Van Eeghenstraat 94-98 te Amsterdam

Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen | Amsterdam

6423-229999-R01-v1.0-20220214 1.0 | 14 februari 2022

Definitief

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Van Eeghenstraat 94-98 te Amsterdam
Documentnaam	Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen
Fugro-projectnr.	6423-229999
Fugro-documentnr.	6423-229999-R01-v1.0-20220214
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	

Klantgegevens

Klant	
Adres klant	
Contactpersoon klant	

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	14-02-2023	Definitief	-	CMM	ZKJ	ZKJ

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
CMM		Adviseur Geotechniek
ZKJ		Senior 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 3

3. Funderingsadvies 4

3.1 Algemeen 4
3.2 Uitgangspunten 4
3.3 Op druk belaste palen 4

4. Uitvoering 7

4.1 Micropalen, type type schroefinjectiepaal 7

Bijlagen

Bijlage A Geotechnisch onderzoek

A.1 Archiefsonderingen

Bijlage B Berekening en toetsing rekenwaarde netto draagkracht

B.1 Uitgangspunten
B.2 Reductie conusweerstand
B.3 Maximale draagkracht van de paalpunt
B.4 Maximale paalschachtwrijving
B.5 Maximale draagkracht

1. Algemene toelichting

1.1 Inleiding

Op 8 februari 2023 ontving Fugro te Amsterdam van Zuider Vastgoed te Amsterdam de opdracht voor het uitbrengen van een funderingsadvies voor het project “Van Eeghenstraat 94-98 te Amsterdam”.

De resultaten 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

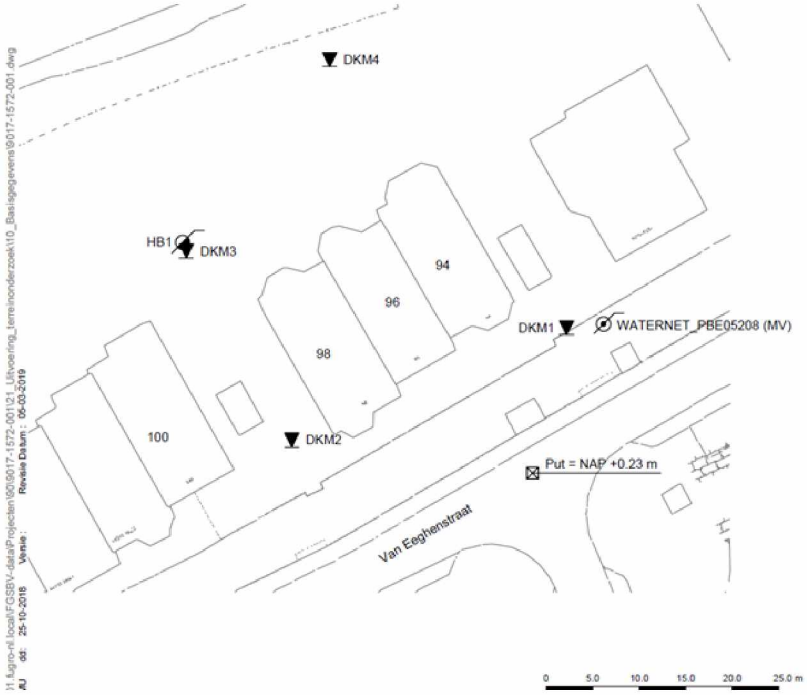
Het project betreft funderingsherstel met een volledige onderkeldering aan de Van Eeghenstraat 94-98 te Amsterdam.

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

Voor het funderingsadvies is gebruik gemaakt van 4 archief sonderingen uitgevoerd door Fugro in 2019 onder het project nr. 9017-1572-001. De locatie van deze sonderingen zijn weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1: Locatie archiefsonderingen

De resultaten hiervan, eventuele afwijkingen van de opdracht en opmerkingen zijn gepresenteerd in de bijlagen.

2.2 Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties bedroeg ten tijde van het onderzoek van NAP -1,23 m tot NAP +0,26 m.

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

Tabel 2.1: Globale bodemgesteldheid

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving	
ca. +0,26 / -1,23	tot	ca. -2,3 à -3,2	ZAND	toplaag
ca. -2,3 à -3,2	tot	ca. -4,5 à -4,7	VEEN	
ca. -4,5 à -4,7	tot	ca. -7,0 à -7,5	KLEI	
ca. -7,0 à -7,5	tot	ca. -9,3 à -9,5	ZAND	wadzand

Diepte in m t.o.v. NAP			Bodembeschrijving	
ca. -9,3 à -9,5	tot	ca. -11,6 à -12,0	KLEI	zandig
ca. -11,6 à -12,0	tot	ca. -12,5 à -13,0	VEEN	basis
ca. -12,5 à -13,0	tot	ca. -25,0	ZAND	matig vast tot vast gepakt
ca. -25,0			Maximale verkende diepte	

2.3 Grondwaterstanden

Voor het funderingsadvies is gebruik gemaakt van de grondwatergegevens uit grondonderzoek (2019) met een grondwaterstand van ca. NAP – 1,9 m.

Deze grondwaterstand is een éénmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van getijde, weersgesteldheid en de seizoenen.

3. Funderingsadvies

3.1 Algemeen

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

Op verzoek van de constructeur is uitgegaan van de toepassing van een trillingsvrij paalsysteem**, micropalen type schroefinjectiepalen** of gelijkwaardig. De schroefinjectiepalen zijn in tabel 7c van NEN 9997-1 ingedeeld onder micropalen, met de volgende uitvoeringsspecificaties:

- in de grond gevormd met ankerbuizen en schroefbladen, waarbij het grout direct tegen de grond drukt;
- wijze van installeren: geschroefd, waarbij menging van de grond met grout plaatsvindt.

In het ontwerpstadium zijn in het algemeen geen gedetailleerde gegevens beschikbaar met betrekking tot het palenplan, de gebouwstijfheid 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 grenstoestanden worden ondervangen.

Voor de paalfundering is uitgegaan van verticaal, centrisch en op druk / trek belaste palen. Momenten 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 rekenwaarde (UGT) voor de paalbelasting vanuit de constructie ($F_{c;d}$) bedraagt voor de drukkracht ca. 676 kN en voor de trekkracht ca. 200 kN;
- De grondwaterstand is aangehouden op ca. NAP -1,9 m;
- het terrein zal ten behoeve van de aan te leggen kelder worden ontgraven tot ca. NAP -4,2 m.

