



Bedrijfshal Coolrec te Dordrecht

Advies fundering op palen | Dordrecht

6424-249361-64-R01 | 3 april 2024

Definitief

Coolrec Nederland B.V.

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	Bedrijfshal Coolrec te Dordrecht
Documentnaam	Advies fundering op palen
Fugro-projectnr.	6424-249361
Fugro-documentnr.	6424-249361-64-R01
Versienummer	2.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Edisonlaan 1B, 6003 DB Weert

Klantgegevens

Klant	Coolrec Nederland B.V.
Adres klant	Grevelingenweg 3, 3313 LB Dordrecht
Contactpersoon klant	██████████

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	22-02-2024	Definitief	Oriënterend advies	██	██	██
2.0	03-04-2024	Definitief	Aanpassing beddingsconstante voor verkeersbelasting	██	██	██

Projectteam

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

Inhoudsopgave

1.	Algemene toelichting	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Projectomschrijving	1
2.	Funderingsadvies	2
2.1	Algemeen	2
2.2	Uitgangspunten	2
2.3	Op druk belaste palen	3
2.4	Op trek belaste palen	5
2.5	Beddingsconstante bestaande vloer	7
3.	Uitvoering	8
3.1	Vibropalen	8

Bijlagen

Bijlage A Geotechnisch onderzoek

A.1 Maatgevende sonderingen 7011-0367-000

Bijlage B Berekening negatieve kleef

B.1 Uitgangspunten

B.2 Berekening negatieve kleef

Bijlage C Berekening en toetsing rekenwaarde netto draagkracht

C.1 Uitgangspunten

C.2 Maximale draagkracht van de paalpunt

C.3 Maximale paalschachtwrijving

C.4 Maximale draagkracht

Bijlage D Uitvoeringsaspecten

D.1 Uitvoering heiwerk vibropalen

1. Algemene toelichting

1.1 Inleiding

Op 6 februari 2024 ontving Fugro te Weert van Coolrec Nederland B.V. de opdracht voor het uitvoeren van een geotechnisch onderzoek alsmede het uitbrengen van een funderingsadvies voor het project "Bedrijfshal Coolrec te Dordrecht". Gezien de slechte bereikbaarheid is besloten dat benodigde extra sonderingen na sloop van de bestaande opstallen zullen worden uitgevoerd. Hierna zal het funderingsadvies definitief worden gemaakt.

Op de projectlocatie is door Fugro eerder onder opdrachtnummer 7011-0367-000 een geotechnisch onderzoek uitgevoerd bestaande uit 163 sonderingen. Van dit onderzoek zijn de sonderingen DKM155, DKM156, DKM162 en DKM163 maatgevend voor onderhavig project. Volledigheidshalve zijn deze sonderingen aan deze rapportage toegevoegd.

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 funderingsadvies en berekening van de draagkracht (hoofdstuk 2);
- Aanbevelingen met betrekking tot de uitvoering (hoofdstuk 3).

1.2 Projectomschrijving

De bouwlocatie is gelegen aan de Grevelingenweg 3 te Dordrecht.

Het plan betreft de nieuwbouw van een nieuwe stalen bedrijfshal met afmetingen 40 m bij 25 m en een hoogte van circa 12 m.

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. Funderingsadvies

2.1 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 vibropalen met heidend getrokken buis. Deze funderingsoplossing is in de volgende paragrafen van dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

Bij het opstellen van het advies was niet bekend of trillingsgevoelige bebouwing in de nabije omgeving aanwezig is. Indien dit het geval is, dient te worden overwogen een trillingsvrij paalsysteem toe te passen teneinde gevolgschade tijdens het heien te voorkomen.

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

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

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

2.2 Uitgangspunten

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

- De rekenwaarde (UGT) voor de paalbelasting vanuit de constructie ($F_{c,d}$) bedraagt maximaal 350 kN;
- De rekenwaarde (UGT) voor de belasting op trek bedraagt maximaal 175 kN.
- Het terrein zal niet significant worden opgehoogd of ontgraven.

