



Nieuwbouw verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven

Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen | Rotterdam

6422-221734-R01-v1.0 1.0 | 23 February 2023

Concept

Diamant OG IV BV

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Nieuwbouw verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven
Documentnaam	Geotechnisch onderzoek en advies fundering op palen
Fugro-projectnr.	6422-221734
Fugro-documentnr.	6422-221734-R01-v1.0
Versienummer	1.0
Versiestatus	Concept
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Zekeringstraat 41a 1014 BV Amsterdam T 020 65 10 800

Klantgegevens

Klant	Diamant OG IV BV
Adres klant	p/a Cronenburg 154, 1081 GN Amsterdam
Contactpersoon klant	██████████

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	23-02-2023	Concept	Eerste versie	██████	██████	██████

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
██████	██████████	██████████████████
██████	██████████	██████████████████

Inhoudsopgave

1. Algemene toelichting	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Projectomschrijving	1
2. Geotechnisch onderzoek en bodemgesteldheid	3
2.1 Algemeen	3
2.2 Globale bodemgesteldheid	3
2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten	3
3. Funderingsadvies	4
3.1 Algemeen	4
3.2 Uitgangspunten	4
3.3 Op druk belaste palen	4
4. Uitvoering	9
4.1 Prefab betonpalen	9
4.2 In de grond gevormde schroefpalen met verloren punt / stalen palen met schroefpunt	9

Bijlagen

A.1 Rapportage geotechnisch veldwerk
B.1 Uitgangspunten
B.2 Berekening negatieve kleef
C.1 Uitgangspunten
C.2 Maximale draagkracht van de paalpunt
C.3 Maximale paalschachtwrijving
C.4 Maximale draagkracht
D.1 Uitvoering heiwerk
D.2 Uitvoering schroefpalen met verloren punt – Stalen buispalen met stroefpunt

1. Algemene toelichting

1.1 Inleiding

Op 15 december 2022 ontving Fugro te Amsterdam van Diamant OG IV BV de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek alsmede het uitbrengen van een funderingsadvies voor het project "Nieuwbouw verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven" te Rotterdam.

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

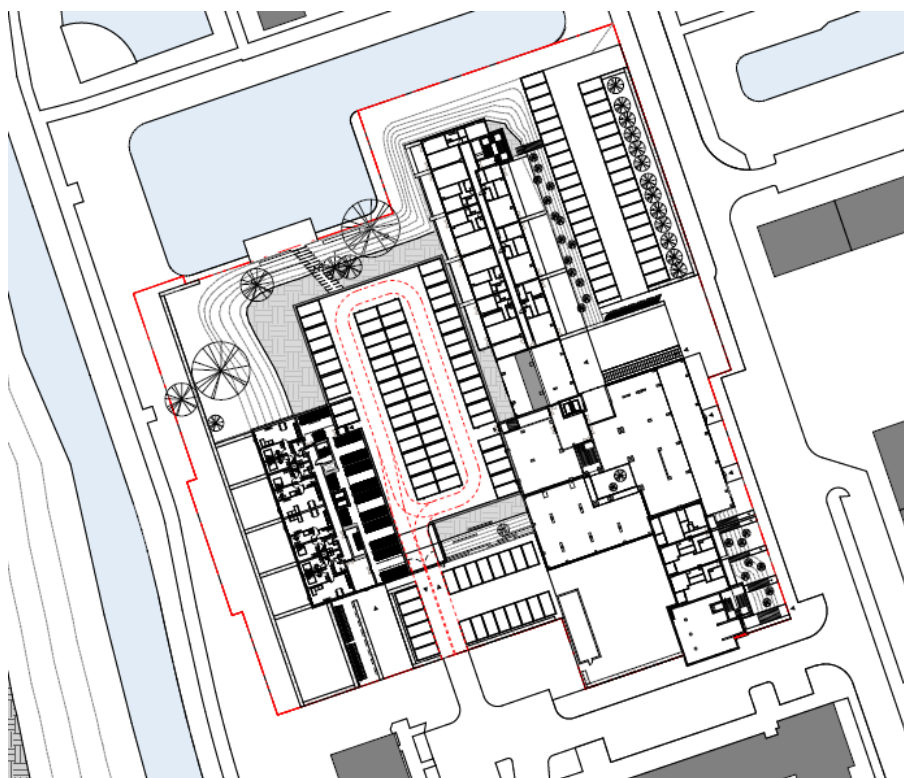
De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de opdracht en de in het rapport beschreven uitgangspunten. Fugro neemt geen verantwoordelijkheid voor de juistheid van andere dan door ons gerapporteerde conclusies en interpretaties. De gerapporteerde resultaten van het geotechnisch onderzoek mogen 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 Hamakerstraat te Rotterdam. Het betreft de nieuwbouw van een verzorgingsgebouw. Naast het gebouw wordt een bovengrondse parkeergarage gerealiseerd. Op de locatie is op dit moment nog bebouwing aanwezig. In Figuur 1-1 is de nieuwe situatie te zien.



Figuur 1-1: Nieuwe situatie verzorgingsgebouw

Bovenstaande gegevens zijn door de opdrachtgever/constructeur 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 een veldwerkonderzoek.

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

2.2 Globale bodemgesteldheid

De maaiveldniveaus ter plaatse van de sondeerlocaties varieerden ten tijde van het onderzoek van NAP -4,63 m tot NAP -4,91 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
-4,65 à -4,91	tot	ca. -6,0	ZAND, toplaag
ca. -6,0	tot	-8,0 à -8,5	KLEI, zandig/siltig
-8,0 à -8,5	tot	-9,0 à -9,5	VEEN
-9,0 à -9,5	tot	-11,3 à -12,0	KLEI
-11,3 à -12,0	tot	ca. -35,0	ZAND, met plaatselijk een tussengelegen klei-/veenlaag
		ca. -35,0	Maximale verkende diepte

2.3 Grondwaterstanden en stijghoogten

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek is de grondwaterstand aangetroffen op NAP -6,2 m. Deze grondwaterstand is een éénmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van 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.

In overleg met de constructeur is uitgegaan van de toepassing van schroefpalen met verloren punt (type Fundex) en prefab betonpalen. 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. 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 grenstoestanden 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 ($F_{c,d}$) variëren tussen ca. 800 kN en ca. 2000 kN;
- De grondwaterstand is in de berekening meegenomen op NAP -6,2 m;
- Het terrein zal naast de kelderwanden worden opgehoogd met EPS. Naar verwachting zal dit geen extra negatieve kleef met zich meebrengen op de palen.

3.3 Op druk belaste palen

Voor het funderingsadvies voor op druk belaste palen is voor diverse schachtafmetingen van de schroefpaal met verloren punt, type Fundex, en de prefab betonpaal op gekozen paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in Tabel 3-1 en Tabel 3-2.

Tabel 3-1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht schroefpaal met verloren punt, Fundex

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c,net;d}$ in kN Schroefpaal met verloren punt, type Fundex		
			Ø380/450 mm	Ø460/560 mm	Ø540/660 mm
DKM1	-4,70	-22,5	1335	1820	2310
		-23,0	1485	2020	2560
		-23,5	1585	2170	2660
		-24,0	1660	2170	2610
DKM2	-4,81	-22,5	560	830	1115
		-23,0	660	940	1265
		-23,5	750	1040	1390
		-24,0	770	1065	1440
		-24,5	960	1315	1715
		-25,0	1010	1415	1840
DKM3	-4,91	-22,5	1110	1520	1960
		-23,0	1210	1670	2110
		-23,5	1310	1795	2260
		-24,0	1460	1920	2310
DKM4	-4,63	-22,5	1435	1970	2560
		-23,0	1485	2070	2660
		-23,5	1535	2070	2710
		-24,0	1610	2170	2810
DKM5	-4,70	-22,5	1360	1845	2360
		-23,0	1435	1920	2510
		-23,5	1510	2020	2560
		-24,0	1535	2070	2660
$\xi_3 = 1,39$ gemiddeld, behoudens DKM2 (standaardafwijking en variatiecoëfficiënt)		-22,5	1310	1785	2295
		-23,0	1400	1920	2460
		-23,5	1485	2010	2545
		-24,0	1565	2085	2595
$\xi_3 = 1,28$ gemiddeld, behoudens DKM2 (standaardafwijking en variatiecoëfficiënt)		-22,5	1425	1945	2500
		-23,0	1530	2090	2675
		-23,5	1615	2190	2770
		-24,0	105	2265	2825

Opmerkingen bij de tabel:
 $R_{c,net;d}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef (= $R_{cd} - F_{nk;d}$)
 Ø.../... = diameter hulpbuis/diameter punt

Tabel 3-2: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de draagkracht prefab betonpalen

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{c,net;d}$ in kN Prefab betonpaal		
			#320 mm	#350 mm	#380 mm
DKM1	-4,70	-22,5	1250	1400	1550
		-23,0	1350	1525	1725
		-23,5	1475	1650	1850
		-24,0	1525	1725	1925
DKM2	-4,81	-22,5	440	510	590
		-23,0	540	620	710
		-23,5	630	720	810
		-24,0	650	750	840
		-24,5	790	920	1050
		-25,0	850	980	1100
DKM3	-4,91	-22,5	1000	1125	1275
		-23,0	1075	1250	1400
		-23,5	1175	1325	1500
		-24,0	1325	1475	1650
		-24,5	1325	1475	1650
DKM4	-4,63	-22,5	1275	1450	1650
		-23,0	1350	1525	1725
		-23,5	1400	1575	1775
		-24,0	1475	1675	1875
DKM5	-4,70	-22,5	1250	1400	1575
		-23,0	1325	1525	1650
		-23,5	1375	1550	1725
		-24,0	1425	1600	1800
$\xi_3 = 1,39$ gemiddeld, behoudens DKM2 (standaardafwijking en variatiecoëfficiënt)		-22,5	1190	1340	1510
		-23,0	1275	1450	1625
		-23,5	1355	1525	1710
		-24,0	1435	1615	1810
$\xi_3 = 1,28$ gemiddeld, behoudens DKM2 (standaardafwijking en variatiecoëfficiënt)		-22,5	1300	1465	1650
		-23,0	1390	1585	1770
		-23,5	1475	1660	1865
		-24,0	1565	1760	1975

Opmerkingen bij de tabel:
 $R_{c,net;d}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleeft (= $R_{cd} - F_{nk;d}$)

Geadviseerd wordt de haalbaarheid van met name de diepere paalpuntniveaus voorafgaand aan de uitvoering met de paalleverancier te overleggen.

