreffende boorstaten. De boringen met peilbuis zijn met bijbehorend symbool aangegeven op de situatietekening.

Ongeroerde monsternamen bij het mechanisch boren kan plaatsvinden door:

- Een Ackermann steekbus te slaan of te drukken;
- Een Pistonbus te drukken;
- Een Gelpush monster te drukken.

Bij handboren worden ongeroerde monsters genomen met een Van der Horst-steekapparaat.

De tijdens het boren genomen geroerde monsters worden in het veld globaal geïdentificeerd. Als er laboratoriumonderzoek volgt na het veldwerk, worden in het laboratorium de monsters gedetailleerd geclassificeerd en/of geïdentificeerd. Bij eventuele verschillen tussen de veld- en laboratorium-identificatie is de laboratoriumidentificatie bepalend.

Op het beschrijven van grond is de NEN-EN-ISO 14688-1 of NEN 5104 van toepassing. Op de boorstaat staat aangegeven welke NEN Norm gehanteerd is.

(Grond)waterstand

De gemeten (grond)waterstand(en) betreffen een eenmalige opname en zijn bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

Kwaliteitsborging

Alle werkzaamheden zijn verricht in overeenstemming met het managementsysteem van Fugro NL Land B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2015 en VCA ** 2008/5.1.

De kalibratiesheet(s) van de gebruikte conus(sen) kunnen op verzoek worden toegestuurd.

Continu elektrisch sonderen

Meettechniek

De standaard bij Fugro toegepaste conus is de 'elektrische kleefmantelconus', waarmee de conusweerstand, de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling gelijktijdig worden gemeten. Sinds februari 2013 is de norm *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 Geotechnisch onderzoek en beproeving – Veldproeven – Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting* van toepassing als vervanging van NEN 5140, die is teruggetrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

Bij het uitvoeren van een sondering conform *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013* wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm² met een constante snelheid van ca 20 mm/s in de bodem te drukken. Voor de meting van de wrijvingsweerstand is een mantel met een oppervlak van 15000 mm² boven de punt aangebracht. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) en de wrijving langs de kleefmantel (plaatselijke wrijvingsweerstand in MPa) worden door rekstroken in de conus continu digitaal gemeten. Het basisoppervlak van de conus mag tussen 500 en 2000 mm² variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm² en een manteloppervlak van 20000 mm².

Veelal wordt gebruik gemaakt van een conus met een korter cilindrisch deel boven de conuspunt dan in NEN-EN-ISO 22476-1 vermelde 400 mm voor een standaard conus. Het cilindrische deel vanaf de conuspunt van de standaard door Fugro gebruikte conussen heeft een lengte van 230 mm in plaats van de genormeerde lengte. Onderzoek* heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

De meetsignalen worden digitaal naar een elektrische meeteenheid gestuurd en samen met de diepte en de tijd opgeslagen. Definitieve verwerking vindt daarna op kantoor plaats, waarbij de gemeten parameters tegen de diepte in grafiekvorm worden uitgewerkt. Door continue registratie van de gemeten conus- en wrijvingsweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

Afwijking van de conus met de verticaal worden continu geregistreerd, waarmee bij de uitwerking de diepte wordt gecorrigeerd en zo een onjuiste diepte-aanduiding als gevolg van 'scheef sonderen' wordt voorkomen.

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand q_c als de plaatselijke wrijvingsweerstand f_s maakt het mogelijk het wrijvingsgetal R_f te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de

* Lunne and Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand in procenten. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Het wrijvingsgetal R_f geeft samen met de conusweerstand q_c een goed beeld van de bodemopbouw *beneden* de grondwaterspiegel. In de onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen of lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische conus.*

Tabel 1: Wrijvingsgetal per grondsoort

Grondsoort	Wrijvingsgetal in %	Grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Grind, grof zand	0,2 – 0,6	Klei	3,0 – 5,0
Zand	0,6 – 1,2	Potklei	5,0 – 7,0
Silt, löss	1,2 – 4,0	Veen	5,0 – 10,0

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen en gelden deze waarden niet.

Presentatie sondeergegevens

Sonderingen kunnen worden uitgewerkt met interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is dan uitgevoerd volgens Robertson [1990][†], die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Bij deze interpretatie wordt uitgegaan van de genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f als ingangsparementers.

De genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f worden berekend, uit de gemeten wrijvingsweerstand f_s en conusweerstand q_c , indien mogelijk gecorrigeerd voor de waterspanning en de verticale effectieve - en totale grondspanning volgens de onderstaande formules.

