



Figuur 1:
Luchtfoto Hollandia-terrein met links hal 10 in aanbouw

Hal 10 Hollandia te Krimpen aan den IJssel

Ontwerp en uitvoering paalfundering

Hoe breng je zware belastingen vanuit een vloer van een hal over naar een zeer grillig funderingszandpakket? Voor deze uitdaging stonden de adviseurs van VWS Geotechniek bij het ontwerp van de fundering van hal 10 op het Hollandia terrein in Krimpen aan den IJssel, waar tijdens de uitvoering nog meer uitdagingen naar boven borrelden.

Hal 10 wordt gebouwd op het terrein van Hollandia te Krimpen a/d IJssel. Het terrein, gelegen in de Stormpolder, heeft een driehoeksvorm en wordt aan twee zijden ingesloten door rivieren, namelijk de Hollandse IJssel en de Lek, die aan de westpunt van het Hollandia-terrein overgaan in de Nieuwe Maas. Het terrein was in het verleden een scheepswerf en wordt opnieuw ingericht. Op het nieuw ingerichte terrein zullen in de toekomst grote staalconstructies worden gemonteerd of gedemonteerd.

Hiertoe worden twee hallen gebouwd en worden meerdere scheepshellingen omgevormd tot een montageplein, inclusief roll on - roll off kade voor de aan- en afvoer van constructieonderdelen via de Hollandse IJssel.

Hal 10 heeft een afmeting van 85 x 40 m en een hoogte van 25 m. De hal wordt voorzien van een onderheide, gewapend betonnen vloer. Door de

opslag en het transport van zware onderdelen wordt de vloer van de hal zwaar belast. De vloerbelastingen en de belastingen vanuit de halconstructie moeten via een paalfundering worden overgebracht naar de draagkrachtige zandlaag.

Op zich geen probleem, ware het niet dat de grondslag op het funderingsniveau nogal grillig is. Daar waar je bij één sondering een paalpunt op een bepaalde diepte kan funderen, kan bij een sondering 10 meter verderop een aanzienlijk teruggang in conusweerstand zitten.