3.3 Op druk en op trek belaste palen

Voor het funderingsadvies voor op druk- en op trek belaste palen is voor diverse schachtafmetingen van schroefinjectiepalen 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 paaldraagkracht

Sondering nr. (project nr.)	Maaiveld-hoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c;net;d}$ ($R_{t;d}$) in kN micropalen, type schroefinjectiepalen		
			Ø114/180/250 * mm	Ø114/180/300* mm	Ø140/220/350* mm
DKM1	+0,26	-18,00	340 (150)	450 (180)	560 (210)
		-18,50	390 (170)	510 (205)	640 (240)
		-19,00	500 (195)	640 (235)	800 (275)
DKM2	-0,50	-18,00	330 (120)	440 (145)	570 (170)
		-18,50	400 (145)	520 (175)	650 (205)
		-19,00	460 (170)	560 (205)	680 (240)
DKM3	-1,16	-18,00	470 (180)	600 (220)	710 (255)
		-18,50	450 (205)	590 (250)	740 (290)
		-19,00	470 (230)	610 (280)	770 (320)
DKM4	-1,23	-18,00	320 (100)	430 (120)	560 (140)
		-18,50 à -19,0	420 (125)	560 (150)	710 (175)
ξ_3 = 1,39 gemiddeld		-19,00	460	590	740
ξ_3 = 1,28 gemiddeld		**-19,00**	**500**	**640**	**800**

Opmerkingen:
$R_{c;net;d}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef (= $R_{c;d}$ - $F_{nk;d}$)
$R_{t;d}$ / (...) = rekenwaarde van de trek-weerstand op basis van alleenstaande palen en exclusief het eigengewicht van de paal
$F_{nk;d}$ = i.v.m. ontgraving is de negatieve kleef niet in rekening gebracht
* = diameter van de stalen buis / diameter in de slappe lagen / diameter in de vaste zandlaag. De geotechnische diameter in de draagkrachtige zandlaag is bij schroefinjectiepalen gelijk aan de diameter van het boorblad.

De in de tabel gepresenteerde waarden voor de paaldraagkracht 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;
- Gezien de gelijkmatigheid van de paalpuntniveaus en de rekenwaarden van de draagkracht mag ook met ξ is 1,28 (behorend bij n = 4) worden gerekend, waarbij wordt uitgegaan van de gemiddelde rekenwaarde van de draagkracht voor het hele project.
- In verband met de uitvoering van ontgraving tot een niveau van NAP – 4,2 m zijn de gemeten conusweerstanden gereduceerd conform 7.6.2.3(k) van NEN 9997-1;

de positieve schachtwrijving is vanaf ca. NAP – 12,0 m tot paalpuntniveau volledig meegenomen in de berekening;

- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden (zie volgende pagina):

α_p	0,63[1)]
α_s	0,008[2)]
α_t	0,008
β	1,0
s	1,0

- Toetsing volgens de UGT type B houdt in dat voldaan moet worden aan: $F_{c;d} \leq (R_{c;d} - F_{nk;d})$. De vervormingsgrenstoestanden zijn, gezien de zeer geringe zakking van de palen onder invloed van de belasting, niet maatgevend;
- De berekening van de rekenwaarde van de trekbelasting op alleenstaande palen is uitgevoerd. Uitgaande van quasi statisch op trek belaste palen is een γ_{var} van 1,0 gehanteerd;
- In de trekweerstand is het eigen gewicht van de paal niet meegerekend;
- Opgemerkt wordt dat op trek belaste palen over de gehele lengte dienen te worden gewapend. Dimensionering van de wapening valt buiten het kader van dit rapport.

[1)] Hierbij mag de boorbuis over de laatste 8x de paaldiameter niet op en neer worden gehaald en dient, na het op diepte komen van de paal, de punt onder verhoogde druk te worden afgeperst en de paal te worden vastgedraaid. Als de paal niet zodanig wordt uitgevoerd, zijn lagere paalklassefactoren van toepassing en dient de draagkracht te worden gereduceerd.

[2)] Volgens tabel 7.c van NEN 9997-1 dient in principe zonder het uitvoeren van paalbelastingproeven een waarde van 0,008 te worden gehanteerd. Indien wel paalbelastingproeven worden uitgevoerd mag een waarde van 0,012 worden gehanteerd. De waarde van 0,008 is een conservatieve ondergrens en wijkt af van de vroegere berekeningswijze volgens NEN 6743 waarbij met een waarde van 0,009 werd gerekend.

4. Uitvoering

4.1 Micropalen, type type schroefinjectiepaal

Voor de toe te passen uitvoeringswijze van de micropalen wordt verwezen naar de norm NEN-EN: 14199 “Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Micropalen”.

Bij het op diepte brengen van de paal mag de boorbuis over de laatste 8x de paaldiameter niet op en neer worden gehaald. Na het op diepte komen van de paal dient de punt onder verhoogde druk te worden afgeperst en de paal te worden vastgedraaid. Als de paal niet zodanig wordt uitgevoerd, zijn lagere paalklassefactoren van toepassing en dient de draagkracht te worden gereduceerd.

De geotechnische diameter in de draagkrachtige zandlaag is bij schroefinjectiepalen gelijk aan de diameter van het boorblad. De diameter van het boorblad dient dan ook gelijk te worden gekozen aan de gewenste geotechnische diameter (zie tabel 3.1) zodat de fundering wordt aangelegd conform tabellen 6.3 en 6.5 uit CUR rapport 236 (paaltype D).

