Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

Document:	**Eindrapportage Schaalproeven Hei- en Schroefpalen**
Projectomschrijving :	Schaalproeven op Hei- en Schroefpalen
Projectlocatie :	Werf Van ’t Hek Nekkerweg 63, Zuidoostbeemster
	Eindrapportage
Documentnummer :	PR 17.0483-2
Datum :	17 juli 2019

Ceintuurbaan 2
3847 LG Harderwijk

Postbus 1218
3840 BE Harderwijk

T +31 (0)341 456 191
E secretariaat@nvaf.nl
www.nvaf.nl

IBAN: NL76ABNA0479925801
BIC: ABNANL2A

BTW-nr: 8106.40.223.B01
Kvk: V40476095

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

Document:	**Eindrapportage Schaalproeven hei- en Schroefpalen**
Projectomschrijving :	Schaalproeven op Hei- en Schroefpalen
Projectlocatie :	Werf Van ’t Hek Nekkerweg 63, Zuidoostbeemster
	Eindrapportage
Documentnummer :	PR 17.0483-2
Datum :	17 juli 2019

Opdrachtgever : **Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken, NVAF**
Ceintuurbaan 2,
3847 LG Harderwijk

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken, NVAF
Ceintuurbaan 2,
3847 LG Harderwijk

Documentbeheer					
versie	**datum**	**Auteur**	**Paraaf**	**verificatie**	**paraaf**
-	17-07-2019	ing. P. IJnsen, IEng ing. A. van der Geest		ir. B.J. Admiraal ing. C.J. Vroom ing. S. Doornbos ing. E. Revoort	

Documentnummer : PR 17.0483-2
Projectomschrijving : Schaalproeven op Hei- en Schroefpalen
Projectlocatie : Zuidoostbeemster
Datum : 17 juli 2019
Pagina : 1/27

Inhoudsopgave

1 Inleiding ... 3
2 Doel van de bezwijkproef ... 4
3 Referentie Documenten ... 4
4 Normen, richtlijnen en software ... 4
5 Betrokken partijen ... 4
6 Locatie ... 6
6.1 Grondopbouw en waterstand ... 6
6.2 Grondonderzoek ... 6
7 Opzet van de proefbelasting ... 7
7.1 Proefpalen ... 7
7.2 Berekening draagvermogen proefpalen ... 8
7.3 Belastingsprotocol ... 9
7.4 Planning van proefbelastingen ... 9
7.5 Testen meetapparatuur ... 10
8 Equipment proefbelasting ... 11
8.1 Ballast ... 11
8.2 Meetframe ... 11
8.3 Meetapparatuur ... 11
8.4 Vijzel ... 12
9 Installeren van proefpalen ... 12
9.1 Geheide palen ... 12
9.2 Geschroefde palen ... 13
10 Uitvoering van Proefbelastingen ... 14
11 Uitwerking en Interpretatie van meetgegevens ... 14
11.1 Overzicht meetgegevens proefbelastingen ... 15
11.2 Afleidingsmethode 1 constante EA over de gehele paallengte ... 19
11.3 Afleidingsmethode 2 Schachtwrijving bepaald op basis van EA constant restant is Puntweerstand ... 21
12 Conclusies en aanbevelingen ... 25
12.1 Conclusies ten aanzien van geheide palen ... 26
12.2 Conclusies ten aanzien van geschroefde palen ... 25
12.3 Aanbevelingen voor vervolg onderzoek ... 27

Bijlagen

Voorstel Schaalproeven ..... A
Overzichtstekening proefkuip, proef palen en sonderingen ..... B
Grondonderzoek voor- en nasonderingen C
Gegevens zand D_{50} = 0.2 -0.35 mm ..... D
Berekening draagvermogen geheide palen ..... E
Berekening draagvermogen geschroefde palen ..... F
Pile make-up proefpalen positie glasvezels sensoren ..... G
Belastingschema's voor proefbelastingen ..... H
Hei analyse installeren stalen buispalen I
Uitvoeringsgegevens Hei- en Schroefpalen door BREM ..... J
Meetdata proefbelastingen in grafieken per paal ..... K
Analyse en Interpretatie proefbelastingsdata per paal L
Bepaling Alpha p en Alpha s volgens twee methodes ..... M
Na sonderingen in vergelijking tot voor sonderingen ..... N
Gegevens inspectie hei- en schroefpalen ..... O
Gegevens kalibratie en herkalibratie schroefpalen ..... P

1 Inleiding

Per 1 januari 2017 is de paalklassefactor voor het berekenen van het draagvermogen van de paalpunt van funderingspalen, α_p met 30% verlaagd ten opzichte van de waarde die wordt gegeven in NEN 9997-1+C1:2012 nl - NEN.

Om hogere paalklassefactoren toe te mogen passen dienen voor een project of voor landelijke erkenning klasse A proefbelastingen te worden uitgevoerd.

Het in dit rapport beschreven onderzoek en de analyse en interpretatie van de hierbij gevonden resultaten betreft een uitwerking van ref [1]. Hierin wordt omschreven hoe met behulp van een proef op schaal kan worden vastgesteld wat de invloed is van de vorm van de paalpunt van een schroefpaal op het draagvermogen van dit type paal.

De uitvoering, analyse en resultaten van deze proeven betreft een gezamenlijke opdracht van de volgende leden van de Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken, NVAF:

Gebr. Van ’t Hek BV
Volker Staal en Funderingen BV
BAM Speciale Technieken
Ballast Nedam Funderingstechnieken BV
Heijmans Funderingstechnieken
Voorbij Funderingstechnieken
Terracon Funderingstechnieken
Funderingstechnieken Verstraeten BV
Vroom Funderingstechnieken BV
Franki Funderingstechnieken BV

2 Doel van de bezwijkproef

Dit onderzoek heeft de volgende doelen:

- Vaststellen of de vorm van de paalpunt van een schroefpaal invloed heeft op α_p
- Vaststellen of de set-up periode invloed heeft op het paaldraagvermogen bij een geheide paal (aanvullende onderzoeksvraag vanuit TU Delft)

Tevens zal bij de geheide palen worden onderzocht wat de invloed is van de zogenaamde “residual load” en of dit van invloed kan zijn op de interpretatie van de krachtsdeling in de paal.

De uitwerking en analyse van de resultaten om tot een vergelijk van de vorm van de paalpunt te komen is in deze rapportage nader uitgewerkt.

De invloed van de set-up periode en het bestaan van “residual load” op het draagvermogen van geheide palen is nader uitgewerkt in ref [3]

3 Referentie Documenten

[1] MEMO SCHAALPROEF GELIJKWAARDIGHEID PAALPUNT α_p d.d. 02-02 2017. Bijgevoegd als Bijlage A
[2] PR 17.0483-1 d.d. 17 juli 2017 Plan van Aanpak Schaalproeven Hei- en Schroefpalen
[3] Time-Dependent Capacity of Driven Displacement Piles in Sand, November 21, 2017 E. Beutick.
[4] Geotechniek Funderingsdag 2010 Special December 2010: Artikel Draagvermogen van geheide palen in internationale context van Van Tol, Stoevelaar , Rietdijk.

4 Normen, richtlijnen en software

De volgende normen, richtlijnen en software zijn gebruikt:
- NEN 9997-1+C1:2012 nl - NEN
- NPR 7201 Bepaling van het axiaal draagvermogen van Funderingspalen door middels van proefbelastingen d.d. april 2017
- D-Foundations 16.1, Deltares Systems

5 Betrokken partijen

De uitvoering van de proefbelastingen vindt plaats op de werf van Gebr, van ’t Hek aan de Nekkerweg 63 in Zuidoostbeemster. Voor het uitvoeren van de proefbelastingen is de in het volgende hoofdstuk omschreven proefkuip aangelegd.

Het prepareren van de testpalen en het maken van de schroefpunten in is uitgevoerd door en bij Theo van der Linden Staalbouw, gevestigd in de Ampèrestraat 21 te Purmerend. De glasvezels voorzien van meetsensoren zijn op deze locatie aangebracht door BREM Funderingsexpertise.