Genormaliseerde conusweerstand:

$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

Vergelijking 1

Genormaliseerd wrijvingsgetal

$$nR_f = \frac{100 \cdot f_s}{q_t - \sigma_{v0}}$$

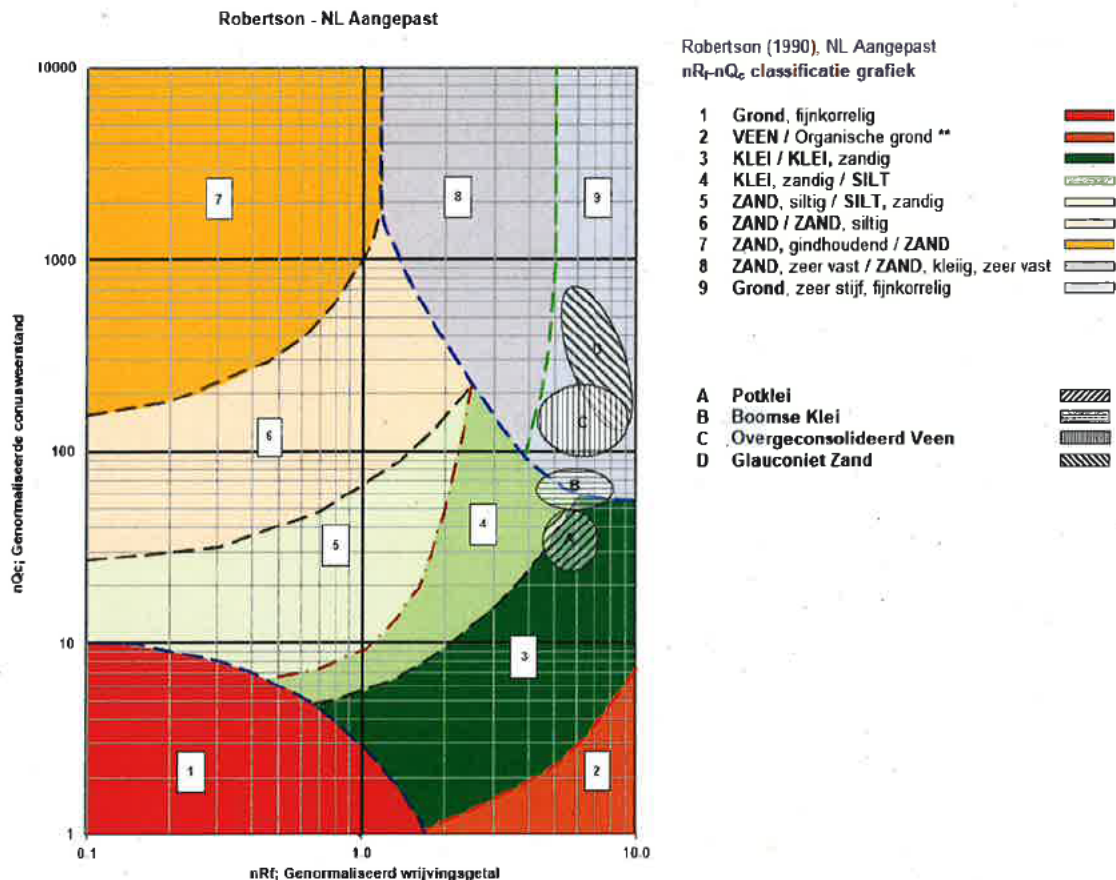
Vergelijking 2

In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor q_t de waarde van q_c gebruikt.

[†] Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-158

Voor de grondsoorten, die specifiek zijn voor de Nederlandse ondergrond condities, zijn in de Bodem Classificatiegrafiek van Robertson [1990] twee aanpassingen gedaan om de Nederlandse situatie beter te beschrijven:

- gebieden 4 en 5 zijn anders ingedeeld, zodat losgepakte zanden en ondiepe kleilagen beter worden geïnterpreteerd. Deze aanpassingen zijn in onderstaande figuur weergegeven;
- er is een extra voorwaarde ingebracht om Holocene veenlagen goed te kunnen classificeren. Voor $q_c < 1,5$ MPa en $R_f > 5$ % wordt de grond als veen geïnterpreteerd.



** In Nederland is dit meestal VEEN. Op basis van boorgegevens en/of geologische gegevens kan nader onderscheid worden gemaakt in het type organische grond

Figuur 1: Classificatiegrafiek Robertson (1990), aangepast voor Nederlandse grondsoorten

Voor een aantal specifieke grondtypen, zoals bijvoorbeeld Potklei, Boomse klei, overgeconsolideerd veen en glauconiethoudend zand is tevens het classificatie gebied aangegeven. Deze stemmen niet direct overeen met de benamingen van gebieden 1 tot en met 9.

