Onderzoek naar gedrag paalpunten met schaalproef

De paalklassefactor αp is sinds dit jaar in de ontwerpnorm met 30 procent verlaagd. Dit leidt niet alleen tot meer of langere c.q. dikkere palen, maar ook tot verzwaring van de uitvoerbaarheid, met name in paalgroepen. Om deze reden zijn er nu een aantal initiatieven tot stand gekomen om hogere factoren dan de minimumwaarden in de norm aan te tonen. Voor in de grond gevormde palen kunnen uitvoeringsvariabelen een rol spelen in het draagvermogen, maar de effecten van de afzonderlijke parameters is tot nu onbekend. Om al deze variabelen op volle schaal te onderzoeken is economisch niet verantwoord, naast het feit dat dit wellicht leidt tot verstoring van de meetresultaten door variaties in de ondergrond en terreinen vol met obstakels. Brancheverenigingen NVAF heeft het initiatief genomen om door middel van schaalproeven de impact van de vorm van de paalpunt bij grondverdringende geschroefde palen te onderzoeken.

De proefopstelling met dragline schotten als ballast

In de constructieberekeningen voor bouwvergunningsaanvragen die na 1 januari 2017 zijn ingediend, dient rekening te zijn gehouden met lagere rekenfactoren voor het draagvermogen van de funderingspalen. In Nederland wordt het draagvermogen van funderingspalen bijna altijd berekend met behulp van de zogenaamde methode Koppejan; op basis van sondeerresultaten en paalklasse-factoren die per paalsysteem in de Nederlandse Nationale Annex behorende bij Eurocode 7 zijn vastgelegd. Ieder paalsysteem heeft zijn eigen paalklasse factoren, α_p, α_s en α_t waarmee respectievelijk puntweerstand en schachtwrijving, aan de hand van de conusweerstanden uit het sondeeronderzoek, worden bepaald.
De paalklassefactor α_p voor de puntweerstand is voor alle systemen per 1 januari 2017 met 30 procent verlaagd. De reden hiervoor is dat bij een analyse van meerdere proefbelastingen op prefab betonpalen, het draagvermogen van de paalpunt niet aan de verwachting bleek te voldoen. Dit gold met name voor palen die relatief diep in het zand waren geplaatst (≥ 8D). De beproefde palen waren voorzien van uitgebreide instrumentatie om de bijdrage van paalpunt en paalschacht aan het totale paaldraagvermogen te kunnen onderscheiden. Van andere paalsystemen, zo werd er vastgesteld, waren te weinig goed gedocumenteerde geïnstrumenteerde proefbelastingen beschikbaar, die voldeden aan de eisen voor klasse A-proefbelastingen. Alleen met deze klasse van proefbelastingen is het mogelijk om paalklassefactoren te bepalen.

Proefbelastingen

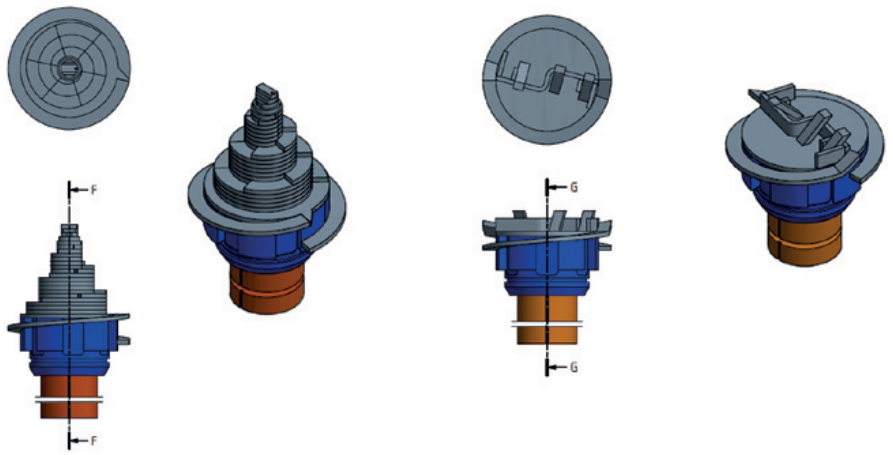
Op dit moment wordt door de Commissie Geotechniek van NEN (het Nederlands Normalisatie Instituut belast met het uitgeven van onder andere de Eurocodes in Nederland) de laatste hand gelegd aan de NPR 7201, de Nederlandse Praktijk Richtlijn voor 'Bepaling van het axiaal draagvermogen van funderingspalen door middel van proefbelastingen'. De laatste handeling betreft het verwerken van commentaar en suggesties vanuit 'de markt' op de zogenaamde groen-versie van deze richtlijn, die direct gekoppeld is aan de ontwerpnorm.

