

Betrouwbare ankerpalen, meten is weten

ing. E. de Jong, VWS Geotechniek

ir. E.J. Aukema, RWS Bouwdienst

De ontwerpwaarden van ankerpalen in Nederland zijn veelal bepaald aan de hand van jarenlange ervaring van de leverancier. Omdat de ontwerpwaarden niet zijn onderbouwd met bezwijkproeven conform NEN 6745, geven deze vaak aanleiding tot discussie tussen opdrachtgever, opdrachtnemer en betrokken adviseurs. CUR-commissie C152 'Ontwerp richtlijnen voor niet-geheide trekelementen onder onderwaterbetonvloeren' brengt duidelijke richtlijnen voor het ontwerp van bouwputten met ankerpalen. Hoewel de commissie pas eind 2008 de resultaten zal presenteren, is haar invloed nu al zichtbaar.

1, 2 | Ankerpalen toerit

Hubertustunnel Den Haag

(foto 1: RWS

Bouwdienst, foto 2:

VWS Geotechniek)



Sinds midden jaren '90 is het gebruik van 'ankerpalen' als verankerings-element onder onderwaterbetonvloeren sterk in opmars. Met de term 'ankerpalen' worden niet-geheide paalsystemen bedoeld (geboorde, in de grond gevormde verankerings-elementen) die van oorsprong veelal gebruikt werden als damwandverankering, maar die, al dan niet met enige modificatie, ook bruikbaar zijn als trekpaal.

Naast het voordeel van een geluid- en trillingsarme installatiemethode kenmerken de palen zich ook door een efficiënt materiaalgebruik waarbij de trekcapaciteit van het stalen trekelement in het ontwerp vaak wordt uitgenut. Een dergelijke ontwikkeling heeft ook een keerzijde: de grondmechanische draagkracht van de ankerpaal wordt namelijk maatgevend bij het bepalen van de maximale trekkracht.

De grondmechanische draagkracht van ankerpalen wordt in Nederland gebaseerd op een directe relatie met de conusweerstand en is daarnaast afhankelijk van de diameter van de paal en groepseffecten. De ontwerpwaarden van de ankerpalen zijn echter gebaseerd op jarenlange ervaring in plaats van dat deze goed zijn onderbouwd met bezwijkproeven. Hierdoor geven deze vaak aanleiding tot discussie.

Bij het ontwerp van onderwaterbetonvloeren en verankerungen wordt gebruik gemaakt van de volgende bestaande CUR-richtlijnen:

- CUR-publicatie 2001-4: 'Ontwerpregels voor trekpalen';
- CUR-publicatie 166: 'Damwandconstructies' (waarin ook richtlijnen voor ankers);
- CUR-Aanbeveling 77: 'Rekenregels voor ongewapende onderwaterbetonvloeren'.

In de ontwerp- en adviespraktijk blijkt dat er leemtes of onduidelijkheden zijn, met name op het gebied van de bepaling van de eigenschappen (draagkracht en stijfheid) van ankerpalen. Deze leemtes hadden ook in het recente verleden ondervangen kunnen zijn door de uitvoering van proefbelastingen op de projectlocatie. In Nederland is dit echter geen gemeengoed; proefbelastingen kosten geld en, in de praktijk misschien nog wel een hogere drempel, tijd. De benodigde tijd voor het realiseren van testpalen, het uitharden, het beproeven en het interpreteren van de proeven bedraagt al snel een periode van vier weken. Een periode waarin redelijkerwijs nog niet met het vervaardigen van de productiepalen kan worden gestart.

Lessen van de Hubertustunnel

In de speciale *Geotechniek* uitgave van oktober 2006 [1] zijn lessen getrokken uit de ervaringen bij het project Hubertustunnel. In het project zijn door meerdere partijen verschillende ankerpalen gemaakt en getest. De uitkomsten gaven aanleiding tot de volgende opsomming:

- voer altijd geschiktheidsproeven uit op de projectlocatie;
- maak gebruik van gespecialiseerde aannemers die bij voorkeur ervaring met de specifieke omstandigheden van het project hebben. Borg met behulp van registraties dat de productiepalen minimaal gelijkwaardig zijn aan de proefpalen;
- bij het opstellen van een proefprogramma moet naast de haalbaarheid van een bepaald paalpuntniveau ook worden gestreefd naar de uitvoering van een bezwijkproef.