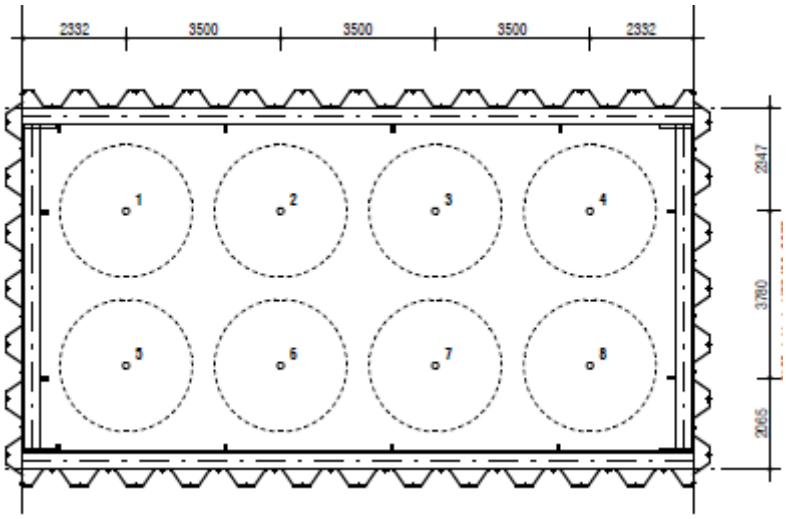
De uitwerking, analyse en Interpretatie van de resultaten is terug te vinden in hoofdstuk 10 van deze rapportage.

Opstellen Plan van Aanpak	Hektec BV, BAM Infra Funderingstechnieken, Volker Staal en Funderingen
Project management / algemene assistentie	Gebr. Van ’t Hek BV,
Aanleg proefkuip	Projectleider Anton van Heezen
Installatie proefpalen	De Waalpaal funderingstechnieken BV
Preparatie palen en paalpunten	Theo Van der Linden Staalbouw BV
Installatie glasvezel meetsensoren	BREM Funderingsexpertise BV
Uitvoering proefbelasting	BREM Funderingsexpertise BV
Supervisie bij proefbelastingen (geschroefde palen)	Allnamics Piling Experts BV
Uitwerking, analyse en Interpretatie	Hektec, BAM, VSF, Erik Beutick (Msc. Student, later Cofra)

6 Locatie

Ten behoeve van het uitvoeren van de schaalproeven is een kunstmatig zandbed aangelegd met een dikte van ca. 4,50 m. Het zandbed is aangelegd in een daarvoor bestemde damwandkuip die is geïnstalleerd op de werf van Gebr. Van ’t Hek aan de Nekkerweg 63 te Zuidoostbeemster.

Een overzichtstekening van de proeflocatie is terug te vinden in Bijlage B



6.1 Grondopbouw en waterstand

De bovenzijde van het zandbed bevindt zich op NAP -3,40 m à NAP -3,50 m.
Voor de aanleg van het zandbed is gebruik gemaakt van zand met D_{50} = 0.2 -0.35 mm. (Naar aanleiding van overleg met Prof. K. Gavin van TU Delft d.d. 7-3-2017) De grondwaterstand wordt met behulp van drainage onderin de damwandkuip op ca. 4,0 m beneden maaiveld gehouden. (onder de paalpuntniveaus en het invloedsgebied van de proefpalen) Tijdens het aanbrengen van het zandbed is het zand in lagen van 300 mm aangebracht en machinaal verdicht.

De sonderingen gemaakt op de paalposities zijn opgenomen in bijlage C. De gegevens van het gebruikte zand zijn terug te vinden in Bijlage D.

6.2 Grondonderzoek

Zoals hierboven beschreven is er sprake van een kunstmatig aangelegd zandbed in een damwandkuip. Hierin is op de alle acht de posities van de proefpalen een sondering gemaakt. De sonderingen zijn doorgezet tot onder het aangelegde zandbed. De sonderingen zijn terug te vinden in Bijlage B.

Na het uitvoeren van de proefbelastingen zijn rond iedere proefpaal 3 nasonderingen gemaakt op ca. 0,50 m uit het hart van de betreffende paal.

In een later stadium is in overleg met TU Delft / TU Zagreb een seismisch profiel van het zandbed opgemaakt doormiddel van een seismische meting.

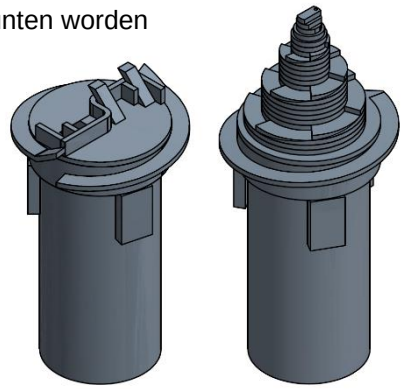
7 Opzet van de proefbelasting

Dit onderzoek heeft de volgende doelen:

- Vaststellen of de vorm van de paalpunt van een schroefpaal invloed heeft op α_p
- Vaststellen of de set-up periode invloed heeft op het paaldraagvermogen bij een geheide paal

Om het eerste doel te bereiken zullen twee “uiterste” vormen van schroefpunten worden beproefd, te weten:

- Een volledig platte punt met tanden met diameter ∅ 150 mm
- Een getrapte conische schroefpunt met diameter ∅ 150 mm



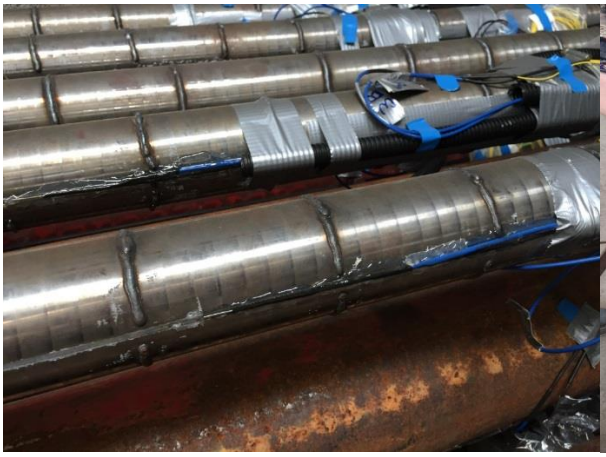
Verder zullen er een viertal op de kop geheide stalen buispalen diameter ∅ 152 mm, worden aangebracht waarbij de voetplaat geen overstek heeft ten opzichte van de buis.

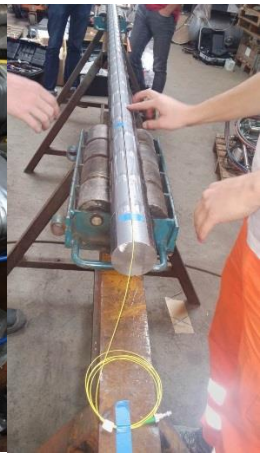
Deze palen hebben de functie als referentie paal, maar zullen ook op verschillende tijdstippen worden getest om zo in zicht te krijgen in tijdsafhankelijke effecten en invloed van de zogenaamde “residual load”

7.1 Proefpalen

De punten van de proefpalen hebben een diameter ∅ 150 mm en ∅ 152 mm en zijn opgebouwd uit staalplaten. Voor de getrapte conische punt zijn stalen schijven met een dikte van 5 mm rond een rechthoekige as geplaatst. De bovenzijde van de boorpunt bestaat uit een met behulp van een draaibank vervaardigde kroon waarmee de punt door de vertanding aan de boorbuis “gegrepen” kan worden.

De schroefpalen zijn voorzien van een stalen as ∅ 70 mm waarin diametraal tegenover elkaar twee sleuven zijn gemaakt waarin glasvezels zijn gelijmd waarmee nabij de paalpunt en op een resolutie van 500 mm over de lengte van de paal de rek kan worden gemeten.





Er is gekozen voor een centrale stalen as om de belasting goed in de paal te kunnen leiden en over te kunnen dragen naar de punt.

De schroefpalen worden aangebracht met een hulpbuis ∅ 123 mm. Na het bereiken van de berekende installatie diepte wordt een mortelschacht met een diameter van ca. ∅ 123 mm rond de palen gestort om zo het proces van de grondverdringende schroefpaal na te bootsen. De schroefpalen worden “droog” geboord zonder water of grout smering.

Een constructietekening van de palen en de posities van de sensoren is terug te vinden in Bijlage G.

7.2 Berekening draagvermogen proefpalen

Het draagvermogen van de verschillende palen is bepaald met behulp van het software pakket D Foundations van Deltares Systems. Het bezwijkdraagvermogen is hiermee bepaald zoals omschreven in EC 7. Voor het bepalen van het paalpuntniveau is hierbij gekeken naar de variatie van de paalpuntspanning zoals omschreven in NPR 7201 groene versie paragraaf 6.2.2.