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. Hierbij kan als bijdrage voor de rekenwaarde van de negatieve kleeft ($F_{nk;d}$) ca. 50 kN per m¹ paalomtrek worden gehanteerd voor zowel schroefpalen met verloren punt, type Fundex als prefab betonpalen. Dit is van toepassing voor DKM1 + DKM 3 t/m DKM5. Voor DKM2 kan als bijdrage voor de rekenwaarde van de negatieve kleeft ($F_{nk;d}$) ca. 70 kN per m¹ paalomtrek worden gehanteerd voor beide paalsystemen.

Om beïnvloeding van de draagkracht van een bestaande paalfundering te voorkomen adviseren wij, bij de toepassing van schroefpalen met verloren punt met een gelijk of een hoger installatieniveau een minimale h.o.h. afstand van 2 x de nominale voetdiameter van de bestaande palen vermeerderd met 2 x de nominale voetdiameter van de nieuwe palen te hanteren. Indien de nieuwe palen dieper worden geïnstalleerd, adviseren wij een minimale h.o.h. afstand van 3 x de nominale voetdiameter bestaande paal vermeerderd met 3 x de nominale voetdiameter nieuwe paal aan te houden.

Bovenstaande richtlijnen zijn met name gebaseerd op de onderlinge beïnvloeding van het draagvermogen door grondverdringing.

Voorbeeldberekeningen van de rekenwaarde van de negatieve kleeft, netto draagkracht van een paal en de toetsing van UGT type B zijn gegeven in de bijlagen B en C.

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 bij $n = 4$ een waarde voor de factoren $\xi_3 = 1,28$ en $\xi_4 = 1,03$ van toepassing. Dit is het geval bij sonderingen DKM1 + DKM3 t/m DKM5;
- 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 van toepassing. Dit is het geval bij sonderingen DKM2;
- Bij de draagkrachtberekeningen is rekening gehouden met het optreden van negatieve kleeft langs de paalschacht. Deze kan ontstaan door het optreden van zettingen in de samendrukbare lagen tot een diepte van NAP -11,2 m tot NAP -12,0 m met een factor $F_{n;k} = 1,0$ voor DKM1 + DKM3 t/m DKM5 en een factor $F_{n;k} = 1,4$ voor DKM2;

- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden:

Voor schroefpaal met verloren punt, Fundex:

α_p	0,63
α_s	0,009
β	1,0
s	1,0

Voor prefab betonpalen:

α_p	0,7
α_s	0,01
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.

4. Uitvoering

4.1 Prefab betonpalen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van deze grondverdringende prefab palen wordt verwezen naar NEN-EN 12699 'Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen'.

Het heiwerk van de prefab betonpalen dient te worden uitgevoerd door een gerenommeerd en op dit terrein gespecialiseerd bedrijf.

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

Voor algemene aanbevelingen, heivolgorde, heiblok-paal-draagkracht verhouding en afwijkende kalenders wordt verwezen naar de bijlage D.1 "Uitvoering Heiwerk".

4.2 In de grond gevormde schroefpalen met verloren punt / stalen palen met schroefpunt

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van grondverdringende, al dan niet in de grond gevormde schroefpalen met tijdelijke of permanente casing, wordt verwezen naar NEN-EN 12699 'Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen'.

Het aanbrengen van geschroefde in de grond gevormde palen met verloren punt en stalen palen met schroefpunt dient te worden uitgevoerd door een gerenommeerd en in dit paaltype gespecialiseerd bedrijf.

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

Voor aanbevelingen betreffende installatie volgorde, installatieproces, ontgravingen, groutinjectie, en uitvoerings- en kwaliteitscontrole wordt verwezen naar de bijlage D.2 "Uitvoering schroefpalen met verloren punt / Stalen buispalen met schroefpunt". In aanvulling hierop geldt het volgende:

- Horizontale belastingen op de palen, door b.v. het verplaatsen van de stelling in de bouwput en/of het ontgraven van de bouwput, dienen te worden vermeden in verband met de kans op het ontstaan van schade aan de palen. Dit geldt vooral bij gedeeltelijk gewapende palen;
- De kwaliteit van de geïnstalleerde paalschacht dient door middel van akoestische metingen te worden gecontroleerd. Fugro beschikt hiervoor over de benodigde apparatuur en expertise.

Bijlage A

Geotechnisch onderzoek

A.1 Rapportage geotechnisch veldwerk



Verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven te Rotterdam

Rapportage geotechnisch onderzoek | Rotterdam

6422-221734 | 12-12-2022

Definitief

Diamant OG IV B.V.

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven te Rotterdam
Documentnaam	Rapportage geotechnisch onderzoek
Fugro-projectnr.	6422-221734
Fugro-documentnr.	6422-221734-21-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Zekeringstraat 41a, 1014 BV, Amsterdam
Telefoonnummer	+31 20 651 0800

Klantgegevens

Klant	Diamant OG IV B.V.
Klant adres	p/a Cronenburg 154, 1081 GN, Amsterdam
Contact klant	████

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	12-12-2022	Definitief	Initiële versie	████	████	████

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
████	████████████████	████████████████████████████████████

Inhoudsopgave

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

Rapportageoverzicht

Projectnaam: Verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven te Rotterdam

Fugro-projectnr.: 6422-221734

Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwaterstand (m) t.o.v. NAP	Opmerkingen
	X	Y			
DKM01	91505.4	440902.0	-4.70	-6.20	
DKM02	91525.9	440910.4	-4.81		
DKM03	91534.3	440883.8	-4.91		
DKM04	91511.7	440879.7	-4.63		
DKM05	91494.3	440875.2	-4.70		
DKM06					Niet uitgevoerd, volgt in nieuwe fase
DKM07					Niet uitgevoerd, volgt in nieuwe fase
DKM08					Niet uitgevoerd, volgt in nieuwe fase
Put01	91530.5	440923.3	-4.64		05-12-2022