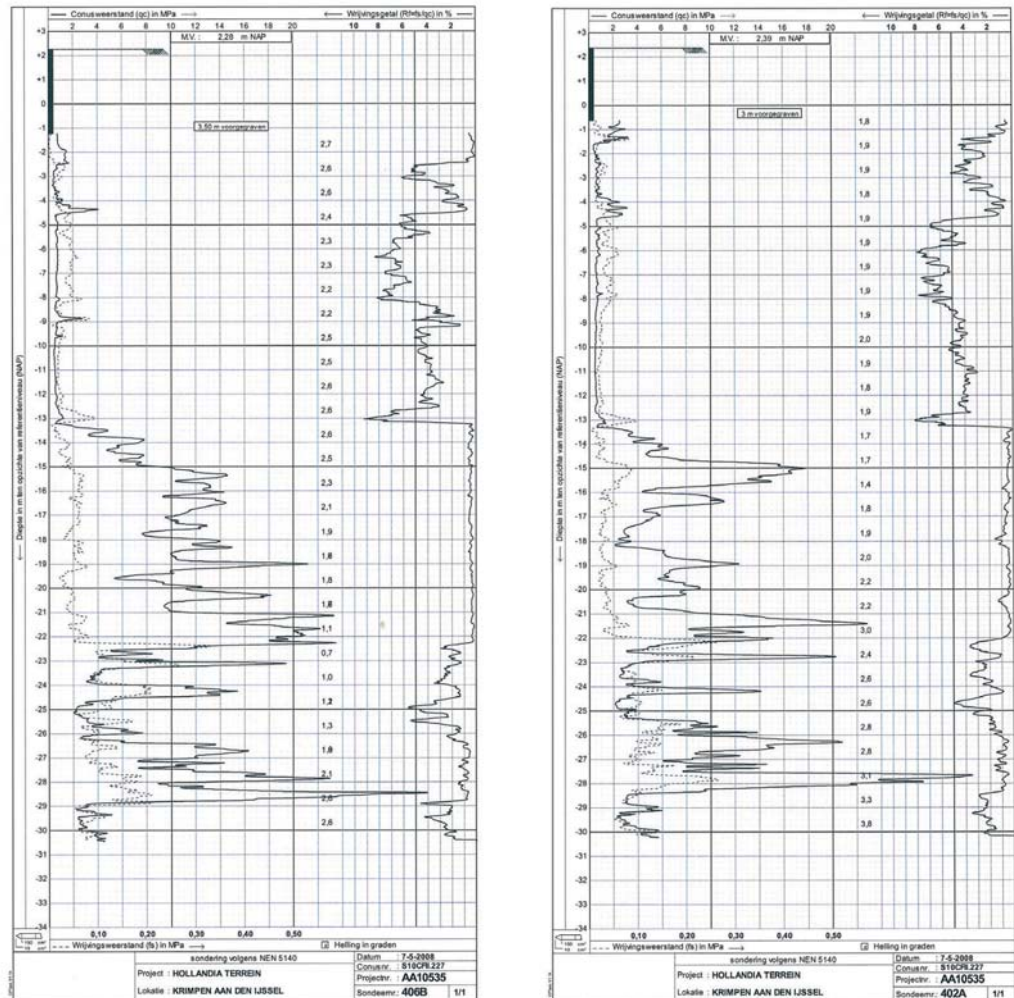
Geologie en bodembouw

De Stormpolder is gelegen ten westen van de Krimpenerwaard, een van oorsprong door rivierarmen ingesloten stuk land, dat in het verleden bij hoge waterstanden overstroomde. Door strandwallen langs de Noordzeekust was er in het gebied een beperkte afwatering mogelijk. Hierdoor kon zich veen afzetten

**Ing. J.G. Jansen en
ir. J.W.R. Brouwer,
VWS Geotechniek**

nummer 7 2008

Figuur 2: Sonderingen op korte afstand van elkaar gemaakt



op de aanwezige rivierklei, gelegen op het pleistocene zand. Het veen bestaat uit onverteerde resten van riet, bomen en planten, waardoor de bodem ten tijde van deze afzettingen hoger kwam te liggen. De holocene klei- en veenlagen hebben een dikte van 12 tot 15 meter. Op dit pakket hebben mensen in de loop der jaren zand, grond en puin aangebracht. Door deze ophogingen is het onderliggende klei- en veenpakket gezakt, waarna er wederom is opgehoogd. De dikte van het door mensen aangebrachte pakket kan variëren van 2 tot 5 meter waardoor het maaiveld van het Hollandia-terrein gemiddeld op NAP + 3,0 m ligt. De freatische grondwaterstand in de Stormpolder staat onder invloed van de eb- en vloedwerking van de Hollandse IJssel, de Lek en de Nieuwe Maas met een gemiddelde waterstand van NAP + 0,38 m.

Het pleistocene zandpakket heeft een zeer wisselende pakking en wordt doorsneden door kleilaagjes. Het zandpakket begint vanaf NAP -12,0 m à -14,0 m en loopt door tot NAP -21,0 m à -24,5 m. Het is een relatief dun pakket, maar wel geschikt om palen in te funderen. Een dieper zandpakket is op de 32 sonde-

ringen die tot NAP -31,0 m zijn uitgevoerd, niet aangetroffen. Door de kleilaagjes zijn op verschillende niveaus behoorlijke teruggangen in conusweerstand aanwezig (teruglopend tot 1 à 2 MPa), waardoor het lastig was een uniform paalpuntniveau te bepalen. Mede hierdoor is gekozen om vibropalen met een trillend getrokken casing toe te passen. De schachtdiameter is 610 mm; de voetdiameter 680 mm.

Ontwerp paalfundering

Vibropalen zijn geheide, in de grond gevormde, grondverdringende palen. Omdat de gebruikte casing langer is dan de te maken paal, kan bij teruggangen in conusweerstand en de daarmee samenhangende teruglopende kalendering één of meerdere tochten (van 25 cm) worden doorgeheid. De positieve schachtwrijving is afhankelijk van het paaltype en de daarmee samenhangende uitvoering. Bij vibropalen zal door verdichting de conusweerstand in het funderingszandpakket, waarover positieve schachtwrijving wordt gegenereerd, niet afnemen maar eerder toenemen. Na de betonstort wordt bij vibropalen de casing trillend of heidend getrokken. Hierdoor krijgt de paalschacht een ru-



Figuur 3: Het kubelen van de betonmortel in de stalen casing



Figuur 4 (rechts): Het uittrillen van de casing, nadat de paal gereed is



Figuur 5: Heiwerkzaamheden hal 10

were vorm waardoor de wrijving tussen zand en de paalschacht groter is dan bij een gladde paalschacht (zoals bij prefab betonpalen). Daarom mag voor vibropalen een relatief hoge schachtwrijvingsfactor worden berekend.

Een andere reden om voor vibropalen te kiezen is het puinhoudende ophoogpakket met daaronder het samendrukbare pakket. Omdat bij vibropalen een stalen casing in de grond wordt geheid, is de kans op paalbreuk door puin of rijgen klein in vergelijking met prefab betonpalen. Rijgen treedt op als een paal of buis met een harde klap door de toplaag wordt geslagen, waarna de paal of buis door het samendrukbare pakket schiet (rijgt). Dit heeft hoge trekspanningen en mogelijk paalschade tot gevolg.

Door het dunne funderingszandpakket met de vele teruggangen was het lastig een uniform paalpuntniveau met voldoende draagkracht voor paalbelastingen

gen variërend van 800 tot 2000 kN te vinden. Na een aantal iteraties van constructieve en geotechnische berekeningen, werd dit niveau bij bijna alle sonderingen gevonden tussen NAP -19,0 m en -20,0 m.