De Nederlandse nationale annex van Eurocode 7 en ook deze NPR 7201 beschrijven hoe de paalklassefactoren voor paalsystemen kunnen worden vastgesteld door middel van klasse A proefbelastingen. Het aandeel van de paalschacht en paalpunt in het bezwijkdraagvermogen van een funderingspaal wordt vastgesteld door nauwkeurige metingen van de opgelegde kracht, verplaatsing van de paalkop, de rek- c.q. spanningsverdeling in de paal, terwijl de proefpaal in gedefinieerde stappen tot bezwijken wordt belast. De wijze waarop de palen worden ingebracht moet nauwkeurig zijn beschreven en de uitvoering dient te worden geregistreerd. Om paalklassefactoren vervolgens in berekeningen voor locaties door het hele

land te kunnen gebruiken moet er op tenminste twee maar liever drie verschillende locaties proefbelast te worden.

Op het eerste gezicht lijkt het dus eenvoudig mogelijk dat de bouwbranche en de partijen die hierin actief zijn om met het testen van een enkele palen op een aantal locaties betere paalklassefactoren te verkrijgen. De praktijk is echter iets complexer: veel funderingsbedrijven voeren naast generieke systemen zoals de geheide prefab betonpaal, de vibropaal en de mortelschroefpaal ook systemen waarbij de paal(schroef)punt en de inbrengmethodiek verschillen. Deze verschillen zijn er soms tussen de uitvoerende bedrijven onderling, maar in veel gevallen moeten er afhankelijk van de paalgrootte en de ondergrond boorpunten en uitvoeringsparameters worden aangepast. Daarbij komt dat het uitvoeren van geïnstrumenteerde proeven zeer kostbaar is, er een terrein nodig is wat lang genoeg beschikbaar blijft om de proeven na volledige uitharding van de palen uit te kunnen voeren en waar voldoende ruimte is om een ballastconstructie of reactiepalen te kunnen installeren waarmee de

De conische schroefpunt



Afbeelding 1 Constructietekening van de verschillende schroefpunten

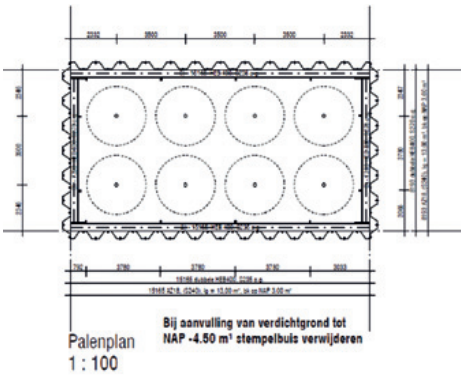
bezwijklast van in sommige gevallen honderden tonnen gegenereerd kan worden. Vervolgens moet één paal volledig worden vrijgemaakt ter controle en dit dus voor alle mogelijke combinaties van variabelen.
Daarbij komt dat maar weinig terreinen voldoen aan de in de NPR 7201 gegeven specificaties voldoen. In dat geval kan er wel een klasse A proef worden uitgevoerd, maar de daarbij vastgestelde paalklassefactoren gelden dan slechts voor die locatie en kunnen niet worden gebruikt om landelijk erkende factoren vast te stellen.