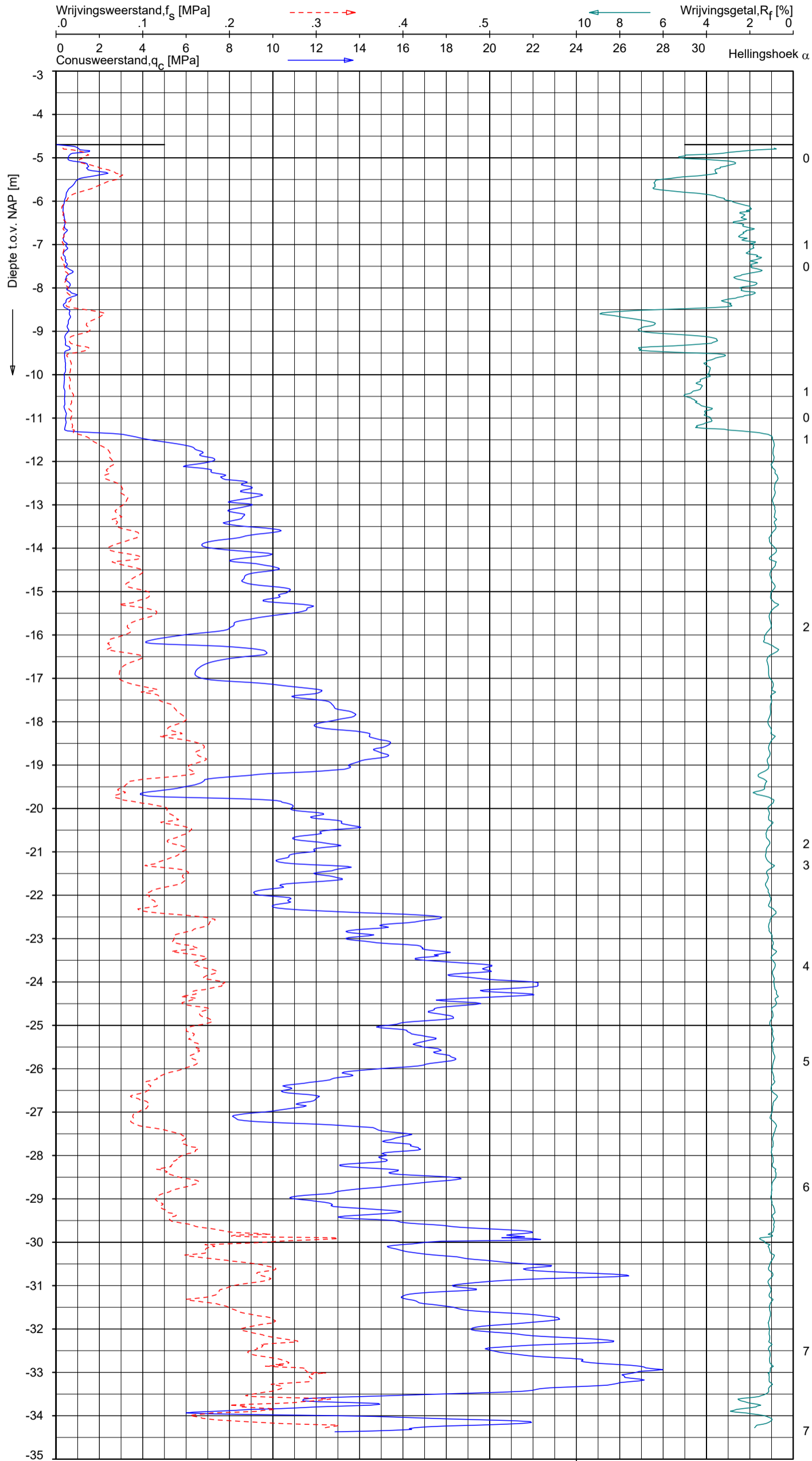


Situatie

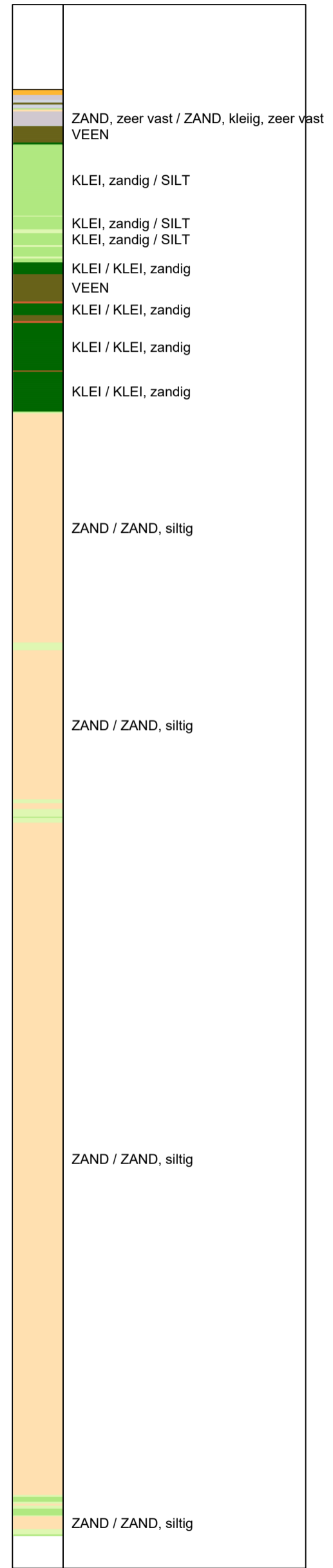
Verzorgingsgebouw Aafje Schiehoven te Rotterdam

Opdr.: 6422-221734

Bijl.: 1



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

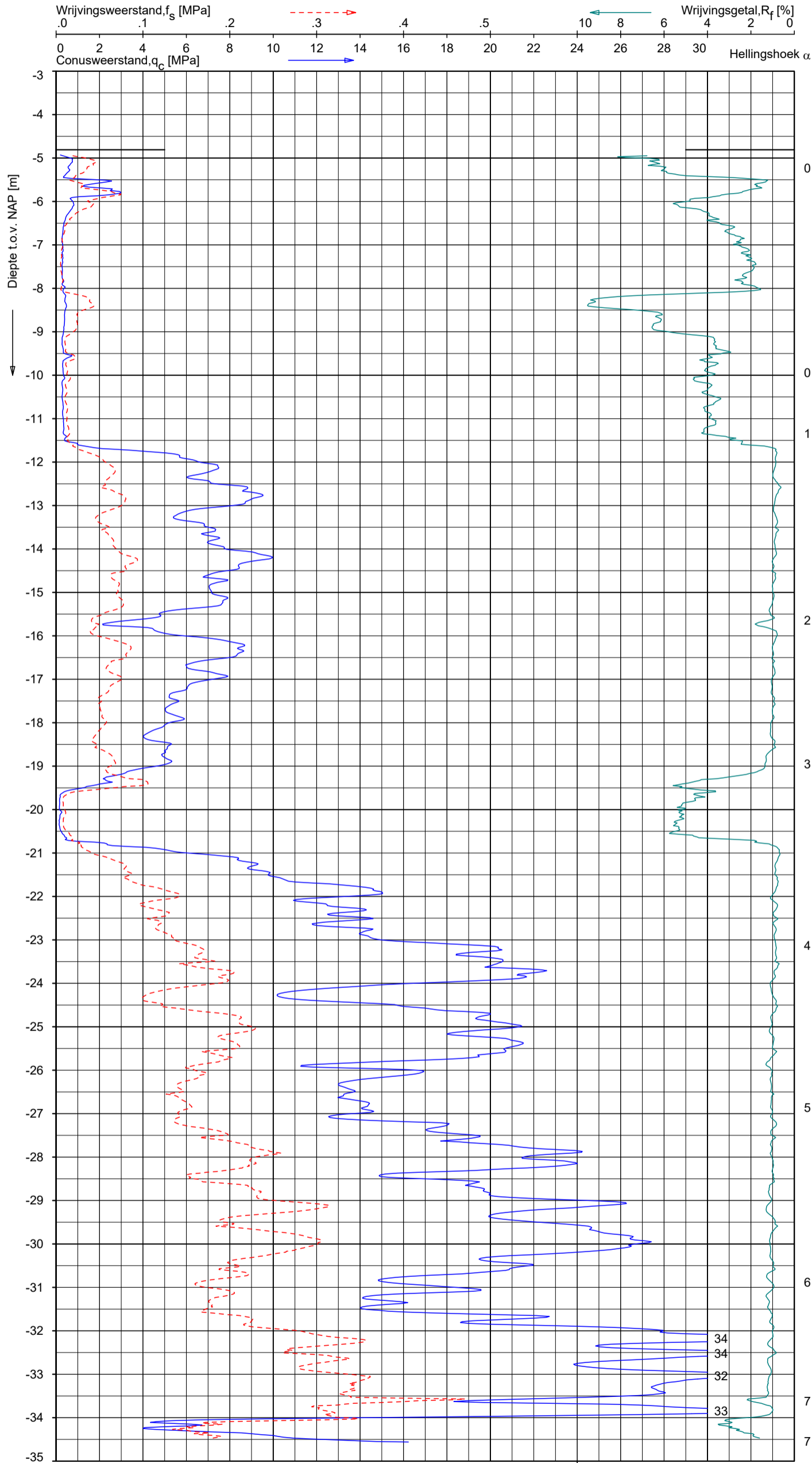


Opg.: jbl d.d. 29-nov-2022 Coord.: X= 91505.4 m Y= 440902.0 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: GBO d.d. 12-dec-2022 MV = NAP -4.70 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2130 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

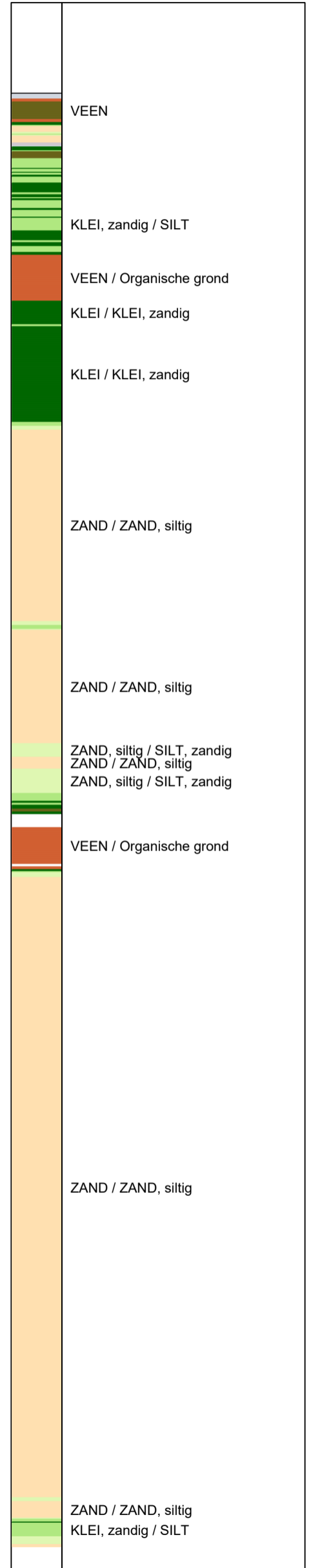
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