CUR-commissie C152

Mede naar aanleiding van de ervaringen bij het hierboven besproken project is door de marktpartijen (opdrachtgevers,

opdrachtnemers en adviseurs) CUR-commissie C152 'Ontwerp richtlijnen voor niet-geheide trek-elementen onder onderwaterbetonvloeren' opgericht. De doelstelling van C152 is een aantal leemtes op te vullen bij het ontwerp van bouwputten met ankerpalen. Op hoofdlijnen vallen vier deelonderwerpen te onderscheiden:

1. verantwoorde veiligheidsbeschouwing voor de draagkracht van niet-geheide ankerpalen;
2. bepaling van de maatgevende stijfheid van de palen en damwanden in relatie tot het ontwerp van de onderwaterbetonvloer;
3. testprotocol en uitvoeringsprotocol;
4. staaltechnische aspecten.

Deze onderwerpen met de onderliggende aspecten zullen verderop in dit artikel nader worden toegelicht. Eerst zal worden ingegaan op de werkwijze van de commissie.

Classificatie

Allereerst is er een classificatie gemaakt van de te analyseren paalsystemen binnen C152. Hiermee is de scope van de commissie duidelijk, en wordt tevens duidelijk waar de paalsystemen van elkaar verschillen. Belangrijke onderscheidende variabelen in de installatiemethode zijn de wijze van inbrengen en het al dan niet afpersen van het groutlichaam. Dit heeft uiteindelijk geleid tot de in tabel 1 aangegeven indeling. Van de onder E genoemde paalsystemen zal te zijner tijd worden besloten of hierop in de rapportage van C152 nader zal worden ingegaan. Dit is onder meer afhankelijk van door de leveranciers aan te leveren (proef-)gegevens van projecten.

Verzamelen proefgegevens

De eerste taak van de commissie was het verzamelen van zoveel mogelijk proefresultaten. Aan alle partijen die deelnemen aan de



3 | Beproeven ankerpalen
in droge bouwkuip
(foto: Volker Staal en
Funderingen)

commissie is gevraagd zoveel mogelijk beschikbare gegevens van proeven aan te leveren. Alle aangeleverde gegevens zijn gedigitaliseerd en verzameld in een database. Deze database vormt de basis voor de verdere activiteiten binnen de commissie. Gezien de grote hoeveelheid proeven is er een keuze gemaakt welke proeven nader zullen worden uitgewerkt. Bij de uitwerking van de proeven worden de draagkracht (α -factor) en de veerstijfheid van de proefpalen vastgesteld volgens een vastgelegd uitwerkingsprotocol. Hiermee is gegarandeerd dat de uitwerking van de proeven binnen de commissie op een uniforme wijze plaatsheeft.

Draagkracht

Zoals de term 'ankerpalen' al aangeeft, gaat het over ankersystemen die worden toegepast als paal. Dit lijkt misschien slechts een kwestie van naamgeving, maar in de huidige ontwerprichtlijnen hebben ankers (volgens CUR 166) en palen (volgens CUR 2001-4) een fundamenteel verschillend veiligheidsconcept. Een anker wordt vrijwel altijd beproefd (kwaliteitscontrole achteraf) en heeft daardoor in het ontwerp een relatief lage veiligheidsfactor. Een paal wordt slechts zelden beproefd en vereist daarom een veel hogere veiligheidsfactor.

Tabel 1 | Classificatie van de binnen C152 te beschouwen paalsystemen

wijze van installatie	naamgeving paalsysteem	
A verbuisd inboren (in de grond afpersen)	inwendig terugspoelen boorvloeistof tussen boorbuis en casing; na plaatsen trek/drukelement afpersen tijdens stapsgewijs trekken casing	Gewi-paal
B spoelboren (in de grond afpersen)	uitwendig terugspoelen boorvloeistof buitenom boorbuis; na plaatsen trek/drukelement afpersen tijdens stapsgewijs trekken boorbuis	Gewi-paal Fundex trekankers
C1 zelfborende ankers / palen (in de grond afpersen)	tijdens inboren onder (hoge) druk groutinjectie uit nozzle nabij punt waardoor groutschil de boorbuis omhult	Jetmix groutinjectiepaal De Vries Titan groutinjectie micropaal
C2 zelfborende ankers / palen (zonder afpersen; hydrostatische druk)	idem, maar dan zonder overdruk / afpersen	Franki Micropalen Terra-Titan-paal
D1 schroefpalen met groutinjectie (in de grond afpersen)	tijdens inschroeven onder (hoge) druk groutinjectie uit nozzle nabij punt welke vermengd wordt met omringende grond	leeuwankerpaal groutinjectiepaal schroefgroutpaal schroefinjectiepaal
D2 schroefpalen met groutinjectie (zonder afpersen; hydrostatische druk)	idem, maar dan zonder overdruk / afpersen	Tubex palen Fundex palen
E bijzondere ankertypen - Rüttel-injectiepalen - klapankers - Soilex ankers / expander bodies	intrillen trek/druk element met groutinjectie indrukken/slaan m.b.v. hulpstang boren of intrillen	Rüttel-injectiepaal klapankers Soilex ankers

