

MEMO

Aan : dhr. R. de Coo
Van : M. Roos
Kopie : J. Truijens, J. Tromp, J. Cools
Dossier : BC7579-100
Project : Winvast windpark AVRI Geldermalsen
Betreft : Haalbaarheidsstudie locatie WTG-2

Ons kenmerk : MW-AF20140117
Datum : 11 februari 2016
Classificatie : Klant vertrouwelijk

1 INLEIDING

Aanleiding

Winvast BV is voornemens om 3 windturbines te plaatsen op het AVRI terrein te Geldermalsen. Deze locatie is gelegen aan de A15 en de Betuwelijn op ca. 15 km ten oosten van Knooppunt Deil. Voor dit gebied is een bestemmingsplan aangenomen welke expliciet de plaatsing van windturbines uitsluit. Dit gegeven is bekend bij Winvast en zal als zodanig niet als belemmerende factor worden meegenomen in deze studie.

In het plan is één windturbine op de vuilstort gesitueerd, hierna te noemen als WT2 (zie Figuur 1). Voor deze locatie heeft Royal HaskoningDHV een haalbaarheidsstudie uitgevoerd waarin is gekeken naar de economische én technische haalbaarheid van de plaatsing van de windturbine op de vuilstort. In het bijzonder het aanlegniveau van de turbine in relatie tot de hoogte van de vuilstort en de aanwezigheid van obstakels in de ondergrond maakt deze locatie uitdagend.



Figuur 1: Vervallen opstelling windturbines Windpark AVRI Geldermalsen

De overige twee locaties liggen naast de vuilstort en zijn niet beschouwd in deze haalbaarheidsstudie.

Vraagstelling

Winvast B.V. heeft Royal HaskoningDHV opdracht gegeven voor het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie voor het plaatsen van een windturbine op de vuilstort AVRI Geldermalsen.

Doelstelling

De werkzaamheden hebben als doel het onderzoeken van de economische en technische haalbaarheid van het plaatsen van een windturbine op een vuilstort.

Dit wordt onderzocht door het maken van een concept voor een windturbinefundering, waardoor inzicht wordt verkregen in:

- 1) De indicatieve constructieve en geotechnische mogelijkheden van de fundering;
- 2) Risico's tijdens uitvoering bij het aanbrengen van de palen;
- 3) De globale kosten van een windturbinefundering op de vuilstort;
- 4) Beslismoment in het project van de WTG locatie op het vuilstort.

Aanpassing locatie WT2 (2016)

Op 6 februari 2016 is via Winvast het verzoek gekomen om de nieuwe lijnopstelling van de windturbines volgens Figuur 2 als wijziging op te nemen in de memo van 18-7-2014. Voor locatie WT2 resulteert dit in een verschuiving van ca. 100m in noordelijke richting waarbij het omliggende maaiveldniveau van de vuilstort voor de nieuwe locatie is bepaald op ca. NAP +20,00 inclusief de totale dikte van de bovenafdichting.

Met het verplaatsen van de opstellingslijn in noordelijke richting blijven de vraagstelling en doelstelling van dit onderzoek gehandhaafd. Daarnaast wordt er vanuit gegaan dat met de gewijzigde locatie van WT2 de volgende uitgangspunten in onderhavige memo ongewijzigd blijven:

- Oorspronkelijk maaiveld NAP +3,00;
- Afdichtingsconstructie vuilstort conform Figuur 4 ;
- Haalbaarheidsconcept windturbinefundering;
- Principe funderingsconstructie en paalkeuze;

Onderstaande uitgangspunten zullen gewijzigd c.q. herzien worden a.g.v. de locatie verschuiving. Hiervoor is op de betreffende locatie in de memo een aanvulling opgenomen.

- Maaiveldhoogte ter plaatse van locatie WT2 (zie blz. 3 en 4);
- Integratie betonnen fundament in relatie tot milieutechnische zaken (zie blz. 3 en 4);
- Ongesteund paallengte (zie o.a. H.4 en bijlage 4)



Figuur 2: Gewijzigde opstelling windturbines Windpark AVRI Geldermalsen

2 LOCATIE OMSCHRIJVING

WT2 is gelegen op het “oudste” gedeelte van de stortplaats waar in 1969 begonnen is met een vuilnisbelt. Er is daar in principe gestort tot ca. 1989 en dit betrof, huisvuil, bouw- en sloopafval, bedrijfsafval, groenafval etc. Daarnaast was het in die tijd gebruikelijk om naast huisvuil ook koelkasten, wasmachines etc. te storten. Er zijn ook gegevens bekend van het los storten van asbest. In 1992 is dit gedeelte van een eindafwerking voorzien conform afvalstoffenwetvergunning. Vanaf 2010 is de eindafwerking verwijderd en is er nog meer afval gestort zoals, asbest in big-bags, grondreinigingsresiduen en slibben. In 1993/1994 zijn gasbronnen aangebracht in het stort (totaal 12 stuks). Waarschijnlijk is dit uitgevoerd met een avegaarboor.

Als gevolg van het verschuiven van de windturbine locatie WT2 wordt de hoogte van het omliggende maaiveld op de vuilstort ca. NAP +20,0 m.

De huidige vuilstort heeft ter plaatse van de toekomstige turbine locatie een hoogte van ca. NAP +20,0 m en is aangebracht op een maaiveldhoogte van ca. NAP +3,00 m.

Sinds juni jl. is gestopt met het storten van afval op het westelijk deel (11,4 ha) van de vuilstort welke eind 2014 wordt afgewerkt. WT 2 is gesitueerd in fase 2 waarvan de afwerking is gepland voor 2016. Na plaatsing van de windturbine dient de waterdichte bovenafdichting hersteld te worden naar zijn originele functie.

Afhankelijk van wanneer de windturbine geplaatst wordt dient de bovenafdichting hersteld te worden op een dergelijke wijze dat het betonnen fundament geïntegreerd is in de bovenafdichtingsconstructie. Door AVRI Geldermalsen is het volgende principe voorgelegd (beschouwd vanaf afval):

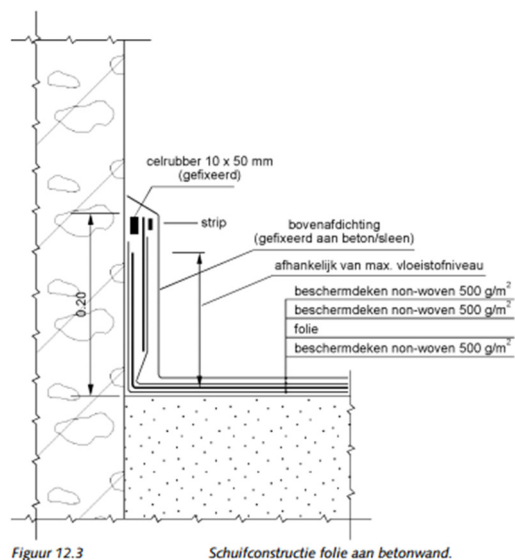
- Steunlaag / klankbordlaag van 30 cm avi-bodemas inclusief gasdrainage;
- minerale afdichting (Trisoplast gem. 25 cm¹);
- hdpe-folie 2 mm; drainage mat ca. 2 cm dik;
- 0,50 m leeflaag kwaliteit maximaal klasse Industrie Grond;
- 0,50m leeflaag gebiedseigen grond (klasse schoon/wonen).

De fundering van WT2 dient conform bovenstaande beschrijving waterdicht aangesloten cq. geïntegreerde te worden met de bovenafdichtingsconstructie. De ervaring leert dat de aansluitingen vaak uitgevoerd wordt door de folie aan het beton te plakken waarmee de betonconstructie onderdeel vormt van de waterdichte bovenafdichtingsconstructie. Hiervoor kan men het beton een stukje laten inspringen (is makkelijk uitvoerbaar ivm bekisting) of juist laten uitspringen (is bekistingstechnisch lastiger) ter plaatse van de bevestiging van de folie.

Dit is vergelijkbaar met het principe van een overstek bij een raamdorpel waarover het water afstroomt zonder achter de folie terecht te komen. De aannemer dient de bovenafdichtingsconstructie conform het door AVRI opgegeven principe uit de CUR 196 uit te voeren, zie onderstaand figuur. [bron CUR 196]

Indien blijkt dat er voor de civiele hulpconstructies (zoals onderheide kraanopstelplaatsen) ook door de bovenafdichtingsconstructie heen gegraven of geheid moet worden dan kunnen deze op dezelfde wijze als de fundamenteen aangehecht worden aan de afdekkingsconstructie. Als voorbeeld kan gedacht worden aan een onderheide betonplaat tpv de elke kraanstempel.

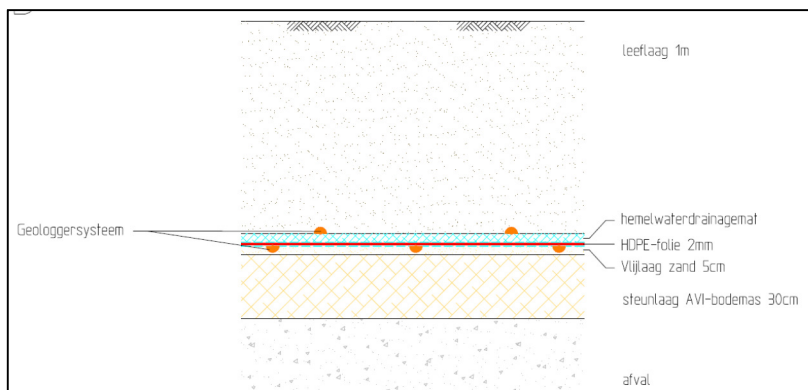
¹ In de email van 24 maart van dhr. A. Steenberg is een Trisoplast laag van 25cm (ipv de standaard 7cm) voorgesteld.



Figuur 3: Principe aansluitdetail volgens CUR 196

Voorafgaande aan de uitvoeringsfase dient hieromtrent een plan opgesteld te worden en ter goedkeuring aan bevoegd gezag te worden voorgelegd. In de uitvoeringsfase zal de aannemer op basis van het goedgekeurde plan, de opgedragen eisen en maatregelen een gedetailleerd uitvoeringswerkplan opstellen en ter goedkeuring aan het bevoegd gezag voorleggen. In hoofdstuk 7 van deze memo is de milieutechnische beoordeling nader toegelicht.

De huidige vuilstort is voorzien van een bovenafdichting bestaande uit een 30cm dikke laag bodemas voorzien van een HDPE folie en een drainagemat.



Figuur 4: Opbouw nieuwe bodemaafdichting

Conform opgave AVRI Geldermalsen wordt de uiteindelijke hoogte van de vuilstort ter plaatse van de WT2 locatie ca. NAP + 20,0 m, inclusief bovenafdichting.

3 SONDEER ONDERZOEK

Het in maart 2014 uitgevoerde grondonderzoek is gebaseerd op de oorspronkelijke locaties conform Figuur 1 en is na het verschuiven van de locaties (Figuur 2) niet uitgebreid met aanvullend onderzoek. Aangenomen wordt dat het huidige grondonderzoek voldoende informatie biedt voor deze studie in relatie tot de nieuwe locatie. Wel wordt geadviseerd om in de volgende fase aanvullend grondonderzoek uit te voeren ter plaatse van de nieuwe opstellingslocaties.

Bij de start van de haalbaarheidsstudie (in maart 2014) is door de firma Fugro een oriënterend geotechnisch grondonderzoek uitgevoerd welke in bijlage 1 is toegevoegd. Het doel van dit onderzoek is tweeledig;

1. Verkrijgen van een oriënterend beeld van de bodemopbouw;
2. De haalbaarheid van het inbrengen van een conus of paal in de vuilstort.

Er zijn vijf sondeeropgingen ondernomen welke uiteindelijk hebben geleid tot een maximale sondeerdiepte van 13,5m (NAP + 2,0 m). Met een vuilstort hoogte van ca. 16m is het maaiveld niveau niet bereikt. De zesde sondering is ca. 20m verschoven t.o.v. het hart van de turbinelocatie en heeft een diepte bereikt van ca. NAP -33 m, waarbij het sonderen is gestaakt na conuswaarden van meer dan 40MPa.

Op basis van de door AVRI verstrekte informatie over de aard van het gestorte vuil en de resultaten van het grondonderzoek moet worden geconcludeerd, dat zich in het stort op verschillende dieptes objecten bevinden die niet met een sondeerconus kunnen worden gepasseerd. Volgens de dagstaat van Fugro werd dit in 3 gevallen veroorzaakt door het overschrijden van de druk (14 ton), in 3 gevallen door de maximale hellingshoek (zijdeling afschampen van conus).

Terrein- en bodemopbouw

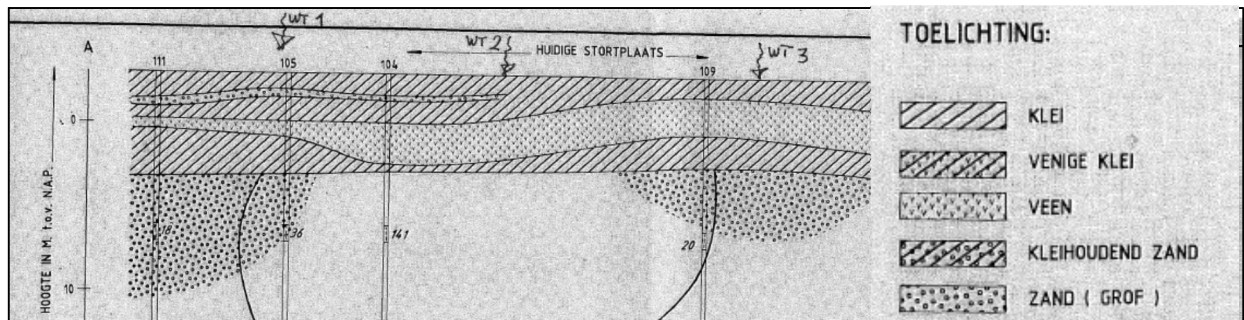
Tijdens het grondonderzoek is ter plaatse van WT2 een maaiveld hoogte van ca. NAP +15,5 m gemeten. Dit betreft bovenkant afval, inclusief de totale bovenafdichting wordt maaiveldniveau op de vuilstort ca. NAP +17,00 m.

Het maaiveldniveau onder de vuilstort wordt op basis van sondering DKM2E geschat op NAP en het laaggelegen terrein naast de vuilstort heeft een maaiveldniveau van circa NAP +3,0 m. Het stort is aangelegd met een oorspronkelijk talud van circa 1:3.

Uit het sondeeronderzoek is gebleken dat het stort zeer heterogeen is opgebouwd met gemeten conusweerstand variërend tussen 1 MPa en 50 MPa. In veel gevallen moesten de sonderingen worden gestaakt in verband met het bereiken van de maximaal toegestane sondeerdruk. De gemiddelde conusweerstand van het stortmateriaal bedraagt circa 6 MPa.

Vanaf dit maaiveldniveau bestaat de ondergrond tot een diepte van NAP -3,5 m uit een samendrukbare deklaag met overwegend klei. Onder de deklaag is tot de verkende diepte van NAP -33 m een zandpakket aangetroffen. Het zand is los tot zeer vast gepakt.

In verband met de aanwezigheid van een zeer vaste zandlaag op circa NAP -12,5 m (conusweerstand 47 Mpa) wordt dit niveau als paalpuntniveau aangenomen. Bij een dieper inheinniveau bestaat de kans op paalbreuk. Opgemerkt wordt dat het niveau variabel is: in DKM 1 is deze vaste laag al aangetroffen op NAP -7,5 m en in DKM3 pas op NAP -17,0 m. Aanvullend grondonderzoek ter plaatse van WT2 moet uitwijzen wat de precieze diepte van dit zandpakket is. Wanneer dit onderzoek gaat plaatsvinden is mede afhankelijk van de overall planning van het project. Naar verwachting zal er voor dit onderzoek ook moeten worden voorgezied gezien de resultaten van het oriënterend onderzoek.