In bijlage E en F zijn de berekeningen van het draagvermogen van de palen op de verschillende niveaus terug te vinden tevens is aangegeven in welk gebied aan de in NPR 7201 groene versie 6.2.2 maximale variatie van de 20% van de paalpuntspanning wordt voldaan.

Paanummer	Theoretische niveau (NAP)	Bezwijkdraagvermogen / Testlast (100%) (kN)	Installatieniveau (NAP)	Paaltype
1	NAP -6,40 m	287 kN / 275 kN	NAP -6,40 m	Buis
2	NAP -6,30 m	231 kN / 250 kN		Schroef (conisch)
3	NAP -6,30 m	262 kN / 250 kN		Schroef (plat)
4	NAP -6,40 m	276 kN / 275 kN	NAP -6,43 m	Buis
5	NAP -6,30 m	276 kN / 275 kN	NAP -6,25 m	Buis
6	NAP -6,30 m	255 kN / 250 kN		Schroef (conisch)
7	NAP -6,30 m	246 kN / 250 kN		Schroef (plat)
8	NAP -6,40 m	233 kN / 230 kN	NAP -6,43 m	Buis

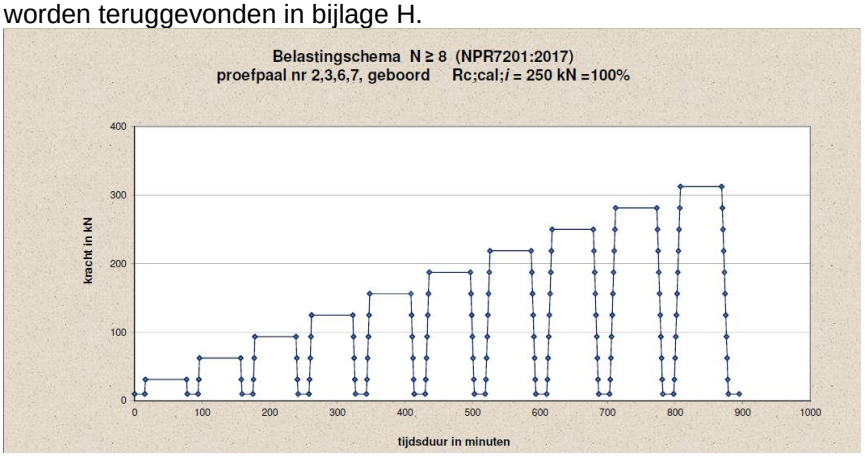
* De bezwijkdraagvermogens zijn voor alle palen berekend met de volgende paalklasse factoren $\alpha_p = 1{,}0$, $\alpha_s = 0{,}01$ en $\beta = 1{,}0$

7.3 Belastingsprotocol

De belasting protocollen voor de verschillende palen zijn opgesteld aan de hand van NPR 7201 waarbij de in de vorige paragraaf aangegeven testlast is gebaseerd op de berekende bezwijklasten van de palen. De opbouw naar deze testlast wordt in 8 stappen gedaan waarbij in de opbouw steeds gestabiliseerd wordt op de waarde van de testlast van de vorige stap. Tussen de belasting stappen wordt de testlast gedurende 15 min. op de nulkracht van 10 kN gehouden, iedere belastingstap wordt minimaal een uur aangehouden waarbij aan het einde van de belastingstap de kruip niet meer dan 0,10 mm over 20 min. mag bedragen. Als bezwijkcriterium wordt een paalpunt zetting van 10% van de paalpuntdiameter aangehouden.

Indien het grondmechanisch bezwijken van de paal niet heeft plaatsgevonden bij of voor het bereiken van de hierboven benoemde testlast zal het protocol in stappen van 12,5% van de berekende testlast worden verlengd waarbij de zelfde opbouw als hierboven omschreven zal worden.

De belasting protocollen tot 125% van de berekende bezwijklast voor de verschillende palen kunnen worden teruggevonden in bijlage H.



7.4 Planning van proefbelastingen

De proefbelastingen op alle geschroefde palen zullen worden uitgevoerd tussen de 28 en 40- dagen na installatie. 28 dagen is de minimum termijn in verband met de mortelomhulling rond de paal.

Voor de geheide palen wordt afgeweken van de in de NPR omschreven minimale set-up periode van 7 dagen en het maximum van 40. Twee van de 4 palen zullen buiten deze periode worden beproefd om zo tijdsafhankelijke effecten in het paaldraagvermogen te onderzoeken.

Pile	Test moment
First closed-ended steel pile	+/- 1 day after installation
Second closed-ended steel pile	+/- 14 days after installation
Third closed-ended steel pile	+/- 30 days after installation
First screwed pile Flat tip	+/- 30 days after installation
First screwed pile Conical tip	+/- 30 days after installation
Second screwed pile Flat tip	+/- 30 days after installation
Second screwed pile Conical tip	+/- 30 days after installation

Fourth closed-ended steel pile	+/- 60 days after installation

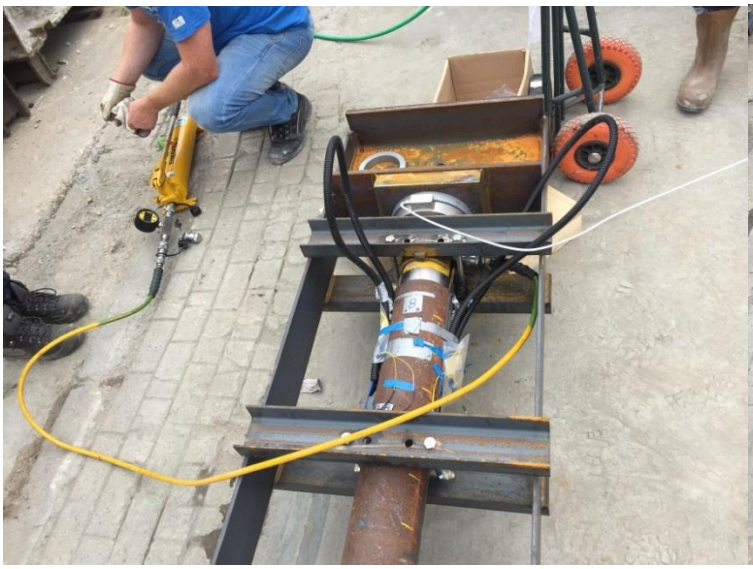
Na het uitvoeren van de laatste proefbelasting zijn alle palen nogmaals aan een kortdurend herbelastingsprotocol onderworpen waarbij de belasting in stappen van maximaal 5 minuten werd opgebouwd naar de maximaal te realiseren belasting (waarbij een doorgaande verplaatsing werd vastgesteld) waarbij geen ontlaststappen zijn aangehouden.

7.5 Testen meetapparatuur

Vooraf aan het installeren van de proefpalen zullen de palen in een drukbank worden geplaatst om de glasvezel sensoren te testen en een kalibratie file te maken die gebruikt kan worden bij de interpretatie van de resultaten die worden gevonden bij het uitvoeren van de proefbelastingen.

De sensoren worden vooraf aan het testen in de drukbank op nul gezet en zullen vooraf aan de proefbelasting niet meer op nul worden gezet, teneinde een juiste registratie van de “Residual Loads” als gevolg van het aanbrengen te doen.

Na het verwijderen van de palen op 16 en 17 mei 2018 zijn de schroefpalen geïnspecteerd en nogmaals gekalibreerd in de drukbank. Bij deze herkalibratie is de drukbank verticaal geplaatst.



8 Equipment proefbelasting

In dit hoofdstuk worden de verschillende onderdelen van de proefbelastingsinstallatie beschreven.

8.1 Ballast

De ballast voor de proefbelasting zal worden uitgevoerd in stalen dragline schotten met een eigengewicht van 5 en 6 ton per stuk. Tijdens de uitvoering van de proef dient er tenminste 110% van de aangehouden testlast aanwezig te zijn.

De ballast worden centrisch boven de paal gepositioneerd en opgelegd op dwars op de damwandkuip geplaatste schotten. Op deze wijze is er geen sprake van gronddrukverhoging rond de te beproeven palen waardoor het resultaat van de proefbelasting beïnvloedt zou kunnen worden.