2.3 Op druk belaste palen

Voor het funderingsadvies voor op druk belaste palen is voor diverse schachtafmetingen van vibropalen op gekozen paalpuntniveaus de rekenwaarde van de draagkracht van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de paal draagkracht

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	$R_{net;d}$ in kN In de grond gevormde, grondverdringende betonpalen, type Vibro		
			Ø 300/330 mm	Ø 356/400 mm	Ø 406/465 mm
DKM155	+3,46	-7,0	320	420	530
		-7,5	360	470	580
		-8,0	400	540	680
		-8,5	430	580	490
		-9,0 od	360	430	530
DKM156	+3,27	-8,0	270	370	490
		-8,5	400	540	690
		-9,0 od	470	640	810
DKM162	+3,67	-6,0	320	390	400
		-6,5	295	340	440
		-7,0	300	400	500
		-7,5	340	440	540
		-8,0 od	400	560	690
DKM163	+3,68	-6,5	250	330	430
		-7,0	300	400	510
		-7,5	340	450	550
		-8,0 od	410	550	690
Opmerkingen					
$R_{cnet;d}$ = rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal, rekening houdend met negatieve kleef (= $R_{cd} - F_{nk;d}$)					
od = of dieper					
Ø 356/400 = schachtdiameter (d) = Ø 356 mm; punt diameter (D) = Ø 400 mm. Hierbij wordt voldaan aan 7.6.2.3(g) van NEN 9997-1: $D^2_{eq}/d^2_{eq} < 1,5$					

Bij het indelen van het palenplan, dient het verschil in paalpuntniveau van naast elkaar gelegen vakken bij voorkeur niet groter dan ca. 2,0 m te worden gekozen.

De aard en omvang van het geotechnisch onderzoek voldoet in dit stadium, door het niet bereikbaar zijn van een aantal sonderlocaties, nog niet aan 3.2.3 van NEN 9997-1 voor de toetsing van geotechnische constructies. Na sloop van de bestaande opstallen zal aanvullend grondonderzoek worden uitgevoerd waarna het funderingsadvies definitief kan worden gemaakt.

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 ($F_{nk;d}$) 109 kN per m¹ paalomtrek worden gehanteerd. Bij heiafwijkingen kunnen de schachtspanningen in de paal maatgevend worden.

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.

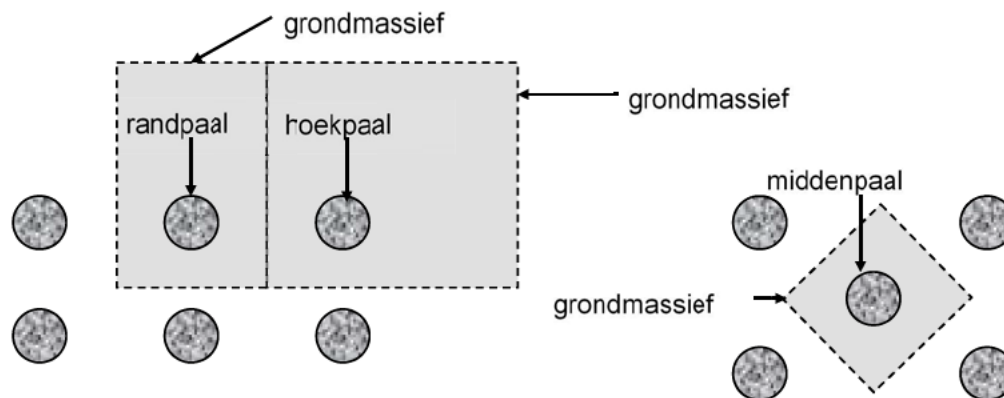
Voor de berekening van de rekenwaarde van de maximale draagkracht en de toetsing van de UGT type B volgens 7.6.2.3 van NEN 9997-1 zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- 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 voor de factoren ξ_3 en ξ_4 een waarde van 1,39 gehanteerd;
- 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 ca. NAP -5,0 m;
- Bij de draagkrachtberekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden:

α_p	0,7
α_s	0,014
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.

2.4 Op trek belaste palen

Bij het bepalen van het trekdraagvermogen R_{td} van palen in een paalgroep wordt onderscheid gemaakt in middenpalen, randpalen en hoekpalen (zie figuur 2.1). Voor middenpalen is over het algemeen de massa van het grondmassief dat rondom de palen aanwezig is maatgevend voor de opneembare trekkracht. Voor randpalen en hoekpalen wordt geïnterpoleerd tussen middenpalen en alleenstaande palen.



Figuur 2.1: Principeschets rand-, hoek-, en middenpalen (niet op schaal)

Aangezien ten tijde van het opstellen van onderhavig funderingsadvies nog geen palenplan beschikbaar is, is het trekdraagvermogen enkel beschouwd voor alleenstaande palen. Wanneer een palenplan beschikbaar komt dienen de berekeningen mogelijk te worden herzien. Opgemerkt wordt dat het trekdraagvermogen van palen in een paalgroep lager is, waarbij geldt dat deze lager is bij een dichter stramien.