Figuur 5: Historisch bodemonderzoek

4 TECHNISCHE HAALBAARHEID

Bij de technische haalbaarheid ligt focus op het installeren van de palen. Hier worden de meeste risico's verwacht agv de aanwezige obstakels in de vuilstort wat kan leiden tot paaluitval als gevolg van; breuk, het niet op de juiste locatie kunnen aanbrengen of het niet op diepte kunnen heien.

Een maatregel tegen het risico paaluitval is het voorheien van alle paallocaties, waarmee de kans op paaluitval wordt verkleind.

Deze studie heeft geleid tot een funderingsconcept waarin gekeken is naar een oplossing voor het aanbrengen van de palen en een indicatie voor de paalkeus. Dit concept is voortgekomen uit een risicoanalyse waarin mogelijke oplossingen voor de niet wenselijke gebeurtenissen zijn opgesteld.

Een tweede aandachtspunt is de ongesteunde paallengte zoals beschreven in deze paragraaf. De aandachtspunten in relatie tot milieutechnische beoordeling zijn beschreven in hoofdstuk 7.

Concept

Het resultaat kan beschreven worden als een robuust funderingsconcept waarin flexibiliteit van de paalconfiguratie een oplossing is voor mogelijk paaluitval agv obstakels in de ondergrond. De palen zijn zodanig over gedimensioneerd dat in theorie 5 palen kunnen vervallen, waarmee de overige palen binnen de draagkrachtseis vallen. De opmerking dient gemaakt te worden dat het niet reëel is om uit te gaan van vijf naast elkaar gelegen palen. Uitgangspunt bij het niet kunnen aanbrengen van de palen is het verschuiven van de paallocatie. Hierbij dient het funderingsblok voldoende robuustheid te bezitten om de krachtsinleiding naar de overige palen te garanderen. Uitgangspunt bij het concept is dat alle paallocaties worden voorgeheid met een stalen voorhei.

Uitgangspunten

- Rapport: Geotechnisch veldwerk d.d. 12-03-2014 [doc. Nr. 1314-0005-000];
- Tekening: Locatieoverzicht windturbine 2 [tek. Nr. WPAVRI-003];
- Tekening: Profiel tbv grondonderzoek windturbines [tek. Nr. 1];
- Referentie windturbine: (Vestas) V112 3,0MW-HH94 IEC2A;
- Ronde taps toelopende betonnen fundering.

Funderingswijze

Kijkend naar de opbouw van de vuilstort en de sondeergegevens wordt het noodzakelijk geacht om uit te gaan van een fundering op palen. Voor het inbrengen van palen door het vuilstort zijn de volgende (technische)risico's van belang:

- In verband met obstakels in de ondergrond wordt lokaal zeer zwaar heiwerk verwacht;
- In verband met obstakels in de ondergrond bestaat het risico dat een paal niet op de oorspronkelijke locatie kan worden aangebracht;
- Bij in de grond gevormde palen bestaat de kans op uitvloeien van beton in holle ruimten van het stort;
- Het stort biedt lokaal weinig laterale grondweerstand tegen horizontale belastingen;
- Door inklinken/zetting van het stort worden de palen verticaal extra belast door negatieve kleeft;
- Maximale paallengte in relatie tot de paaldoorsnede.

Paalsystemen

Prefab betonnen heipaal

(open) Stalenbuispaal

Vibro paal met permanente casing

Tabel 1: Vergelijking paalsystemen

	Prefab betonnen heipaal	(open) Stalenbuispaal	Vibropaal met permanente casing
Zwaar heiwerk	+	+	+
Uitvloeien beton	+	+	-
Laterale grondweerstand	-	-	-
Negatieve kleeft	-	-	-
Paallengte	-	-	+
Transportkosten	-	-	+/-
Kosten paalsysteem	+	-	-

Uit bovenstaande tabel kan geconcludeerd worden dat de prefab betonnen heipaal de voorkeur heeft boven de overige twee paalsystemen. Doorslaggevend aspect zijn de kosten waardoor er in deze fase een concept is opgesteld op basis van het prefab betonnen paalsysteem. Dit paalsysteem wordt als een haalbare optie voor het fundament concept gezien, wat niet wil zeggen dat de (open)stalenbuispaal hiermee definitief afvalt. Het verdient dan ook de aanbeveling om in de vervolgfase beide systemen nader te onderzoeken.

Aandachtspunt bij windturbinefundaties is de trekbelasting op de palen. De trekcapaciteit wordt normaliter uit (zand) lagen gehaald. Voor de haalbaarheidsstudie wordt ervan uitgegaan dat er geen trekcapaciteit uit de vuilstort hoogte gehaald kan worden. Uit het oriënterend grondonderzoek kan afgeleid worden dat er vanaf NAP -3,5 m tot NAP -12,5 m gerekend mag worden met grondweerstand tegen trekbelasting.

In deze studie is ook de ongesteunde paallengte een aandachtspunt gezien het uitgangspunt is dat er geen laterale grondweerstand aan de vuilstort kan worden ontleend. Theoretisch betekent dit dat de palen een ongesteunde lengte hebben van ca. 14m met een oorspronkelijk maaiveldniveau op NAP.

Door de gewijzigde locatie zal de ongesteunde paallengte toenemen naar ca. 17m (NAP +20,0 m – NAP + 3,0 m). Om deze systeemplengte zoveel mogelijk te reduceren wordt geadviseerd om het fundament verdiept aan te leggen. Dit resulteert wel in het plaatselijk 'opengraven' van de vuilstort waarbij rekening gehouden dient te worden met eventuele milieukundige gevolgen zoals openmaken van de huidige afdichting en afvoer van vuil. Door met een

betonnen opstort te werken kan de aanlegdiepte groter worden van de huidige fundatie dikte van ca. 2,7m. Hierdoor kan de systeemplengte en daarmee de kniklengte (en kosten) van de palen gereduceerd worden. In bijlage 4 is schematisch aangegeven hoe dit uitgevoerd kan worden.

Ontwerp

Op basis van het criterium paal draagvermogen en de benoemde risico's is een conceptfundatie ontworpen.

Draagvermogen paalfundering

Het trek- en drukdraagvermogen van prefab betonpalen met afmetingen 450mm x 450 mm is geschat op basis van een indicatieve draagkrachtberekening. In de berekening is rekening gehouden met:

- Extra paalbelasting als gevolg van negatieve kleeft langs het traject tot NAP -3,5 m. De negatieve kleeftbelasting bedraagt circa 1200 kN.
- Verwaarlozing van de grondweerstand tegen trekbelasting boven het niveau NAP -3,5 m. In werkelijkheid zal de grond/materiaal een onbekende weerstand geven tegen trekbelasting.

Op basis van de berekeningen zijn de volgende indicatieve waarden bepaald:

- Rekenwaarde netto drukdraagvermogen $R_{c;d;netto} = 2000 \text{ kN}$
- Rekenwaarde trekdraagvermogen $R_{t;d} = 700 \text{ kN}$.

Dimensies fundament

Uitgangspunt voor het concept is een ronde taps toelopende betonnen fundering op palen. De dimensies van de fundering is bepaald aan de hand van de indicatieve paal draagvermogens, referentiebelastingen en grondwaterstand. Met behulp van ontwerpsheets (bijlage 2) is hiermee een funderingsvorm bepaald. Op basis van bovenstaande paal draagvermogens is het volgende concept opgesteld, waarvan de resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 2: Eigenschappen fundering

Funderingsvorm	Rond, taps
Diameter	18.0 meter
Dikte	Midden: 2,72 meter (exclusief opstort) Rand: 1,60 meter
Opstort	Dikte: 0,0 meter Diameter: 5,5 meter
Volume	540 m ³
Aantal palen	32 (schoorstand 10:1)
Paal type	Prefab, 450x450 mm, inheinniveau NAP -12.50 m
Paal lengte	Ca. 27,5m

5 KOSTENINDICATIE

Op basis van het technisch concept is er in bijlage 3 een globale kostenraming voor de fundering opgesteld, hierin zijn geen civiele onderdelen als kraanopstelplaatsen en transportwegen opgenomen.

Voor een windturbinefundering op een 'standaard' locatie kunnen de bouwkosten op basis van ervaringsgetallen geschat worden op ca. € 175.000,- (excl. BTW). Dit is inclusief grondwerk en kosten van de anchor cage, grouting, earthing en pvc kabelleidingen.

Voor het haalbaarheidsconcept zijn de kosten geraamd op € 262.000,- (excl. BTW). De meerkosten zijn voornamelijk het gevolg van de m³ beton, kg/m³ wapening en het aantal palen en de paallengte. Al deze zaken zijn rechtstreeks terug te voeren naar de locatie waar de turbine geplaatst gaat worden.

Overige aandachtspunten

Kostenverhogende factoren in relatie tot de locatie welke niet in de raming zijn opgenomen;

- Toegangsweg;
- Kraanopstelplaats;
- Kabels & leidingen;
- Aarding;
- Beschermende maatregelen bovenafdichting.

6 ▼ RISICO ANALYSE ONTWERP/UITVOERING

Nr.	Risico (gebeurtenis)	Oorzaak	Gevolg	Eigenaar risico	Maatregel
	Palen kunnen niet op diepte worden aangebracht	Obstakels in de ondergrond	* Werk komt stil te liggen * Onnodig veel kosten gemaakt in geval van stilvallen project * Ontwerputgangspunten voldoen niet meer		* Voorheien paallocaties met stalen voorhei * Voorhei werkzaamheden contractueel losknippen van contract/project hoofdaannemer * Robuust en flexibel ontwerp waarin rekening is gehouden met paaluitval en verschuiving van paallocaties
	Fundatie ontwerp voldoet niet aan de rotatie- en translatie eisen van de windturbine leverancier	Er wordt geen laterale stijfheid ontleend aan de eerste 17m waardoor er een ongesteunde paallengte van ca. 17m ontstaat	* Fundatie ontwerp wordt niet goedgekeurd door turbine leverancier		* Palen in schoorstand (10:1) aanbrengen; * In ontwerpfase een 3D analyse uitvoeren van de palenfundering * Ontwerpen met een lage paalbelasting door meer palen toe te passen * Verdiepte aanleg fundering
	Paalbreuk door zwaar heiwerk	Lange palen in combinatie met obstakels in de ondergrond	* vertraging van het werk * extra kosten palenfundering		* reserve palen aanwezig op de bouw * flexibel ontwerp waarbij rekening is gehouden met paaluitval (over dimensioneren aantal palen waardoor tevens de paalbelasting lager zullen zijn) * akoestisch doormeten van de palen, tussen de heiwerkzaamheden *
	Slechte bereikbaarheid terrein	Hoogte verschil tussen omgeving en locatie WT2	* vertraging		* Realistische toegangsweg voor het bouwverkeer ontwerpen * Uitvoerende partijen dienen bij indiening prijs zich bewust te zijn van de bereikbaarheid van de locatie.
	Explosie, brand	Vrijkomen stortgas door openen bovenafdicthting en door heien door steunlaag/stortgasdrainagelaag	* Vertraging of werk komt stil te liggen * Onnodig veel kosten gemaakt in geval van		Monitoring met explosiometer, bij overschrijding LEL werk stilleggen.

			stilvallen project Kans op persoonlijk letsel		
	Verzwakking beton in fundering	Aantasting door contact met percolaat en afval	Verzakking		De juiste milieuklasse beton toepassen

Aandachtspunten

- Kostenverhogende factoren en technische uitdagingen
 - Toegangsweg
 - Kraanopstelplaats
 - Kabels & leidingen
 - Aarding
 - Beschermende maatregelen bovenafdichting
 - Stortgas monitoring
 - Milieuklasse beton

7 MILIEUTECHNISCHE BEOORDELING

Uitgangspunt

- De windturbine wordt onderdeel van de bovenafdichting.

Door fundering op palen is de zetting verwaarloosbaar. Door de langdurige belasting van de ondergrond met het afvalpakket zijn zettingsverschillen verwaarloosbaar. Met de resterende klink van het omringende afvalpakket kan meer dan voldoende rekening worden gehouden met technische maatregelen. Elke bovenafdichting kent een faalisico ten aanzien van lekkage. Er bestaan afdoende technische oplossingen om het faalisico van lekkage niet te verhogen bij het integreren van betonconstructies in bovenafdichtingen van stortplaatsen. Voor het beoordelen van de milieueffecten is daarom geen verschil in faalisico gehanteerd. Dit geldt ook voor de toegangsweg, werkruimtes/kraanopstelplaatsen en opslagruimtes omdat er afdoende technische oplossingen bestaan om beschadiging van de afdichtingsconstructie en hemelwaterdrainage, en erosie van de deklaag, te voorkomen.

Milieu effecten

1. Vorming van percolaat en emissie van percolaat naar de bodem.
2. Emissie van stortgas

Voor de beoordeling van deze effecten maken we onderscheid naar de plaatsing, de exploitatie en de sloop van de windmolen. Hiervoor zijn een aantal indicatieve berekeningen gemaakt waarbij ten aanzien van de stortplaats parameters enkele aannames zijn gehanteerd die mogelijk afwijken van de werkelijke parameters. Eventuele verschillen die daaruit voortkomen zullen naar verwachting niet maatgevend zijn voor de beoordeling van de milieueffecten.

1. Vorming en emissie van percolaat bij plaatsing van de windturbine

De plaatsing vereist:

- De aanleg van een toegangsweg op de deklaag op de afdichting.
- De aanleg van werkruimte/kraanopstelplaats en opslagruimte op de deklaag
- Het openen van de bovenafdichting voor de aanleg van de fundering.
- Het heien door het afval heen tot in de onderliggende bodem, door een slecht doorlatende kleilaag tot op een vaste zandlaag.
- Constructie van de fundering.
- Het aansluiten van de bovenafdichting op de fundering.
- Opbouw van de windmolen op de fundering
- Zwaar materieel op de toegangsweg en op de locatie van plaatsing.
- Aanvoer van bouwmaterialen over de deklaag

De vorming en emissie van percolaat door tijdelijke opening van de afdichting bij plaatsing (Scenario plaatsing) is vergeleken met de vorming en emissie van percolaat zonder opening van de bovenafdichting (Nulscenario).

Nul scenario

Van een combinatie bovenafdichting wordt een worst case lekdebiet van 5 mm *per jaar* aangenomen. Op compartiment A, waar de windmolen wordt geplaatst, is geen onderafdichting aanwezig en infiltreert dit lekdebiet worst case jaarlijks in de bodem. Op de rest van de stortoppervlakte wordt dit lekdebiet op de onderafdichting opgevangen en via de percolaatdrainage afgevoerd. Onderafdichting en percolaatdrainage zullen na einde levensduur (aannee 30 jaar na aanleg bovenafdichting) niet meer functioneren. Dan geldt een worst case infiltratie van 5 mm percolaat in de bodem per jaar voor de hele stortoppervlakte (aannee hele oppervlakte circa 40 ha, waarvan de helft compartiment A).