VERZORGINGSGEBOUW AAFJE SCHIEHOVEN TE ROTTERDAM

Opdr. 6422-221734
 Sond. DKM01



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

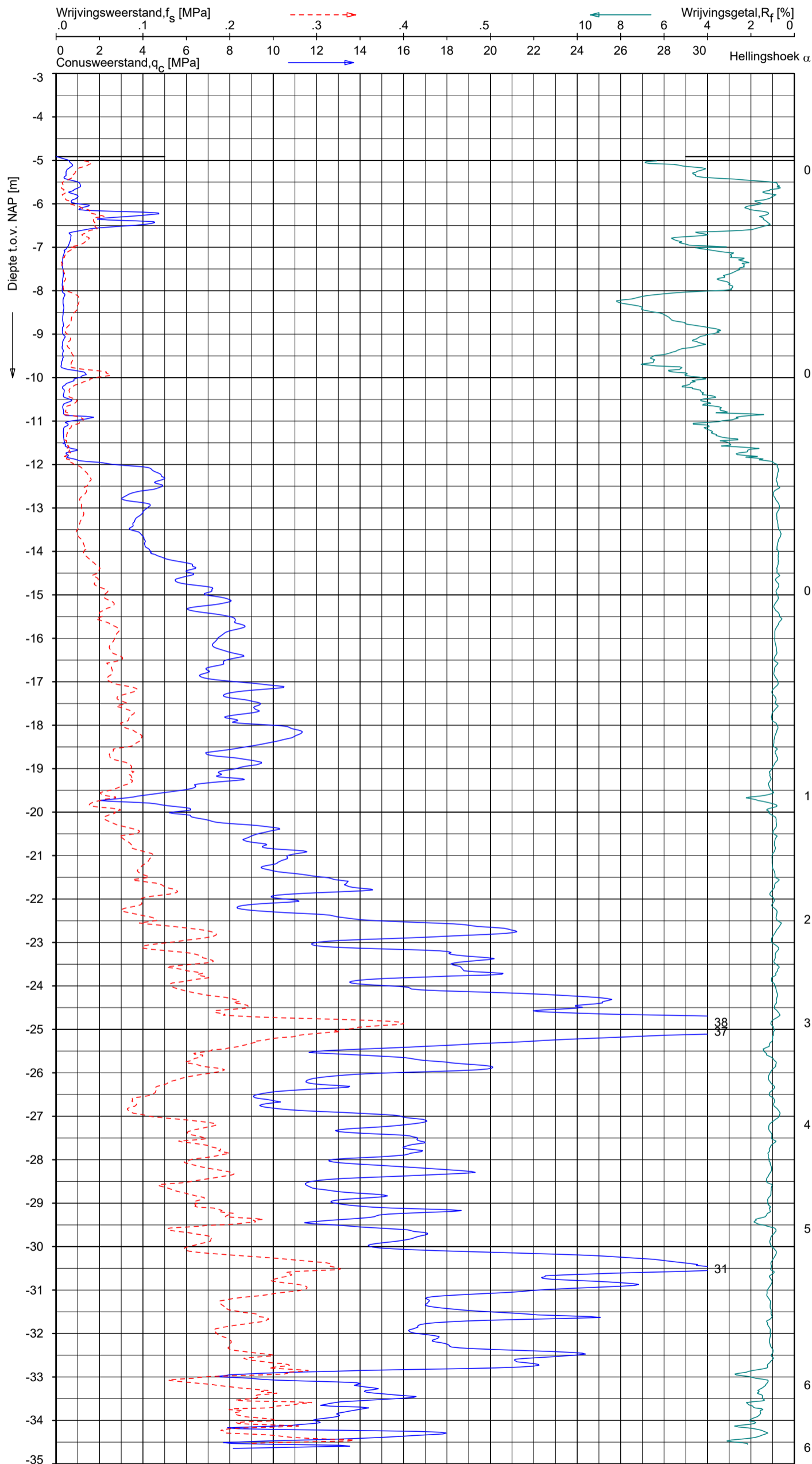


Opg.: jbl d.d. 28-nov-2022 Coord.: X= 91525.9m Y= 440910.4m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: GBO d.d. 12-dec-2022 MV = NAP -4.81m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2130 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

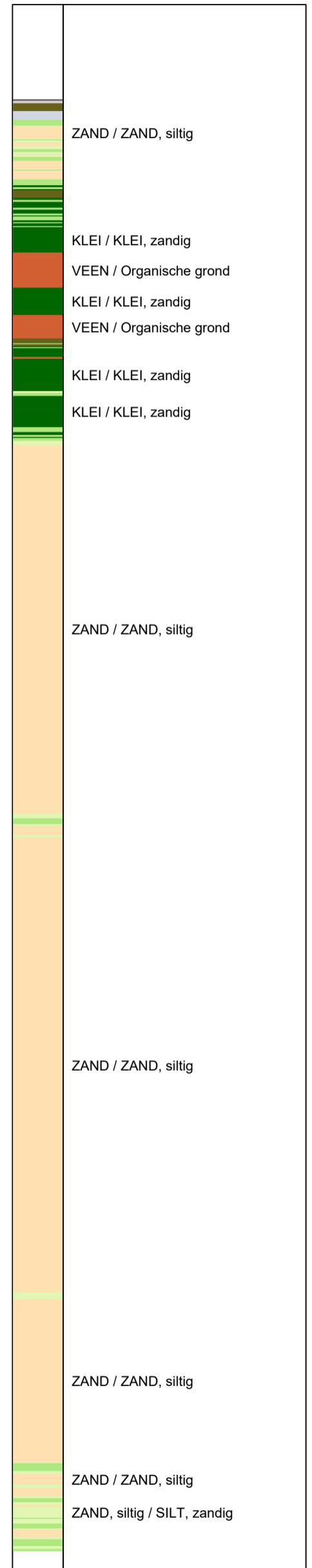
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

VERZORGINGSGEBOUW AAFJE SCHIEHOVEN TE ROTTERDAM

Opdr. 6422-221734
 Sond. DKM02



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

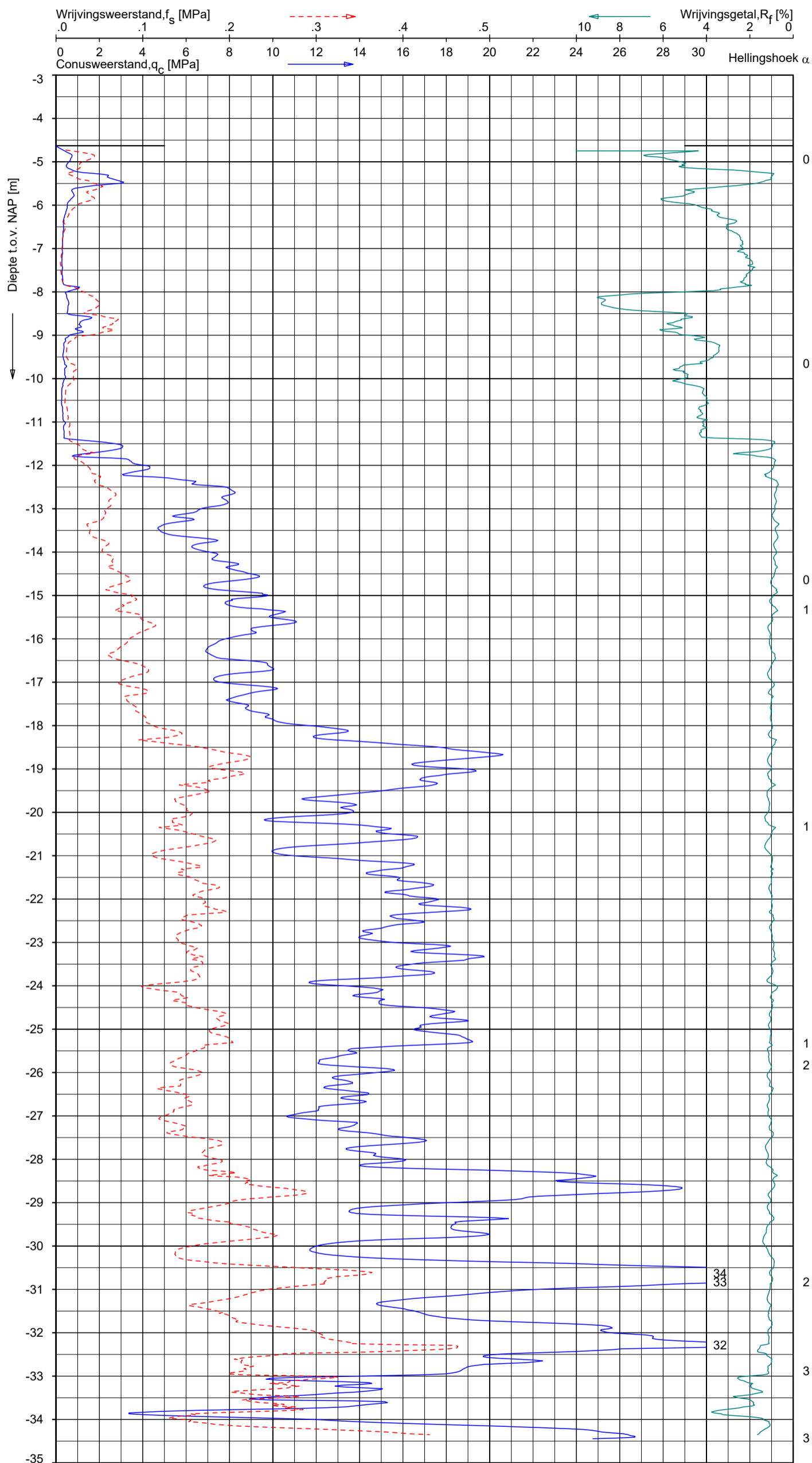


Opg.: jbl d.d. 28-nov-2022 Coord.: X= 91534.3m Y= 440883.8m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: GBO d.d. 12-dec-2022 MV = NAP -4.91m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2130 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510\text{mm}^2$; $A_s = 19895\text{mm}^2$