Voor het funderingsadvies voor op trek belaste palen is voor diverse schachtafmetingen van Vibropalen op gekozen paalpuntniveaus de rekenwaarde van de trekweerstand van de palen bepaald. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2: Paalpuntniveaus en rekenwaarden van de trekweerstand voor alleenstaande palen

Sondering nr.	Maaiveldhoogte in m t.o.v. NAP	Paalpuntniveau in m t.o.v. NAP	R_{td} in kN		
			In de grond gevormde, grondverdringende betonpalen, type Vibro		
			Ø300/330 mm	Ø356/400 mm	Ø406/465 mm
DKM155	+3,46	-8,0	130	150	175
		-9,0	165	195	225
		-10,0	210	250	290
DKM156	+3,27	-9,0	130	155	180
		-10,0	185	220	250
DKM162	+3,67	-8,0	125	155	175
		-9,0	160	190	215
		-10,0	205	240	275
DKM163	+3.68	-9,0	160	190	215
		-10,0	205	240	275

R_{td} = rekenwaarde van de trekweerstand van de paal

Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Het project is geplaatst in geotechnische categorie 2;
- Omdat in dit stadium van het ontwerp de stijfheid van de constructie nog niet exact bekend is, is de stijfheid van de constructie niet in rekening gebracht. Volgens tabel A.10a van NEN 9997-1 is voor de factoren ξ_3 en ξ_4 een waarde van 1,39 gehanteerd;
- Vanwege een wisselende belasting is uitgegaan van $\gamma_{m,var,qc} = 1,5$ (trek-druk wisselbelasting);
- Bij de draagkrachtberekeningen is de volgende paalfactor aangehouden:
In zand $\alpha_t = 0,012$
- De trekweerstand is alleen voor alleenstaande palen berekend;
- In de trekweerstand is het eigen gewicht van de paal niet meegerekend;
- Opgemerkt wordt dat op trek belaste palen over de gehele lengte dienen te worden gewapend. Dimensionering van de wapening valt buiten het kader van dit rapport.

2.5 Beddingsconstante bestaande vloer

De bestaande vloer van de huidige bebouwing zal worden hergebruikt. Deze vloer is op staal gefundeerd. Naast een permanente vloerbelasting (45 kN/m^2) zal de vloer tevens tijdens het heiwerk de heistelling moeten dragen (kortdurende belastingen).

Voor de eindfase en de fase tijdens het heiwerk zijn beddingsconstantes gewenst.

Op basis van enkele oriënterende zettingsanalyses zijn de volgende beddingsconstanten bepaald:

Ten behoeve van de dimensionering van de bestaande vloerplaat als zijnde elastisch ondersteund kan voor (semi-)permanente statische belastingen een beddingsconstante van $0,5$ à $0,9 \text{ MN/m}^3$ worden gehanteerd.

Deze waarde is bedoeld voor berekeningen in de BGT en is gebaseerd op een analyse van het lange termijn vervormingsgedrag van de ondergrond.

Voor kortdurende verkeersbelastingen (bijvoorbeeld een heistelling) op de bestaande vloerplaat tijdens de uitvoeringsfase kan een beddingsconstante van ca. 75 MN/m^3 worden gehanteerd. Ter onderbouwing hiervan wordt verwezen naar onze rapportage 7011-0367-020_31.R02/SIS van 1 april 2016.

Rekening dient gehouden te worden met stijfheidsverschillen, onder meer veroorzaakt door de heterogeniteit van de bodem.

3. Uitvoering

3.1 Vibropalen

Voor algemene richtlijnen betreffende de installatie van deze grondverdringende in de grond gevormde palen met tijdelijke casing wordt verwezen naar NEN-EN 12699 'Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Verdringingspalen'.

Het aanbrengen van de Vibropalen dient te worden uitgevoerd door een gerenommeerd en in dit paaltype gespecialiseerd bedrijf.