Scenario plaatsing

Tussen het openen van de afdichting en aansluiten op de fundering kan neerslag in het stort infiltreren, percolaat vormen en infiltreren in de bodem onder de opengelegde oppervlakte (aannee worst case 1000 m² opengelegd). De tijdsduur van opening is beperkt en *eenmalig* (aannee 4 weken). Binnen dit tijdsbestek kan worst case een neerslag overschot infiltreren van minder dan 8% van 1 jaar neerslag overschot (worst case aannee 350 mm). De hoeveelheid neerslagoverschot die via de heipalen infiltreert, valt binnen dit scenario en wordt daarom niet apart beschouwd.

Vergelijking milieu effect scenario's

- Nul scenario: Worst case jaarlijks infiltratie 5 mm percolaat in de bodem op compartiment A gedurende de eerste 30 jaar, ofwel jaarlijks 1000 m³, na 30 jaar jaarlijks 2000 m op het hele stortoppervlak.
- Scenario plaatsing: Worst case eenmalig extra infiltratie van minder dan 27 m³

Conclusie vergelijking milieueffect scenario's

De worst case extra infiltratie van percolaat in de bodem bedraagt minder dan 27 m³ in scenario plaatsing. Dit zal niet meetbaar zijn in het grondwater en is daarom niet significant. Daarom is het ook niet relevant of heipalen door slecht doorlatende bodemlagen heengaan. Daarnaast is het een verwaarloosbare hoeveelheid ten opzichte van het nul scenario. In beschouwing van een periode van slechts 1 jaar leidt scenario plaatsing worst case tot minder dan 2,7 % extra infiltratie in de bodem. Na 10 jaar nazorg is dit niet meer dan 2,7 promille. Gedurende de nazorg voor onbepaalde tijd wordt het aandeel van de extra infiltratie ten opzicht van het nul scenario nagenoeg nul.

Opmerking

Los van het gegeven dat de worst case extra infiltratie in het scenario plaatsing verwaarloosbaar is, is het ook mogelijk door technische maatregelen bij de uitvoering de worst case infiltratie nog verder te beperken qua debiet (tijdelijk afdekkingen) en qua infiltratie diepte (door slecht doorlatende lagen heen grond verdringende heipalen toepassen).

2. Emissie van stortgas tijdens plaatsing

De emissie van stortgas door tijdelijke opening bij plaatsing (Scenario plaatsing) wordt vergeleken met de stortgas emissie zonder tijdelijke opening (Nulscenario).

Nul scenario:

Stortgas wordt in het hele stort gevormd. Onder de bovenafdichting ligt een steunlaag met daarin of daaronder een drainage om stortgas op te vangen en af te voeren. In deze drainage wordt een onderdruk gehandhaafd. Het onttrokken gas wordt verstroomd/afgefakkeld totdat op termijn (aannee 15 jaar na aanleg van de bovenafdichting) dit niet meer rendabel is. Daarna wordt stortgas via biofilters geëmitteerd waarbij het methaan voor een groot deel wordt afgebroken. Uitgaande van minimaal 1 biofilter per 1,5 ha op het gehele stort met een rest stortgas emissie van 1 m³ per filter per jaar bedraagt de totale hoeveelheid stortgasemissie circa 400 m³.

Scenario plaatsing:

Op het moment van openen van de afdichting is de steunlaag met daarin/daaronder de stortgasdrainage met onderdruk nog intact. Door het openleggen zal de onderdruk in de stortgasdrainage ter plaatse mogelijk wat afnemen. Stortgas zal zich blijven bewegen richting laagste druk, dus eerder in de drainage laag blijven dan eruit ontwijken. Worst case zou stortgas toch door de steunlaag heen ontwijken of langs de heipalen. Het oppervlakte waarbinnen dit kan is nog geen 0,25 promille van het totale oppervlakte. De aanname is dat onder dit oppervlak worst case 0,25 promille van de in 4 weken totale onttrokken hoeveelheid stortgas wordt gevormd waarvan de helft toch door de steunlaag kan vrijkomen. Bij een jaarlijkse onttrekking van 1 miljoen m³ stortgas betreft dit dan worst case minder dan 100 m³ stortgas.

Vergelijking milieu effect scenario's

- Nul scenario: Rest emissie van niet afgebroken methaan via bio filter van 15 tot 30 jaar na aanleg van de bovenafdichting van circa 400 m3 stortgas.
- Scenario plaatsing: Worst case eenmalig gedurende 4 weken emissie van stortgas door de steunlaag heen van minder dan 100 m3 stortgas.

Conclusie vergelijking milieueffect scenario's

Onder de gehanteerde aannames ligt de extra emissie van stortgas in de orde van grootte van de restemissies via biofilters. Deze orde van grootte zijn verwaarloosbaar als bijdrage aan de emissie van broeikas gas. Dit geldt zeker wanneer de toename van emissie van het broeikasgas methaan wordt vergeleken met de afname van het broeikas gas kooldioxide vanwege de opwekking van duurzame energie met de windmolen.

Opmerking

Los van het gegeven dat de worst case stortgasemissie verwaarloosbaar is, is het ook mogelijk door technische maatregelen bij de uitvoering de worst case emissie nog verder te beperken.

8 CONCLUSIE

Bij het plaatsen van een windturbine op de AVRI vuilstort te Geldermalsen zitten de grootste risico's in het aanbrengen van de palen. Oorzaak is de aanwezigheid van diverse obstakels in het stort. Dit is 'zichtbaar' geworden bij de uitvoering van het grondonderzoek waarbij diverse sondeerpoingen zijn gestaakt. Daarnaast is er in het historisch- en archiefonderzoek een reëel beeld geschetst van de aanwezige obstakels, zoals bigbags met puin en koelkasten.

Het grootste technische risico is paaluitval agv obstakels in de ondergrond. Om dit risico te beheersen zijn maatregelen opgesteld welke als uitgangspunten dienen voor een fundatieconcept. Dit heeft geleid tot een robuust ontwerp waarin een mate van flexibiliteit is ingebouwd tav paaluitval en het verschuiven van paallocaties. In combinatie met het voorheien van alle paallocaties kan gesteld worden dat er op conceptniveau een haalbare oplossing is gevonden.

Andere aandachtspunten bij dit concept zijn de ongesteunde paallengte van ca. 17m en de paallengte in relatie tot de paaldoorsnede. Hiervoor is het uitgangspunt om de palen schoor aan te brengen en een zekere mate van over dimensionering in de paalfundering op te nemen. De totale paallengte in relatie tot de doorsnede 450x450 is standaard en leverbaar tot ca. 32m.

Naast de technische haalbaarheid is er een globale kostenraming opgesteld voor het fundatieconcept. Zoals verwacht liggen deze kosten hoger dan bij een 'standaard' fundatieontwerp. Oorzaak van de kostentoeename zit hem voornamelijk in het materiaal verbruik van m³ beton en wapening, aantal palen en paallengte.

De technisch én economische aandachtspunten en risico's welke voortkomen uit het haalbaarheidsonderzoek naar de windturbine fundering gelden ook voor de civiele werken zoals de toegangsweg, kraanopstelplaats, K&L en aarding.

Naast de constructieve en geotechnische aspecten is er ook een milieutechnische beoordeling uitgevoerd aangaande het plaatsen van de windturbine. Uitgangspunt hierin is dat de windturbine wordt onderdeel van de bovenafdichting. De beschouwde milieueffecten zijn;

- Vorming van percolaat en emissie van percolaat naar de bodem;
- Emissie van stortgas.

Vorming en emissie van percolaat naar de bodem

Geconcludeerd wordt dat extra infiltratie van percolaat in de bodem minder dan 27 m³ in scenario plaatsing bedraagt. Dit zal niet meetbaar zijn in het grondwater en is daarom niet significant en het is een verwaarloosbare hoeveelheid ten opzichte van het nul scenario. Gedurende de nazorg voor onbepaalde tijd wordt het aandeel van de extra infiltratie ten opzicht van het nul scenario nagenoeg nul. Opgemerkt wordt dat is het ook mogelijk door technische maatregelen bij de uitvoering de worst case infiltratie nog verder te beperken qua debiet (tijdelijk afdekkingen) en qua infiltratie diepte (door slechtdoorlatende lagen heen grond verdringende heipalen toepassen).

Emissie van stortgas bij plaatsing

De emissie van stortgas bij het scenario plaatsing is vergeleken met het nulscenario (zonder tijdelijke opening)

Deze orde van groottes zijn verwaarloosbaar als bijdrage aan de emissie van broeikas gas. Dit geldt zeker wanneer de toename van emissie van het broeikasgas methaan wordt vergeleken met de afname van het broeikas gas kooldioxide vanwege de opwekking van duurzame energie met de windmolen. Ook hier wordt opgemerkt dat het mogelijk is door technische maatregelen bij de uitvoering de worst case emissie nog verder te beperken.

BIJLAGE 1: GEOTECHNISCH ONDERZOEK

RAPPORTAGE
GEOTECHNISCH VELDWERK
betreffende
**GRONDONDERZOEK WINDTURBINES
GELDERMALSEN**

Opdrachtnummer: 1314-0005-000

VERSIE	DATUM	OMSCHRIJVING WIJZIGING	PARAAF PROJECTLEIDER
1	12 maart 2014		GPB

FILE: 1314-0005-000_21.KRV01.doc

RAPPORTAGE GEOTECHNISCH VELDWERK

Project	Grondonderzoek windturbines Geldermalsen	Opdrachtnummer	1314-0005-000
Opdrachtgever	HaskoningDHV Nederland B.V. Postbus 1132 3800 BC AMERSFOORT	Datum rapportage	12 maart 2014
		Uitvoeringsperiode	5 en 6 maart 2014
Opgesteld door	J. Nikkels		
Gecontroleerd door	ing. H. Bijma		
Projectleider	Ing. G.J.P. Boers		
Documentnaam	1314-0005-000_21.KR01.doc		

Deze rapportage bevat de resultaten van het geotechnisch veldwerk dat ten behoeve van bovengenoemd project door Fugro GeoServices B.V. is uitgevoerd. De gerapporteerde resultaten van dit onderzoek mogen slechts worden gehanteerd voor het doel zoals in de opdracht is beschreven.

Tot deze rapportage behoren de volgende bijlagen:

- Situatietekeningen
- Sonderingen
- Continu Elektrisch Sonderen
- Legenda Terreinproeven en Grondsoorten

1. GEOTECHNISCH VELDWERK

Het geotechnisch veldwerk voor dit project heeft bestaan uit 3 sonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand.

Voor een verklaring van de op de situatietekeningen gebruikte tekens en symbolen wordt verwezen naar de bijlage "Legenda Terreinproeven en Grondsoorten".

2. COORDINATEN EN HOOGTE VAN ONDERZOEKSPUNTEN

De hoogte en de coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD. De maximale afwijking van de meting van de coördinaten bedraagt 10 cm, de maximale afwijking van de meting van de hoogte bedraagt 5 cm.

De bijgevoegde situatietekeningen zijn gebruikt voor het aangeven van de onderzoekslocaties.

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.

3. SONDEREN

Het sonderen is uitgevoerd conform de vigerende richtlijnen en de NEN-EN-ISO 22476-1. Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage "Continu Elektrisch Sonderen".

Wanneer de sonderingen gebruikt worden voor de toetsing van geotechnische constructies dient de aard en omvang van het grondonderzoek te voldoen aan 3.2.3 van NEN 9997-1.

Turbine locatie 2, situatietekening bijlage 1.2, is gelegen bovenop een vuilstort. Sonderingen DKM2, DKM2A, DKM2B en DKM2C, DKM2D en DKM2F zijn niet op diepte uitgevoerd in verband met obstakels in de ondergrond.

4. (GROND)WATERSTAND

Het peil van een nabijgelegen open water is gedurende het grondonderzoek bepaald en is vermeld op de situatietekening. Deze waterstand is een eenmalige opname en bedoeld als een oriënterend gegeven.

Tijdens de uitvoering van het grondonderzoek zijn de grondwaterstanden in de sondeergaten van DKM1 en DKM3 aangetroffen op respectievelijk 0,9 m tot 2,1 m beneden maaiveld, hetgeen overeenkomt met circa NAP +2,5 m en NAP +1,7 m. Deze grondwaterstanden zijn eenmalige opnames en bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

5. KWALITEITSBORGING

Alle werkzaamheden zijn verricht in overeenstemming met het managementsysteem van Fugro GeoServices B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2008 en VCA ** 2008/05.

P:\1314-0005-000\21_Uitvoering_terreinonderzoek\10_Basisgegevens\1314-0005-000.dwg

Revisie Datum :

Versie :

dd: 10-03-2014

JNI

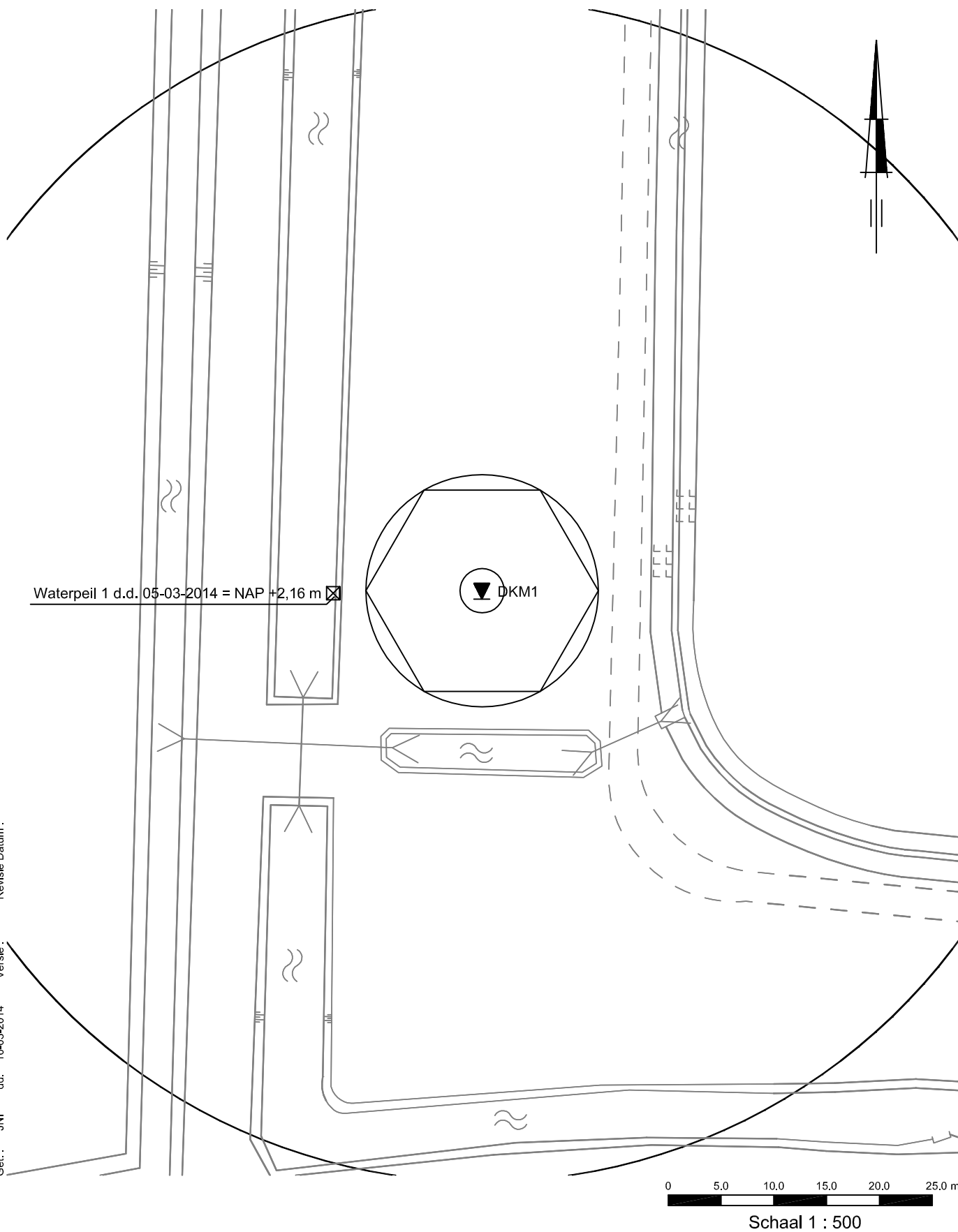
Get. :