Onderzoek

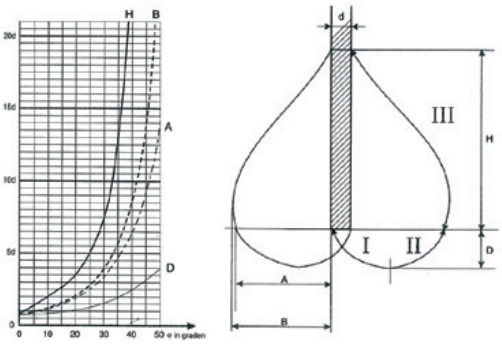
Om efficiënt onderzoek te kunnen doen naar het bezwijkdraagvermogen van funderingspalen heeft een aantal funderingsbedrijven onder coördinatie van de NVAF de handen ineen geslagen en is samenwerking met de sectie Geotechniek aan de TU Delft gezocht om eerst een andersoortige proef uit te voeren: namelijkdoor eerst praktijkproeven op schaal uit te voeren. Een proeflocatie is hiervoor gemaakt om de variatie in grondeigenschappen klein te houden. Een eerste proefserie is op dit moment in uitvoering. Het doel van deze proef is om vast te stellen of de vorm van de schroefpunt, die wordt toegepast onder de grondverdringende schroefpaal met verloren punt, invloed heeft op het paaldraagvermogen.

Bij het onderzoek worden een drietal paaltypes met elkaar vergeleken:
- een geheide stalen buispaal, hiervan worden er in totaal vier stuks geïnstalleerd;
- twee grondverdringende schroefpalen met 'conische' schroefpunt;
- twee grondverdringende schroefpalen met een 'platte' schroefpunt.

De schroefpunten die in de markt worden gebruikt bevinden zich tussen deze twee uitersten, daarom is het zeer waardevol om nauwkeurig vast te stellen hoe deze zich verhouden.
Daarnaast is een vergelijk ten opzichte van een geheide paal wetenschappelijk waardevol.



Afbeelding 2 Overzicht van de proeflocatie met paalposities en invloedsgebieden



Afbeelding 3 Bezwijkglijvlak van de paalpunt

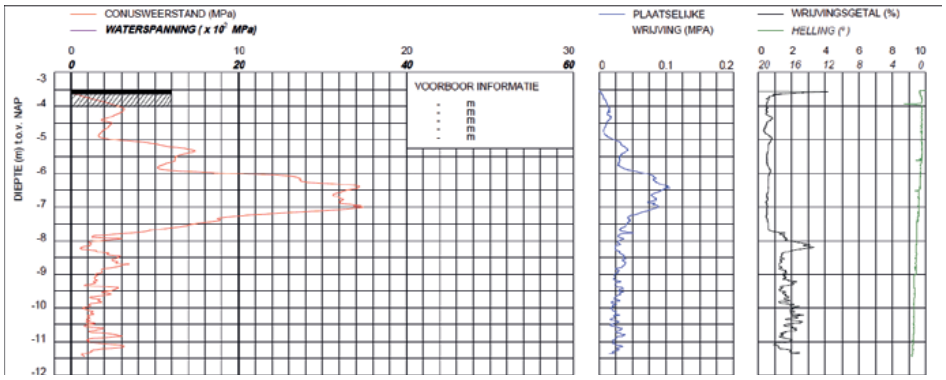
De proef wordt uitgevoerd op een schaal van 25 tot 50 procent van de werkelijkheid. Door in een bouwkuip een gelijkmatige grondopbouw te realiseren kunnen de voor de proef gebruikte palenlengtes beperkt blijven tot slechts 3,0 m. De een punt-/schachtdiameter bedraagt 150/125 mm voor de geschroefde palen en 152/152 mm voor de geheide stalen buispalen. Voor de geschroefde palen past deze verhouding binnen de eisen van de Eurocode 7 voor dit paaltype, zodat geen verdere reductie van de paalpuntspanning door middel van de zogenaamde β-factor nodig is. Om de krachtsverdeling in de palen nauwkeurig te kunnen meten zijn de palen voorzien van glasvezels met sensoren waarmee tot de paalpunt de rek van de paalschacht kan worden gemeten. Deze glasvezels zijn bij de schroefpalen aangebracht op een aan de schroefpunt bevestigde centrale as waaromheen met mortel de paalschacht van gevormd wordt.

Om niets aan het toeval over te laten zijn de geïnstrumenteerde palen (in het geval van de schroefpalen het samenstel van centrale as en punt) in een drukbank geplaatst om de glasvezel te testen en te kalibreren alvorens de palen in de grond te installeren.