Toezicht op de realisatie 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 vibropalen". In aanvulling hierop geldt het volgende:

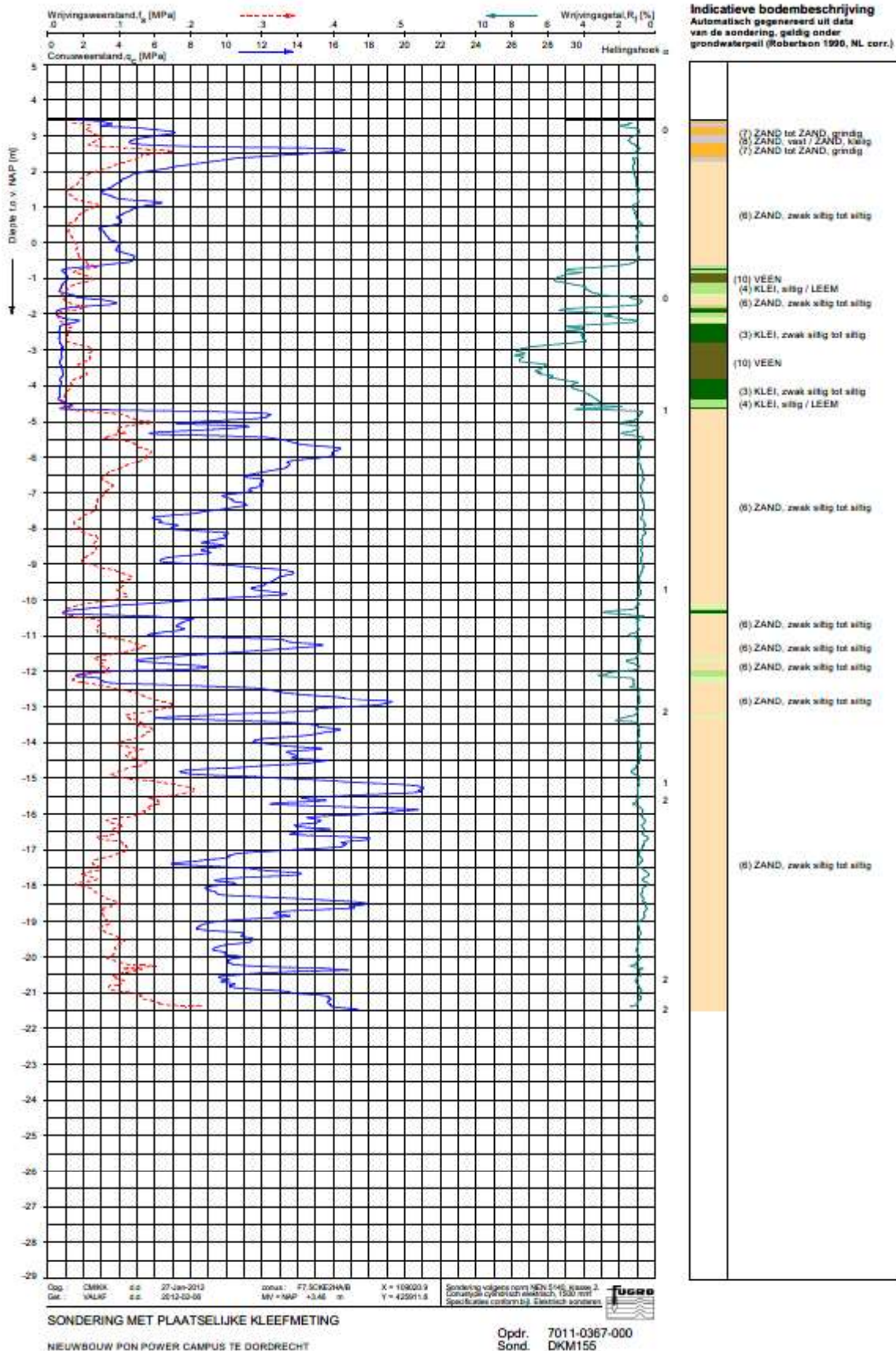
- Bij het installeren van de palen moet een zodanige volgorde worden aangehouden, dat beschadiging van nog niet verharde palen wordt voorkomen. In principe mag geen paal geïnstalleerd worden op een afstand kleiner dan 4 x de voetdiameter (D) van een nog niet voldoende verharde paal. De paal kan als voldoende verhard worden beschouwd na 20 uur verhardingstijd. De verhardingstijd is mede afhankelijk van de gebruikte hulpstoffen.
- Indien desondanks blijkt dat tijdens het installeren 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 wordt aangehouden. 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 volgens NEN-EN 12699:2015 art 8.7.1.4 tot minimaal 6D.
- Wordt na het bereiken van de gewenste diepte grond en/of water in de buis aangetroffen, dan dient in principe de paal te worden afgekeurd;
- De hoeveelheid beton die per paal gebruikt wordt, dient te worden geregistreerd;
- Het trekken van de buis dient heidend te geschieden teneinde een goede verdichting van de betonmortel te verkrijgen;
- 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.