SITUATIE

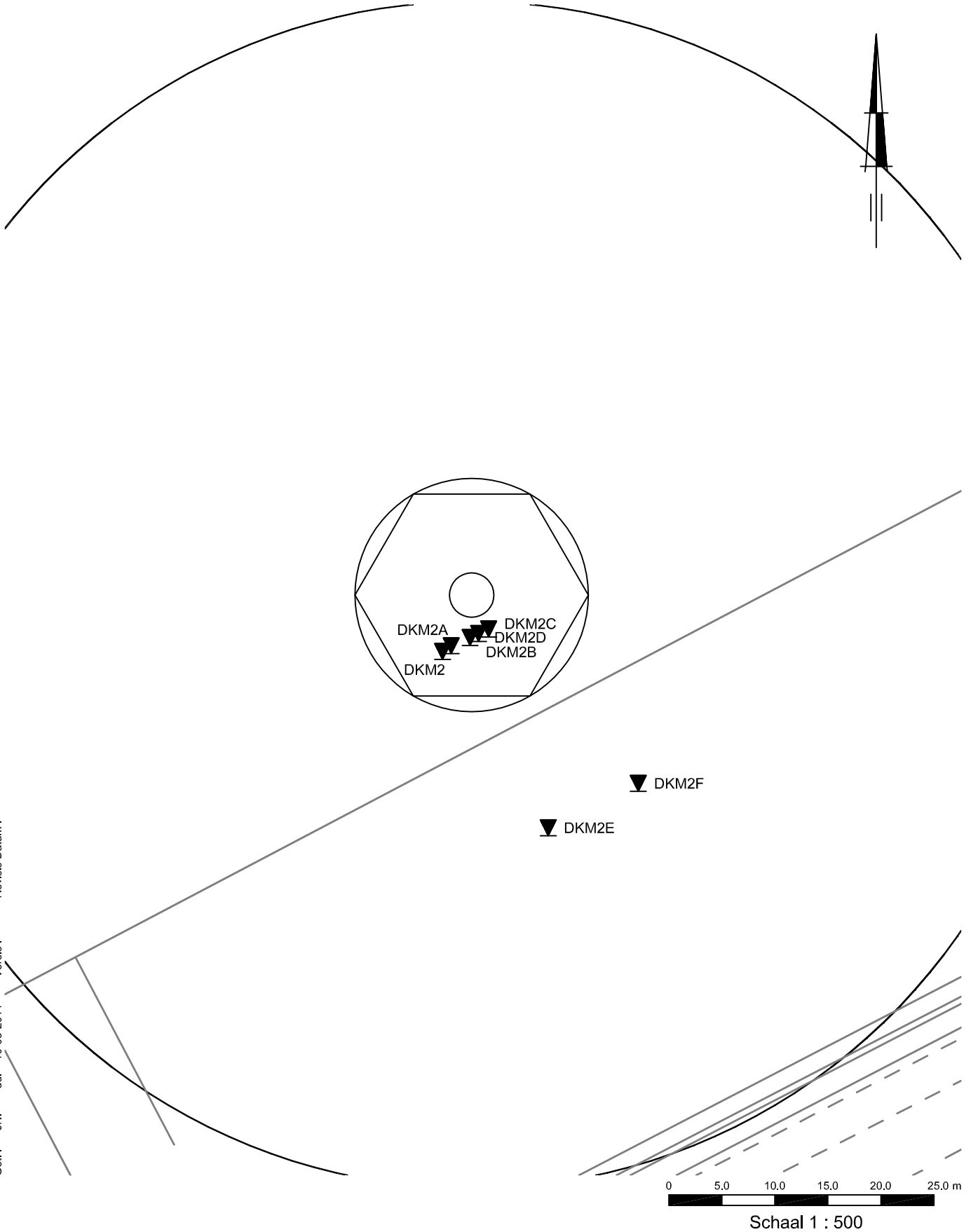
GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. : 1314-0005-000

Bijl. : 1.1



P:\1314-0005-000\21_Uitvoering_terreinonderzoek\10_Basisgegevens\1314-0005-000.dwg
Get.: JNl dd: 10-03-2014
Revisie Datum:



SITUATIE
GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALEN

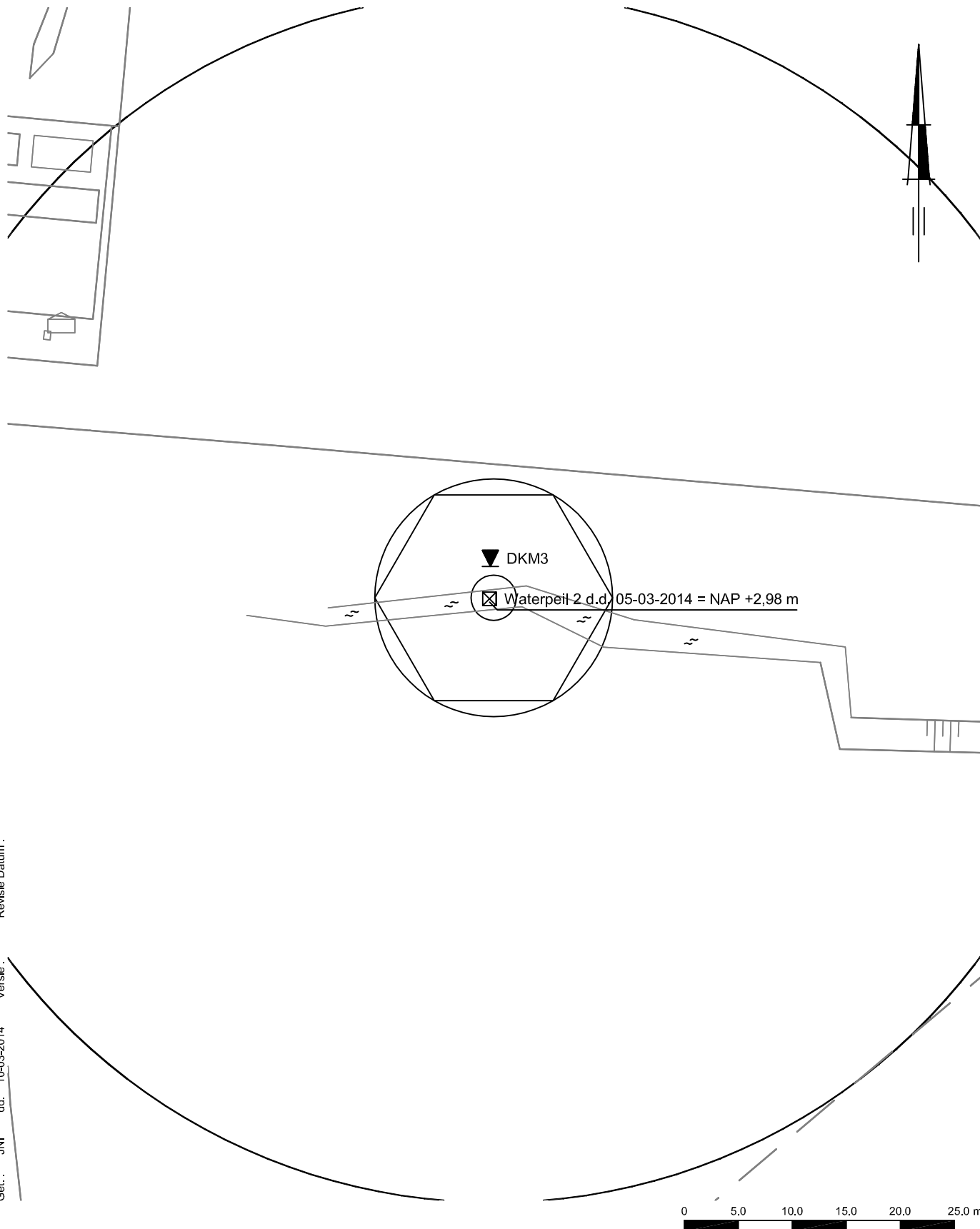
Opdr.: 1314-0005-000
Bijl. : 1.2

P:\1314-0005-000\21_Uitvoering_terreinonderzoek\10_Basisgegevens\1314-0005-000.dwg

Revisie Datum :

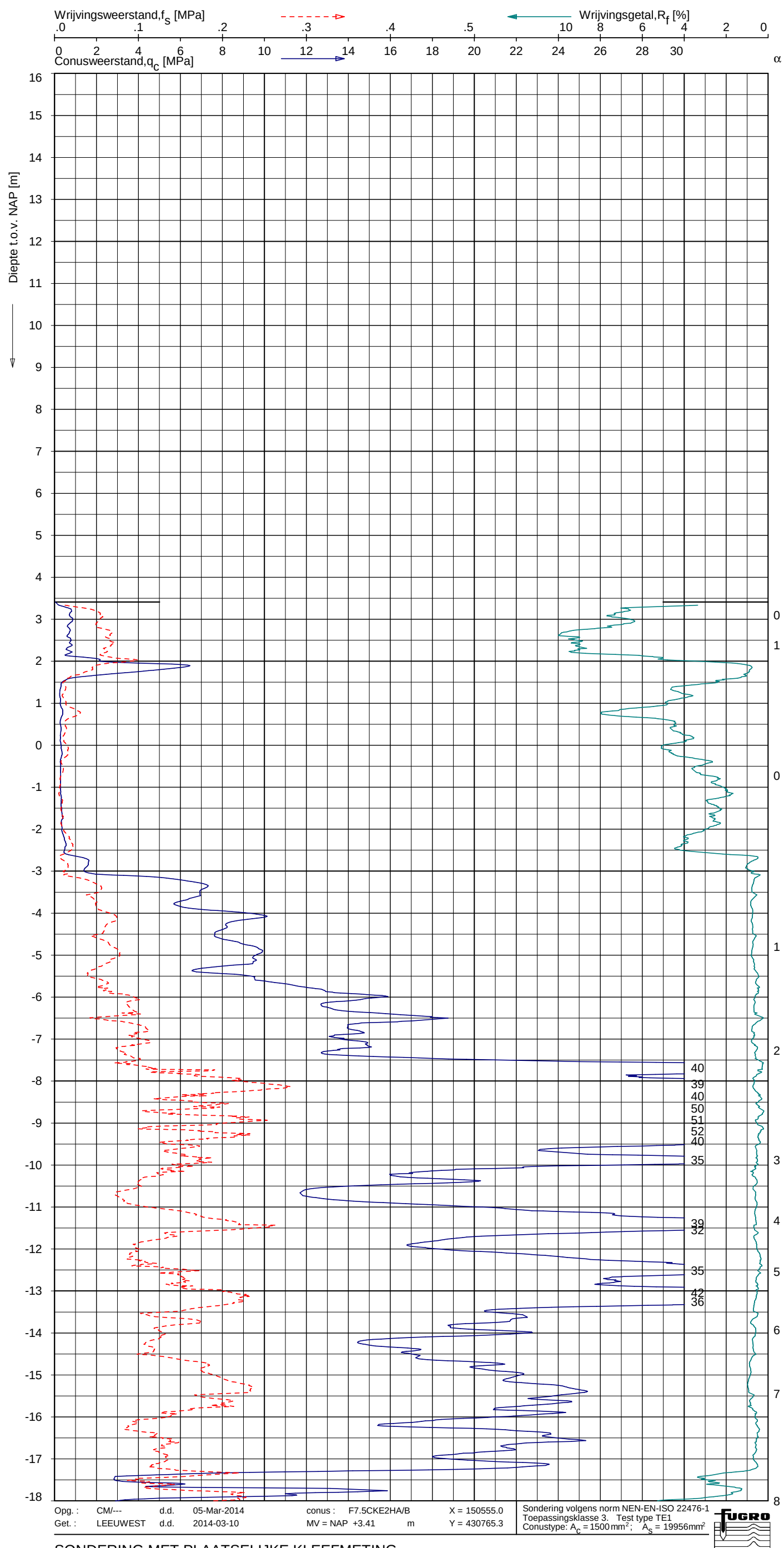
Versie :

Get. : JNl dd: 10-03-2014



SITUATIE
GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

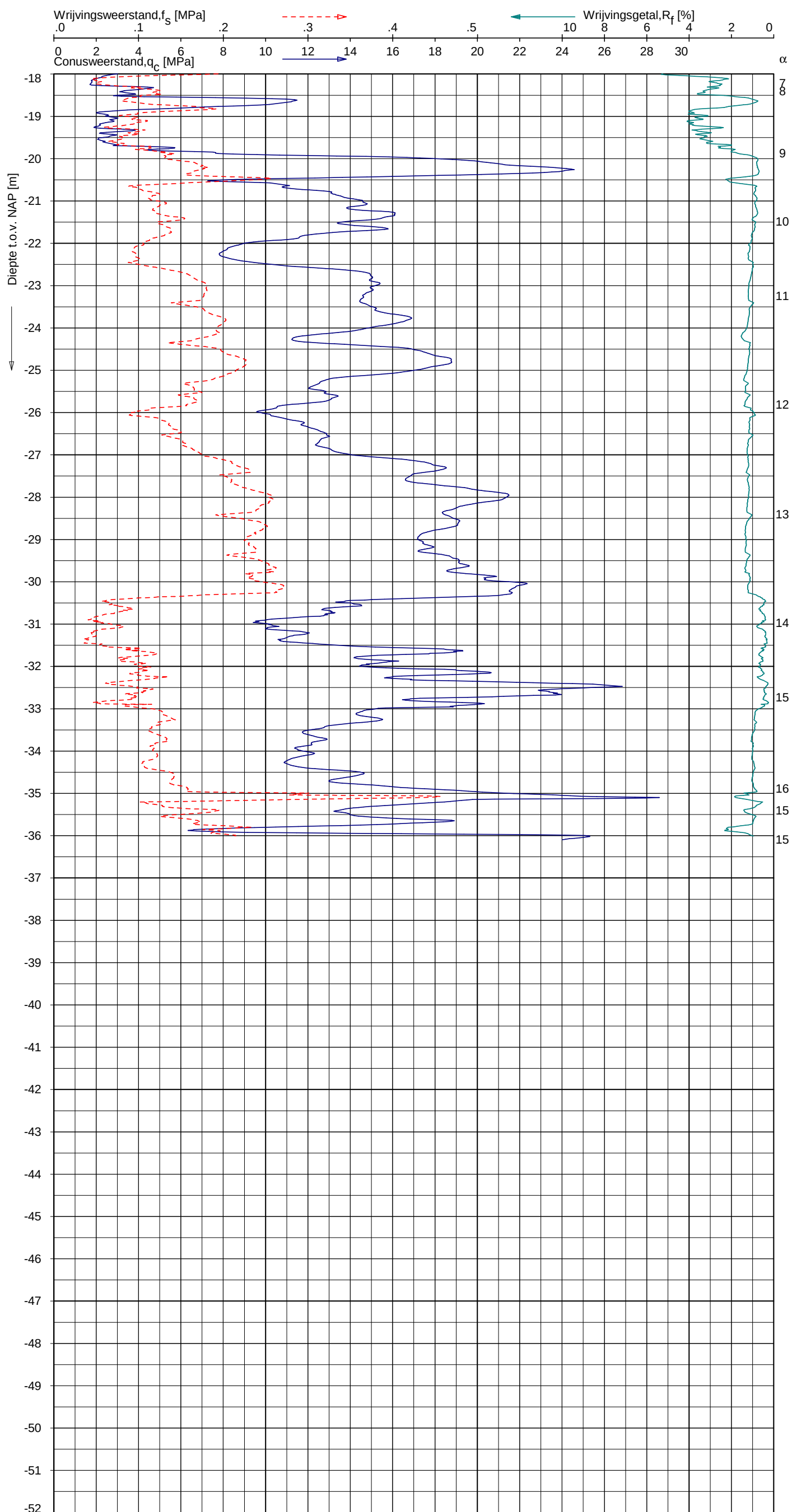
Opdr. : 1314-0005-000
Bijl. : 1.3



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM1



Opg. : CM/--- d.d. 05-Mar-2014 conus : F7.5CKE2HA/B X = 150555.0
Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +3.41 m Y = 430765.3

