

# Zettingsarm ophogen met het AuGeo-paalsysteem

Ing. N.G. Cortlever, Cofra b.v. Amsterdam

## INTRODUCTIE

**Snelle realisatie van onderhoudsarme infrastructuur op sterk samendrukbare grond vraagt om nieuwe funderingstechnieken, die op economisch verantwoorde wijze en op grote schaal toegepast kunnen worden. Het onderzoeksproject NO-RECESS, opgezet door DWW en HSL-Zuid gaf de mogelijkheid nieuwe grondverbeteringstechnieken in de praktijk te testen op een proefveld te 's Gravendeel. Bij terp HW5, de laatste van een vijftal proefterpen, heeft Cofra b.v. in samenwerking met Vermeer Infrastructuur b.v. een ontwerp gemaakt voor een gestabiliseerde ophoging op een AuGeo-paalfundering, waarbij een Geogrid gebruikt wordt om het gewicht van de ophoging over te brengen op de fundering.**

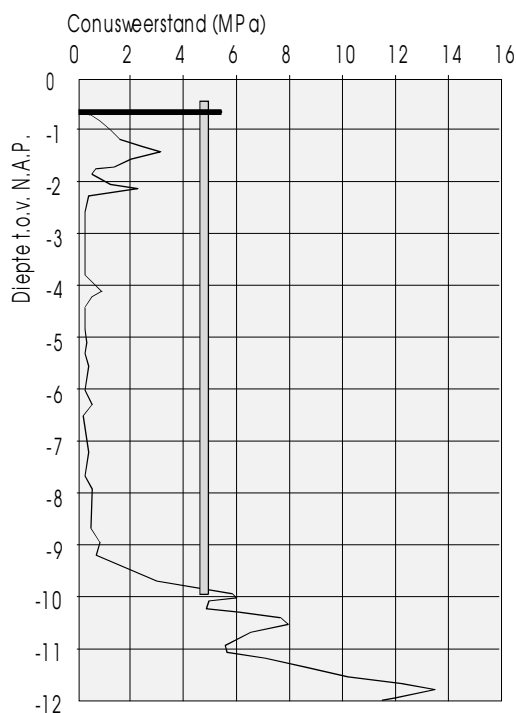
## AUGEO

AuGeo is een paalfunderingssysteem dat gekenmerkt wordt door relatief lichte palen die voorzien zijn van een vergrote punt en kop. De palen worden op korte afstanden van elkaar in de grond gedrukt met behulp van een zogenaamde drainstitcher die omgebouwd is om palen met grote kracht en snelheid in de grond te duwen. In tegenstelling tot een op stuit geheid paalsysteem, waarbij het belangrijk is dat er geen enkele nazetting optreedt, is een geringe mate van zetting van de AuGeo-paal niet nadelig voor de krachtenverdeling in de ophoging en de Geogrid overgangconstructie. Bij proefterp HW5 is gekozen voor AuGeo-palen, gemaakt van schuimbeton en voorzien van een PVC-casing. Met schuimbetonpalen was reeds enige ervaring opgedaan met een aantal proefbelastingen. De PVC-casing werd gebruikt om fabricage technische redenen.

## BEREKENING PAALCONSTRUCTIE

De draagkracht van een AuGeo-paal wordt bepaald door de kracht van de installatiemachine. Cofra maakt gebruik van een stitcher die een maximale statische kracht van 25 ton kan ontwikkelen. Door de hoge inbrengsnelheid is de wrijvingsweerstand te verwaarlozen. De voetplaat van de AuGeo-paal heeft een oppervlakte van 400 cm<sup>2</sup>. Wanneer lagen met een conusweerstand van ca. 6 MPa bereikt worden, zal de machine zijn maximale indrukkkracht bereiken. Afgaande op de sondering, die dicht bij de proefterp gemaakt was, kon een dergelijke laag op een diepte van 9 meter onder het maaiveld verwacht worden. Verschil in diepte of draagkracht van de