De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen mogelijk onterecht worden geïnterpreteerd als veenlagen. Ook is de correlatie voor de toplagen minder betrouwbaar vanwege het lage effectieve spanningsniveau in deze lagen.

Andere conustypen

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

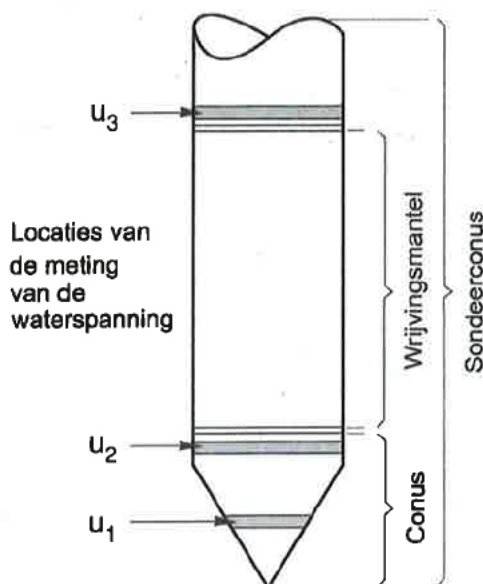
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

Type meting	Meetresultaten	Toepassingsmogelijkheden
Waterspanning	Waterspanning ter plaatse van de punt	■ registreren waterremmende lagen; ■ indicatie stijghoogte grondwater; ■ classificatie / gelaagdheid bodem.
Magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	■ blindgangeronderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpuntniveau / schoorstand funderingspalen; ■ onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden.
Geleidbaarheid	Elektrische geleiding grond en grondwater	■ indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens; ■ onderzoek verspreiding verontreiniging.
Temperatuur	Temperatuurmeting op verschillende diepten	■ warmteoverdracht in de bodem; ■ bepaling temperatuurgroadiënt.
Schuifgolfsnelheid (seismisch)	Dynamische bodemparameters op verschillende diepten	■ machinefunderingen; ■ windturbinefunderingen.
Versnelling	Versnellingen op verschillende diepten	■ heitrillingen; ■ verkeerstrillingen
MIP (Membrane Interface Probe)	Verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (Rapid Optical Screening Tool)	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen
HPT (Hydraulic Profiling Tool)	Doorlatendheid	■ niet-stationaire grondwatermodellen ■ ontwerp bemalingen; ■ onderzoek infiltratiecapaciteit (DSI); ■ beoordeling pipinggevoeligheid dijken.

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus (piëzo-conus) is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten.

Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities u_1 en u_2 veelvuldig voorkomen (zie figuur 1). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 1: Schematische weergave sondeerconus met meting van waterspanning

Uitvoeringswijze

Om een juiste meting van de waterspanning te verkrijgen, dient het gehele meetsysteem volledig ontlucht en gevuld te zijn met een weinig samendrukbare vloeistof. Om te voorkomen dat de vloeistof tijdens het sonderen in de onverzadigde lagen boven de grondwaterstand wegvloeit zijn een juiste keuze van vloeistof, het gebruik van een rubber membraam, een goede uitvoering en de poriëngrootte van het filter belangrijk.

Indien het grondwater relatief ondiep aanwezig is, wordt bij voorkeur voorgeboord tot het niveau van de grondwaterspiegel teneinde luchttoetreding te voorkomen. Hiermee wordt ook de kans op beschadiging en in de grond achterblijven van het rubber membraan verkleind.

Interpretatie

De resultaten van de piëzo-sonderingen bestaan uit de gemeten conusweerstand (q_c), de plaatselijke wrijvingsweerstand (f^s), het wrijvingsgetal (R_f), de gemeten waterspanning (u_1 of u_2 respectievelijk in de punt en achter de punt) en de wateroverspanningsindex B_q .

De resultaten van de waterspanningsmeting tijdens het sonderen vormen uit grondmechanisch en geohydrologisch oogpunt een belangrijke extra informatiebron voor de interpretatie van de bodemopbouw. Door combinatie van de meting van de conusweerstand en de waterspanning, bij voorkeur samen met de plaatselijke wrijvingsweerstand, wordt optimaal gebruik gemaakt van de sondeertechniek en kan het benodigde aanvullend grondonderzoek efficiënter worden gepland.

Bij de interpretatie speelt met name de wateroverspanning een rol, dat wil zeggen de verhoging van de waterspanning die door het indrukken van de conus ontstaan is. Dunne cohesieve laagjes in een zandpakket en dunne zandlaagjes in een kleipakket, die in de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand door uitmiddeling niet of slecht zichtbaar zijn, kunnen goed worden gedetecteerd aan de hand van de water(over)spanningen, die door het sonderen ontstaan. Deze laagjes kunnen van groot belang zijn voor het zettingsgedrag van funderingen en voor de verticale (on)doorlatendheid van de grond.