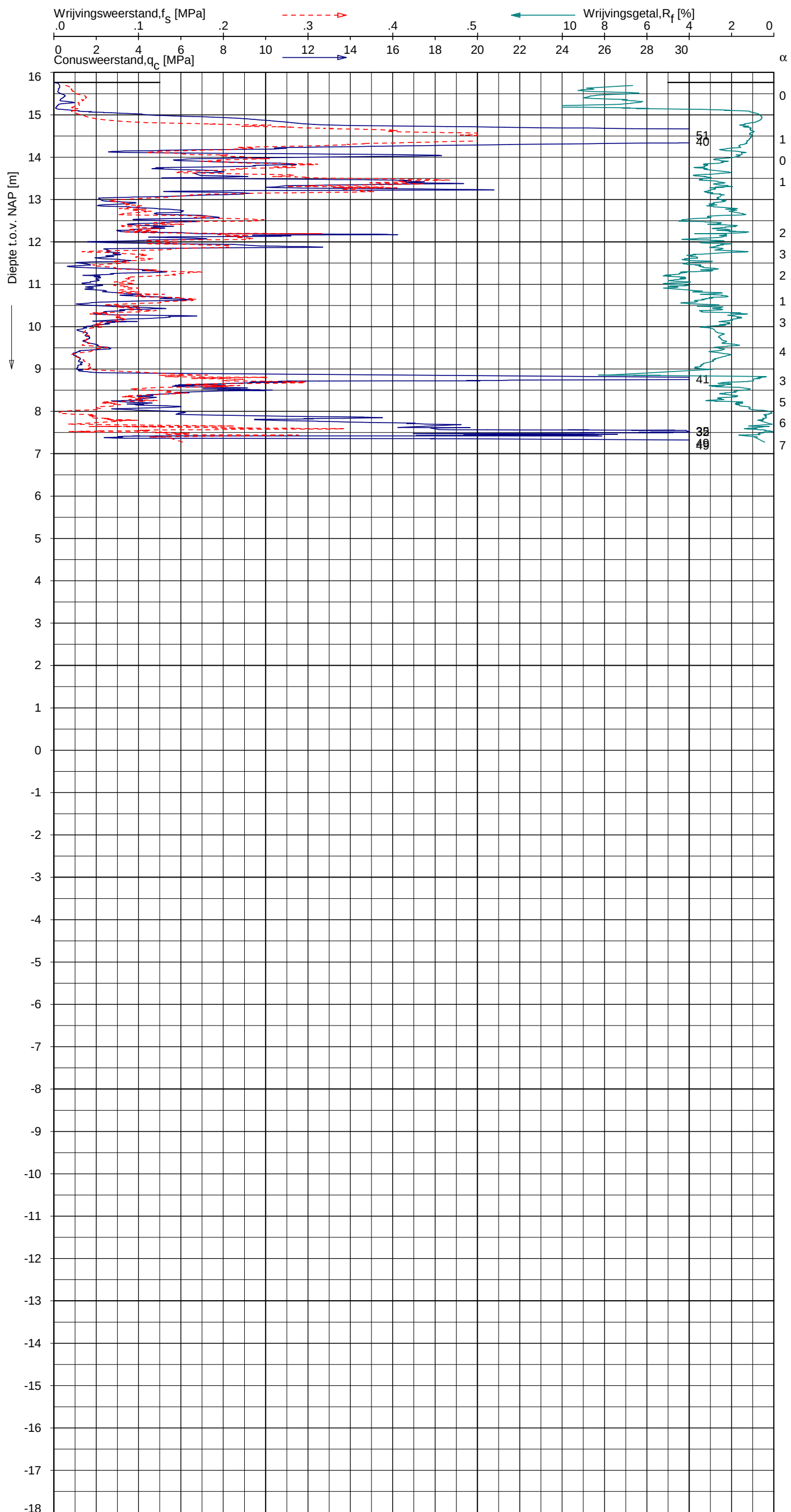
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conus type: $A_c = 1500 \text{ mm}^2$; $A_s = 19956 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM1



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150903.9
 Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.77 m Y = 430889.5

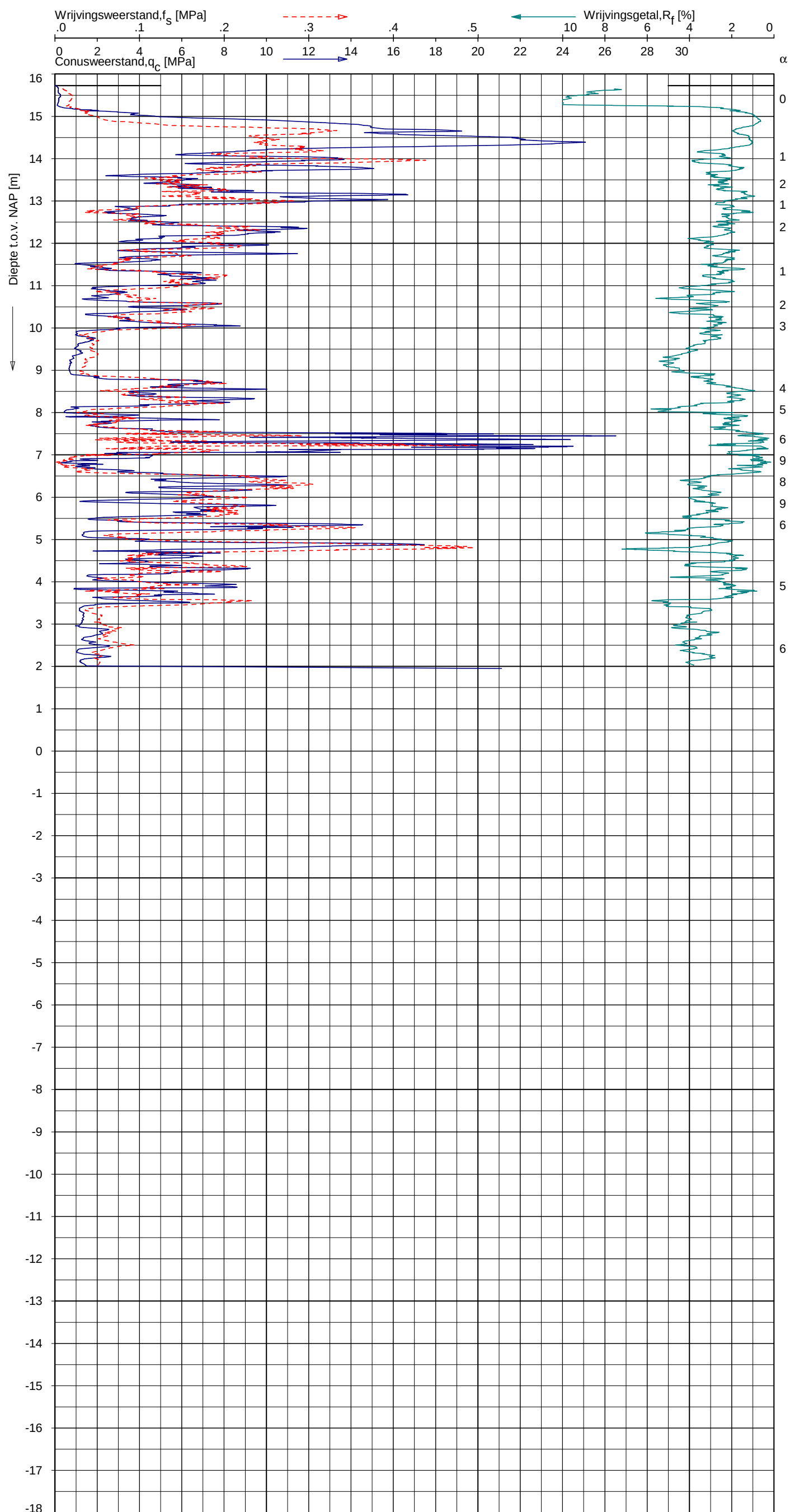
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
 Sond. DKM2



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150904.8
 Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.73 m Y = 430890.0

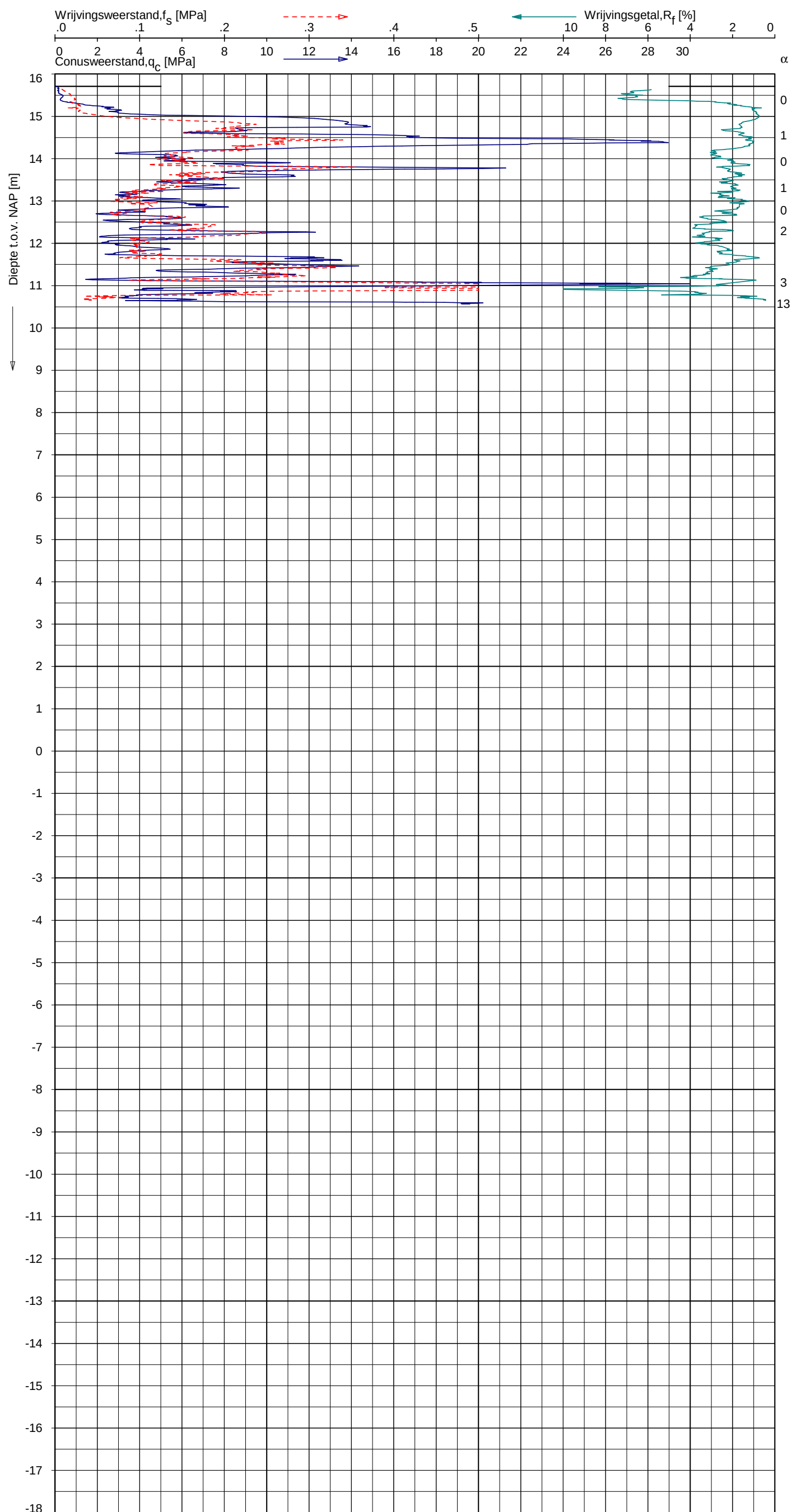
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
 Sond. DKM2A



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150906.5
Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.71 m Y = 430890.8

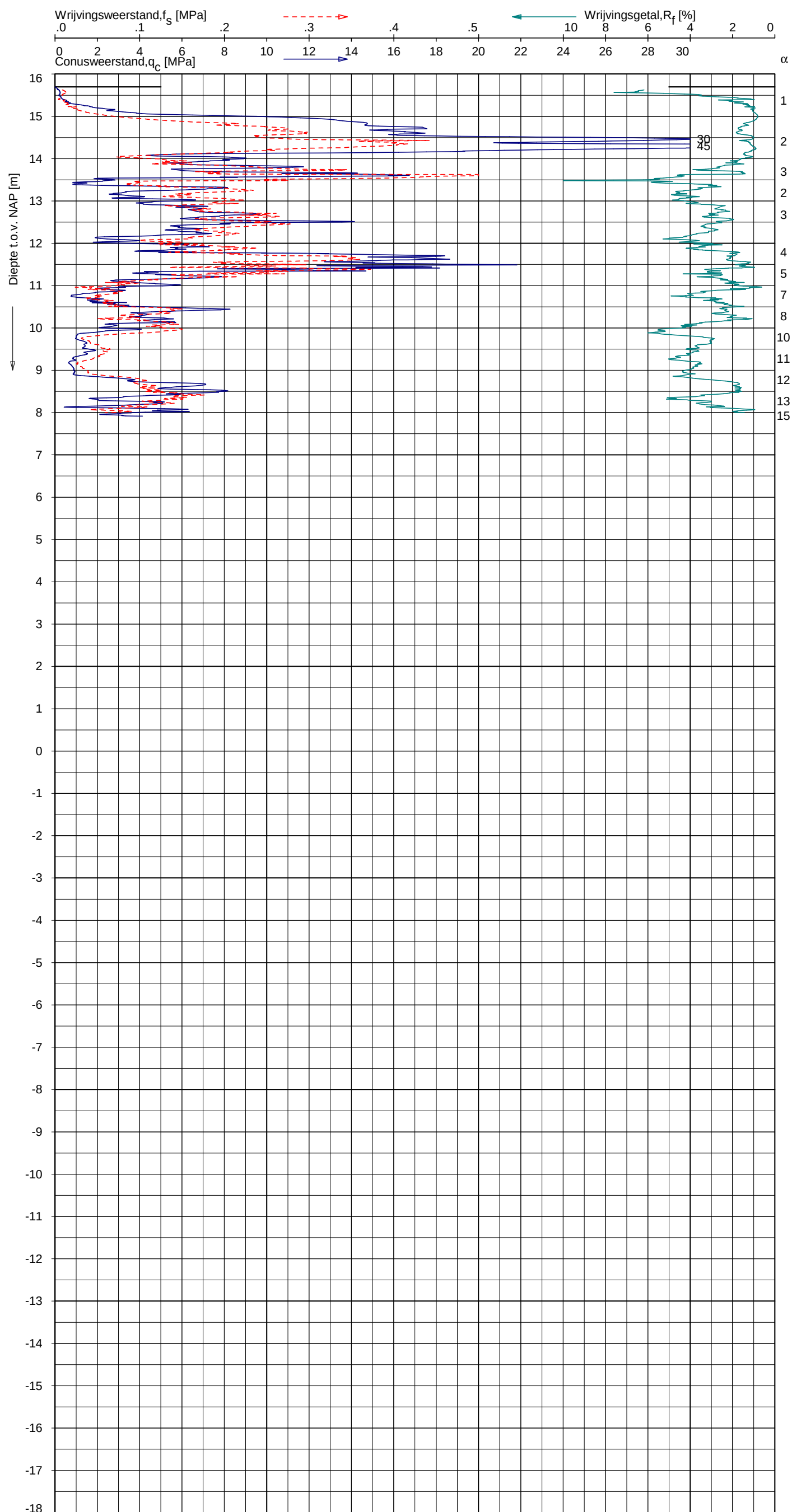
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM2B