zandlaag zal door de gebruikte installatiemethode geen invloed hebben op de draagkracht van de paal. Om doorpensen van de zandlaag te voorkomen wordt een veiligheid van 3 gehanteerd, zodat een maximale draagkracht per paal van 85 kN aangehouden wordt. Proefterp HW5 omvat 20 m ophoging met een hoogte van 1 meter, een overgangsgebied met een lengte van 40 m dat loopt van 1 m naar 5 m



hoogte en een 20 m lange terp van 5 m, alles met een kruinbreedte van 10 m. Uitgaande van ophoogmateriaal met een massa van 16 kN/m<sup>3</sup>, een ballast bed met rails met een eigengewicht van 19 kN/m<sup>2</sup> en een te verwachten verkeersbelasting van 55-60 kN/m<sup>2</sup> zijn de volgende paalafstanden berekend.

Dikte ophoging (m)	Belasting ophoging (kN/m <sup>2</sup> )	Paalafstand (m <sup>2</sup> )	Paalbelasting (kN)
1	83	1	83
1-3	106	0,9	86
3-5	125	0,8	80

De AuGeo-palen bestaan uit een PVC-buis met een buitendiameter van 160 mm en een wanddikte van 2 mm, gevuld met schuimbeton.

Materiaalgegevens voor schuimbeton zijn:

- volumieke massa specie 1200 kg/m<sup>3</sup>
- volumieke massa ovendroog 938 kg/m<sup>3</sup>
- 350 kg CEM III/B 42,5 LH HS, 400 kg poederkoolvliegas, 100 kg papieras, 340 kg water en 31,6% (V/V) schuim.
- elasticiteitsmodulus  $E_s$  is 8000 MPa na 91 dagen
- druksterkte schuimbeton is 12 MPa na 91 dagen
- buigsterkte schuimbeton is 2 MPa na 91 dagen
- rekendruksterkte is 50 % van de kubussterkte, ofwel  $f'_s = 5$  MPa
- rekenbuigsterkte is 70% van gemiddelde buigsterkte, ofwel  $f_{bs}$  is 1,12 MPa

Materiaalgegevens PVC:

- elasticiteitsmodulus  $E_p = 3000$  MPa
- rekenbuigsterkte  $f_p$  is 50 MPa (druksterkte niet maatgevend)

Belasting op palen

- maatgevende paalbelasting ( $F_{r,d}$ ) is 86 kN

Druk- en momentcapaciteit

De axiale stijfheid wordt bepaald door EA:

- voor casing:  $A = \pi/4 * (160^2 - 156^2) = 993$  mm<sup>2</sup>;  
EA = 2,98 MN
- voor schuimbeton: EA = 1152.9 MN

Een en ander betekent dat de schuimbetonkern 98,5% van de totale axiale last draagt. Met een rekensterkte van 5 MPa volgt hieruit voor de paal een uiterste draagkracht van 97 kN; gelet op de maatgevende belasting van 86 kN voldoet de paal.

De laterale stijfheid wordt bepaald door de buigstijfheid van de paal en de beddingstijfheid van de grond. Voor de grond wordt conservatief uitgegaan van een nat volumegewicht van 14 kN/m<sup>3</sup>, een cohesie gelijk nul en een wrijvingshoek van 15 graden. Bij kleine verplaatsingen (orde mm) volgt dan een gemiddelde veerijfheid voor de grond van 20 kPa en bij grote verplaatsingen (orde dm) is dit 100 kPa. Knik is voor funderingspalen niet maatgevend, doordat in de omringende grond bij toenemende uitbuiging van de paal een steeds grotere steundruk gegenereerd zal worden. Het is wel relevant om te bezien welke momenten de paal kan opnemen en welke kopverplaatsingen mogelijk zijn zonder optreden van bezwijken.