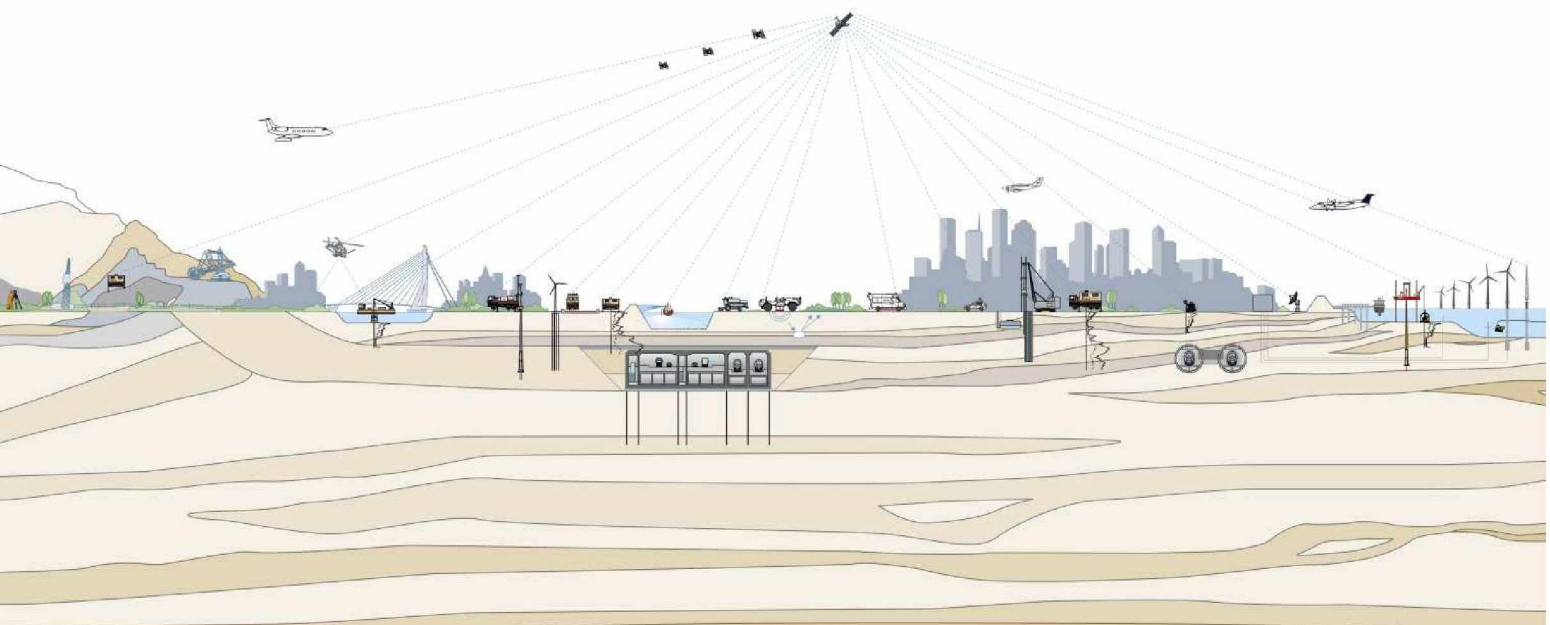
Bijlage A

Geotechnisch onderzoek

A.1 Archiefsonderingen

Geotechnisch onderzoek
Van Eeghenstraat 94-98 te Amsterdam

Document Nr.: 9017-1572-001
Versie: 2.0
Datum: 5 maart 2019



Opdrachtgever

Opdrachtnemer Fugro NL Land B.V.

Projectleider

Versiebeheer

Rev	Omschrijving	Opgesteld	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Datum
1.0	Initiële versie	LMU	JVT	RKB	25-10-2018
2.0	DKM1	LMU	JKA	RKB	05-03-2019

INHOUDSOPGAVE

1. RAPPORTAGE OVERZICHT

2. SITUATIETEKENING

3. ONDERZOEKSDATA

4. TOELICHTING GEOTECHNISCH ONDERZOEK

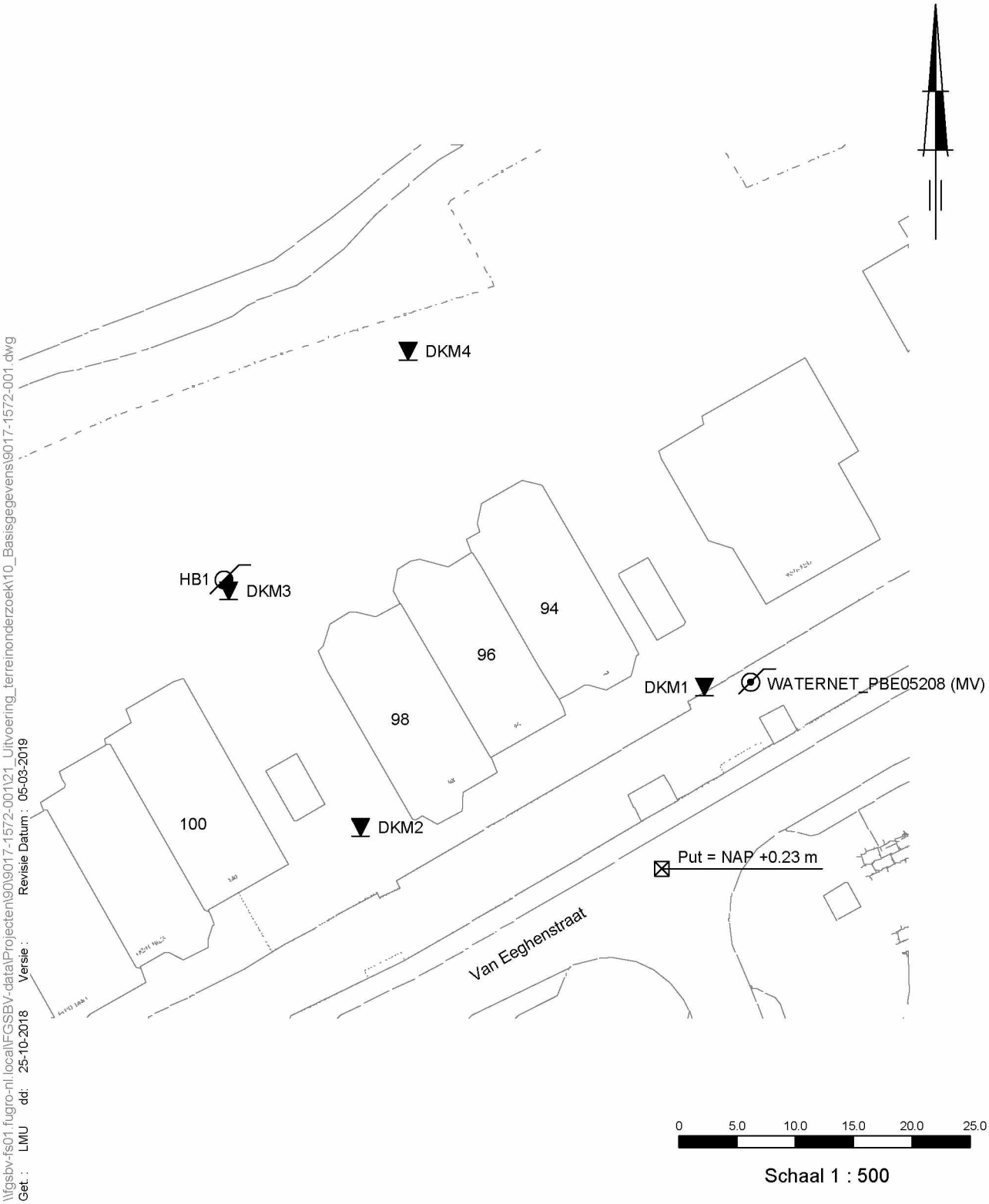
5. CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

6. LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

RAPPORTAGE OVERZICHT

Projectomschrijving: Van Eeghenstraat 94-98 te Amsterdam
Projectnummer: 9017-1572-001

Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwater-stand (m) t.o.v. NAP	Opmerking
	X	Y			
DKM1	119785.4	485556.5	+0.26		
DKM2	119755.9	485544.5	-0.50	-2.00	
DKM3	119744.5	485564.8	-1.16	-1.96	
DKM4	119759.9	485585.3	-1.23	-2.13	Gestaakt, onvoldoende reactiekracht
HB1	119744.1	485565.6	-1.17		
HB1_PB1			-0.86	-1.76	
WATERNET_PBE05208 (MV)	119789.3	485556.8	+0.21		
WATERNET_PBE05208 (BKPB)			+0.16	-1.84	
Put	119781.7	485540.8	+0.23		