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150908.3
Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.70 m Y = 430891.6

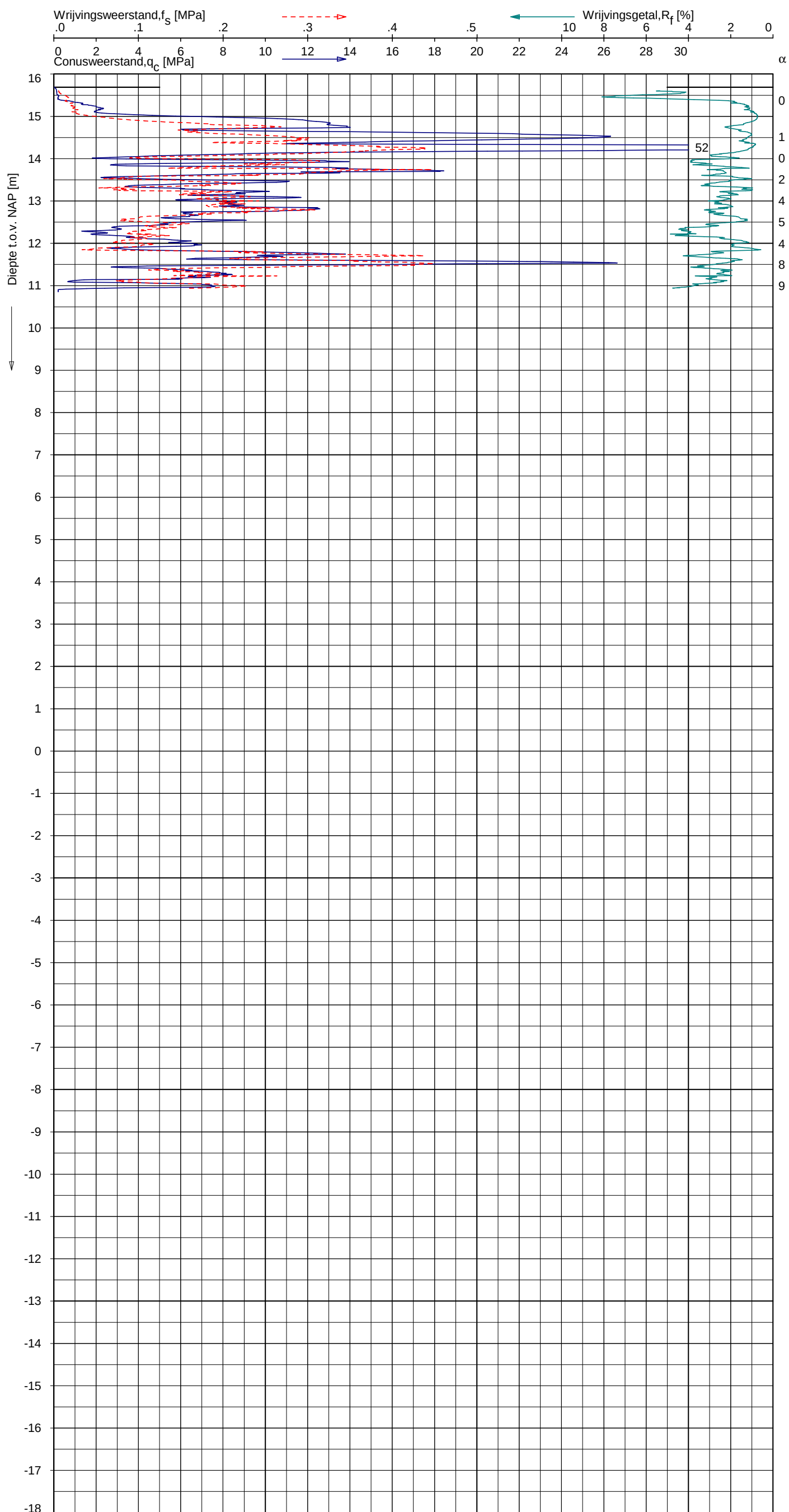
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM2C



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150907.3
Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.69 m Y = 430891.2

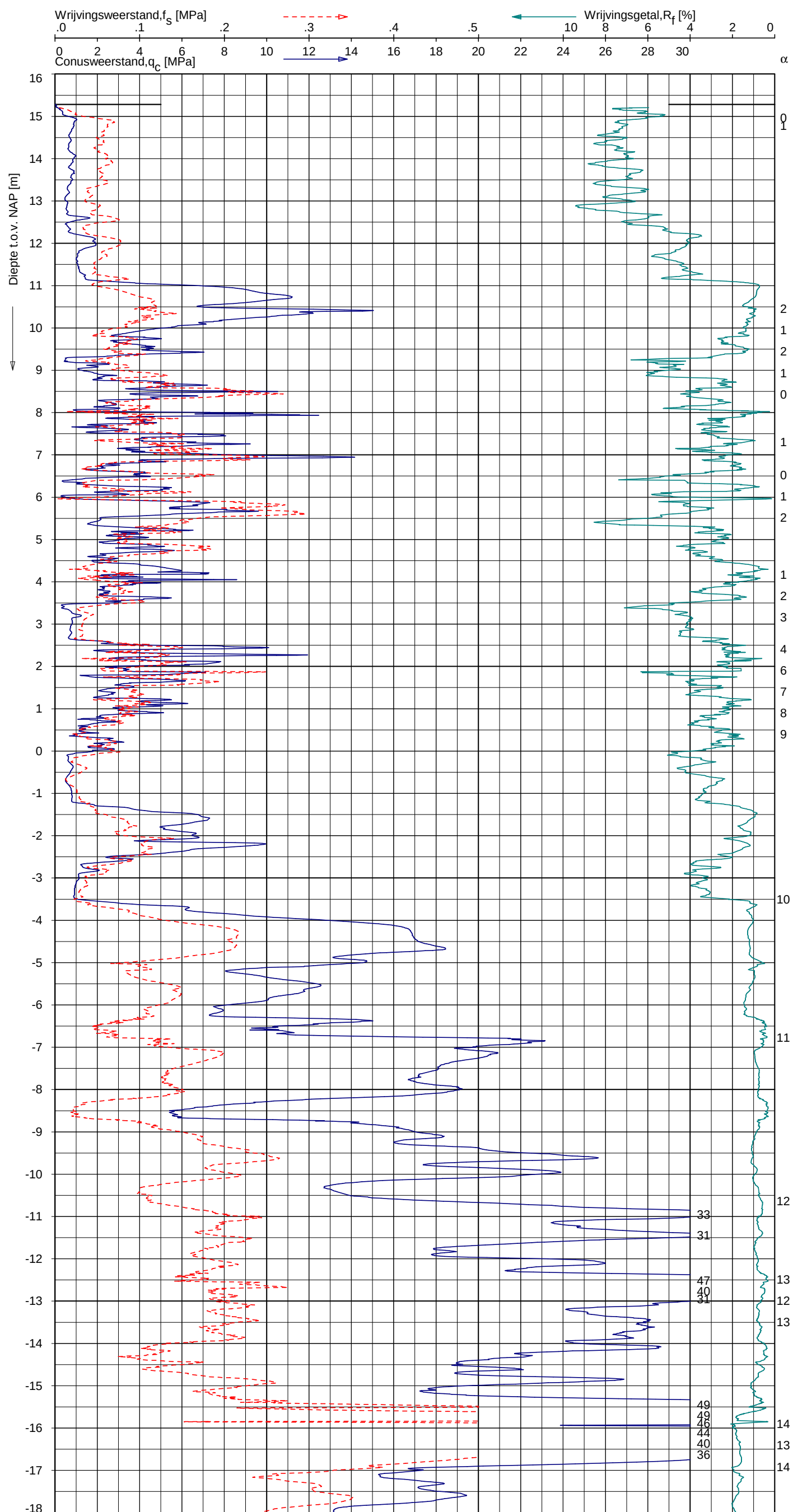
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM2D



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150913.9
 Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.28 m Y = 430872.8

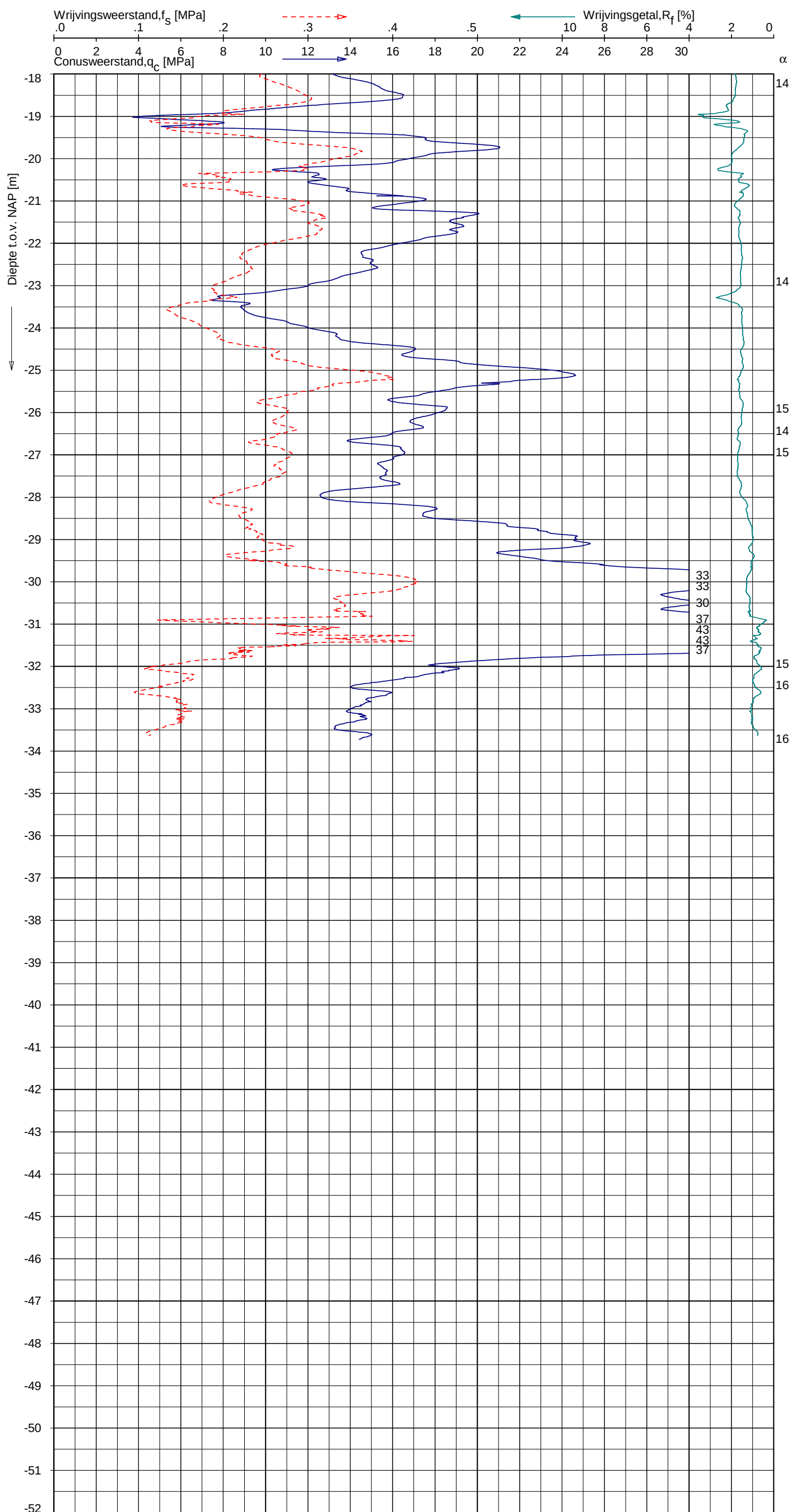
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
 Sond. DKM2E



Opg. : CM/MM d.d. 06-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 150913.9
 Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +15.28 m Y = 430872.8

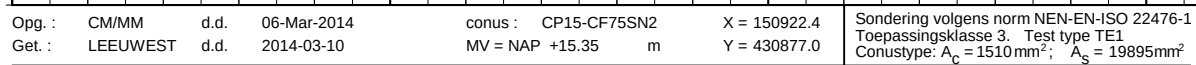
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
 Toepassingsklasse 3. Test type TE1
 Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