Verder kunnen met de piëzo-conus, met name via de u_1 -meting, sterk gelaagde structuren van zand en klei onderscheiden worden van homogene lagen hetgeen op basis van conusweerstand en plaatselijke wrijving in de meeste gevallen niet lukt. Aangetoond is dat het detectievermogen van de u_1 -meting veel hoger is dan van de u_2 -meting.

Wateroverspanningsindex B_q

Met de wateroverspanningsindex B_q kan een meer nauwkeurige classificatie van de grondsoort worden verkregen. Deze index is de verhouding van de wateroverspanning en de netto conusweerstand q_{net} , zijnde de gemeten conusweerstand q_c gecorrigeerd voor de waterspanning op het netto oppervlak van de sondeerconus, rekening houdend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningsindex B_q wordt als volgt berekend:

$$B_q = \frac{\beta \cdot (u_1 - u_0)}{q_{net}}$$

Vergelijking 3

$$B_q = \frac{(u_2 - u_0)}{q_{net}}$$

Vergelijking 4

Waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 . Standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand
- q_t = $q_c + (1 - a) \cdot \{\beta(u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt
- = $q_c + (1 - a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m³ en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing in de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing achter de punt;
- u_0 = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de β -factoren in tabel 3 gegeven.

Tabel 3: β -factor per grondsoort

Grondgedrag	β -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 – 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 – 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0,0* – 0,3
Silt, samendrukbaar	0,5 – 0,6
Silt, vast en dilatant gedrag	0,0* – 0,2
Zand, siltig, los gepakt	0,2 – 0,4
Opmerking: * – Bij meting van de waterspanning achter de conuspunt worden in bepaalde gevallen negatieve waterspanningen gemeten. Deze waarden geven nauwelijks een indicatie van de doorlatendheid, doch alleen over het materiaalgedrag.	

Dissipatietest

Het is ook mogelijk het sondeerproces op een bepaalde diepte tijdelijk te stoppen en de afname van de wateroverspanning (dissipatie) als functie van de tijd te registreren. Daarna kan het sondeerproces worden voortgezet.

In doorlatende gronden geeft de dissipatietest een goed beeld van de heersende hydrostatische waterspanning en daarmee van de stijghoogte. Het betreft slechts een indicatie aangezien de meetnauwkeurigheid beperkt is. Door het uitvoeren van meerdere metingen in een grondlaag en de gemiddelde waarde van de stijghoogte te bepalen kan een beduidend hogere nauwkeurigheid worden behaald. Ervaring leert dat de onnauwkeurigheid circa 0,5 m bedraagt. Voor een meer nauwkeurige bepaling en de optredende fluctuaties zijn peilbuismetingen over een langere waarnemingsperiode nodig, afhankelijk van het doel.

In slecht doorlatende, cohesieve lagen kan met behulp van de dissipatietest een indicatie van de consolidatiecoëfficiënt en daarmee van de verticale (on)doorlatendheid worden verkregen. Hierbij dient de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat in klei overeen met circa 1/2 uur. Uit berekeningen en kwalitatieve vergelijking van de metingen wordt inzicht verkregen in het consolidatiegedrag van de grond. Voor het vaststellen van de heersende hydrostatische waterspanning in kleilagen is de dissipatietest in de meeste gevallen weinig geschikt, vanwege de benodigde lange aanpassingstijd en de onnauwkeurigheid.

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten parameters.

Door invoering van de Eurocode is op Europees niveau de internationale sondeernorm *EN-ISO 22476-1 'Electrical cone and piezocone testing'* ontwikkeld. In de norm *EN-ISO 22476-1* is de nauwkeurigheid van de meetresultaten gekoppeld aan het toepassingsgebied met bijbehorend bodemkenmerken / geschiktheid voor interpretatie en afleiding van bodemparameters. Verder is de meting van de waterspanning genormeerd. In de Europese tabel van sondeerclassen worden de sondeerclassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie tabel 4.

Tabel 4: Overzicht toepassingsclassen *EN-ISO 22476-1*

Toepassing- klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort	Interpretatie
1	TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10 kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G, H
2	TE1 TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	100 kPa of 5 % 15 kPa of 15 % 25 kPa of 3 % 2° 0,1 m of 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ^d ■ Helling ■ Sondeerlengte	200 kPa of 5 % 25 kPa of 15 % 50 kPa of 5 % 5° 0,2 m of 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

Opmerking:

Uiterst slappe gronden maken soms nog hogere nauwkeurigheden noodzakelijk.