\\fgsbv-fs01.fugro-nl.local\FGSBV-data\Projecten\90\9017-1572-001\21_Uitvoering_terreinonderzoek\10_Basisgegevens\9017-1572-001.dwg
Get : LMU dd: 25-10-2018 Versie : Revisie Datum : 05-03-2019

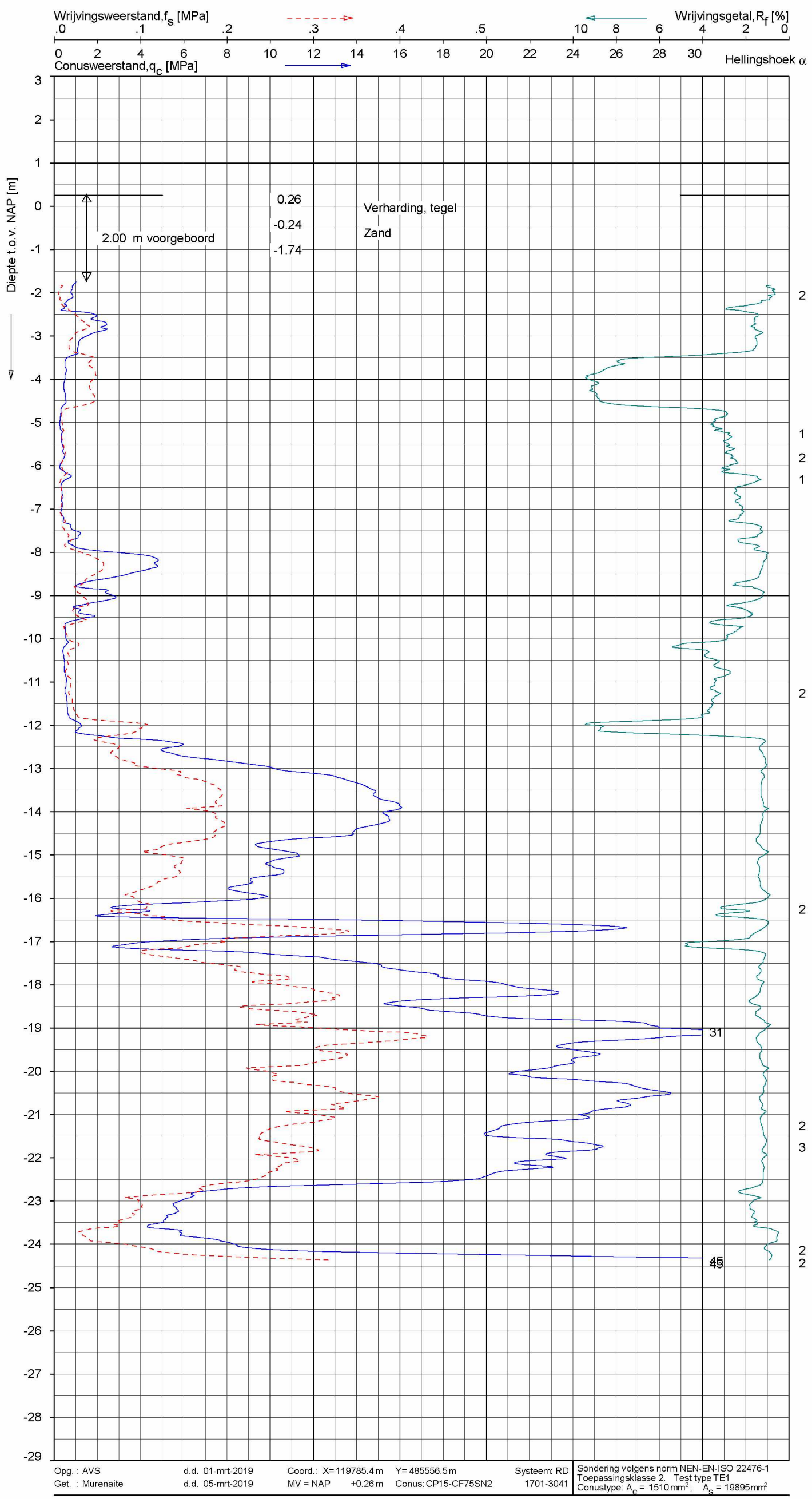
Wijziging A	05-03-2019	DKM1	LMU

SITUATIE

Opdr. : 9017-1572-001

VAN EEGHENSTRAAT 94-98 TE AMSTERDAM

Bijl. : 1A



Indicatieve bodembeschrijving

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

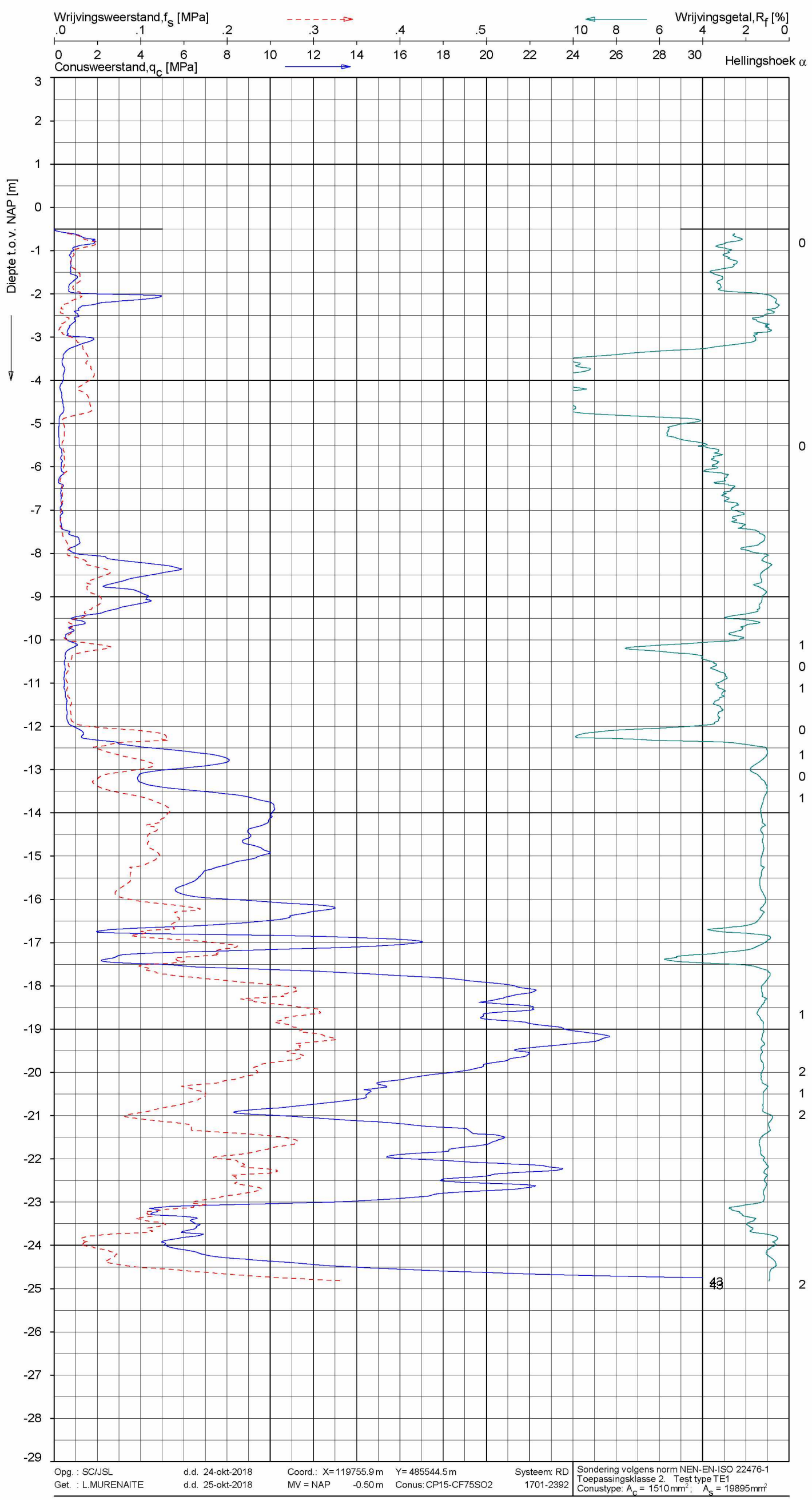


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

VAN EEGHENSTRAAT 94-98 TE AMSTERDAM

Opdr. 9017-1572-001
Sond. DKM1

UNIPLOT 05.35.nl / QcFsClass-R3.cmd / 2018-10-25 14:47:42



Indicatieve bodembeschrijving

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

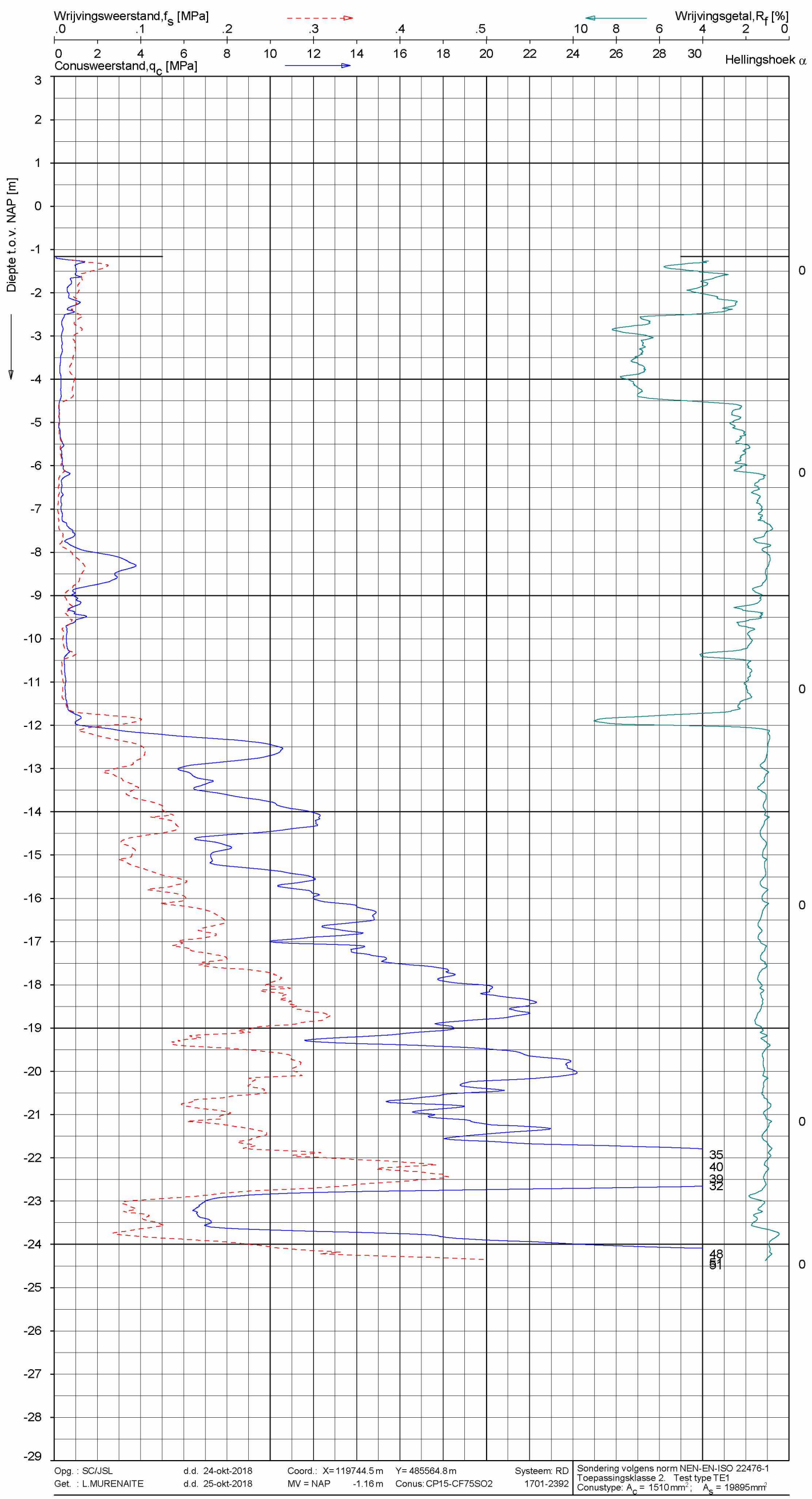


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

VAN EEGHENSTRAAT 94-98 TE AMSTERDAM

Opdr. 9017-1572-001
Sond. DKM2

UNIPLOT 05.35.nl / QcFsClass-R3.cmd / 2018-10-25 14:47:45



Indicatieve bodembeschrijving

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



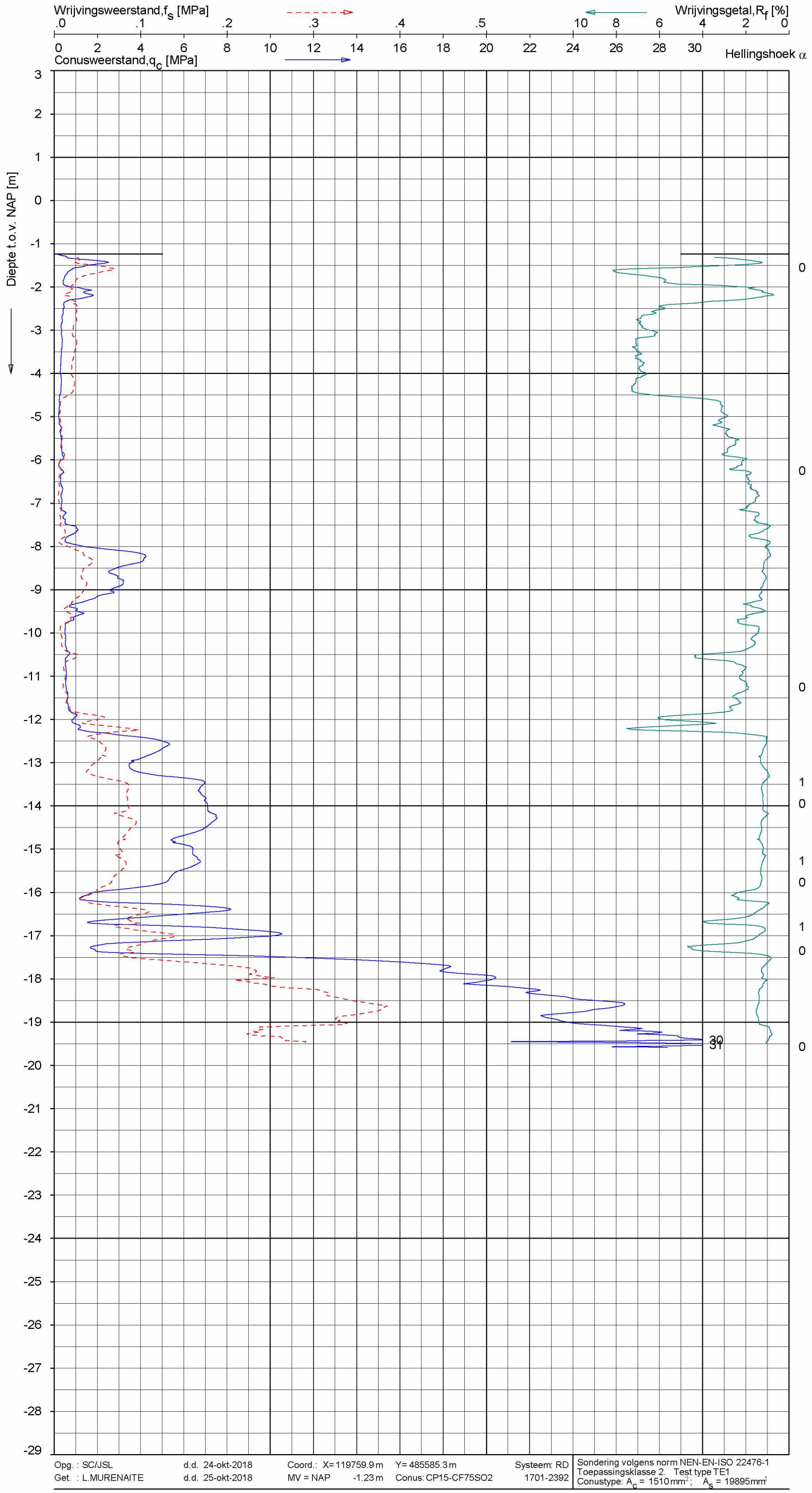
Opg. : SC/JSL	d.d. 24-okt-2018	Coord.: X= 119744.5 m	Y= 485564.8 m	Systeem: RD	Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : L.MURENAITE	d.d. 25-okt-2018	MV = NAP -1.16 m	Conus: CP15-CF75SO2	1701-2392	Toepassingsklasse 2. Test type TE1
					Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

VAN EEGHENSTRAAT 94-98 TE AMSTERDAM

Opdr. 9017-1572-001
Sond. DKM3

UNIPLOT 05.35.nl / QcFsClass-R3.cmd / 2018-10-25 14:47:48



Indicatieve bodembeschrijving

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

- VEEN
- VEEN, organisch materiaal
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- VEEN, organisch materiaal
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- KLEI, siltig / LEEM
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, siltig tot LEEM
- ZAND, siltig tot LEEM
- KLEI, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, siltig tot LEEM
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, siltig tot LEEM
- ZAND, zwak siltig tot siltig
- ZAND, zwak siltig tot siltig

Opg. : SC/JSL	d.d. 24-okt-2018	Coord.: X= 119759.9 m	Y= 485585.3 m	Systeem: RD	Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Get. : L.MURENAITE	d.d. 25-okt-2018	MV = NAP -1.23 m	Conus: CP15-CF75SO2	1701-2392	Toepassingsklasse 2. Test type TE1
					Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

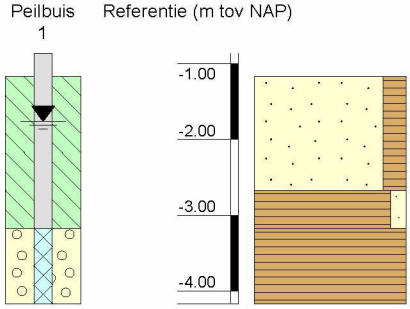