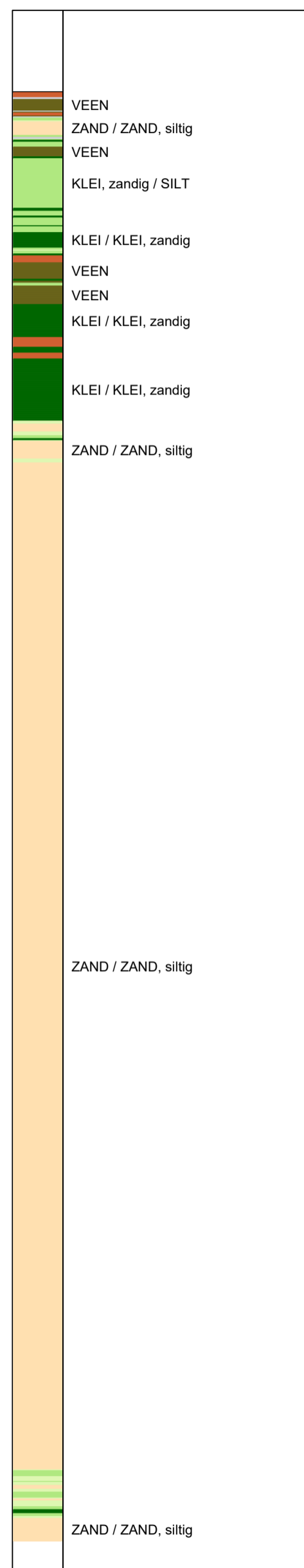
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

VERZORGINGSGEBOUW AAFJE SCHIEHOVEN TE ROTTERDAM

Opdr. 6422-221734
 Sond. DKM03



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

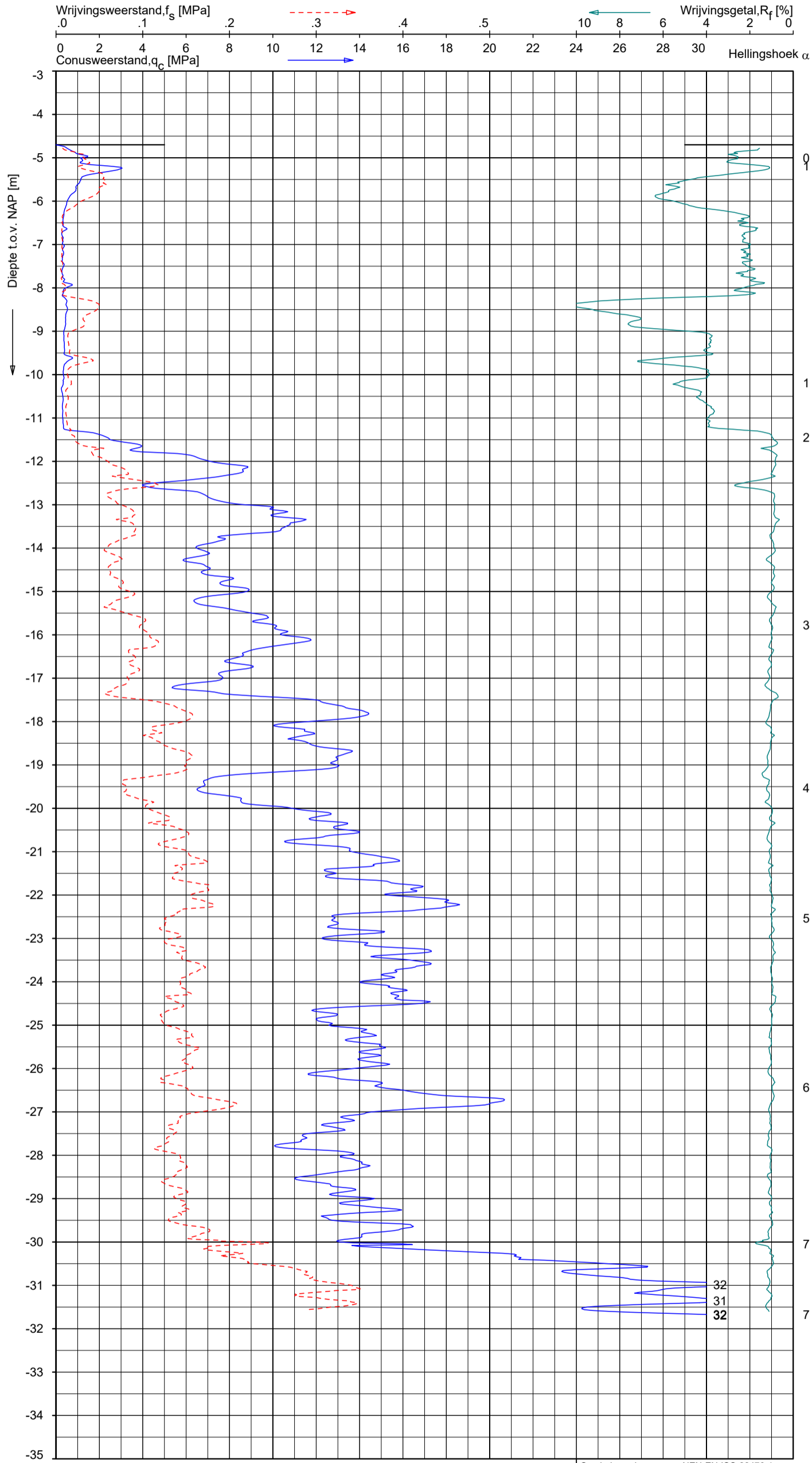


Opg.: jbl d.d. 29-nov-2022 Coord.: X= 91511.7 m Y= 440879.7 m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: GBO d.d. 12-dec-2022 MV = NAP -4.63 m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2130 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510 mm²; A_s = 19895 mm²

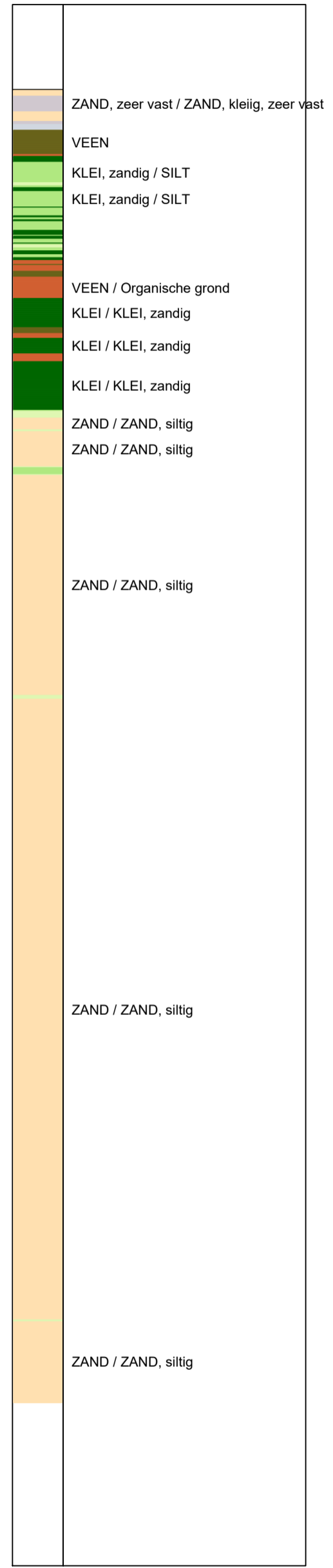
SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 VERZORGINGSGEBOUW AAFJE SCHIEHOVEN TE ROTTERDAM

Opdr. 6422-221734
 Sond. DKM04





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



Opg.: jbl d.d. 29-nov-2022 Coord.: X= 91494.3m Y= 440875.2m Systeem: RD Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Get.: GBO d.d. 12-dec-2022 MV = NAP -4.70m Conus: CP15-CF75SN2 1701-2130 Toepassingsklasse 2. Test type TE1
 Conustype: A_c = 1510mm²; A_s = 19895mm²

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING
 VERZORGINGSGEBOUW AAFJE SCHIEHOVEN TE ROTTERDAM

Opdr. 6422-221734
 Sond. DKM05



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 laboratoriumidentificatie 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 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

* 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 ingangparameters.