- a De toegestane minimum nauwkeurigheid van de gemeten parameters is de grootste van de twee genoemde. De relatieve nauwkeurigheid geldt voor de gemeten waarde en niet voor het meetbereik.
- b Volgens ISO 14688-2:
- A homogeen gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) (typische gronden met $q_c < 1$ MPa);
 - B gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zand (conusweerstand 5 MPa - $q_c < 10$ MPa);
 - C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa - $q_c < 3$ MPa) en zeer dichte zanden ($q_c \geq 20$ MPa);
 - D zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3$ MPa) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20$ MPa).
- c Vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid.
- G* Indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid.
- H Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid.
- H* Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid.
- d Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b uit *NEN 9997-1* worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand niet realistisch om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door toepassing van digitale conussen, strikte kwaliteitscontroles en kalibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen.

Voor sondering in toepassingklasse 1 worden speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik toegepast. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van recente kalibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

In de praktijk komt het af en toe voor dat sonderingen worden uitgevoerd, waarbij door de opdrachtgever is aangegeven dat de maaiveldhoogte niet ten opzichte van een vast referentiepeil (NAP) hoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan *EN-ISO 22476-1*.

Legenda terreinproeven

Boringen / Peilbuizen

-  Handboring nog niet uitgevoerd
-  Handboring uitgevoerd
-  Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis
-  Handboring uitgevoerd met 2 peilbuizen
-  Mechanische boring nog niet uitgevoerd
-  Mechanische boring uitgevoerd
-  Mechanische boring uitgevoerd met 1 peilbuis
-  Mechanische boring uitgevoerd met 2 peilbuizen
-  Mechanische boring uitgevoerd met 3 peilbuizen
-  Boring uitgevoerd door derden
-  Boring uitgevoerd met peilbuis door derden
-  Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) nog niet uitgevoerd
-  Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) uitgevoerd

Overige symbolen

-  Meetpunt
-  Hoogtemaat

Type sonderingen

- D Diepsondering
- HS Handsondering
- S Slagsondering

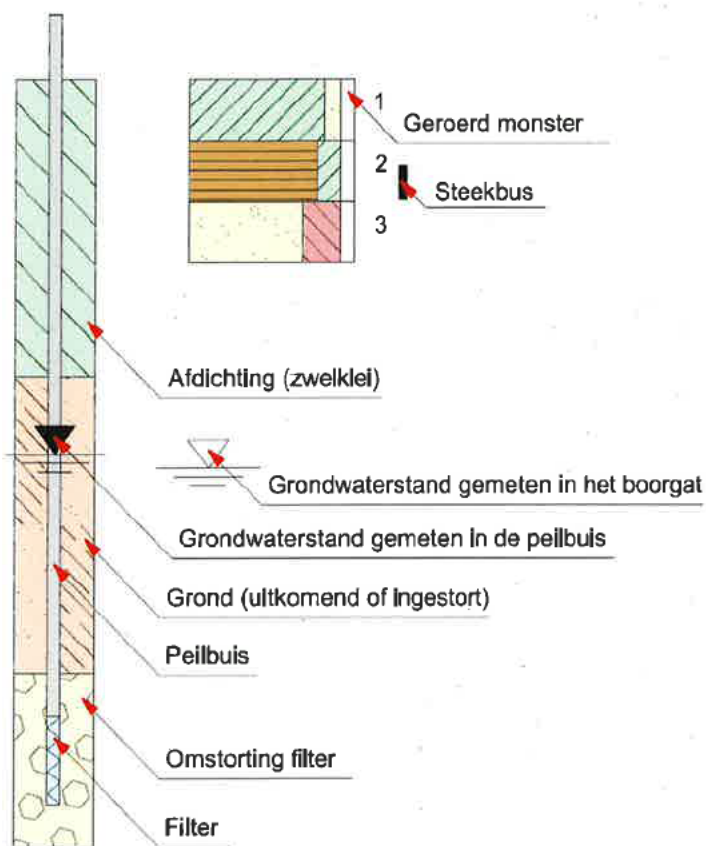
Sonderingen

-  Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
-  Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
-  Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
-  Sondering zonder plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
-  Slagsondering uitgevoerd
-  Handsondering uitgevoerd
-  Multigrondwatersondering nog niet uitgevoerd
-  Multigrondwatersondering uitgevoerd
-  Sondering met bolconus nog niet uitgevoerd
-  Sondering met bolconus uitgevoerd
-  Waterspanningsmeter nog niet uitgevoerd
-  Waterspanningsmeter uitgevoerd
-  Sondering uitgevoerd door derden
-  Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden
-  Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd
-  Hellingmeterbuis uitgevoerd