VAN EEGHENSTRAAT 94-98 TE AMSTERDAM

Opdr. 9017-1572-001
Sond. DKM4

9017-1572-001

Boring: HB1

Veldclassificatie



Monsternr.

Bodembeschrijving volgens NEN 5104

-1.17 tot -2.67 Zand, matig grof, matig humeus, donker grijs

-2.67 tot -3.17 Veen, zwak zandig, slap zwart

-3.17 tot -4.17 Veen, mineraalarm, slap bruin

Algemene opmerking:

		MV (m tov NAP): -1.17	Boorvloeistof:	
X: 119744.1	GWS (m tov NAP):	bk PB1 (m tov NAP): -0.86	WS PB1 (m tov NAP): -1.76	Datum uitvoering: 24-10-2018
Y: 485565.6	GHG (m tov NAP):	bk PB2 (m tov NAP):	WS PB2 (m tov NAP):	Boormeester: jsl
Coördinatenstelsel: RD	GLG (m tov NAP):	bk PB3 (m tov NAP):	WS PB3 (m tov NAP):	Geclassificeerd door: jsl
		bk PB4 (m tov NAP):	WS PB4 (m tov NAP):	

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 doormiddel 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 monstername 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 geclassificeerd. Als er laboratoriumonderzoek volgt na het veldwerk, worden in het laboratorium de monsters gedetailleerd geclassificeerd. Bij eventuele verschillen tussen de veld- en laboratorium-classificatie, is de laboratoriumclassificatie bepalend.

Op de classificatie van grond is de NEN 5104 van toepassing.