8.2 Meetframe

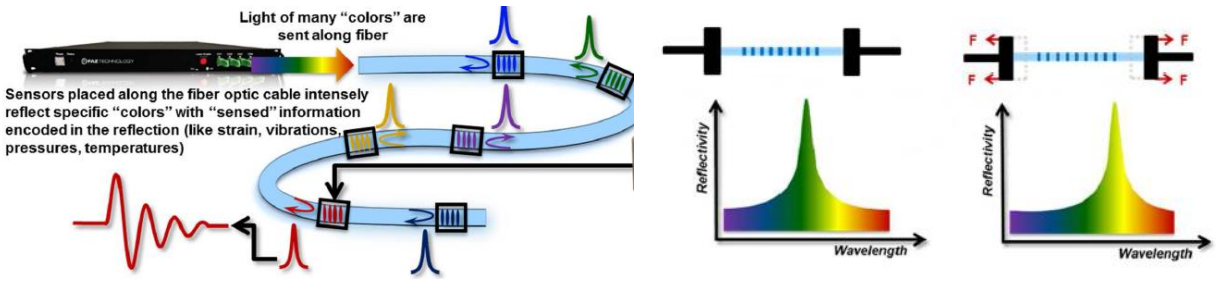
Het meetframe waarop de verplaatsingsmeters voor het registeren van de paalkopbelasting worden bevestigd zal op het maaiveld worden geplaatst. Indien dit nodig geacht wordt (afhankelijk van de positie) zal dit frame tussen de belastingstappen door worden ingemeten ten opzichte van een vast referentiepunt.

8.3 Meetapparatuur

De kopverplaatsing van de palen zal worden gemeten met behulp van digitale potentiometers met een meet bereik van 100,000 mm en meet nauwkeurigheid van 0,001 mm. De potentiometers worden bevestigd aan het meetframe en zullen met de meetstiften worden geplaatst op een aan de paalkop bevestigde gladde stalen plaat.

De rek / compressie van de paalschacht zal worden gemeten met behulp van de glasvezel sensoren en worden gemeten in micro strain (µm/m). De posities van de meetsensoren zijn weergegeven op de pile make-up in bijlage H.

De werking van de glasvezelsensoren berust op de Fiber Bragg Grating method. Uitleg techniek BREM.



De kracht op de paalkop zal worden gemeten met behulp van een 75 tons loadcell, een oliedruksensor op de vijzel en een geijkte digitale manometer op de pomp.

8.4 Vijzel

Voor het aanbrengen van de belasting op de paalkop zal een hydraulisch vijzel van het merk Enerpac type RRH 6010 worden gebruikt deze vijzel heeft een slag van 250 mm en een maximale drukkracht van 576 kN bij een werkdruk van 700 bar.

Later is overgestapt op een vijzel van het type CLS 150 Enerpac en een maximale drukkracht van 1500 kN bij 700 bar. Deze keuze is gemaakt om met een lagere hydrauliek druk te kunnen werken.

9 Installeren van proefpalen

9.1 Geheide palen

De palen zullen op de kop worden geheid met behulp van een valblok van 450 kg. De resultaten van een vooraf gemaakte hei analyse zijn terug te vinden in bijlage J.
De palen hebben een lengte van 3,0 m, de onderkant van de voetplaat wordt aangemerkt als paalpunt.

Tijdens het heien zal de kalender van de paal per 100 mm worden bijgehouden.

Na het bereiken van de gewenste diepte zal de paalkop worden ingemeten ten opzichte van een referentie punt om zo het bereikte paalpuntniveau te controleren.

Uit de nasonderingen na paalinstallatie volgt dat er in de losgepakte zandlagen tot een diepte van ca. NAP – 6,00 m sprake is van enige opspanning van 10% tot 30% toename van de conusweerstand. Een vergelijk van voor- en nasonderingen kan worden terugvonden in bijlage O.

Voor de kalenderstaten en overige installatiegegevens wordt verwezen naar bijlage K.

9.2 Geschroefde palen

De palen worden ingeschroefd met behulp van een boormachine van het merk Klemm met een maximaal boormoment van 3 ton*m en een pull down van 4,5 ton.

De positie waarop de schroefpunt zijn maximale breedte heeft wordt aangemerkt als paalpunt, tot deze positie hebben de palen een lengte van 3,0 m. Tijdens het inschroeven worden boormoment en pull down vast gelegd.

Na het bereiken van het gewenste paalpuntniveau zal er voldoende mortel in de boorbuis worden aangebracht om de volledige mortelomhulling te kunnen vormen. De hoeveelheid ingebrachte mortel zal worden geregistreerd.

Na het vervaardigen van de palen zal de positie van de paalkop worden ingemeten ten opzichte van een referentie punt om zo het bereikte paalpuntniveau te controleren.

Bij de geschroefde palen is geen noemenswaardige af- of toename van de conusweerstand gemeten bij het uitvoeren van nasonderingen na installatie van de palen. Een vergelijk van voor- en nasonderingen kan worden terugvonden in bijlage O.

Tijdens het installeren van de schroefpalen werd vastgesteld dat de inbrengsnelheid van de conische punt op bijna einddiepte zeer moeizaam ging. Voor paal 2 was dit op ca. 0,1m boven puntniveau en voor paal 6 op ca. 0,3m boven puntniveau.

Voor de boorstaten en overige installatiegegevens wordt verwezen naar bijlage J.

10 Uitvoering van Proefbelastingen

Bij het uitvoeren van de proefbelastingen is de in hoofdstuk 7 gegeven planning zo goed mogelijk gevolgd.

Pile	Installatie	Test	Test moment	Hertest
Paal 1 (geheid)	10-07-2017	12-07-2017	2 day safter installation	22-09-2017
Paal 5 (geheid	10-07-2017	26-07-2017	16 days after installation	21-09-2017
Paal 4 (geheid)	11-07-2017	11-08-2017	31 days after installation	20-09-2017
Schroef 3 (plat)	14-07-2017	14-08-2017	31 days after installation	20-09-2017
Schroef 2 (conisch)	14-07-2017	15-08-2017	32 days after installation	22-09-2017
Schroef 7 (plat)	14-07-2017	16-08-2017	33 days after installation	20-09-2017
Schroef 6 (conisch)	14-07-2017	17-08-2017	34 days after installation	21-09-2017
Paal 8 (geheid)	11-07-2017	18-09-2017	69 days after installation	19-09-2017

Tijdens het uitvoeren van de eerste proefbelastingen bleek dat de voorspelde bezwijklast niet gehaald kon worden. Daarom konden niet alle stappen van het belasting protocol worden doorlopen. Het belasting protocol is derhalve gecorrigeerd naar een lager belasting niveau tevens is het aantal belasting stappen na het proefbelasten van de eerste paal teruggebracht naar 6 a 7 stappen.

Na het uitvoeren van de eerste serie proeven is besloten om alle palen nogmaals her- te belasten volgens een kort herbelastingsprotocol waarbij de belasting volgens het eerder gehanteerde belastingprotocol werd opgevoerd met een belasting duur van 10 min. per stap. Bij het opvoeren van de belasting is niet gewacht tot aan het kruipcriterium werd voldaan. De proef is doorgezet totdat een kopverplaatsing van 15 mm werd waargenomen.

De in deze stappen gehanteerde belasting is terug te vinden in de presentatie van de meetgegevens in Bijlage K.

Bij de aanvang van de proefbelastingen bleken niet alle glasvezel sensoren te functioneren. Als reparatie hiervan niet mogelijk bleek is de proefbelasting van die paal uitgevoerd met minder sensoren. In de presentatie van de meetgegevens is terug te vinden welke sensoren functioneerden ten tijde van de verschillende proefbelastingen.

11 Uitwerking en Interpretatie van meetgegevens

In dit hoofdstuk wordt de uitwerking en interpretatie van de bij de proefbelastingen vastgelegde meetdata behandeld.