Toegevoegde metingen

- KM Meting van de plaatselijke kleef
- P Meting van de waterspanning
- M Meting van de magnetische veldsterkte
- G Meting van de geleidbaarheid
- S Meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
- T Meting van de temperatuur

Peilbuis





Bijlage B

Berekening en toetsing
rekenwaarde netto draagkracht

B.1 Uitgangspunten

- Gehanteerde sondering: DKM01
- Paaltype: Avegaarpalen
- Paalpuntniveau: NAP +13,0
- Schachtdiameter: $\square$ 550 mm

B.2 Maximale draagkracht van de paalpunt

De maximale *puntweerstand* volgens 7.6.2.3(e) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$q_{b,max} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \cdot ((q_{cI,gem} + q_{cII,gem})/2 + q_{cIII,gem})$$

$$= 4,7 \text{ MPa. } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

Waarin:

			in dit geval:
$q_{cI,gem}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	18,0 MPa
$q_{cII,gem}$	=	de minimale waarde van de conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	13,0 MPa
$q_{cIII,gem}$	=	de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstand over traject III (8 x D_{eq} boven de punt)	1,15 MPa
α_p	=	paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,56 -
β	=	factor voor de paalvoetvorm	1,0 -
s	=	factor voor de vorm van de dwarsdoorsnede van de paalvoet	1,0 -

De maximale *draagkracht* van de paalpunt volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$R_{b,cal,max,i} = A_{punt} \cdot q_{b,max,i}$$

$$= 1108 \text{ kN}$$

waarin:

A_{punt}	=	oppervlak van de paalvoet	in dit geval:
			0,238 m ²

B.3 Maximale paalschachtwrijving

De maximale paalschachtwrijving volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$\begin{aligned} q_{s;\max} &= \alpha_s \cdot q_{c;za} \\ &= 0,069 \text{ MPa} \end{aligned}$$

waarin:

α_s	=	factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltje (tabel 7.c, NEN 9997-1)	in dit geval:
			0,006
$q_{c;za}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend	
			11,5 MPa

De maximale schachtwrijvingskracht volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$\begin{aligned} R_{s;\Delta L;\max;i} &= O_{s;\Delta L;\text{gem}} \cdot \Delta L \cdot q_{s;\max} \\ &= 179 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin:

$O_{s;\Delta L;\text{gem}}$	=	gemiddelde omtrek van de paalschacht	in dit geval:
			1,728 m
ΔL	=	traject voor berekening schachtwrijving	
			1,5 m

B.4 Maximale draagkracht

De maximale draagkracht van de paal volgens 7.6.2.3(c) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$\begin{aligned} R_{c;\text{cal}} &= R_{b;\text{cal};\max;i} + R_{s;\text{cal};\max;i} \\ &= 1286 \text{ kN} \end{aligned}$$

De karakteristieke waarde van de maximale draagkracht van de paal volgens 7.6.2.3(5) van NEN 9997-1 bedraagt:

$$\begin{aligned} R_{ck} &= \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{gem}}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\min}}{\xi_4} \right\} \\ &= 925 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin:

ξ_3	=	correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1	in dit geval:
			1,39
ξ_4	=	correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1	
			1,39

Voor de *rekenwaarde* van de maximale draagkracht van de paal kan volgens 7.6.2.3(3) en (4) van NEN 9997-1 worden aangehouden:

$$\begin{aligned} R_{cd} &= R_{ck} / \gamma_R \\ &= 771 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin:

in dit geval:

$$\begin{aligned} \gamma_R &= \gamma_b = \gamma_s \\ &= \text{partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1} \quad 1,20 \end{aligned}$$

Voor de UGT geldt volgens 7.6.2.1(1) van NEN 9997-1:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

Voor de UGT type B kan het zakkingscriterium dat in 2.4.9(b) van NEN 9997-1 is gegeven, worden vervangen door:

$$F_{cd} + F_{nk;d} < R_{cd}$$

waarin:

in dit geval:

$$\begin{aligned} F_{cd} &= \text{rekenwaarde van de belasting in kN} \\ F_{nk;d} &= \text{rekenwaarde van de negatieve kleeftbelasting} \quad 0 \quad \text{kN} \\ R_{cd} &= \text{rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal} \quad 771 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen en avegaarpalen met relatief kleine diameter, is de UGT type B maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.