De buigstijfheid (EI) van de kern bedraagt 96% van de totale buigstijfheid; dit betekent dat bij een moment van 776 Nm de schuimbetonkern zal scheuren. Bij een moment van 1937 Nm begeeft de casing het eveneens (met bijbehorende grote kromming). Wordt de paalkop lateraal belast/verplaatst, dan zal de schuimbetonkern scheuren bij een laterale kop-

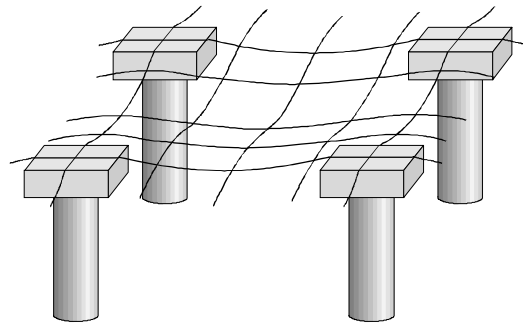
verplaatsing van orde 20 mm, terwijl de casing bezwijkt bij een laterale kopverplaatsing van orde 250 mm. Uit bovenstaande blijkt dat de AuGeo-paal met PVC-casing zich voldoende taai gedraagt, zodat zijdelingse verplaatsingen mogelijk zijn zonder direct bezwijken van de funderingspaal.

#### BEREKENING GEOGRID

Het geotextiel is gedimensioneerd met behulp van de Britse voorschriften vastgelegd in BS 8006, "Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills" en rekenmethodes ontwikkeld door Hewlett & Randolph en Hans-Georg Kempfert. Het ontwerp is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

levensduur	120 jaar
paalafstand (driehoekig)	1 – 0,9 – 0,8 m
doorsnede paalkop	300 mm
hoogte terp	1, 3, 5 m
gewicht ophoogmateriaal	20 kN/m <sup>3</sup>
bovenbelasting	60 kN/m <sup>2</sup>

Er worden twee lagen Geogrid kruislings over elkaar toegepast. De eerste laag wordt in de lengterichting van de ophoging gelegd, de tweede in de dwarsrichting. Uit de berekening blijkt dat hoe geringer de dikte van de ophoging is, hoe meer de benodigde sterkte van het geotextiel zal toenemen. Dit komt



Schematisering AuGeo-palen met Geogrid

doordat de paalafstand groter wordt bij gelijkblijvende paalbelasting. Bovendien is er sprake van geringere boogwerking in het ophoogmateriaal. De veiligheidsfactoren voor Geogrids zoals deze door de Britse autoriteiten zijn vastgesteld voor ophogingen op palen zijn als volgt:

- variatie en extrapolatie van testgegevens 1.2
- beschadiging tijdens installatie 1.05
- veroudering t.g.v. het milieu 1.10

Als ontwerpsterkte na honderd jaar wordt 60% van de oorspronkelijke sterkte genomen. De resultaten

van de berekening zijn aangegeven in de volgende tabel.

Hoogte Terp (m)	Paal Afstand (m)	Paalkop Vierkant (m)	Span- ning (kN/m)
1	1	0,3	320,4
3	0,9	0,3	239,6
5	0,8	0,3	199,9

#### UITVOERING AUGEO-PALEN

De AuGeo-palen worden geïnstalleerd vanaf het maaiveld. Met behulp van een Cofra stitcher type MY-200 wordt een vierkante stalen buis van 200\*200\*10 mm in de grond gedrukt. De buis wordt aan de onderzijde afgesloten door een 5 mm dikke stalen plaat die voor afdichting zorgt en tevens dienst doet als vergrote paalpunt. Deze plaat blijft achter in de grond. Het inbrengen van de buis gebeurt met een regelmatige snelheid, zodat verstoring van de ondergrond en van de reeds geïnstalleerde palen tot een minimum beperkt blijft. Nadat de buis de gewenste diepte bereikt heeft, wordt een PVC-buis 160\*2 mm in de stalen buis neergelaten. Het schuimbeton wordt vanaf een mobiele menginstallatie via een leidingsysteem naar een tussenopslag op de heistelling verpompt. Na het inbrengen wordt 200 liter schuimbeton in de buis gebracht. Dit is een hoeveelheid die overeenkomt met een paal van 10 m lengte. Door samendrukking van de lucht in het schuimbeton zal het volumegewicht onder in de paal



Installatie machine MZ-200

toenemen. De PVC-buis wordt op de gewenste hoogte afgezaagd, indien nodig nagevuld en van een betonnen kap van 300 x 300 mm voorzien.