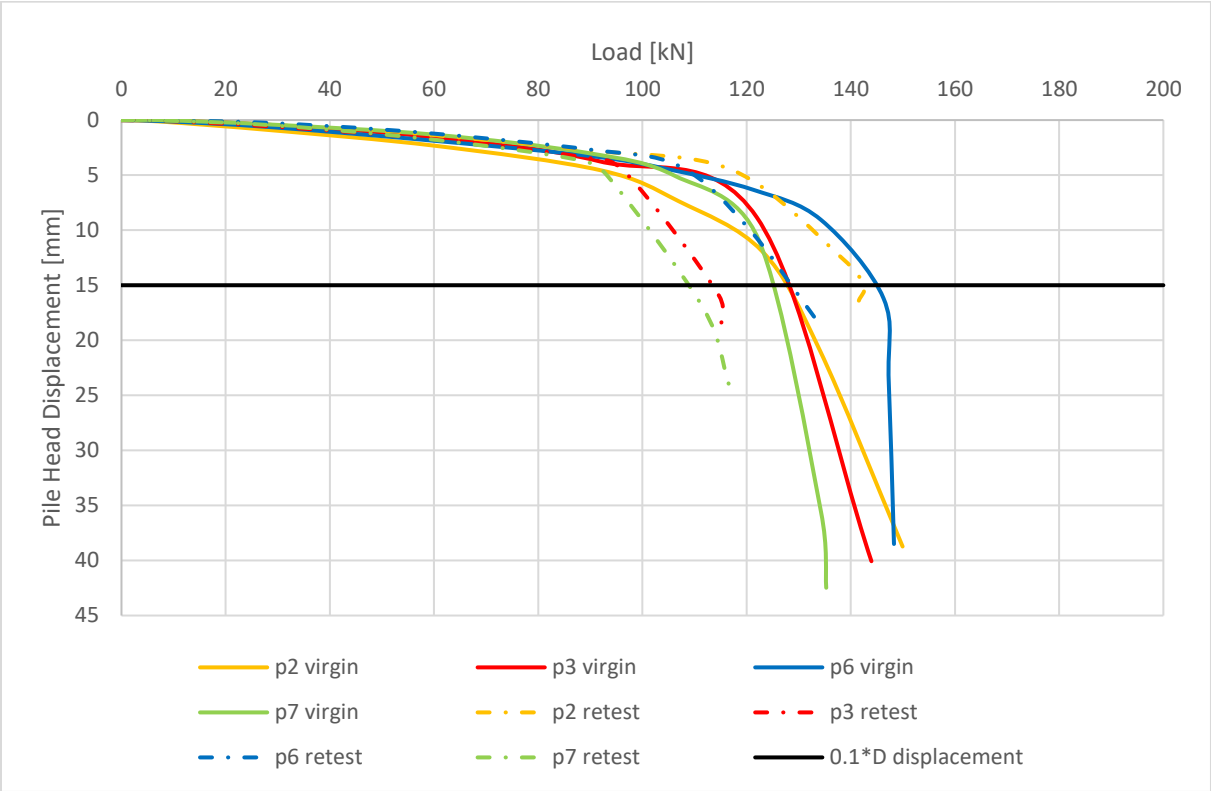
De meetdata bestaat uit de rekmetingen van de glasvezelsensoren in microstrain, de verplaatsing van de paalkop gemeten in mm met en nauwkeurigheid van 1/100 mm, de kracht uit de loadcells in kN en ter controle de oliedruk.

De meetdata is gepresenteerd in grafieken in bijlage L. In de uitwerking van de meetdata van de reksensoren is bij aanvang van de proef, voor aanbrengen van de initiële belasting de waarde op nul gezet. Op deze wijze worden rekken als gevolg van het installatie proces genegeerd en alleen rekken als gevolg van het aanbrengen van de belasting gepresenteerd.

11.1 Overzicht meetgegevens proefbelastingen

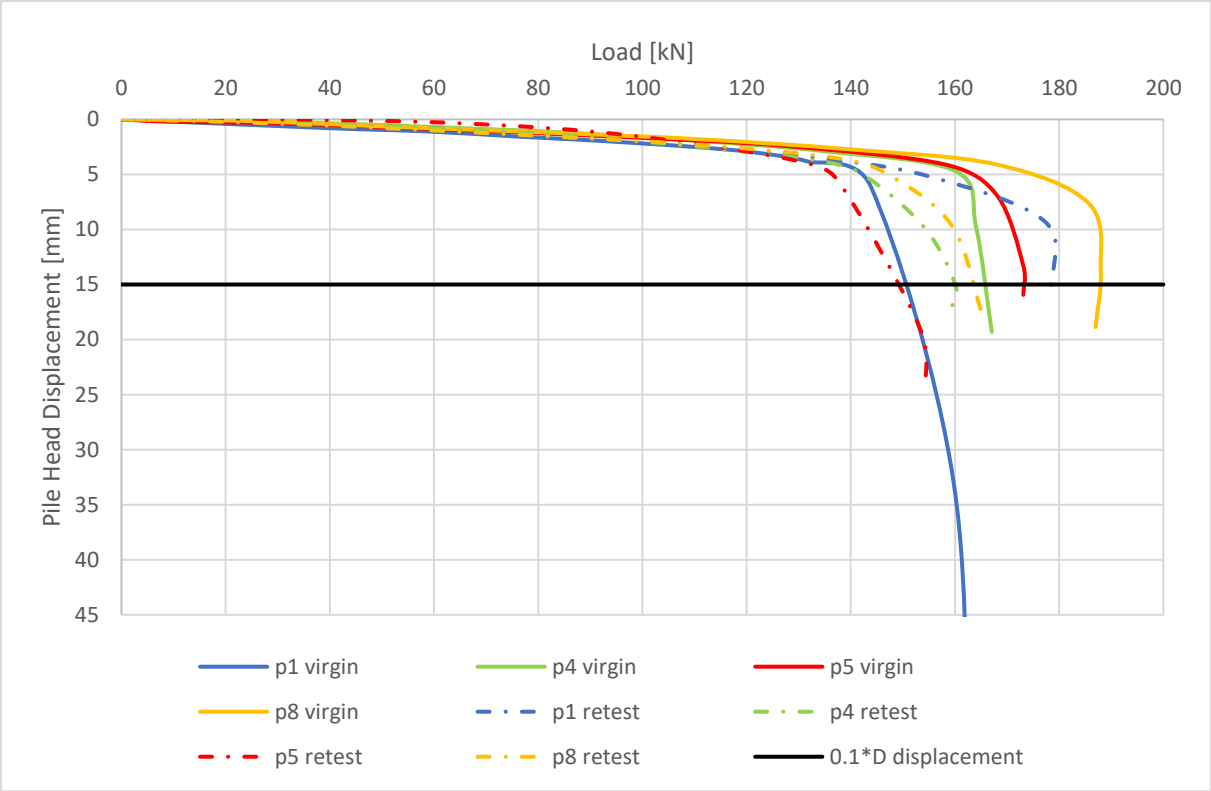
In bijlage L zijn de lastzakkingdiagrammen en belasting –tijd diagrammen per paal gepresenteerd. In bijlage M is de krachtsverdeling langs de paalschacht gepresenteerd.

Hieronder een overzicht last-zakkingslijnen schroefpalen paal 2,3,6,en 7 (virgin en retest)