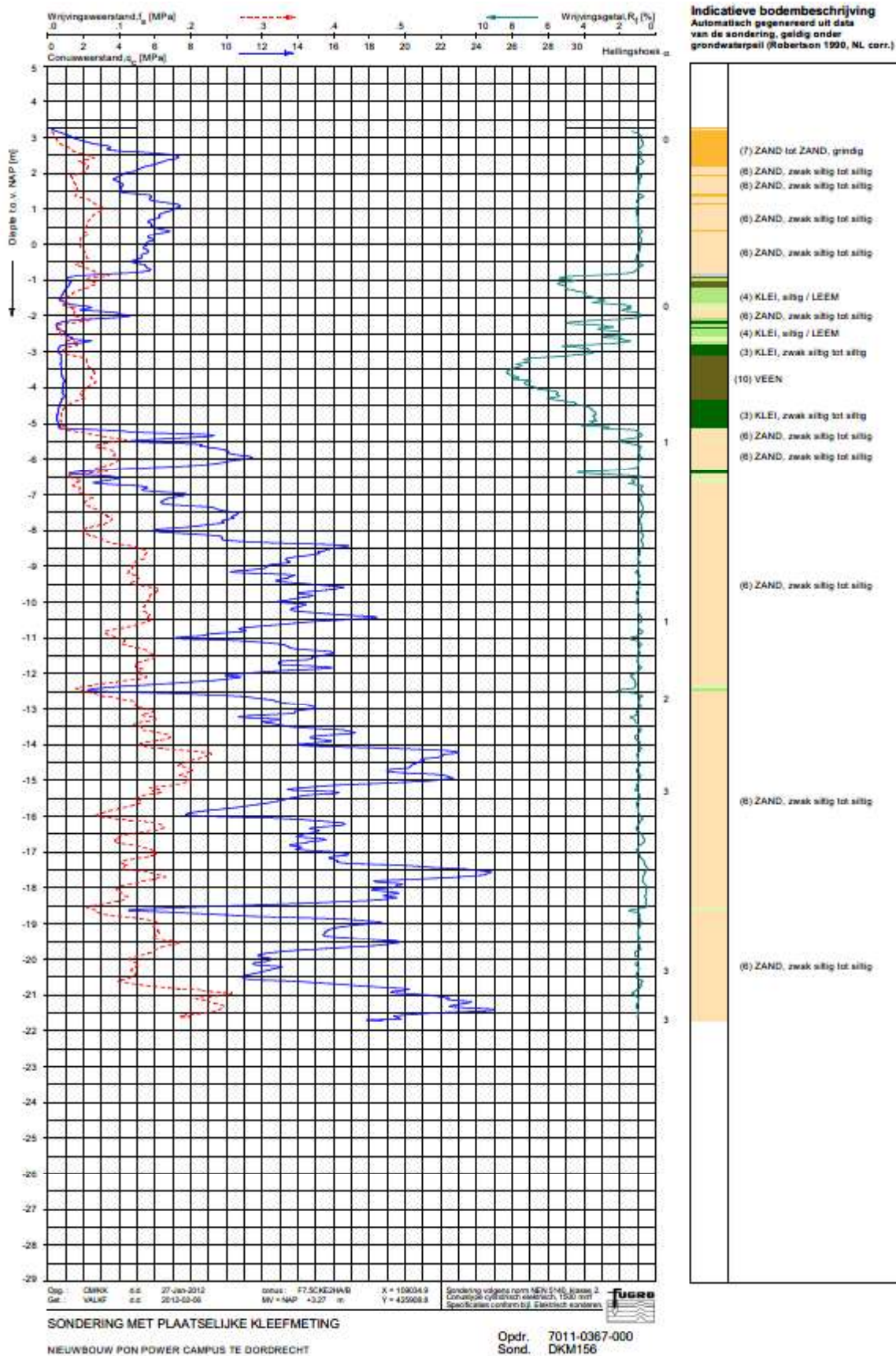
- Door het heien van Vibropalen zullen trillingen worden opgewekt. De invloed van deze trillingen op de belendingen is afhankelijk van onder meer de staat en funderingswijze van deze belendingen. Desgewenst kunnen door Fugro tijdens het heien de trillingen worden gemeten en op basis van de richtlijnen van de Stichting Bouw Research (SBR) geïnterpreteerd.