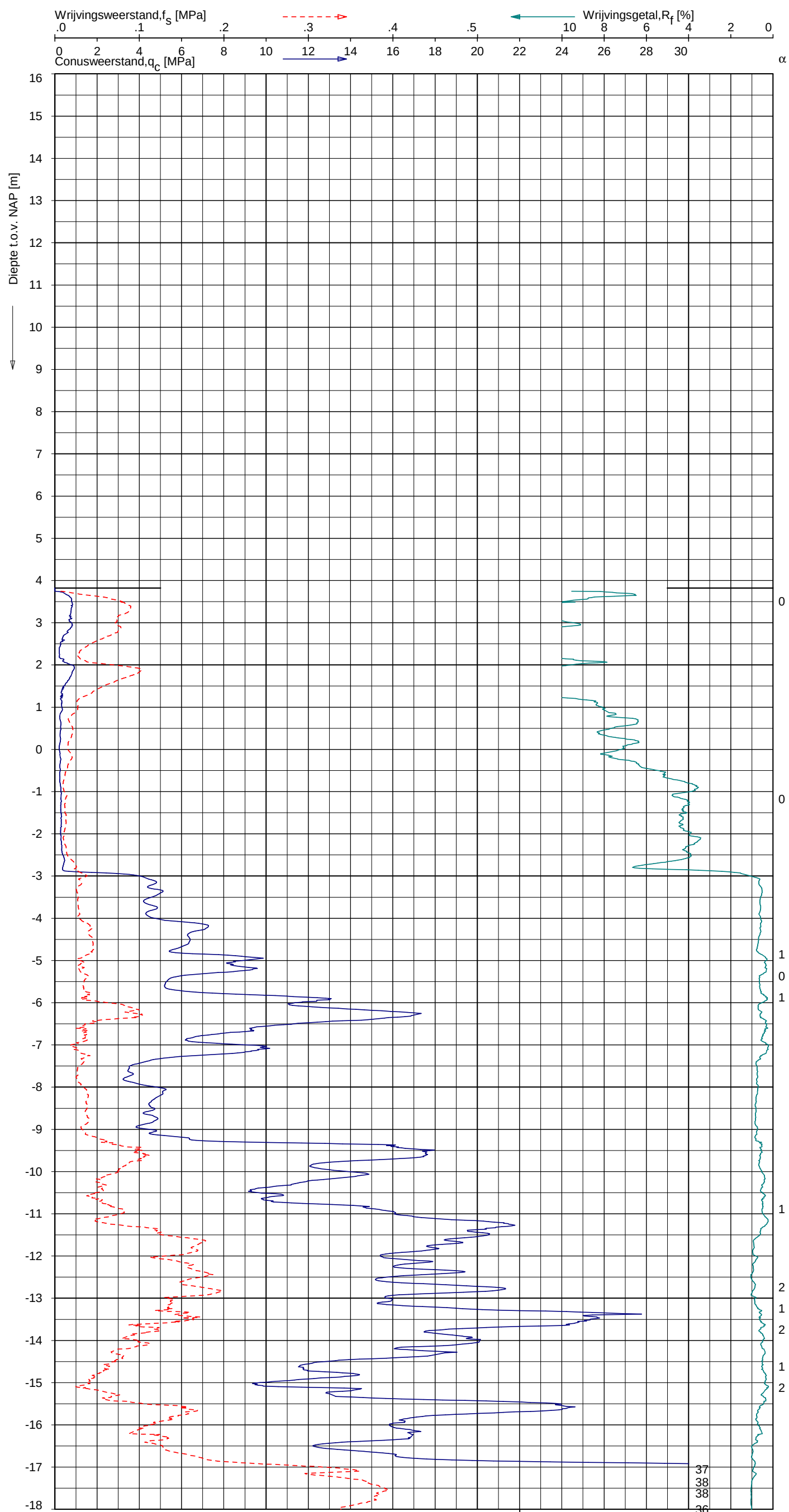


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
 Sond. DKM2E





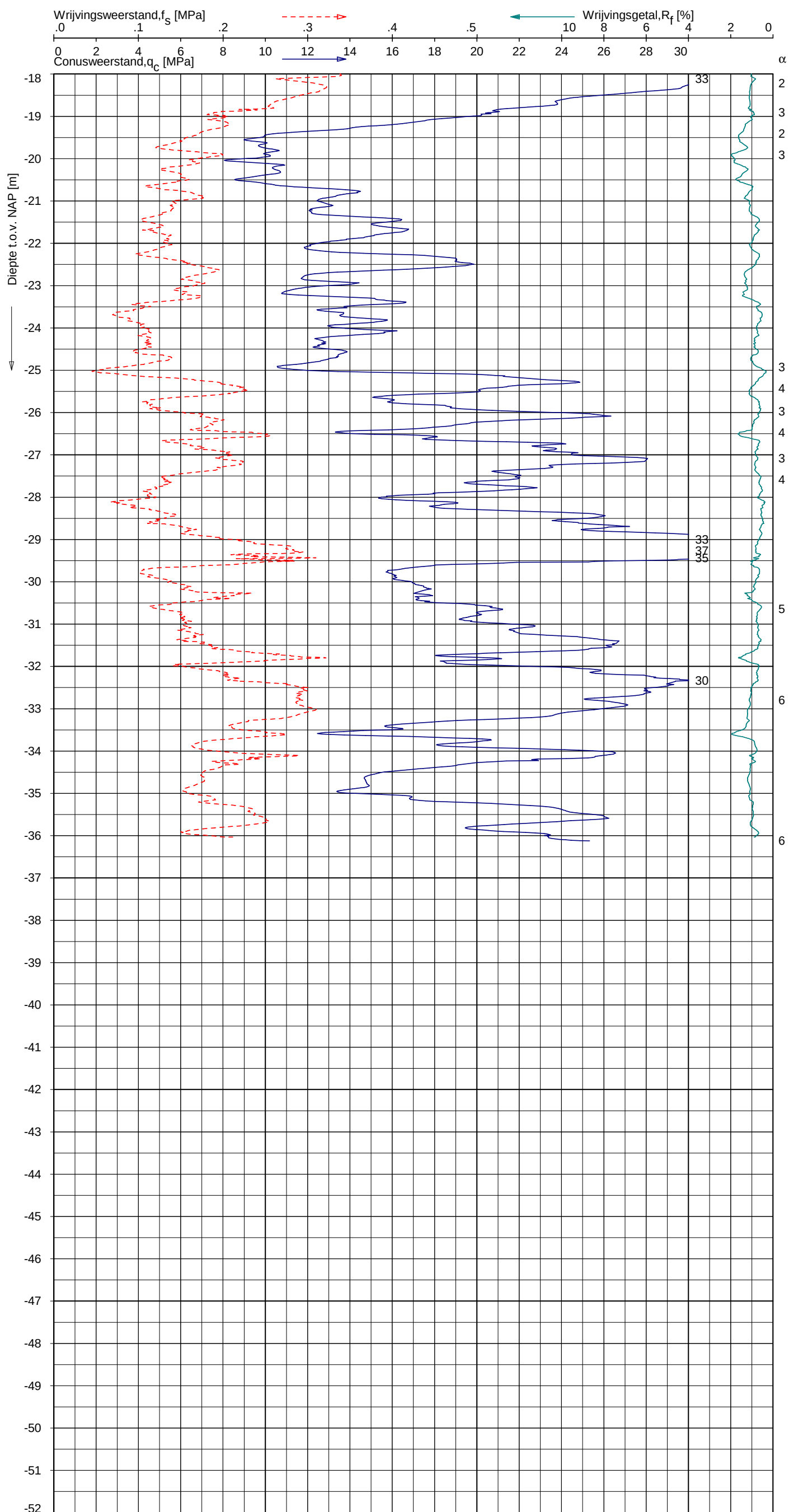
Opg. : CM/--- d.d. 05-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 151219.7
Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +3.82 m Y = 431104.2
Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conus type: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM3



Opg. : CM/--- d.d. 05-Mar-2014 conus : CP15-CF75SN2 X = 151219.7
Get. : LEEUWEST d.d. 2014-03-10 MV = NAP +3.82 m Y = 431104.2

Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1
Toepassingsklasse 3. Test type TE1
Conus type: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$



SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

GRONDONDERZOEK WINDTURBINES GELDERMALSEN

Opdr. 1314-0005-000
Sond. DKM3

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 nieuwe 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 60° 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. Volgens *NEN-EN-ISO 22476-1* mag het basisoppervlak van de conus 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 een lengte heeft van 230 mm in plaats van de genormeerde lengte. Onderzoek¹⁾ heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

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

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

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

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

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, leem, 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.

¹⁾ Lunne en Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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.

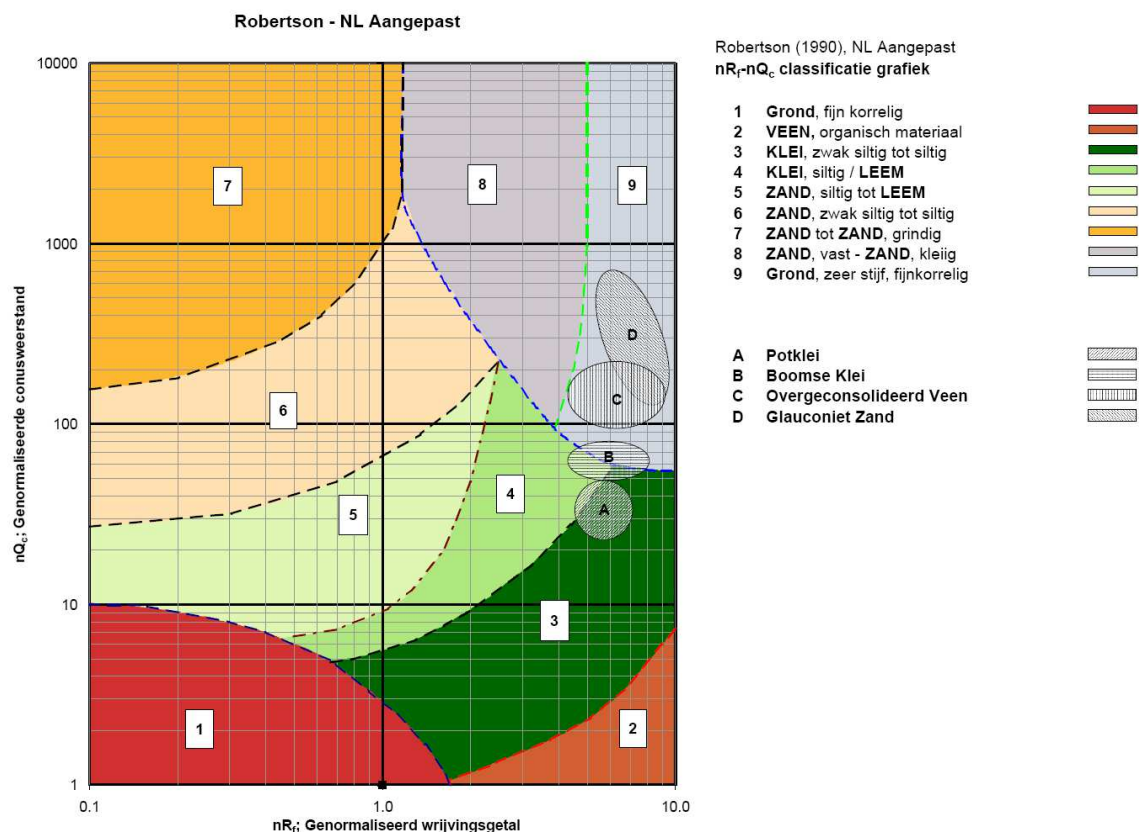
Genormaliseerde conusweerstand:
$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

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

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.
- Bovendien 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.



² Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-8²

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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)

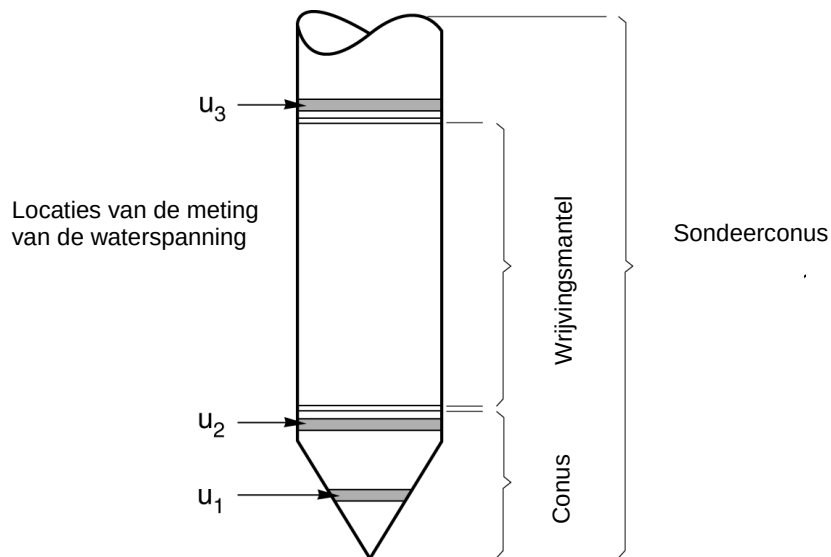
type meting	Meetresultaten	toepassingsmogelijkheden
waterspanning	waterspanning ter plaatse van de punt	registreren waterremmende lagen indicatie stijghoogte grondwater classificatie / gelaagdheid bodem
magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	Blindganger onderzoek, onderzoek 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/drijfslagen en/of verontreinigingen met vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (rapid optical screening tool)	verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen

metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus 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. 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.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN



Figuur 1 Principe piëzo-conus

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 membraam 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 wateroverspanningindex 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

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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 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, rekeninghoudend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningindex B_q wordt als volgt berekend:

$$B_q = \beta \cdot (u_1 - u_0) / q_{net} \quad \text{of} \quad B_q = (u_2 - u_0) / q_{net}$$

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 = $q_c + (1-a) \cdot \{\beta \cdot (u_1 - u_0) + u_0\}$ 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/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 overgeconsolideerde klei	0,5 - 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0 ¹⁾ - 0,3
Leem samendrukbaar	0,5 - 0,6
Leem, vast en dilatant gedrag	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

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat overeen met circa 1/2 uur à 3/4 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, welke de oorspronkelijke NEN 5140 heeft vervangen. De nieuwe elektrische sondeernorm **EN-ISO 22476-1** is in opzet vergelijkbaar met de oude Nederlandse norm NEN 5140 voor elektrische sonderingen. Een verschil tussen norm **EN-ISO 22476-1** met NEN 5140 is dat in de nieuwe norm de nauwkeurigheid van de meetresultaten wordt 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 onderstaande tabel.

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

Toepassing klassen volgens NEN-EN-ISO 22476-1:2012

Toepassing Klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort ^b	Interpretatie ^c
1	TE 2	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 Voor 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) ($q_c < 3$ MPa) B Gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10 \text{ MPa}$) C Gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3 \text{ MPa}$) en zeer dichte zanden ($q_c > 20 \text{ MPa}$) D Zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3 \text{ MPa}$) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20 \text{ MPa}$) ^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 conusweerstand onmogelijk om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde

CONTINU ELEKTRISCH SONDEREN

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 tenminste in toepassingsklasse 3 vallen en voor een groot deel binnen klasse 2. Sonderingen volgens toepassingsklasse 3 in de nieuwe norm zijn vergelijkbaar met sonderingen volgens klasse 2 van de oude NEN 5140.

Toepassingklasse 1 sonderingen kunnen alleen met speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik en een kleibodemprofiel met $q_c < 3$ MPa worden bereikt. In bodemprofielen waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen kan de hoogste meetnauwkeurigheid van klasse 1 enigszins worden benaderd door aanvullende maatregelen en procedures. Toepassingklasse 2 sonderingen kunnen in bodemprofielen, waarin zowel zeer slappe lagen als zeer vaste lagen voorkomen, alleen worden verkregen door toepassing van digitale conussen met regelmatige calibraties, aanvullende uitvoeringsmaatregelen en kwaliteitscontroles. Toepassingsklasse 1 is in deze bodem niet haalbaar. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van calibraties 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**.

Klassenindeling NEN 5140

De norm NEN 5140 ging uit van vier kwaliteitsklassen. 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 conusweerstand, plaatselijke wrijvingsweerstand en diepte, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

klasse	Meetgrootheid	toelaatbare meetonzekerheid	meetinterval
1	Conusweerstand	0,05 MPa of 3%	20 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,01 MPa of 10%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 1 %	
2	Conusweerstand	0,25 MPa of 5%	50 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 15%	
	Helling	2°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
3	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Helling	5°	
	Sondeerdiepte	0,2 m of 2 %	
4	Conusweerstand	0,5 MPa of 5%	100 mm
	Plaatselijke wrijvingsweerstand	0,05 MPa of 20%	
	Sondeerlengte	0,1 m of 1%	
Opmerking: De toelaatbare meetonzekerheid is de grotere waarde van de absolute meetonzekerheid en de relatieve meetonzekerheid. De relatieve meetonzekerheid geldt voor de meetwaarde en niet voor het meetbereik.			

Vergelijking van de gespecificeerde nauwkeurigheden van de NEN 5140 en NEN-EN-ISO 22476-1 laat zien dat de nauwkeurigheid van de meest in NL gehanteerde sondeerklasse 2 volgens NEN 5140 iets hoger ligt dan die van de toepassingklasse 3 volgens de ISO norm.