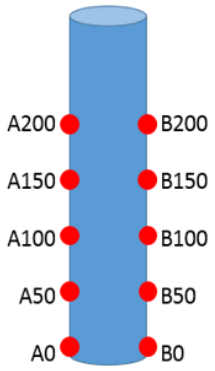


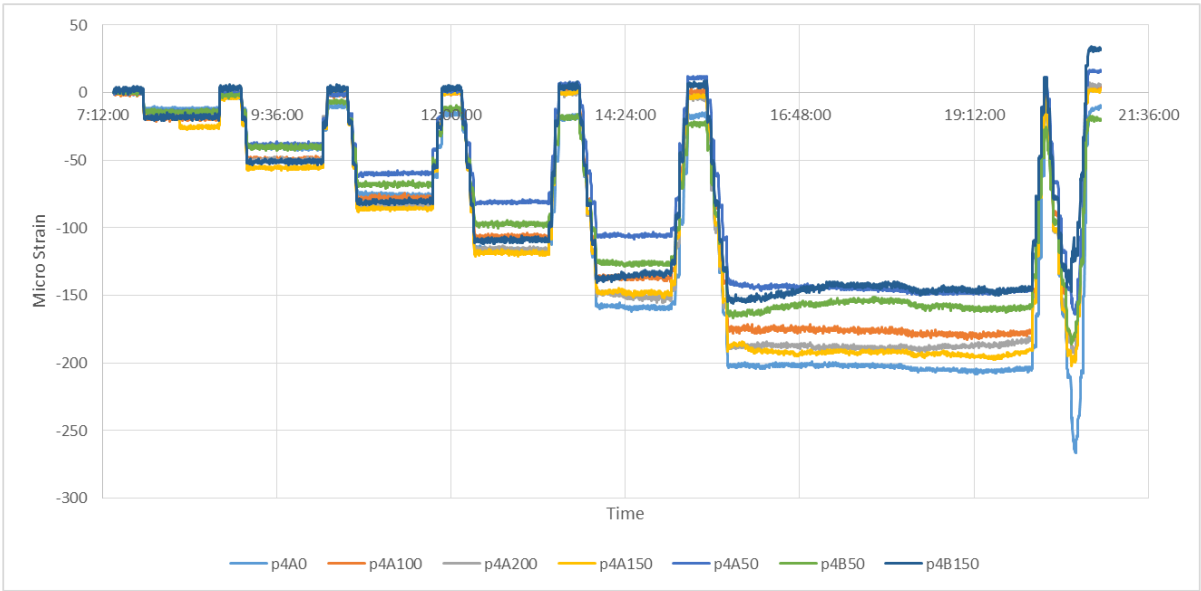
Documentnummer : PR 17.0483-2
Projectomschrijving : Schaalproeven op Hei- en Schroefpalen
Projectlocatie : Zuidoostbeemster
Datum : 17 juli 2019
Pagina : 16/27

Overzicht last-zakkingslijnen stalen buispalen 1,4,5,en 8 (virgin en retest)



Voorbeeld rekmetingen paal P2 bij belastingopbouw tijdens bezwijkproef





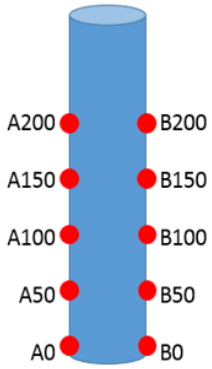
Bepaling krachtsverdeling over paalschacht en bepaling puntdraagvermogen uit de glasvezelsensor metingen.

Tijdens het proefbelastingsprotocol wordt continue de rekken gemeten in de paalpunt en langs de schacht . Deze rekken vermenigvuldig met de rekstijfheid van de paal geeft de heersende belasting op betreffende diepte.

We meten rekken (strains) in de sensoren over de hoogte van de paal en in de punt

F = ε x EA

ε = rek
E = elasticiteitsmoduls materiaal
A = doorsnede paal



Het getal bij het sensornummer geeft de positie in cm ten opzichte van de paalpunt.

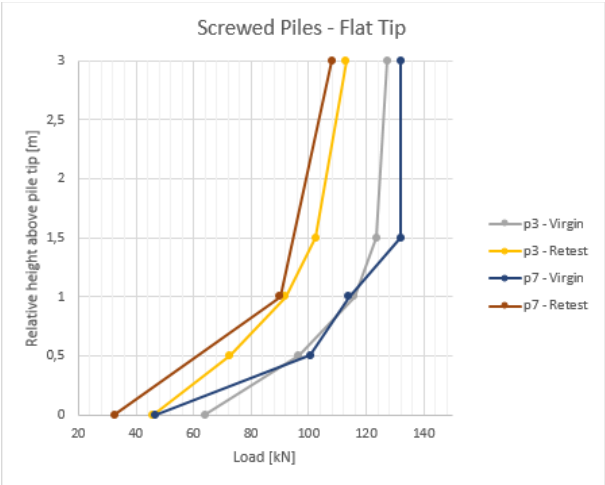
Doordat uit de kalibratie en herkalibratie geen eenduidige stijfheid van de paalpunt is vast te stellen is het bepalen van de puntdraagkracht uit de directe vermenigvuldiging van gemeten rek en stijfheid punt niet mogelijk om tot realistische puntdraagkrachtwaarden te komen.

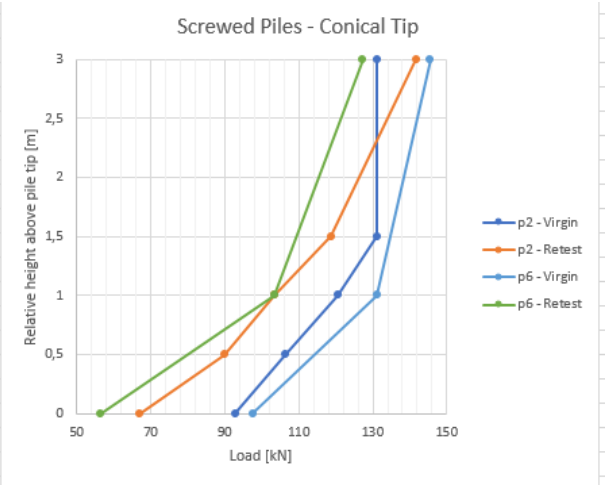
Om deze bovenstaande reden is er voor het bepalen van krachtsafdracht over de paal en het bepalen van de puntdraagkracht en daarmee de paalklassefactoren (α_s en α_p) gekozen om deze op twee verschillende manieren af te leiden.

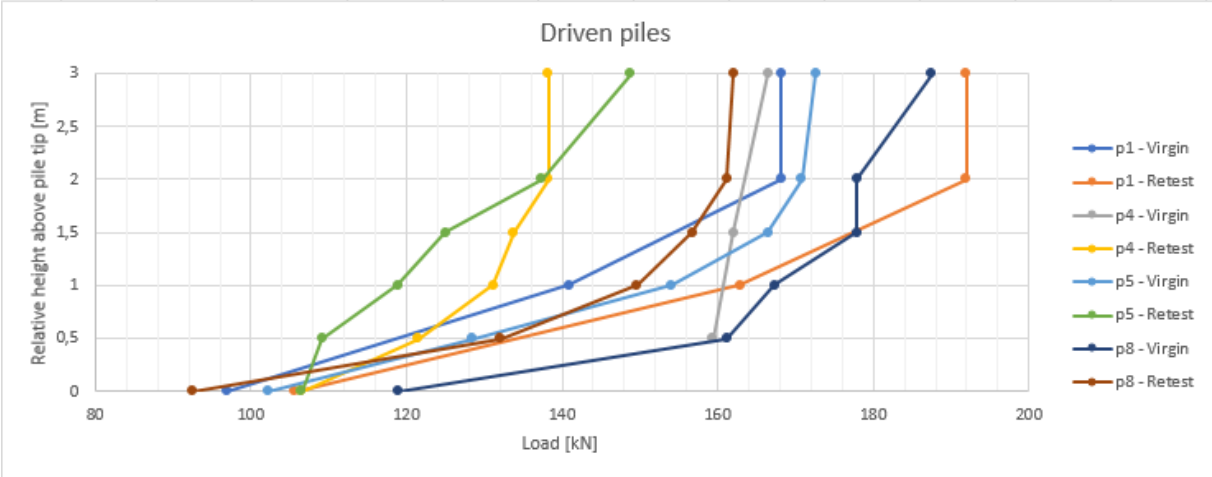
11.2 Afleidingsmethode 1 constante EA over de gehele paallengte

Bij deze methode is de EA van zowel paalschacht als paalpunt gelijkgesteld en is de krachtsverdeling bepaald door de gemeten rek met de EA schacht waarde te vermenigvuldigen.

Hierbij wordt de hieronder gepresenteerde krachtsverdelingen per paal over de diepte gevonden.







Vanuit deze krachtsverdeling van de eerste proefbelastingen kunnen de volgende paalklassefactoren worden bepaald. De puntspanning q_b om alpha p te kunnen bepalen is bepaald met behulp van de 4D/8D methode van Koppejan uit de voorsonderingen. Om α_s te bepalen is de gemiddelde conusweerstand q_c over iedere 50 cm diepte bepaald op basis van de voorsondering en vervolgens is de gemiddelde α_s over de gehele paallengte bepaald. Een uitgebreide uitwerking hiervan kan worden teruggevonden in bijlage N.