(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 9001:2008 en VCA ** 2008/05.
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 terug getrokken. 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 60º en een basisoppervlak van 1000 mm^2 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 mm^2 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 mm^2 variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm^2 en een manteloppervlak van 20000 mm^2.

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

[1] Lunne and Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

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.*

Grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Grind, grof zand	0,2 – 0,6
Zand	0,6 – 1,2
Silt, leem, löss	1,2 – 4,0

Grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Klei	3,0 – 5,0
Potklei	5,0 – 7,0
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][2], 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 ingangsparameters.

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:

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

Vergelijking 2

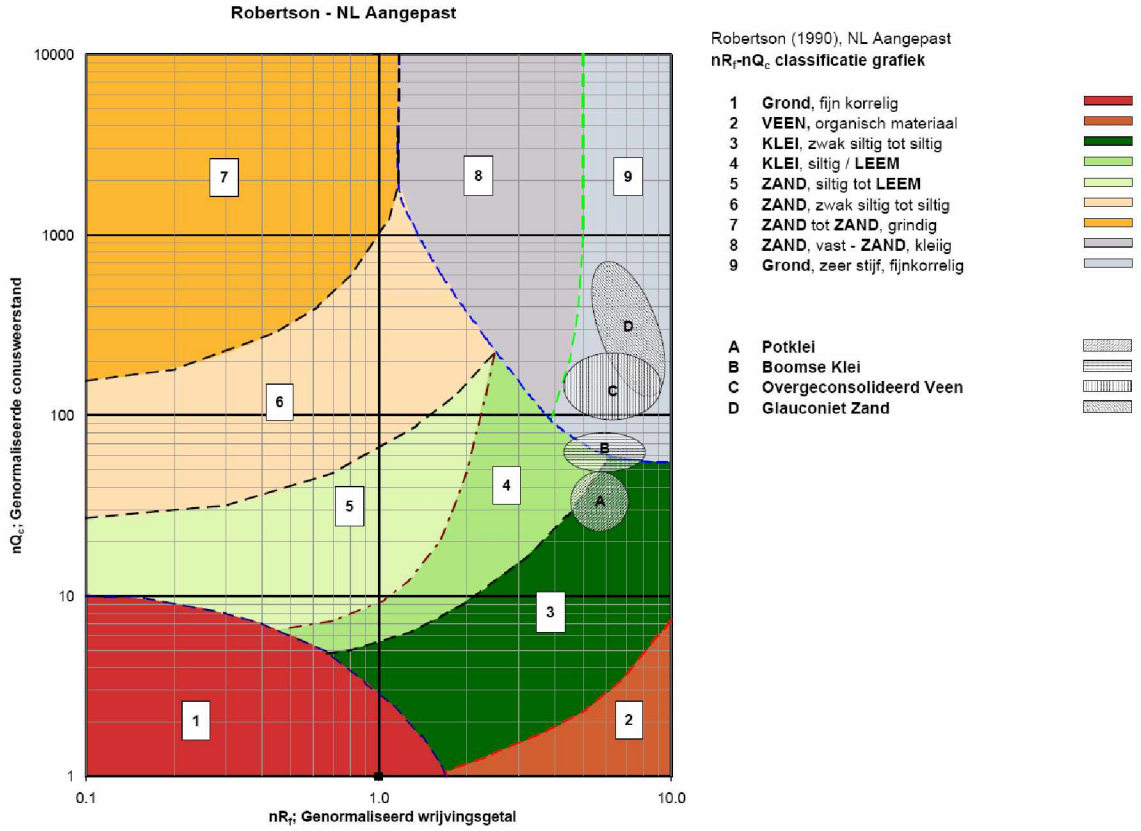
In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor q_t de waarde van q_c gebruikt.

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;

[2] Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-8[2]

- 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 geclassificeerd.



Figuur 1

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.

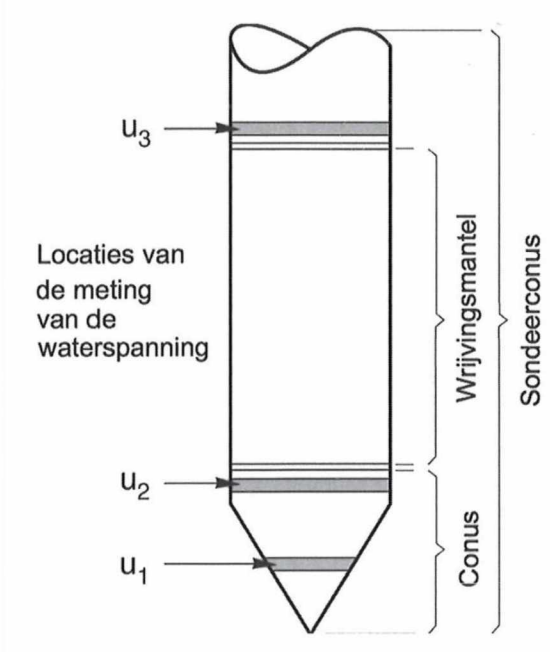
De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen 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.

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)	■ blindganger onderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpunt niveau / 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 temperatuurgradiënt.
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/drijflagen en/of verontreinigingen met (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (Rapid Optical Screening Tool)	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijflagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen

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 2). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water (0,2 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 2

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.

WATEROVERSPANNINGINDEX B_Q

Met de wateroverspanningindex Bq kan een meer nauwkeurige classificatie van de grondsoort worden verkregen. Deze index is de verhouding van de wateroverspanning en de netto conusweerstand qnet, zijnde de gemeten conusweerstand qc gecorrigeerd voor de waterspanning op het netto oppervlak van de sondeerconus, rekeninghoudend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningindex Bq wordt als volgt berekend:

$$Bq = \frac{\beta \cdot (u_1 - u_o)}{q_{net}}$$

Vergelijking 3

$$Bq = \frac{(u_2 - u_o)}{q_{net}}$$

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 = $q_c + (1\text{-}a) \{\beta (u_1 - u_0) + u_0\}$ voor een filter in de conuspunt;

= $q_c + (1\text{-}a)\, u_2$ 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/m^3 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 onderstaande tabel gegeven.

Grond gedrag	**β-factor**
Normaal geconsolideerde klei	0,6 – 0,8
Licht over geconsolideerde klei	0,5 – 0,7
Sterk over geconsolideerde klei	0,0[1] – 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 – 0,6
Leem, vast en dillatant gedrag	0,0[1] – 0,2
Zand, siltig, los gepakt	0,2 – 0,4
[1] 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” ontwikkeldIn 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 sondeerklassen worden de sondeerklassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie volgende tabel.