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

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

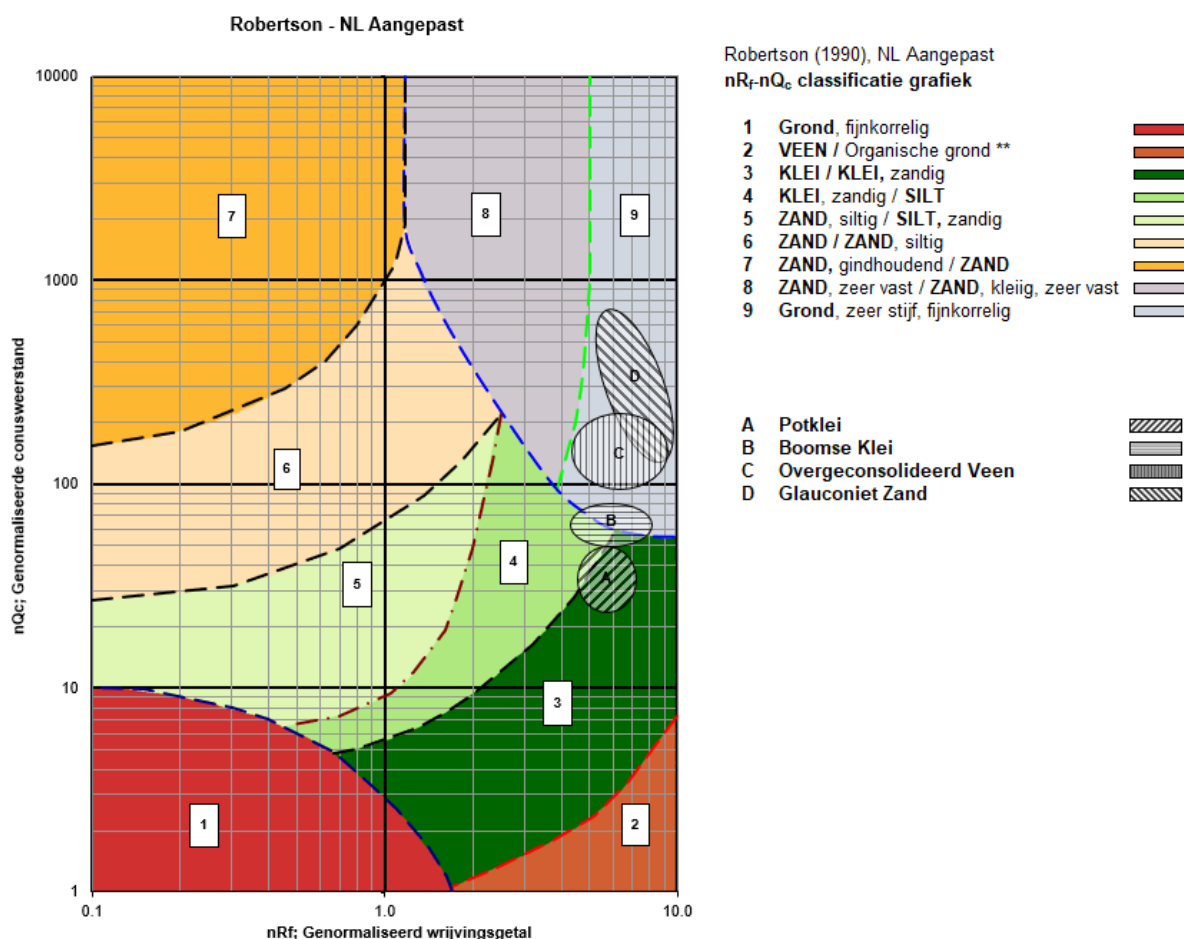
Vergelijking 2

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 $q_c < 1,5 \text{ MPa}$ 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 glauconiëthoudend 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.

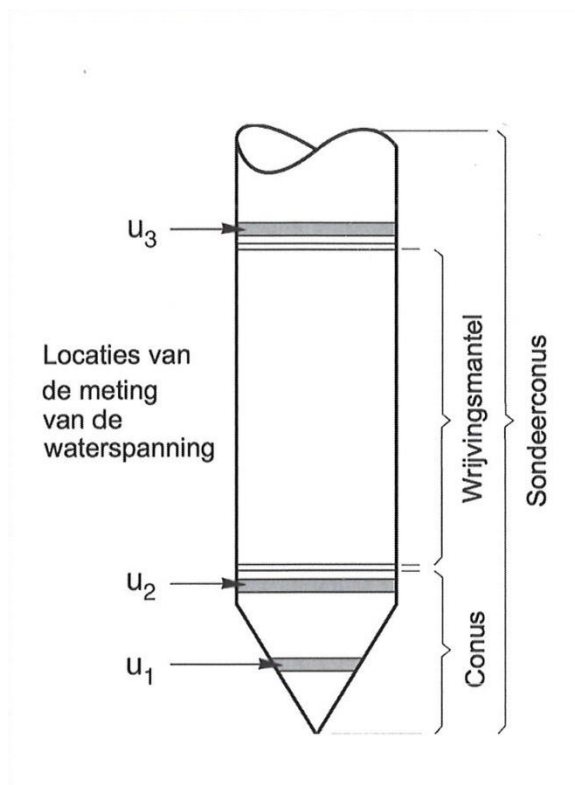
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

Type meting	Meetresultaten	Toepassingsmogelijkheden
Waterspanning	Waterspanning ter plaatse van de punt	<ul style="list-style-type: none"> ■ registreren waterremmende lagen; ■ indicatie stijghoogte grondwater; ■ classificatie / gelaagdheid bodem.
Magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	<ul style="list-style-type: none"> ■ blindgangeronderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpuntniveau / schoorstand funderingspalen; ■ onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden.
Geleidbaarheid	Elektrische geleiding grond en grondwater	<ul style="list-style-type: none"> ■ indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens; ■ onderzoek verspreiding verontreiniging.
Temperatuur	Temperatuurmeting op verschillende diepten	<ul style="list-style-type: none"> ■ warmteoverdracht in de bodem; ■ bepaling temperatuurgradiënt.
Schuifgolfsnelheid (seismisch)	Dynamische bodemparameters op verschillende diepten	<ul style="list-style-type: none"> ■ machinefunderingen; ■ windturbinefunderingen.
Versnelling	Versnellingen op verschillende diepten	<ul style="list-style-type: none"> ■ heitrillingen; ■ verkeerstrillingen
MIP (Membrane Interface Probe)	Verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	<ul style="list-style-type: none"> ■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (Rapid Optical Screening Tool)	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	<ul style="list-style-type: none"> ■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen
HPT (Hydraulic Profiling Tool)	Doorlatendheid	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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 ontvlucht 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. Aangevoerd 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 toepassingsklassen *EN-ISO 22476-1*

Toepassing-klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort	Interpretatie
1	TE2	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ 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	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	G, H*
					B	G, H
					C	G, H
					D	G, H
3	TE1 TE2	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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	G
					B	G, H*
					C	G, H
					D	G, H
4	TE1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Sondeerlengte 	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A	G*
					B	G*
					C	G*
					D	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 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 • $q_c < 10$ MPa);

C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa • $q_c < 3$ 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 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 meetstelsel 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.

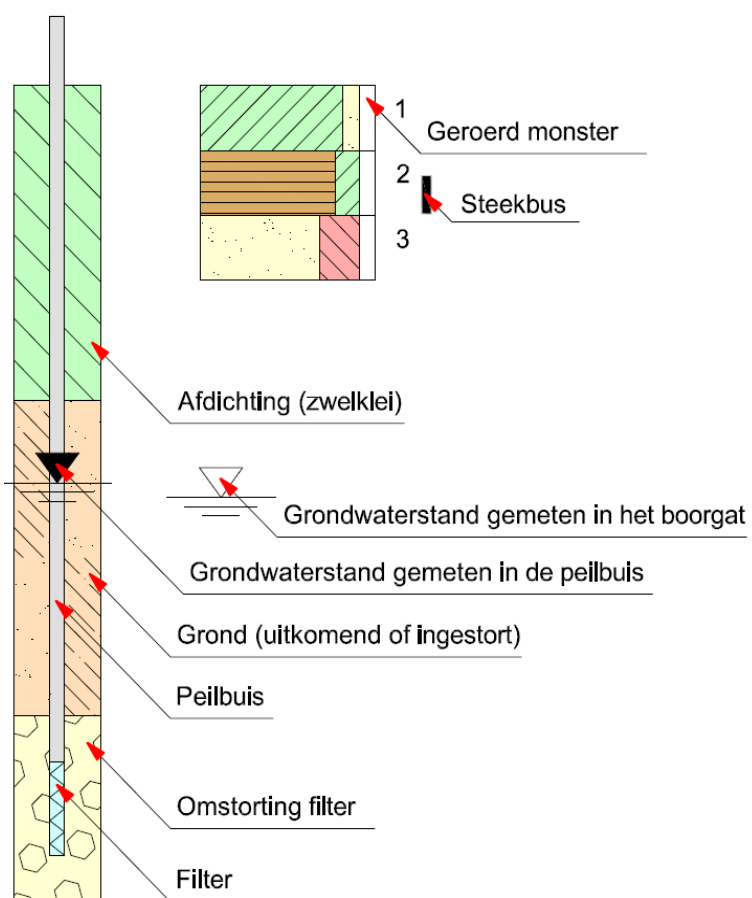
Voor sondering in toepassingsklasse 1 worden speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik toegepast. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van recente kalibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