Uitvoering paalfundering

Het toegepaste heiblok was een Delmag 62, die voor deze grondslag vrij zwaar is. Door het zware blok en de grillige grondslag van het funderingszandpakket werden eindkalenders gehaald van 4 tot 20 slagen per 25 cm. De gemiddelde eindkalendering was hoger dan 10 slagen per 25 cm. Daar waar de kalenderwaarde sterk afweek van het verwachte beeld moest een tocht dieper worden geheid of een extra paal worden gemaakt.

Een probleem waarmee men tijdens de uitvoering werd geconfronteerd, waren de palen waarbij water naar boven borrelde. Bij aanvang van het heiwerk trad de ongewenste welvorming bij meerdere palen op. Nadat de paal was afgewerkt en de casing getrokken, borrelde er na circa 20 tot 30 minuten in meer of mindere mate water en mogelijk ook gas door het midden van de nog verse paal omhoog (zie figuur 6 en 7).

Tijdens het uittrillen van de casing voor een in de buurt gesitueerde nieuw te maken paal werd de waterstroom uit de al gemaakte paal erger. Ongeveer een uur na eerste uittreding stopte de waterstroom. Het toegepaste betonmengsel was C28/35, milieuklasse XC2 en consistentieklasse 3, wat voor vibropalen een gebruikelijk mengsel is.

Toen het wellen bij meerdere palen optrad, werd het heiwerk stilgelegd om de oorzaak te achterhalen en te zoeken naar een oplossing van het probleem. Op vier locaties zijn waterspanningssonderingen uitgevoerd om te beoordelen of de oorzaak van de welvorming lag in hoge waterspanningen in het samendrukbare pakket of in een hoge stijghoogte in het funderingszandpakket.

Tijdens de uitvoering van deze sonderingen zijn op verschillende plekken in het ophoog-, samendrukbare en funderingszandpakket dissipaties uitgevoerd. Uit de dissipaties kwam naar voren dat de waterstijghoogte in de diverse lagen op een niveau van NAP + 1,2 m à + 1,5 m lag. Aangezien de heistelling (en daarmee ook het betonniveau) op NAP + 2,5 m stond, waren de gemeten waterspanningen geen oorzaak van het uittreden van water door het midden van de paal.

Ook zijn alle gemaakte palen akoestisch doorgemeten. Uit de meetsignalen kwamen geen vreemde zaken, zoals grote insnoeringen, naar voren. Bij één paal waar welvorming was opgetreden is tot een diepte van 2,5 m een kern met een doorsnede van ca. 10 cm geboord. In figuur 8 van de boorkern is te zien dat er uitspoeling van het beton heeft plaatsgevonden tot circa 1 m onder het paalkopniveau. De oorzaak van welvorming in het midden van de

Figuur 6: Optredende welvorming door het midden van de paal (foto links en rechts)



Figuur 7 A en B: Resultaten wellen



Figuur 8: Boorkern met een lengte van 2,5 m met het uitspoelinggat van onderaf gezien

paal ligt waarschijnlijk in het veen van het samendrukbare pakket, waar rottende resten van riet, bomen en planten aanwezig kunnen zijn. Door de rotting kunnen gassen ontstaan en wanneer deze gassen vrijkomen door het heidend inbrengen en trillend trekken van de casing, kunnen deze gassen water meevoeren door het vloeibare beton van de nog verse paal. Het water treedt waarschijnlijk horizontaal vanaf de onderzijde van het ophoogpakket de nog verse paal binnen, waarna het gas en water door het midden van de paal naar boven kunnen borrelen.

Figuur 9: Hal 10 Hollandia in aanbouw



Ondanks de welvorming werd het vibro-systeem voor de fundering van hal 10 nog altijd als het beste paalttype beschouwd. Er werd besloten het wellen van de palen tegen te gaan door over de gehele paallengte een colloïdaal betonmengsel toe te passen. De mengselsamenstelling van het toegepaste betonmengsel is: C28/35 XC2 S3 grind 4/16 met de colloïdale hulpstof VI-RE Compound TM 1100 (Tilman in poedervorm), vliegias en gedeeltelijk CEM I 52,5R en als super plastificeerder Tilman OFT II. Door het toepassen van deze mengselsamenstelling heeft het natte betonmengsel meer samenhang gekregen, waardoor er vrijwel geen welvorming meer optrad.

Tot slot

Het ontwerpproces voor de paalfundering van hal 10 werd bemoeilijkt door de grote variatie in de ondergrond en de lokaal relatief geringe draagkracht in de pleistocene zandlagen. Tijdens de uitvoering kreeg het team te maken met een ongebruikelijke en onverwachte welvorming in de palen, vermoedelijk ontstaan door gasvorming in de holocene veenlagen. Het heiwerk van hal 10 is ondertussen afgerond en de hal is in aanbouw (figuur 9). De oplevering is gepland in oktober 2008.

Op dit moment wordt hard gewerkt aan het ontwerp van de volgende hal voor Hollandia. Ook deze hal zal, in verband met de grillige grondopbouw, op vibropalen worden gefundeerd. Wegens het risico op welvorming zal ook hier colloïdaal beton worden toegepast. ■