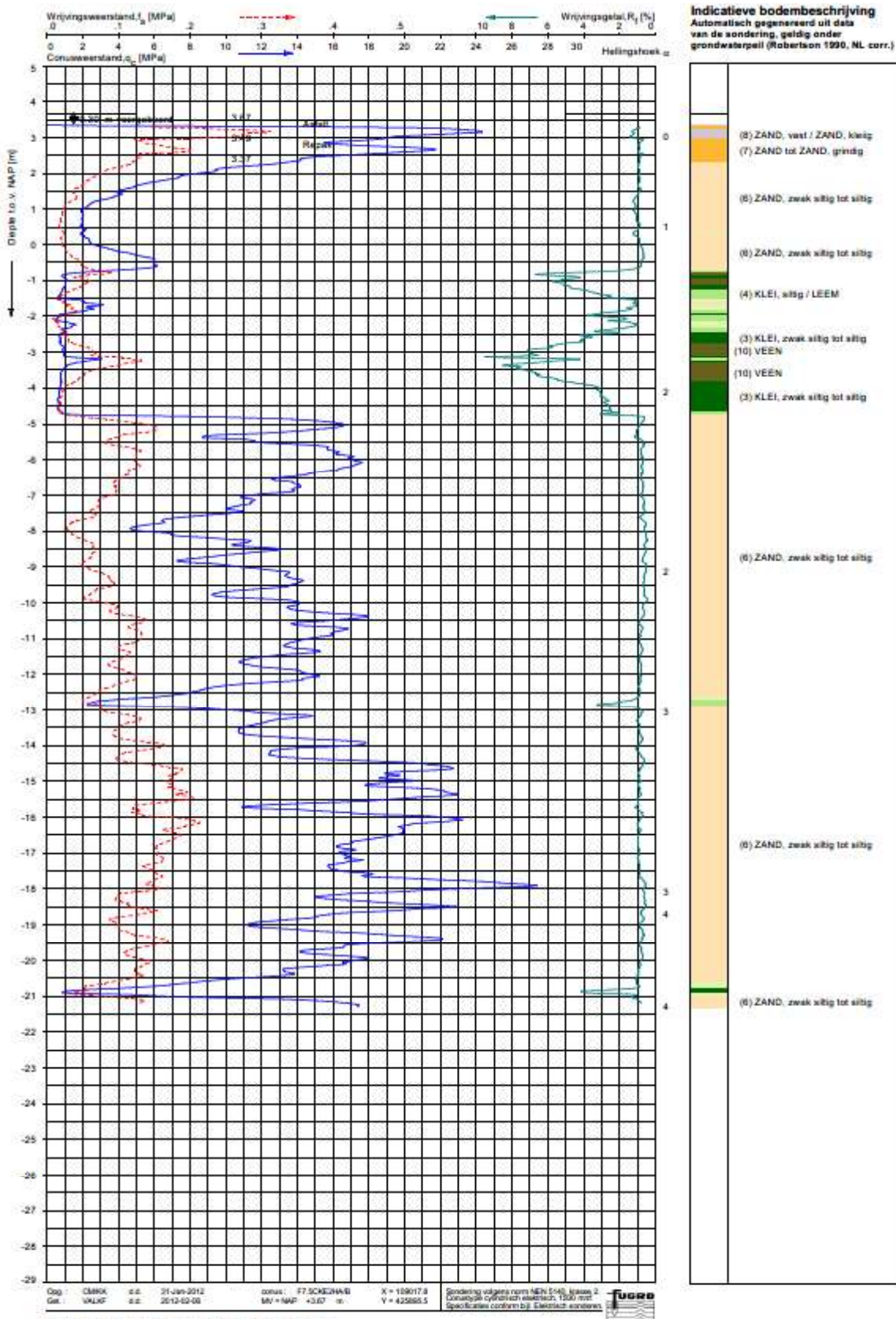
Bijlage A

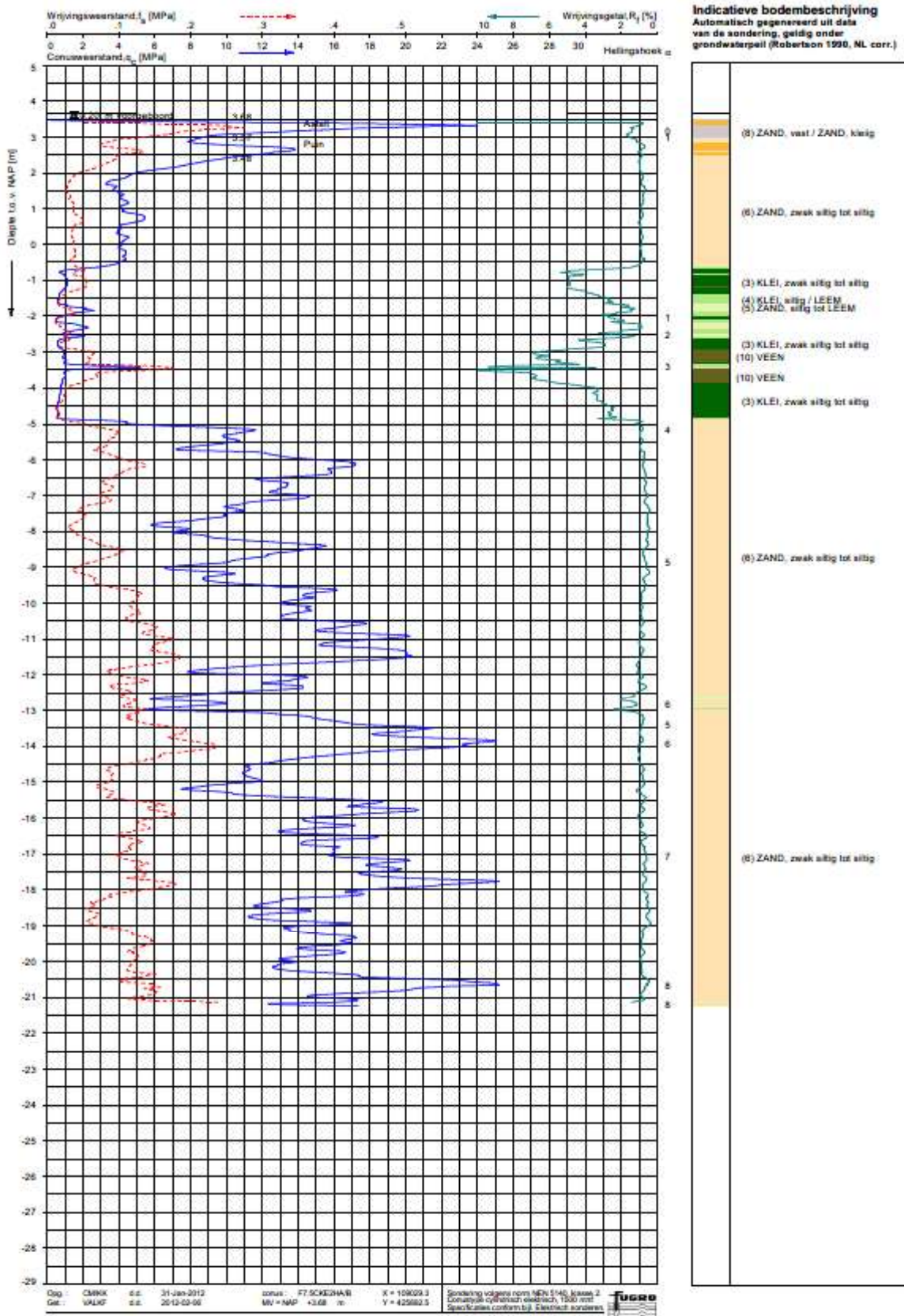
Geotechnisch onderzoek

A.1 Maatgevende sonderingen 7011-0367-000









Opdr.: CWIKK d.d.: 31-jan-2012 sonus: 77-SCKE2H4/B X = 108029.3
 Get.: WALKP d.d.: 20-12-03-06 MV = NAP +3.68 re: Y = 425882.5
 Sondering volgens norm NEN 5140, klasse 2
 Druwstijlk cyclusloos elektroch, 1500 rpm
 Spasificaties conform tabel 6, meetricht: sondering

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

NIEUWBOUW PON POWER CAMPUS TE DORDRECHT

Opdr. 7011-0367-000
 Sond. DKM163

Bijlage B

Berekening negatieve kleeft

B.1 Uitgangspunten

- Gehanteerde sondering : DKM163
- Paaltype: in de grond gevormde, grondverdringende betonpalen, type Vibro
- Paalpuntniveau : NAP -7,5 m
- Schachtdiameter : Ø 406 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:

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

$$= 138 \text{ kN}$$

waarin: in dit geval:

d_i = dikte van de betreffende laag zie tabel

$K_{o,i} \cdot \tan \delta$ = product van de karakteristieke waarde van de neutrale gronddruk factor en de tangens van de wrijvingshoek tussen paal en grond voor de betreffende laag i 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]	$K_{o,i} \cdot \tan \delta$ [-]	O_s [m]	$F_{nk;rep,i}$ [kN]
1	+3,68/+2,00	1,68	18,0	15,12	0,25	1,28	8,1
2	+2,00/-0,75	2,75	9,0	42,62	0,25	1,28	37,4
3	-0,75/-1,75	1,00	7,0	58,49	0,25	1,28	18,7
4	-1,75/-2,75	1,0	8,0	65,99	0,25	1,28	21,0
5	-2,75/-4,0	1,25	3,0	71,87	0,25	1,28	28,6
6	-4,0/-5,0	1,0	5,0	76,24	0,25	1,28	24,3
						Totaal	138,1

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

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

$$= 138 \text{ kN}$$

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 : DKM163
- Paaltype: Vibropaal met heidend getrokken buis
- Paalpuntniveau : NAP -7,5 m
- Schachtdiameter : Ø 406 mm
- Puntafmeting : Ø 465 mm

C.2 Maximale draagkracht van de paalpunt

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

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

$$= 3,9 \text{ MPa } (\leq 15 \text{ MPa, limietwaarde conform NEN 9997-1})$$

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)	8,1 MPa
$q_{c,II,gem}$	= de minimale waarde van de conusweerstand over traject II (0,7 à 4 x D_{eq} onder de punt)	5,8 MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde minimale waarde van de conusweerstand over traject III (8 x D_{eq} boven de punt)	4,2 MPa
α_p	= paalklassefactor (tabel 7.c, NEN 9997-1)	0,7 -
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:

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

$$= 662 \text{ kN}$$

waarin:		in dit geval:
A_{punt}	= oppervlak van de paalvoet	0,170 m ²

C.3 Maximale paalschachtwrijving

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

$$\begin{aligned} q_{s;\max} &= \alpha_s \cdot q_{c;za} \\ &= 0,143 \text{ MPa} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$\alpha_s = \text{factor voor de invloed van de uitvoering en het paaltype (tabel 7.c, NEN 9997-1)} \quad 0,014 \text{ -}$$

$$q_{c;za} = \text{de gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject waarover schachtwrijving wordt berekend} \quad 10,2 \text{ MPa}$$

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

$$\begin{aligned} R_{s;\text{cal};\max;i} &= O_{s;\Delta L;\text{gem}} \cdot \Delta L \cdot q_{s;\max} \\ &= 502 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$O_{s;\Delta L;\text{gem}} = \text{gemiddelde omtrek van de paalschacht} \quad 1,28 \text{ m}$$

$$\Delta L = \text{traject voor berekening schachtwrijving} \quad 2,76 \text{ m}$$

C.4 Maximale draagkracht

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

$$\begin{aligned} R_{c;\text{cal}} &= R_{b;\text{cal};\max;i} + R_{s;\text{cal};\max;i} \\ &= 1164 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} R_{c;k} &= \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{gem}}}{\xi_3} ; \frac{(R_{c;\text{cal}})_{\text{min}}}{\xi_4} \right\} \\ &= 837 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

$$\xi_3 = \text{correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1} \quad 1,39 \text{ -}$$

$$\xi_4 = \text{correlatiefactor volgens tabel A.10a van NEN 9997-1} \quad 1,39 \text{ -}$$

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

$$\begin{aligned} R_{c;d} &= R_{c;k} / \gamma_R \\ &= 698 \text{ kN} \end{aligned}$$

waarin: in dit geval:

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

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:

$$F_{c;d} = \text{rekenwaarde van de belasting in kN}$$

$$F_{nk;d} = \text{rekenwaarde van de negatieve kleefbelasting} \quad 138 \quad \text{kN}$$

$$R_{c;d} = \text{rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal} \quad 698 \quad \text{kN}$$

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

Bovenstaande formule kan worden bewerkt tot de volgende voorwaarde:

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

waarin: in dit geval:

$$\begin{aligned} R_{c;net;d} &= R_{c;d} - F_{nk;d} \\ &= \text{de rekenwaarde van de netto draagkracht van de paal,} \\ &\quad \text{rekening houdend met de negatieve kleefbelasting} \quad 560 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

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

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

Bijlage D

Uitvoeringsaspecten

D.1 Uitvoering heiwerk vibropalen

Uitvoering heiwerk vibropalen

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.

Uitvoeringsaspecten vibropalen (in de grond gevormd paalsysteem)

Bij vibropalen 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.