Bovenstaande formule kan worden bewerkt tot de volgende voorwaarde:

$$F_{cd} < R_{c;net;d}$$

waarin:

in dit geval:

$$\begin{aligned} R_{c;net;d} &= R_{cd} - F_{nk;d} \\ &= \text{de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal,} \\ &\quad \text{rekening houdend met de negatieve kleeftbelasting} \quad 771 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Indien aan de bovenstaande voorwaarde wordt voldaan, dan bezwijkt de grond rondom de paal niet. De vervormingen van de paalkop zullen hierbij ook beperkt zijn.

In tabel 3.1 zijn de waarden gepresenteerd van $R_{c;net;d}$.

Bijlage C

Uitvoeringsaspecten

C.1 Uitvoering avegaarpalen en buisschroefpalen

Uitvoering avegaarpalen en buisschroefpalen

Algemene richtlijnen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van schroefpalen type avegaar en buisschroefpalen wordt verwezen naar NEN-EN 1536 Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Boorpalen. Daarnaast wordt verwezen naar de principes in beoordelingsrichtlijn BRL 2356, inclusief Bijlagen A en B d.d. 01-06-1992 van KIWA.

Toezicht dient plaats te vinden op basis van CUR Aanbeveling 114 'Toezicht op de realisatie van paalfunderingen'. In het bijzonder dient op de volgende aspecten te worden gelet.

Installatievolgorde

De eerste paal dient zo dicht mogelijk bij de sondering met het diepste paalpuntniveau te worden geïnstalleerd. Het waargenomen installatiegedrag zoals boormoment en schraapfactor kan, in combinatie met het sondeerbeeld, een indicatie geven voor de tussen de sonderingen te installeren palen.

Het beïnvloeden van een onvoldoende verharde paalschacht door het inboren van een naastliggende paal, kan in de praktijk over het algemeen worden vermeden door een hart-op-hart afstand van minimaal 4 maal de paalvoetdiameter (D) met een minimum van 2,0 m aan te houden. Bij een geringere tussenafstand dient minimaal 4 uur tussentijd in acht te worden genomen. Indien desondanks blijkt dat door het boren van een volgende paal, het specieniveau van de nog niet verharde paal wijzigt (nazakking of oppersing), dan dient een andere werkvolgorde te worden gekozen, waarbij een grotere tussenafstand of een verhardingstijd langer dan 4 uur dient te worden aangehouden, mede afhankelijk van de toegepaste hulpstoffen. Aan de paal waar nazakking of oppersing is geconstateerd, dient bij de kwaliteitscontrole bijzondere aandacht te worden besteed.

Bij palen binnen elkaars invloedsgebied dient hetzelfde paalpuntniveau te worden aangehouden. Het dieper installeren kan een vermindering in draagvermogen veroorzaken van eerder ingebrachte palen. Bij een ondieper niveau is het risico aanwezig dat de paalpunt zich in een verstoorde zone bevindt. In beide gevallen zullen naderhand sonderingen moeten worden uitgevoerd om het draagvermogen vast te stellen.

Installatieproces

De draaisnelheid van de avegaar dient te worden afgestemd op de penetratiesnelheid. Er mag niet meer grond omhoog worden geschroefd dan strikt noodzakelijk (verdringingsvolume van de avegaar), zodat ontspanning van de grond tot een minimum wordt beperkt. De capaciteit van de boormotor dient derhalve te zijn afgestemd op de bodemopbouw en de paaldiameter.

Een te laag boormoment kan leiden tot een aanzienlijke ontspanning in de ondergrond, hetgeen nadelig is voor het draagvermogen van de palen. Ook kunnen belendende funderingen op staal of op palen daardoor grote zettingen ondergaan.

Bij iedere sondering dient over de volle hoogte de schraapfactor te worden bepaald; voor de tussenliggende palen kan worden volstaan met de bepaling over de laatste 1,5 m. De schraapfactor is het aantal omwentelingen van de avegaar nodig om de avegaar over de lengte van 1 x de spoed te doen zakken. Sterke afwijkingen hierin dienen te worden gecontroleerd door middel van een controlesondering op 0,75 m afstand van de paal.

Zodra de avegaar op diepte is, dient de boormotor gestopt te worden. Alvorens de avegaar wordt getrokken moeten de slangen en de holle buis van de avegaar gevuld zijn met mortel en moet het systeem onder voldoende druk zijn gezet. De avegaar mag maximaal 0,1 m worden gelicht om het deksel te lossen. Bij mislukking mag dit maximaal nog tweemaal geprobeerd worden. Hierna dient de avegaar linksom draaiend te worden getrokken. Een nieuwe paal op dezelfde plaats dient 0,25 m dieper te worden geboord.