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	Sonderingen
 Handboring nog niet uitgevoerd	 Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
 Handboring uitgevoerd	 Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
 Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis	 Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
 Handboring uitgevoerd met 2 peilbuizen	 Sondering zonder plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
 Mechanische boring nog niet uitgevoerd	 Slagsondering uitgevoerd
 Mechanische boring uitgevoerd	 Handsondering uitgevoerd
 Mechanische boring uitgevoerd met 1 peilbuis	 Multigrondwatersondering nog niet uitgevoerd
 Mechanische boring uitgevoerd met 2 peilbuizen	 Multigrondwatersondering uitgevoerd
 Mechanische boring uitgevoerd met 3 peilbuizen	 Sondering met bolconus nog niet uitgevoerd
 Boring uitgevoerd door derden	 Sondering met bolconus uitgevoerd
 Boring uitgevoerd met peilbuis door derden	 Waterspanningsmeter nog niet uitgevoerd
 Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) nog niet uitgevoerd	 Waterspanningsmeter uitgevoerd
 Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) uitgevoerd	 Sondering uitgevoerd door derden
	 Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden
Overige symbolen	 Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd
 Meetpunt	 Hellingmeterbuis uitgevoerd
 Hoogtemaat	
Type sonderingen	Toegevoegde metingen
D Diepsondering	KM Meting van de plaatselijke kleef
HS Handsondering	P Meting van de waterspanning
S Slagsondering	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 negatieve kleeft

B.1 Uitgangspunten

- Gehanteerde sondering : DKM03 (maatgevende sondering voor negatieve kleeft)
- Paaltype : Schroefpaal met verloren punt, Fundex
- Buisdiameter : Ø 380 mm

B.2 Berekening negatieve kleeft

De *representatieve waarde* van de maximale negatieve kleeftbelasting op een alleenstaande paal volgens 7.3.2.2 NEN 9997-1 bedraagt:

$$F_{nk;rep} = \sum (d_i \cdot K_{o,i} \cdot \tan \delta_i \cdot \sigma'_{v;gem,i}) \cdot O_s$$

$$= 52 \text{ kN}$$

waarin:		in dit geval:
d_i	= dikte van de betreffende laag	zie tabel
$K_{o,i} \cdot \tan \delta_i$	= product van de karakteristieke waarde van de neutrale gronddruk factor en de tangens van de wrijvingshoek tussen paal en grond voor de betreffende laag	0,25
$\sigma'_{v;gem,i}$	= karakteristieke waarde van de gemiddelde effectieve verticale spanning in de betreffende laag i	zie tabel
O_s	= omtrek van de paalschacht	zie tabel

laag	van / tot [m t.o.v. NAP]	dikte d [m]	$\gamma_{i;rep}$ [kN/m ³]	$\sigma'_{v;gem}$ [kN/m ²]	$K_{o,i} \cdot \tan \delta_i$ [-]	O_s [m]	$F_{nk;rep,i}$ [kN]
1	-4,9 / -6,0	1,1	17,0	9,4	0,25	1,19	3,1
2	-6,0 / -6,2	0,2	16,0	20,3	0,25	1,19	1,2
3	-6,2 / -8,0	1,8	6,0	27,3	0,25	1,19	14,6
4	-8,0 / -10,0	2,0	1,0	33,7	0,25	1,19	20,1
5	-10,0 / -12,0	2,0	4,0	38,7	0,25	1,19	23,0
						Totaal	62,0

De *rekenwaarde* van de maximale negatieve kleeftbelasting op een alleenstaande paal bedraagt:

$$F_{nk;d} = F_{nk;rep} \cdot \gamma_{f,nk}$$

$$= 62 \text{ kN}$$

waarin:		in dit geval:
$\gamma_{f,nk}$	= partiële factor voor de negatieve kleeft (7.3.2.2(b) van NEN 9997-1)	1,0

Bijlage C

Berekening en toetsing

rekenwaarde netto draagkracht

C.1 Uitgangspunten

- Gehanteerde sondering : DKM02
- Paaltype : Schroefpaal met verloren punt, Fundex
- paalpuntniveau : NAP -23,5 m
- Buisdiameter : Ø 380 mm
- Puntafmeting : Ø 450 mm

C.2 Maximale draagkracht van de paalpunt

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

$$q_{b,max} = \frac{1}{2} \cdot \alpha_p \cdot \beta \cdot s \cdot ((q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem})/2 + q_{c,III,gem})$$

$$= 6,5 \text{ MPa. } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

waarin:

in dit geval:

$q_{c,I,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	16,6	MPa
$q_{c,II,gem}$	= de minimale waarde van de conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	10,3	MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstand 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:

$$R_{b,cal,max,i} = A_{punt} \cdot q_{b,max,i} \cdot 1000$$

$$= 1.038 \text{ kN}$$

waarin:

in dit geval:

A_{punt}	= oppervlak van de paalvoet	0,1590	m ²
------------	-----------------------------	--------	----------------

C.3 Maximale paalschachtwrijving

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

$$q_{s;\max} = \alpha_s \cdot q_{c;z;a}$$

$$= 0,094 \text{ MPa}$$

waarin: in dit geval:

α_s	= factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,009 -
$q_{c;z;a}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend	10,4 MPa

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

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

$$= 365 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

$O_{s;\Delta L;\text{gem}}$	= gemiddelde omtrek van de paalschacht	1,3038 m
ΔL	= traject voor berekening schachtwrijving	3,0 m

C.4 Maximale draagkracht

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

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

$$= 1.404 \text{ kN}$$

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

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

$$= 1.010 \text{ kN}$$

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:

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

$$= 842 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

γ_R	= $\gamma_b = \gamma_s$ = partiële factor volgens tabel A.6 t/m A.8 van NEN 9997-1	1,2 -
------------	---	-------

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	
$F_{nk;d}$	= rekenwaarde van de negatieve kleefbelasting	87 kN
$R_{C;d}$	= rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal	842 kN

Voor de meeste paaltypen, zoals grondverdringende palen 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:

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

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	755 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.

Bijlage D

Uitvoeringsaspecten

D.1 Uitvoering heiwerk

Uitvoering heiwerk prefab betonpalen en houten palen

Algemene richtlijnen

Voor algemene richtlijnen betreffende het heien van de palen wordt verwezen naar *NEN-EN 12699:2015 Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen*.

Toezicht op de realisatie van de palen 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.

Heivolgorde

De eerste paal van het project dient te worden geheid ter plaatse van een sondering aangezien de draagkracht van de palen berekend is met behulp van sonderingen.

De relatie van het heigedrag met het sondeerbeeld kan worden vastgesteld door het aantal slagen per 0,25 m paalzakking te registreren (kalenderen). Het bij de eerste sondering gevonden kalenderbeeld wordt als maatstaf voor de overige palen genomen. Van iedere paal dient derhalve, over het traject in de draagkrachtige zandlaag, de kalender te worden opgenomen. Voor iedere volgende sondering is het noodzakelijk om het kalenderbeeld te controleren en zo nodig de maatstaf bij te stellen.

Bij een verschil in inheinniveau tussen de sonderingen, verdient het aanbeveling het heiwerk aan te vangen bij het diepste niveau. Aangezien dan van "laag naar hoog" wordt geheid is een betere controle mogelijk op het benodigde inheinniveau voor de overige palen.

Bij het heien van grote groepen palen dient 'van binnen naar buiten' te worden gewerkt. Door het verdichten van zandlagen, kan een andere volgorde onnodig zwaar heiwerk tot gevolg hebben.

Heibaarheid en kalenderwaarden (slagcijfers)

Voor de onderhavige grondslag dient een zodanige configuratie van paal en heiblok te worden gekozen, dat tijdens de uitvoering van het heiwerk kalenderwaarden of slagcijfers van ca. 15 à 25 slagen per 0,25 m worden genoteerd.

Voor een goede beoordeling van het heigedrag en controle op de juiste inheindiepte, dienen de kalenderwaarden bij voorkeur over de gehele hoogte van de draagkrachtige zandlaag (positieve kleef zone) te worden genoteerd. Mede omdat de positieve kleef veelal een geringe invloed op de kalender heeft, maar wel een grote bijdrage in de draagkracht kan hebben, dient de maatgevende kalender te worden bepaald aan de hand van het heigedrag ter plaatse van de sonderingen. Het kalenderbeeld bij de sonderingen is dan een referentie voor de paallocaties tussen de sonderingen.

Aanbevolen wordt om voorafgaand aan het heiwerk een indicatie van de te verwachten kalenderwaarden te bepalen, zodat een goede heibaarheid en probleemloos heigedrag te verwachten is. Desgewenst kan Fugro een heibaarheidsprognose uitvoeren.