Afzagen van AuGeo paal

Bij de uitvoering zijn twee verschillende methodes gehanteerd. Naast bovengenoemde methode die een goede afstemming vraagt tussen productie van schuimbeton en installatiesnelheid, is er ook een systeem getest waarbij de PVC-buizen tijdelijk gevuld werden met water. Het water werd na enkele dagen uit de buis gezogen en vervangen door schuimbeton. Nadeel van deze methode is de grote kans op dichtklappen van de buis wanneer de waterdruk verdwijnt.

Bij een goede coördinatie van de verschillende fases is een productie mogelijk van 20 palen per uur. Automatisering van het systeem kan de productie verder opvoeren.

#### KWALITEITSCONTROLE

Bij de uitvoering van AuGeo-palen wordt aan de volgende onderdelen aandacht besteed.

- positie van de heistelling
- vastleggen van gegevens
- controleren continuïteit van de paal
- controle kwaliteit schuimbeton

Voor het inbrengen wordt de verticaliteit van de heistelling gecontroleerd en indien nodig bijgesteld.

Tijdens het inbrengen wordt met behulp van een datalogger alle relevante parameters vastgelegd, te weten:

- de positie van de paal (d.m.v. DGPS) tot op 10 cm nauwkeurig
- de weerstand van de bodem (elke 250 mm)
- de maximale installatiediepte en de daarbij behorende weerstand
- de totale hoeveelheid geïnstalleerde palen
- de datum en de tijd

Nadat de paal aangebracht is, wordt met behulp van een schietlood de continuïteit van de paal gecontroleerd. Dit is vooral van belang wanneer er een kleine paalafstand wordt toegepast, waarbij de installatie van een nieuwe paal de kwaliteit van een reeds geïnstalleerde kan beïnvloeden.

Teneinde de kwaliteit van het schuimbeton te garanderen, zijn tijdens de installatie monsters geno-



Afgezaagde paalkop met betontegel 300 mm

men die in een laboratorium na 28 en 90 dagen op druksterkte getest worden. Bovendien zijn er monsters genomen van de afgezaagde paaldelen die boven het maaiveld uitstaken. Uit deze testen is gebleken dat de bezwijksterkte van de palen varieert van 230 kN tot 250 kN.

Naast de ophoging zijn een zestal palen geplaatst waarop proefbelastingen uitgevoerd zullen worden om de draagkracht van de paal; in situ te bepalen.

#### CONCLUSIE

Aanleg van proefterp HW5 is onlangs afgerond. Over de kwaliteit van het AuGeo-paal systeem is nog weinig te zeggen. Gegevens met betrekking tot zettingen, horizontale verplaatsingen en wateroverspanning zijn nog niet voorhanden.

Een deel van de terp wordt voorzien van houten palen met betonopzetters. Dit maakt een goede vergelijking met traditionele funderingsmethodes mogelijk.

De kosten van een AuGeo-paalsysteem liggen lager dan een houten paalfundering, maar aanzienlijk hoger dan de traditionele manier van ophogen met behulp van verticale drainage.

Er zijn echter een aantal grote voordelen die de prijs gunstig kunnen beïnvloeden:

- minder ophoogmateriaal nodig
- snellere aanleg ophoging
- geen zettingsperiode
- geringere landverwerving door steile taluds
- minder onderhoud

#### REFERENCES

- ⊗ 'An assesment of design methods for piled embankments' Dr. Darren Russel and Dr. Nick Pierpoint, Foundations & Geotechnics Division, Mott MacDonald. 1997.
- ⊗ 'Proefbelasting Schuimpalen Cofra', Ing. D.W. Maagdelyjn, Omegam, 1991.
- ⊗ 'Eurostab, Test site 's Gravendeel NL, Subsoil characterisation and soil parameters' Ir. H.L. Jansen, Fugro, 1997
- ⊗ 'Definitief ontwerp Proefbaan HW5 No Recess onderzoek' Ir. M.J. de Ruitter en Ir. J.W. Janssen Venneboer. 1998.