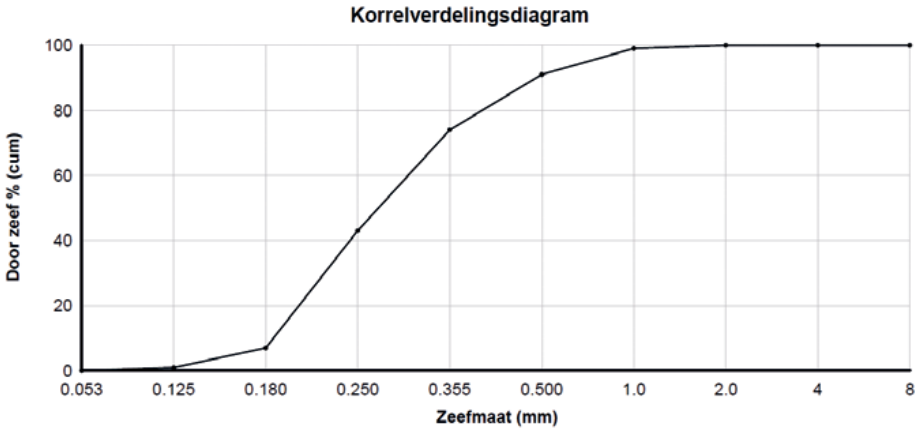
De palen zijn geïnstalleerd in een zandbed met een dikte van 4,5 m binnen een speciaal daarvoor gemaakte stalen damwandkuip. Het zand dat wordt gebruikt bij de proef heeft een D50 van 0,2 - 0,35 mm en is laagsgewijs machinaal verdicht om zo een conusweerstand van 5 - 15 MPa te verkrijgen.

De TU Delft is nauw betrokken bij zowel het opzetten van het onderzoek als bij de uitvoering van de proeven. Dit gebeurt in goede samenwerking en onder leiding van professor Ken Gavin met zijn team en enkele afstudeerders. De resultaten zullen door de TUD worden meegenomen in een meerjarig wetenschappelijk programma dat op dit moment wordt vormgegeven om beter inzicht te krijgen in het gedrag vaan palen in de ondergrond.

In de hierboven omschreven opzet ligt de theoretische bezwijklast van de palen tussen de 200 en 300 kN, waarbij circa



Afbeelding 4 Karakteristieke sondering van de proeflocatie



Aflbeelding 5 Zeefkromme van het zand in de proefkuip

20 tot 25 procent van het draagvermogen uit schachtwrijving wordt verkregen. Om dit te controleren is per paalpositie een sondering gemaakt op basis waarvan de theoretische bezwijklast en de variatie hiervan met de diepte bepaald is. Verder is er een seismisch profiel van de bodem gemeten en zullen er na het uitvoeren van de proefbelasting nasonderingen rond de palen worden gemaakt om beïnvloeding door het installeren van de palen te kunnen bepalen.
De geschroefde palen zijn half augustus beproefd, de overige geheide palen worden gefaseerd beproefd om hier het mogelijke effect van 'aging' te onderzoeken.

Indien er aan de hand van deze proef een bandbreedte wordt vastgesteld waarbinnen de αp 's van verschillende schroefpunten zich bevinden, is het wellicht mogelijk om eventueel later uit te voeren full scale-testen efficiënter uit te voeren met een correlatie naar de schaalproeven. Variatie in paalpunten bij de testpalen kan dan beperkt blijven, wat een aanzienlijke besparing kan geven voor de bouwbranche. Gedacht wordt om deze schaalproef ook uit te voeren op andere variabelen zoals groutinjectie en aandruk tijdens het installeren. Zo zullen er uiteindelijk meer verschillende invloeden onderzocht kunnen worden, wat belangrijk is om eerst nu nog ontbrekende kennis te verkrijgen.

Het feit dat de bedrijven in de funderingsbranche hierin samenwerken is uniek, maar geeft ook aan dat het belang door alle partijen wordt onderkend. Hierdoor kan aanzienlijk meer worden bereikt dan er voor één bedrijf individueel mogelijk is. Ook is er zo goede aansluiting mogelijk met andere initiatieven van uit opdrachtgevers en de wetenschappelijke instituten om tot veilige, maar efficiënte funderingen te komen. ■

Ing. Patrick IJnsen, MBA, Van 't Hek Groep,
ir. Bartho Admiraal Volker Staal en Funderingen