Afwijkende kalenderwaarden

Een afwijkende kalender kan worden veroorzaakt door de bodemopbouw of door paalbreuk. Ook andere factoren kunnen van invloed zijn op de kalenderwaarde, waarbij niet altijd sprake hoeft te zijn van een afwijkende draagkracht, zoals hieronder is aangegeven:

Factor	Kalender	
	Hoger	Lager
■ natte of oude mutsvulling		x
■ wisselende energieafgifte van het blok	x	x
■ andere pompzetting	x	x
■ wijziging in de weersomstandigheden waardoor de koeling verandert: <ul style="list-style-type: none"> • warmer weer • kouder weer 	x	x
■ verdichting zandpakket	x	
■ tijdelijke wateroverspanning tijdens het heien		x

Een in vastheid wisselende tussen- of bovenzandlaag kan eveneens tot afwijkende kalenderwaarden leiden. Bij houten palen met betonopzetter kan een vaste bovenzandlaag leiden tot een hoge kalender zonder dat sprake is van een hogere draagkracht.

Bij een lage kalenderwaarde kan sprake zijn van een te lage draagkracht. Bij twijfel is het noodzakelijk contact op te nemen met de constructeur en de geotechnisch adviseur. In onderling overleg kan dan tot één of meer van de volgende maatregelen worden besloten:

- het na-heien van palen, waarbij over een traject van 0,25 m het aantal slagen per 0,05 m paalzakking wordt geregistreerd; op deze wijze kan worden onderzocht in hoeverre wateroverspanning de oorzaak is;
- het uitvoeren van controlesonderingen, om te onderzoeken in hoeverre een afwijkende bodemopbouw de oorzaak is;
- het akoestisch doormeten van de paal om eventuele paalbreuk en/of insnoeringen op te sporen;
- het uitvoeren van een dynamische en/of statische proefbelasting om de werkelijke draagkracht van de paal vast te stellen.

Gezien de vele factoren die een heiwerk kunnen beïnvloeden, is deskundig toezicht een vereiste. Van iedere paal dienen alle van belang zijnde gegevens te worden geregistreerd. Dit betreft niet alleen de kalender en het uiteindelijke inheinniveau, doch ook zaken als het type heiblok, de afstelling van het heiblok, de heivolgorde, het tijdstip, het gebruik van een nieuwe mutsvulling, de paallengte, het eventueel doorheien met een stalen oplanger, het maaiveld- resp. werkniveau, een eventuele bemaling tijdens het heiwerk en andere relevante gegevens.

D.2 Uitvoering schroefpalen met verloren punt – Stalen buispalen met stroefpunt

Uitvoering schroefpalen met verloren punt / stalen buispalen met schroefpunt

Algemene richtlijnen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van grondverdringende, al dan niet in de grond gevormde schroefpalen met tijdelijke of permanente casing wordt verwezen naar NEN-EN 12699:2015 en - *Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen*.

Toezicht op de realisatie van de palen dient plaats te vinden op basis van CURAanbeveling 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 een sondering te worden geïnstalleerd. Het waargenomen installatiegedrag 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) aan te houden. 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 20 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. In dit geval dient de afstand te worden vergroot tot minimaal 6D, volgens NEN-EN 12699:2015 en - art. 8.7.1.4.

Installatieproces

Het boormoment en de pull-down kracht op de stalen boorbuis dienen te worden afgestemd op de penetratiesnelheid. De capaciteit van de boormotor dient daarom te zijn gerelateerd aan de bodemopbouw en de paaldiameter, zodat ontspanning door grondtransport tot een minimum wordt beperkt.

Ontspanning in de ondergrond dient te worden voorkomen, aangezien dit nadelig is voor het draagvermogen van de palen. Dit geldt eveneens voor belendende funderingen.

Zodra de boorpunt met boorbuis op diepte is, dient de boormotor gestopt te worden. Alvorens de paal wordt gestort dient te worden gecontroleerd of de buis droog is en vrij van grond.

Vervolgens kan de wapening worden aangebracht en de buis worden volgestort met specie. Bij afkeuring van de geboorde buis dient deze te worden getrokken, waarbij ter voorkoming van

verstoring van de draagkrachtige laag eerst een vulling is aangebracht bestaande uit specie of een mengsel van grof zand (ter plaatse van de draagkrachtige zandlaag). Ter plaatse van de slappe lagen daarboven dient het gat te worden opgevuld met een niet waterdoorlatend materiaal, zoals klei. Het inboren van de nieuwe paal dient te geschieden naast de afgekeurde paal.

Bij palen met een tijdelijke casing wordt de buis na het afstorten van de paal met oscillerende (heen en weer) bewegingen uit de grond getrokken. De wapeningskorf mag tijdens het trekken van de voerbuis niet mee omhoog komen. Deze palen dienen te worden afgestort tot aan het werkniveau.

Palen met een permanente casing of een geprefabriceerde betonnen kern kunnen eventueel wel op een dieper niveau worden afgewerkt.

Indien de stijghoogte in de draagkrachtige zandlaag hoger ligt dan het werkniveau, dan dient het mogelijke effect van dit hoogteverschil op de uitvoeringswijze te worden beschouwd.

Bij schroefpalen met verloren punt (met of zonder groutinjectie) is sprake van een in de grond gevormde paalschacht. Hierbij fungeert de grond als 'bekisting' voor de verse betonmortel. De grond dient hierbij gedurende de verharding van de betonmortel voldoende steundruk te leveren, zodat een paalschacht van voldoende kwaliteit en de juiste afmeting ontstaat.

Bij een (te) lage steundruk door de omliggende grond of een te hoge betondruk zal in relatief slappe grondlagen een verdikking van de paalschacht ontstaan, wat tot extra betonverbruik zal leiden. Een (beperkte) verdikking is over het algemeen geen probleem, mits deze direct of kort na het maken van de paalschacht optreedt.

Andersom moet de betondruk voldoende hoog zijn om te voorkomen dat een insnoering van de paalschacht optreedt.

Tijdens het aanbrengen van de palen ontstaan wateroverspanningen. Die spanningen treden vooral op in de Holocene klei- en veenlagen, maar kunnen ook in de (losgepakte) zandafzettingen ontstaan. De samenstelling en consistentie van de betonmortel dienen zodanig te zijn dat voldoende weerstand tegen de optredende wateroverspanningen aanwezig is. Bij onvoldoende weerstand zal overspannen grondwater via de verse paalschacht afstromen, waarbij uitspoeling van de betonmortel zal optreden.

Bleeding treedt op bij onvoldoende weerstand tegen uittreding van water met fijne delen door wateroverspanningen in opgesloten zandlagen en door uittreding van water dat niet benodigd is voor de verharding van beton. In geval van optreden van bleeding is het aan te bevelen om het gehalte aan fijne delen in het beton te verhogen door het cementgehalte te verhogen. Indien deze maatregel onvoldoende effect heeft, dient de waterspanning in de (tussen)zandlagen door bemaling te worden verlaagd.

De palen waarbij bleeding is opgetreden dienen te worden gecontroleerd door afhakken tot aan het einde van de erosiekanaaltjes. Met akoestisch doormeten zijn de gevolgen van bleeding-verschijnselen niet te controleren.

Bij de toepassing van een tijdelijke casing bestaat altijd een risico op een paalschacht van onvoldoende kwaliteit. Wij raden aan om de beoogde paalleverancier bovengenoemde

uitvoeringstechnische risico's voor hun paaltype specifiek voor de bodem in dit project te laten beoordelen.

In geval van twijfel wordt geadviseerd om over te gaan op de toepassing van combipalen. Hierbij wordt een geprefabriceerde kern in de paalschacht toegepast, waardoor 100% zekerheid over de kwaliteit en de constructieve sterkte van de paalschacht aanwezig is.

Ontgravingen

Bij eventuele ontgravingen na het installeren van de palen dient zorgvuldig te worden gewerkt om paalbeschadiging te voorkomen.

Groutinjectie

Voor paalinstallatie in vaste zandlagen kan tijdens het inboren van de buis groutinjectie worden toegepast.

Daarbij wordt gedurende het inboren van de paal via een aan de boorpunt bevestigde injectiebuis steeds water gepompt om de werking van de injectievoorziening te verzekeren en om de weerstand tijdens het boren te verminderen. Tijdens het boren in de laag waaraan de paal zijn draagkracht ontleent, wordt via de genoemde injectiebuis een watercementmengsel (grout) door de paalpunt naar buiten gepompt totdat het vereiste paalpuntniveau is bereikt. Door de schroevende beweging wordt het watercementmengsel gemengd met het omringende zand, waardoor een groutschil rondom de paalschacht ontstaat.

Controle

Een controle op de paalweerstand kan worden verkregen door registratie van het boormoment (of oliedruk van hydraulisch systeem) met de diepte. Dit profiel dient in overeenstemming met het sondeerbeeld te zijn.

De hoeveelheid gebruikte mortel/betonspecie en/of, indien van toepassing, grout dient te worden geregistreerd, en geverifieerd aan de hand van de afmetingen van de buis en de paalpunt.

De kwaliteit van de palen dient te worden gecontroleerd met behulp van akoestische metingen en bij palen zonder permanente boorbuis zo nodig in combinatie met het ontgraven van het bovenste deel van de paalschacht. Eventuele discontinuïteiten in de betondoorsnede 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 geotechnisch 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.

Gezien de vele factoren die het installatieproces kunnen beïnvloeden, is deskundig toezicht een vereiste. Van 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- resp. werkniveau, een eventuele bemaling en andere relevante gegevens.