Virgin tests:
Schroefpalen:

Conisch	αp	αs	Plat	αp	αs
P2	0,42	0,007	P3	0,25	0,010
P6*	0,40	0,007	P7	0,20	0,014
Gem.	0,41	0,007	Gem.	0,23	0,012

*) tijdens test een platte vorm

Geheide palen:

	αp	αs
P1	0,45	0,008
P4	0,52	0,008
P5.	0,52	0,010
P8	0,74	0,009
Gem.	0,56	0,009

Retests:
Schroefpalen:

Conisch	αp	αs	Plat	αp	αs
P2	0,30	0,015	P3	0,18	0,011
P6*	0,23	0,011	P7	0,25	0,014
Gem.	0,27	0,013	Gem.	0,22	0,013

*) tijdens test een platte vorm

Geheide palen:

	αp	αs
P1	0,50	0,011
P4	0,53	0,007
P5.	0,55	0,006
P8	0,57	0,010
Gem.	0,54	0,009

11.3 Afleidingsmethode 2 Schachtwrijving bepaald op basis van EA constant restant is Puntweerstand

Bij deze methode is als eerste de schachtwrijving over het paaldeel paalkop tot 50 cm boven de paalpunt vastgesteld op basis van de in 11.2 gepresenteerde krachtsverdeling. Vervolgens is op basis van deze krachtsverdeling α_s bepaald zoals omschreven in 11.2. Met behulp van deze α_s is het mogelijke aandeel van de paalschachtwrijving van het onderste paaldeel bepaald (punt tot 50 cm boven punt). Het verschil van de op deze wijze bepaalde totale paalschachtwrijving en de gemeten bezwijkbelasting wordt vervolgens toegekend aan de paalpunt. Met de op deze wijze bepaalde paalpuntweerstand kan α_p worden bepaald op basis van de uit de sonderingen afgeleide paalpuntspanning zoals omschreven in 11.2.

Schroefpalen:

Conisch	αp	αs	Plat	αp	αs
P2	0,40	0,007	P3	0,31	0,008
P6*	0,39	0,008	P7	0,35	0,008
Gem.	0,40	0,008	Gem.	0,33	0,008

*) tijdens test een platte vorm

Geheide palen:

	αp	αs
P1	0,48	0,007
P4	0,76	0,002
P5.	0,50	0,011
P8	0,84	0,007
Gem.	0,64	0,007

Retests:
Schroefpalen:

Conisch	αp	αs	Plat	αp	αs
P2	0,23	0,018	P3	0,19	0,010
P6*	0,19	0,013	P7	0,19	0,011
Gem.	0,21	0,016	Gem.	0,19	0,011

*) tijdens test een platte vorm

Geheide palen:

	αp	αs
P1	0,48	0,011
P4	0,42	0,010
P5.	0,41	0,010
P8	0,63	0,009
Gem.	0,59	0,010

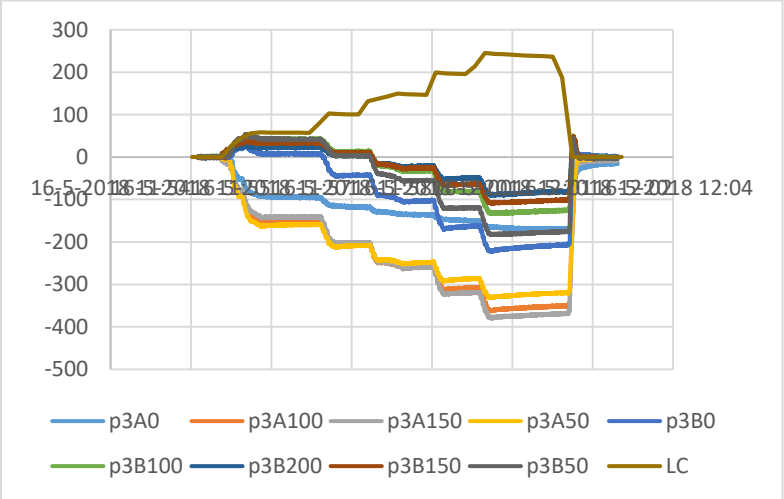
12 Inspectie palen na verwijderen

Op 15 mei 2018 zijn de schroefpalen uit de proefkuip verwijderd. Om de palen te verwijderen zijn de palen gedeeltelijk vrijgegraven en vervolgens met behulp van een kraan statisch uit de grond getrokken.

Na het verwijderen zijn de palen schoongemaakt en is de schacht geïnspecteerd en ingemeten. Voor een foto reportage en de inmeetgegevens wordt verwezen naar bijllagen O en P.

Er is gekozen om de palen niet aan een statische trekproef te onderwerpen bij het verwijderen om schade aan de nog te inspecteren paalschacht te voorkomen.

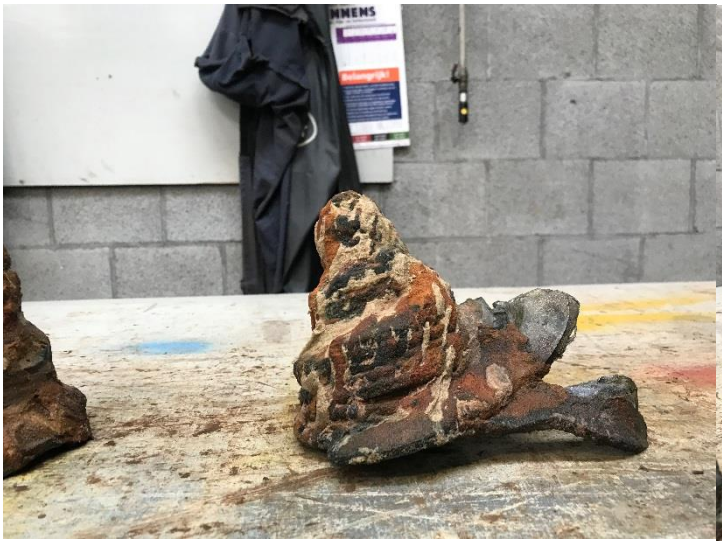
Om duidelijkheid te krijgen over de stijfheid van de paalschacht zijn de palen na het uit de grond verwijderen nogmaals gekalibreerd zodat ook de werkelijke bijdrage in stijfheid van de groutmantel kon worden vastgesteld. Bij de herkalibratie is vast gesteld dat stijfheid van de paalschacht met de vooraf aangenomen theoretische waarde van de stijfheid overeenkomt. Uit de kalibratie en herkalibratie volgt tevens dat stijfheid van de paalpunt bij belasting niet eenduidig is vast te stellen en afwijkt van de theoretisch bepaalde waarde. De sensoren nabij de paalpunt van iedere schroefpaal vertonen geen lineair gedrag, ook hebben de punten van de schroefpalen onderling geen overeenkomstige stijfheid bij kalibratie. Zie bijlage P. Naderhand is vernomen dat ook op andere proefprojecten onlogische waarden zijn gevonden bij glasvezelsensoren nabij de paalpunt. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.



Van links naar rechts: paal 3,2,6 en 7.

Op 11 oktober 2018 is de kuip ontgraven ter plaatse van de paallocaties 2 en 6.
De conische puntvormen zijn gelocaliseerd. Voor paal 2 was deze punt nog op de paallocatie en had een ongeschonden vorm. Zichtbaar dat het conische deel is afgescheurd op de lasverbinding en tijdens het inboren van de laatste 10 cm voor de paal is uitgeduwd. De paal is dus wel getest met een conische punt vorm.

Voor paal 6 was zichtbaar dat het conische deel is gekanteld en langs de buis is gekomen en afgescheurd op de lasverbinding over de laatste 30-40 cm te boren lengte. Deze paal is dus getest met een “platte” puntvorm waar aan de zijkant het conisch deel heeft gezeten.



13 Conclusies en aanbevelingen

De bij de proefbelastingen vastgestelde bezwijkdraagvermogens van hei- en schroefpalen blijken significant lager te liggen dan de vooraf berekende bezwijkdraagvermogens op basis van de paalklassefactoren uit NEN 9997-1 voor 2017.

De in [4] vermelde lagere waarde van αp bij palen die dieper geplaatst zijn dan 8D in een draagkrachtige zandlaag lijkt hiermee te worden bevestigd.

De rekmeting bij de paalpunt geeft een verstoord beeld t.a.v. de stijfheid van de punt. Uitwerking van de meetresultaten conform methode 2 waarbij de paalstijfheid van de schacht gevonden uit de hoger geplaatste reksensoren worden geëxtrapoleerd tot de punt, geeft een betrouwbaar beeld.
Methode 1, waarbij de gevonden rekwaarden bij de punt worden gebruikt, leiden tot verkeerde conclusies.