Tijdens het trekken van de avegaar dient erop te worden toegezien, dat de morteldruk gehandhaafd blijft, zodat een regelmatige opbouw van de paalschacht wordt verkregen. In de draagkrachtige laag dient een overdruk te worden aangehouden van 0,5 MPa. In de bovenlagen dient de overdruk te worden gereduceerd om een doorbraak van verse mortel langs de avegaar naar het maaiveld te voorkomen. De snelheid van trekken van de avegaar en het opvullen van het boorgat dient in overeenstemming te zijn met de capaciteit van de betonpomp. Bij onderbrekingen in het proces van paalfabricage dient eerst 0,25 m terug geboord te worden. De palen dienen te worden afgestort tot aan het werkniveau.

Wapening

De wapening van de paal, voorzien van afstandhouders, dient verticaal en gecentreerd te worden geïnstalleerd direct na het trekken van de avegaar. Hierbij kan eventueel gebruik worden gemaakt van een trilapparaat. De betondekking op de buitenste staven dient, gezien de onnauwkeurigheid van het inbrengen, minimaal 60 mm te bedragen.

Ontgravingen

Bij eventuele ontgravingen na het installeren van de palen dient zorgvuldig te worden gewerkt om beschadiging te voorkomen. Meestal zijn de palen slechts over een beperkte hoogte gewapend waardoor de opneembare horizontale belasting gering is. Ook de weerstand tegen ongelijkmatige gronddrukken, bijvoorbeeld door plaatselijke ontgravingen en/of materieeltransport, is beperkt.

Controle

Een controle op de aard van de bodemlagen wordt verkregen door de grond in de avegaar te inspecteren. De paalpunt dient in de draagkrachtige zandlaag te staan en het bodemprofiel dient in overeenstemming met het sondeerbeeld te zijn. De hoeveelheid gebruikte mortel c.q. beton dient te worden geregistreerd, en geverifieerd aan de hand van de afmetingen van de paal. De morteldruk tijdens het maken van de paal dient, bijvoorbeeld met een continue schrijver, te worden geregistreerd.

De kwaliteit van de palen dient te worden gecontroleerd met behulp van akoestische metingen, zo nodig in combinatie met het ontgraven van het bovenste deel van de paalschacht. Eventuele discontinuïteiten in de betonddoorsnede kunnen hiermee worden vastgesteld. Het aantal door te meten palen wordt mede bepaald door eventuele onregelmatigheden tijdens de uitvoering. Bij twijfel omtrent de kwaliteit, c.q. het draagvermogen, dient contact te worden opgenomen met de constructeur en de grond mechanisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot een of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

- Het uitvoeren van controlesonderingen om te onderzoeken of sprake is van een afwijkende bodemopbouw;
- Het uitvoeren van een dynamische en/of statische proefbelasting om het werkelijke draagvermogen van de paal vast te stellen.

In geval er 3 pogingen zijn gedaan om het deksel te lossen zal eveneens een controlesondering moeten worden uitgevoerd ter controle van de invloed.

Uitgebreide informatie over de uitvoering van paalfunderingen, het dynamisch proefbelasten en het akoestisch doormeten van palen is gegeven in onze brochures, die op aanvraag beschikbaar zijn.

Gezien de vele factoren die het installatieproces kunnen beïnvloeden, is deskundig toezicht een vereiste. Voor iedere paal dienen alle van belang zijnde gegevens te worden geregistreerd. Dit betreft niet alleen het uiteindelijke paalpuntniveau, doch ook zaken als het toegepaste boormoment, de betonaanvoer, eventuele onregelmatigheden tijdens het boorproces, de installatievolgorde, het tijdstip, de paallengte, het maaiveld- respectievelijk werkniveau, een eventuele bemaling en andere relevante gegevens.

Aanvullende opmerkingen m.b.t. buisschroefpalen

De bovengenoemde aanbevelingen voor uitvoering van avegaarpalen gelden in grote lijnen ook voor buisschroefpalen. Hierbij dienen echter nog de volgende kanttekeningen te worden geplaatst:

- De capaciteit van de boormotor dient over het algemeen groter te zijn dan bij avegaarpalen van dezelfde diameter;
- Tijdens paalfabricage dient het specieniveau zich in de holle kern te allen tijde zich boven het maaiveld te bevinden; de betondruk kan namelijk niet worden gemeten;
- Indien een buisschroef als gevolg van onregelmatigheden moet worden getrokken, dient deze eerst gevuld te worden met grof materiaal of beton ter voorkoming van extra ontspanning van de zandlaag;
- Bij genoemde uitvoeringsproblemen dient een controlesondering te worden gemaakt op een afstand van 0,75 m uit de paal.