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

Overige symbolen

	Meetpunt
	Hoogtemaat

Type sonderingen

D	Diepsondering
HS	Handsondering
S	Slagsondering

Legenda / Terminologie

Grind

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

Zand

	Zand, kleilig
	Zand, zwak siltig
	Zand, matig siltig
	Zand, sterk siltig
	Zand, uiterst siltig

Veen

	Veen, mineraalarm
	Veen, zwak kleilig
	Veen, sterk kleilig
	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

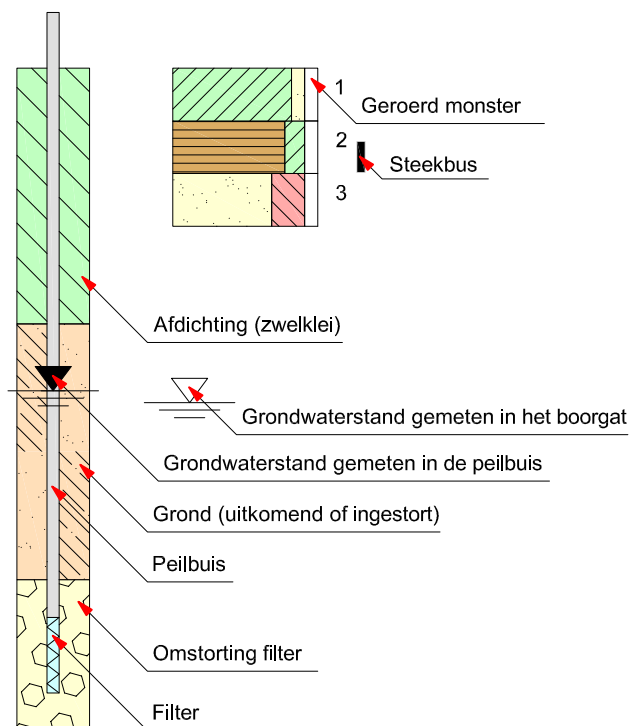
Sonderingen

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

Toegevoegde metingen

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

Peilbuis



BIJLAGE 2: ONTWERP SHEET PALEN

Project :		BC7579 Winvast		
Part :		AVRI Geldermalsen		
Wind turbine foundation: tapered circular plate on piles				
type windturbine :		V112-3,0 MW-HH94 IEC IIA		
loads on foundation:		extreme ULS	operational SLS	fatigue equivalent
horizontal load	Fx [kN] :	725	0	389
vertical load	Fz [kN] :	4190	0	4227
overturning moment	My [kNm] :	67300	0	31200
size and loads:	foundation		no. of piles	32
diameter	18,00	operational / fatigue load: fatigue		
height in center	2,72	pedestal [yes/no]: no		
height at edge	1,60	soil cover [yes/no]: no		
upward ground water load [kN/m2]	0,0	top foundation to ground level: 0,00		
area [m2]	254,47	max. ground water to ground level: -2,72		
specific weight of concrete[kN/m3]	24,0	foundation below ground water 0,00		
volume of concrete (excl. pedestal) [m3]	540,05	turbine	total	per pile
operating load [kN]	12961	4227	17188	537
partial factor	1,00	1,00		
ground water load (upward) [kN]	0		0	0
partial factor ground water	1,00			
extreme load [kN]	12961	4190	17151	536
minimum partial factor	0,90	0,90		
Fs;d,min (incl. water) [kN]	11665	3771	15436	482
maximum partial factor	1,35	1,35		
Fs;d,max [kN]	17498	5657	23154	724
pile load	during operation		extreme loads	
Mrep bottom [kNm]	32490		69707	
Mrep centre of gravity [kNm]	32075		68933	
reduction factor reference period	1,00		1,00	
maximum partial factor	1,00		1,35	
Ms;d,max - bottom foundation [kNm]	32490		94104	
Ms;d,max - centre of gravity [kNm]	32075		93059	
distance pile to centre / c.t.c.piles [m]	8,50		1,67	
	maximum	minimum	maximum	minimum
Fs;d;cyclic - bottom foundation [kN]	239	-239		
Fs;d,quasi static - bottom foundation [kN]			692	-692
Fs;d;cyclic - centre of gravity [kN]	236	-236		
Fs;d,quasi static - centre of gravity [kN]			684	-684
Fs;d,permanent (static) [kN]	537	537	724	482
pile load bottom of foundation [kN]	776	298	1416	-210
pile load verification DIANA-analyses [kN]	773	301	1408	-202

BIJLAGE 3: GLOBALE KOSTENRAMING

RHDHV

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
post	omschrijving	Lengte	Breedte	diepte/ hoogte	divers	eenheid	hoeveelheid	prijs	totaal

Bouwkosten

Algemene uitgangspunten:

- Quick scan bouwkosten

1 Directe kosten

Vorbereiding

Inmeting/Survey

	€	-	
post	1,00 €	-	€ -

Grondwerk

Diversen+ aansluiting op bestaand bodemafluiting

	€	10.000,0	
post	1,00 €	10.000,0	€ 10.000,0

Palen

Voorheien paallocaties

17,5	32	m	560,00 €	10,0 €	5.600,0
------	----	---	----------	--------	---------

Leveren en aanbrengen hei palen (incl. 4 reserve palen)

27,5	36	m	990,00 €	80,0 €	79.200,0
------	----	---	----------	--------	----------

Verwijderen paalkoppen

	32	m3	32,00 €	100,0 €	3.200,0
--	----	----	---------	---------	---------

Akoustisch testen

	32	stuk	32,00 €	10,0 €	320,0
--	----	------	---------	--------	-------

WTG Fundering

Werkvloer (rond)

	65	m3	65,00 €	11,0 €	715,0
--	----	----	---------	--------	-------

Bekisting (rond)

56,5	1	1,5	86,25 €	95,0 €	8.193,8
------	---	-----	---------	--------	---------

Wapening (120kg/m3)

	64800	kg	64.800,00 €	1,0 €	64.800,0
--	-------	----	-------------	-------	----------

Leveren en aanbrengen beton C30/37

	540	m3	540,00 €	84,0 €	45.360,0
--	-----	----	----------	--------	----------

Overige werken en kosten

anchor cage, cable ducts, grouting, earthing etc.

	€	12.500,0	
post	1,00 €	5.000,0	€ 5.000,0

site costs

post	1,00 €	7.500,0	€ 7.500,0
------	--------	---------	-----------

...

...	0,00 €	-	€ -
-----	--------	---	-----

totaal Directe kosten

Excl BTW

€ 229.888,8

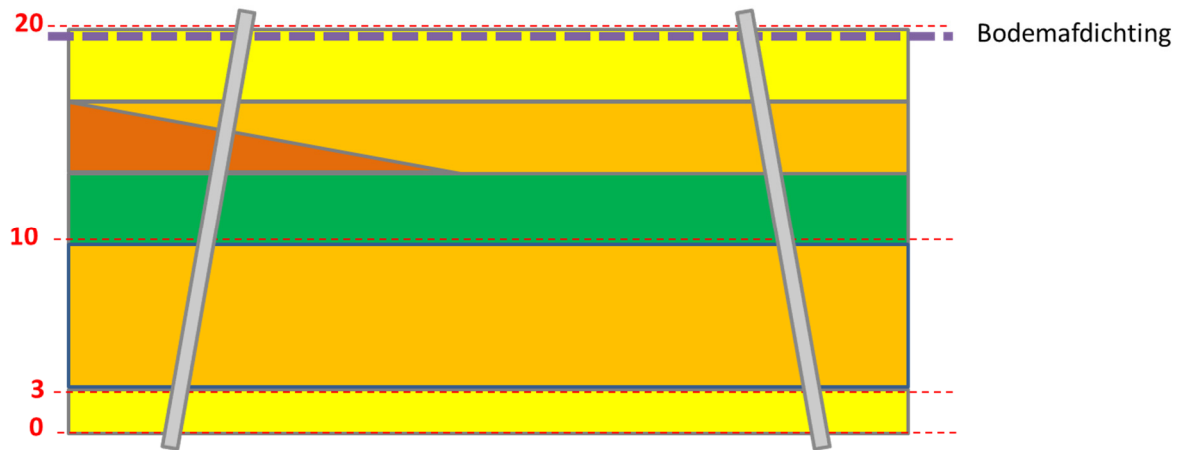
W&R	6% €	13.793,3	€ 13.793,3
AK	8% €	18.391,1	€ 18.391,1

€ 262.073,2 Excl BTW

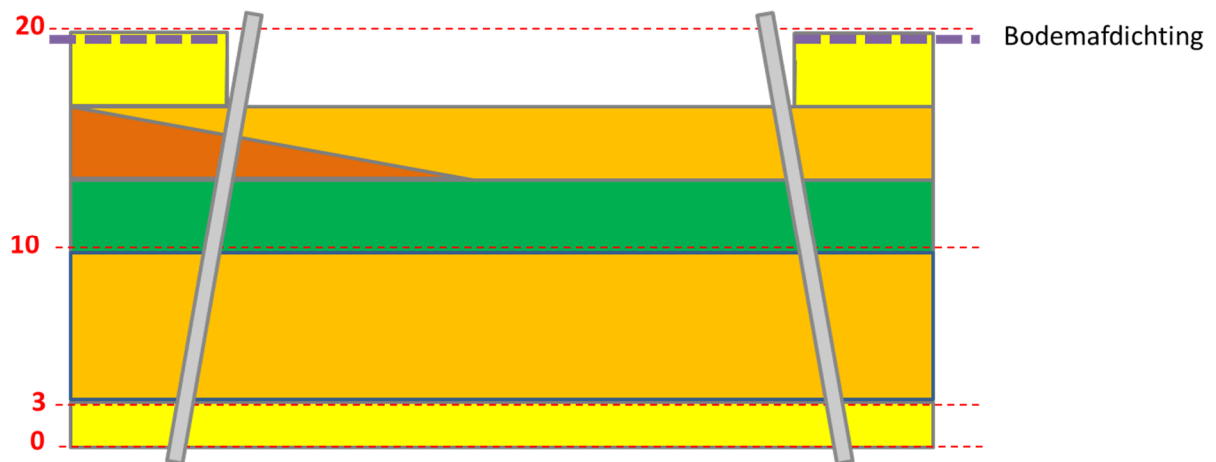
BTW	21% €	262.073,2	€ 55.035,4
-----	-------	-----------	------------

€ 317.108,5 Incl BTW

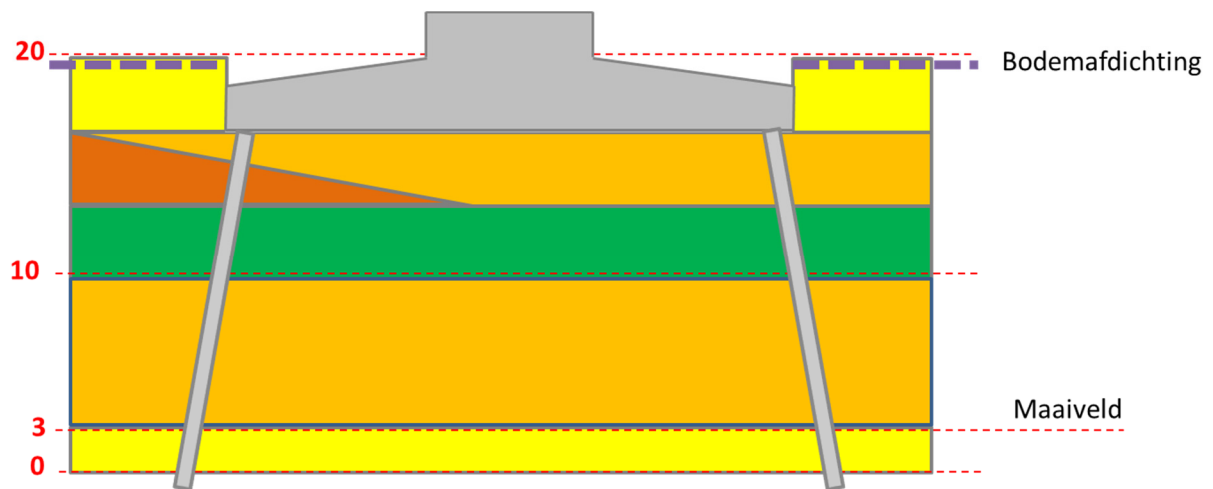
BIJLAGE 4: VERDIEPT AANLEGGEN FUNDERING



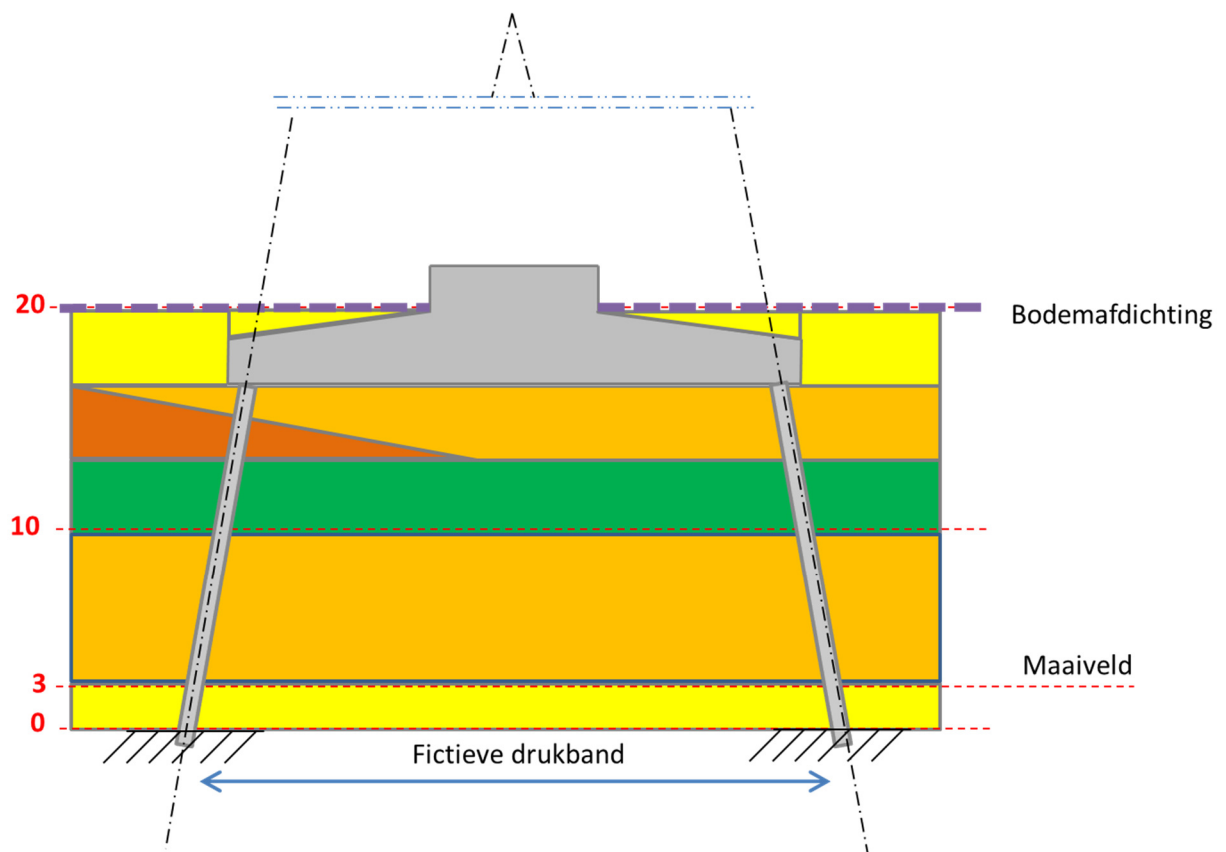
Figuur 6: Aanbrengen palen door bodemafluiting



Figuur 7: Uitgraven bouwput door gewenste diepte



Figuur 8: Koppelen snellen en bouwen van betonnen fundatie



Figuur 9: Aanvullen bouwput, herstellen bodemafluiting en aanhechting aan fundering