Er kan niet worden vastgesteld of er ook sprake is van schaaleffecten bij deze proefbelastingen. Overigens lijkt de vastgestelde αs waarde wel redelijk overeen te komen met de in de norm (NEN 9997-1+C1:2012 nl) voorgeschreven waarden.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek, met een beperkt aantal proeven, kunnen geen statisitisch verantwoorde conclusies worden getrokken.

13.1 Conclusies ten aanzien van geschroefde palen

De bezwijkdraagvermogens die worden gevonden voor de verschillende types schroefpalen liggen dicht bij elkaar. Voor paal 2 is vastgesteld dat de conische vorm aanwezig is geweest tijdens het proefbelasten. Voor paal 6 is vastgesteld dat de paal getest is met een meer plattere punt vorm.

Voor de schroefpalen is niet direct middels gemeten rekken nabij de punt en stijfheid punt uit herkalibratie een betrouwbare waarde van de puntdraagkracht af te leiden.
De gelijmde verbinding van de boorkroon en de aanwezige glasvezelsensoren nabij de punt hebben niet gefunctioneerd zoals verwacht.
Kwetsbaarheid van glasvezel sensoren tijdens aanbrengen palen tijdens uitvoering. Ook niet alle sensoren langs de schacht hebben gefunctioneerd ten tijden van kalibratie en proefbelasten.

Aangezien de boorpunten bij paal 2 en 6 pas zeer nabij het bereiken van de einddiepte zijn losgeraakt, kan worden aangenomen dat dit losraken geen invloed heeft gehad op de schachtwrijving. Uit de bepaling van de αs conform methode 2 kan worden afgeleid dat de vorm van de punt geen invloed heeft op de schachtwrijving. Voor beide punttypen is deze gelijk. Het feit dat bij het aanbrengen van paal 6 de punt tijdens het installeren losgeraakt is juist voor het bereiken van het paalpuntniveau maakt dat enig voorbehoud betracht dient te worden bij deze conclusie.

Uit de scale proef met het beperkte aantal proefpalen is vast te stellen dat de α_p waarde tussen een conische en platte puntvorm in de afleiding volgens methode 2 die als meest betrouwbaar moet worden geacht, de conische vorm een hogere α_p genereert. Opgemerkt dient te worden dat de α_p niet direct is bepaald uit de sensorrekwaarde maal puntstijfheid, maar middels een alternatieve afleiding is bepaald zodat ook de grootte van de α_p waarde een zekere onnauwkeurigheidsmarge heeft.

Voor paal 2 en 6 (conisch) is een hogere puntweerstand gevonden dan voor paal 3 en 7 (plat). Door het ontbreken van een verbinding tussen punt en schacht voor het bereiken van de einddiepte zijn deze palen op aandruk op diepte gekomen. Dit heeft mogelijk invloed gehad op de verdichting onder en rondom de punt.

De lagere α_p die bij de platte punt wordt gevonden kan met een gelijksoortige reden worden verklaard door de aanwezigheid van de schrapers onder deze punt, welke zogenaamde “boorschaduw” kunnen veroorzaken. Hierdoor zou een minder stijfgedrag worden verwacht. Dit is waarschijnlijk niet zichtbaar omdat de schachtwrijving grotendeels gemobiliseerd wordt alvorens de punt aan het draagvermogen gaat bijdragen. Bij palen die worden geïnstalleerd met groutinjectie wordt dit effect van geroerde - dus minder stijve grond direct onder de punt - naar verwachting geheel of grotendeels teniet gedaan door vulling en menging met grout.

De vorm van de punt lijkt nagenoeg geen invloed heeft op het totale draagvermogen van de paal daar de hoogte van de bezwijkbelastingen onderling geen verschil maken.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek met een beperkt aantal proeven kan niet worden geconcludeerd dat de vorm van de paalpunt invloed heeft op het draagvermogen van de paal.

Opgemerkt dient te worden dat er geen onderzoek gedaan is naar nuances in de geometrie van de verschillende punten zoals bijvoorbeeld de tophoek van de conische schroefpunt.

13.2 Conclusies ten aanzien van geheide palen

De gevonden αp en αs waarden voor de geheide palen komen goed overeen met de in [4] lagere voorspelde draagkrachtwaarde voor palen >8D in de zandlaag geplaatst.

Lagere αp waarden worden ondersteund met proefbelastingen van prefab palen diep in het zandgeplaatst bij meerdere projecten in Nederland.

Set-up aspecten en Aging. Zie [3]. In dit rapport wordt hier niet verder op ingegaan.

13.3 Conclusies vervormingsgedrag en stijfheid

Uit de lastvervormingsdiagrammen welke worden gepresenteerd in hoofdstuk 11.1 kan tevens worden afgeleid dat het vervormingsgedrag en de veerstijfheid van schroefpalen geïnstalleerd met verschillende types punten min of meer gelijk is. De geschroefde palen vertonen iets meer vervorming dan de geheide palen.

13.4 Conclusies schachtwrijving

Uit vergelijking van de testresultaten komt naar voren dat de schachtwrijving van de geschroefde palen minimaal gelijk is aan die van de geheide palen. Belangrijk is wel te vermelden dat de palen zonder injectie dus droog zijn ingeboord.

Uit de boorregistraties is af te leiden dat de conische punten pas nabij einddiepte zijn beschadigd.
De paalpuntweerstand van de geheide palen ligt wel een factor 2 hoger dan de geschroefde palen bij de initiële testen en zelfs een factor 3 bij de hertesten.

13.5 Conclusies hertesten

In het algemeen kunnen we stellen dat bij het hertesten van de bezweken palen de bezwijkwaarden lager liggen dan bij de eerste testfase. Er is vastgesteld dat de schachtwrijving is toegenomen. We zien dat bij de hertest de schachtwrijving een groter aandeel heeft in het totale draagvermogen ten koste van het puntdraagvermogen. De palen reageren tevens minder stijf.

13.6 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Na het uitvoeren van de proefbelastingen is vastgesteld dat een sterke teruggang in conuswaarde q_c onder paalpuntniveau of een paalpuntniveau ondiep in de vaste zandlaag bij toepassen van methode Koppejan 4D/8D leidt tot grote verschillen in theoretische waarden van q_b en daarmee de afgeleide αp-waarde. Terwijl de bij de verschillende palen vastgestelde bezwijkdraagvermogens dicht bij elkaar liggen.

Hieruit volgt dat de afleidingsmethodiek volgens Koppejan 4D/8D voor q_b naar onze mening nader bekeken dient te worden.

Een vervolgonderzoek met palen uitgevoerd met een installatiediepte < 8D in een vergelijkbaar grondprofiel kan bijdragen aan de verificatie van [4] en daarmee het rendement van het dieper installeren van palen op het puntdraagvermogen.

Extra onderzoek naar het effect van groutinjectie tijdens inboren op draagvermogen schroefpalen.

Voor het meten van de rek nabij de paalpunt is gebleken dat de sensoren nabij de punt een niet lineair en onlogisch gedrag vertonen. Voor vervolgprojecten wordt daarom aanbevolen de sensor tenminste 1D boven de paalpunt te plaatsen.

Teneinde de complexiteit van het uitvoeren van volledig geïnstrumenteerde paalproeven en de interpretatie van de meetresultaten in acht nemende, is het juist voor vaststelling van paaldraagvermogens op (grote) projecten zinvol om meer eenvoudige proefbelastingen (types B,C en D) op de projectlocaties uit te voeren.

.

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE A

Voorstel Schaalproeven

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE B

Overzichtstekening proefkuip, proef palen en sonderingen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE C

Grondonderzoek voor- en nasonderingen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE D

Gegevens zand D_{50} = 0.2 -0.35 mm

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE E

Berekening draagvermogen geheide palen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE F

Berekening draagvermogen geschroefde palen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE G

Pile make-up proefpalen positie glasvezels sensoren

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE H

Belastingschema’s voor proefbelastingen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE I

Hei analyse installeren stalen buispalen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE J

Uitvoeringsgegevens Hei- en Schroefpalen door BREM

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE K

Meetdata proefbelastingen in grafieken per paal

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE L

Analyse en Interpretatie proefbelastingsdata per paal

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE M

Bepaling Alpha p en Alpha s volgens twee methodes

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE N

Na sonderingen in vergelijking tot voor sonderingen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE O

Gegevens inspectie hei- en schroefpalen

Nederlandse Vereniging Aannemers Funderingswerken

bouwen aan betrouwbaarheid

BIJLAGE P

Gegevens kalibratie en herkalibratie schroefpalen