Toepassing Klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid [a]	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort [b]	Interpretatie [c]
1	TE2	■ Conus weerstand ■ Mantel wrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G,H
2	TE1 TE2	■ Conus weerstand ■ Mantel wrijving ■ 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	■ Conus weerstand ■ Mantel wrijving ■ 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	■ Conus weerstand ■ Mantel wrijving ■ Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

Noot 1:	
Richtlijnen voor gebruik van Tabel 2 zijn gegeven in bijlage F.	
Noot 2:	
Uiterst slappen 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 homogene gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) (typische gronden met q_c < 3 MPa);
	B gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq$ 3 MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand 5 MPa $\leq q_c$ < 10 MPa);
	C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa $\leq q_c$ < 3 MPa) en zeer dichte zanden (q_c > 20 MPa);
	D zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq$ 3 MPa) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq$ 20 MPa).
[c]	G 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 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 conusweerstanden 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 calibraties. 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) behoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan EN-ISO 22476-1.

LEGENDA TERREINPROEVEN EN GRONDSOORTEN

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

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

Overige symbolen

- Meetpunt
- Hoogtemaat

Type sonderingen

D	Diepsondering
HS	Handsondering
S	Slagsondering

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

Legenda / Terminologie

Grind

- Grind, siltig
- Grind, zwak zandig
- Grind, matig zandig
- Grind, sterk zandig
- Grind, uiterst zandig

Zand

- Zand, kleiig
- Zand, zwak siltig
- Zand, matig siltig
- Zand, sterk siltig
- Zand, uiterst siltig

Veen

- Veen, mineraalarm
- Veen, zwak kleiig
- Veen, sterk kleiig
- Veen, zwak zandig
- Veen, sterk zandig

Klei

- Klei, zwak siltig
- Klei, matig siltig
- Klei, sterk siltig
- Klei, uiterst siltig
- Klei, zwak zandig
- Klei, matig zandig
- Klei, sterk zandig

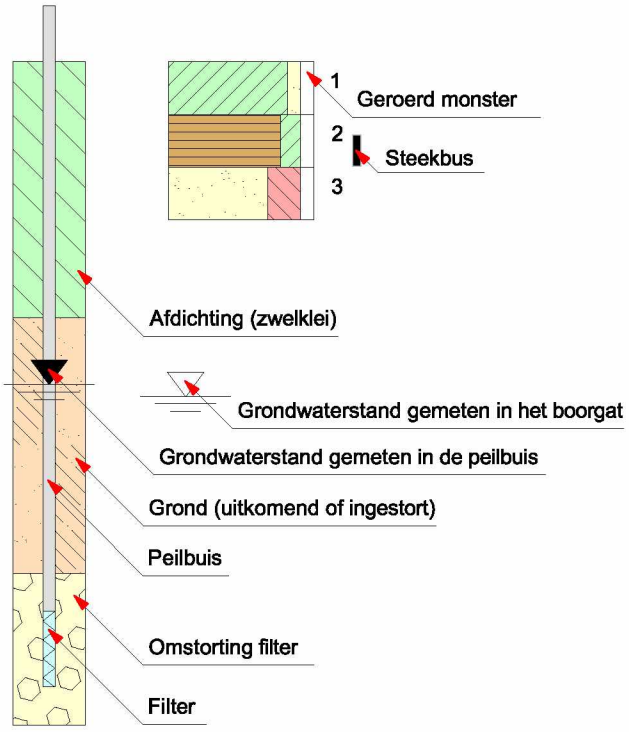
Leem

- Leem, zwak zandig
- Leem, sterk zandig

Overige toevoegingen

- Zwak humeus
- Matig humeus
- Sterk humeus
- Zwak grindig
- Matig grindig
- Sterk grindig
- Puin

Peilbuis



Revisie datum : 05-12-2013 (JNI)

Bijlage B

Berekening en toetsing

rekenwaarde netto draagkracht

B.1 Uitgangspunten

- gehanteerde sondering : DKM2
- paaltype : Micropaal, type schroefinjectiepaal
- paalpuntniveau: NAP – 19,0 m
- schachtdiameter: Ø 350 mm
- puntdiameter: Ø 350 mm

B.2 Reductie conusweerstand

In verband met de voorziene ontgraving tot NAP – 4,2 m zijn de conusweerstanden in overeenstemming met 7.6.2.3(k) van NEN 9997-7 gereduceerd.

B.3 Maximale draagkracht van de paalpunt

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

$q_{b;max}$ = ½ . α_p . β . s . (($q_{c;I;gem}$ + $q_{c;II;gem}$)/2 + $q_{c;III;gem}$)
= 7,1 MPa. (≤15 MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1)

waarin:			in dit geval:	
$q_{c;I;gem}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over traject I (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	17,6	MPa
$q_{c;II;gem}$	=	de minimale waarde van de conusweerstanden over traject II (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	12,7	MPa
$q_{c;III;gem}$	=	de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstanden over traject III (8 x D_{eq} boven de punt)	7,3	MPa
α_p	=	paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,63	-
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} . $q_{b;max;i}$
= 681 kN

waarin:			in dit geval:
A_{punt}	=	oppervlak van de paalvoet	0,0962 m²

B.4 Maximale paalschachtwrijving

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

$q_{s;max}$ = α_s . $q_{c;z;a}$
= 0,063 MPa

waarin:			in dit geval:	
α_s	=	factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,008	-

$q_{c;z;a}$	=	de gemiddelde waarde van de conusweerstanden over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend	7,9	MPa

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

$R_{s;cal;max;i}$ = $O_{s;\Delta L;gem} \cdot \Delta L \cdot q_{s;max}$

= 458 kN

waarin:			in dit geval:	
$O_{s;\Delta L;gem}$	=	gemiddelde omtrek van de paalschacht	1,0996	m
ΔL	=	traject voor berekening schachtwrijving	6,6	m

B.5 Maximale draagkracht

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

$R_{c;cal}$ = $R_{b;cal;max;i} + R_{s;cal;max;i}$

= 1.139 kN

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

$$R_{c;k} = \text{Min}\left\{\frac{(R_{c;cal})_{gem}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4}\right\}$$

= 820 kN

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

$R_{c;d}$ = $R_{c;k} / \gamma_R$

= 683 kN

waarin:			in dit geval:	
γ_R	=	γ_b = γ_s		
	=	partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1	1,20	-

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

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

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

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

waarin:			in dit geval:
$F_{c;d}$	=	rekenwaarde van de belasting in kN	676 kN
$F_{nk;d}$	=	rekenwaarde van de negatieve kleefbelasting	- kN
$R_{c;d}$	=	rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal	683 kN

Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen, is de UGT type B maatgevend, zodat hiermee ook de andere grenstoestanden worden ondervangen.
Bovenstaande formule kan worden bewerkt tot de volgende voorwaarde:

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

waarin:			in dit geval:
$R_{c;net;d}$	=	$R_{c;d} - F_{nk;d}$	
	=	de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met de negatieve kleefbelasting	683 kN

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 $R_{c;net;d}$.