Een extra complicerende factor is dat een paal onder een onderwaterbetonvloer altijd wordt belast als een groepspaal. Een standaard controleproef (tot de rekenwaarde van de groepsbelasting) heeft dan vanuit het oogpunt van verificatie van de draagkracht in de gebruiksfase beperkte waarde. Een controleproef bij een groepspaal moet eventueel tot een hogere belasting worden uitgevoerd ter compensatie van de f_2 -factor volgens CUR 2001-4 [2].

Wanneer een substantieel aantal palen zou worden belast met een (nog te standaardiseren) groepscontroleproef, zou afhankelijk van de hoeveelheid uitgevoerde geschiktheids- en controleproeven, een lagere veiligheidsfactor op de draagkracht kunnen worden toegelaten. Daarmee wordt het veiligheidsniveau tussen ankers en palen ingevuld, waarbij voor de uiteindelijke keuze bedrijfseconomische redenen de doorslag zouden moeten geven.

Het vaststellen van de ontwerpwaarde van de draagkracht heeft bij ankerpalen veelvuldig geleid

tot discussies tussen betrokken partijen. De discussie heeft met name betrekking op de te hantieren α -factor. Veel leveranciers passen een α -factor toe die gebaseerd is op ervaring, terwijl deze factoren niet altijd kunnen worden onderbouwd met relevante proefbelastingen. Daarnaast geldt ook hier dat ervaringen uit het verleden helaas niet altijd een garantie bieden voor de toekomst. Dat dit tot onaangename verrassingen kan leiden is bijvoorbeeld gebleken bij de bouwkuipen van de Hubertustunnel (foto 1,2; [1]).

Het uitgangspunt van commissie C152 is dan ook dat er in principe bij elk project geschiktheidsproeven op de projectlocatie moeten worden uitgevoerd, en indien dat niet haalbaar is er een lagere ontwerpwaarde moet worden gebruikt, of dat meer palen door een controleproef moeten worden getest. Situaties waarin geen proeven worden gedaan zouden kunnen optreden bij projecten met weinig palen of meer in algemene zin in situaties waar de potentiële winst van een hogere

α -factor niet opweegt tegen de kosten van de proeven of de vertraging van het project. Hoewel het binnen C152 wel de bedoeling is uit de beschikbare resultaten in de proevendatabase af te leiden welke range aan α -factoren wordt gevonden, is het nadrukkelijk niet de bedoeling per paaltype/paalsysteem één algemeen toe te passen α -factor vast te stellen. De daadwerkelijk te gebruiken α -factor zal dus per project moeten worden vastgesteld op basis van proefresultaten. Daarnaast zal er per paaltype wel moeten worden gekozen voor een veilige ondergrenswaarde die kan worden gebruikt als er toch geen proefbelastingen worden uitgevoerd.

Een ander essentieel punt bij de bepaling van de draagkracht is de omgang met conuswaarden groter dan 15 MPa. Hogere waarden zouden volgens CUR 2001-4 / NEN 6743 moeten worden afgesneden. Ankerpalen worden juist vaak toegepast bij hoge conuswaarden, en in veel gevallen lijkt deze afsnuiting erg conservatief.

Wanneer wordt gekozen voor een andere wijze van afsnuiten moet goed worden vastgelegd hoe de α_t -waarde is bepaald, zodat bij het ontwerp van de palen dezelfde methode wordt gebruikt als bij de uitwerking van de proef. Daarnaast moet helder zijn waar in het rekenproces de afsnuiting plaatsheeft (voor of na het uitrekenen van het groepseffect).

Stijfheid

De verticale stijfheden van ankerpalen en (dam)wanden zijn essentiële ontwerpparameters voor het ontwerp van de onderwaterbetonvloer. Voor de bepaling hiervan wordt op het moment vooral gebruik gemaakt van CUR-Aanbeveling 77, maar de indruk bestaat dat dit een veelal conservatieve aanpak geeft. Ook zijn de in deze aanbeveling gegeven formules, zeker voor ankerpalen, niet voldoende geverifieerd met praktijkgegevens.

De stijfheid van de (dam)wanden is hierbij een onderbelichte parameter, waarvoor ook heel weinig metingen beschikbaar zijn. Daarnaast is ook de keuze voor verankering of juist stempeling van invloed op de veerstijfheid van de wand. Een verankerde damwand zal een grotere verticale veerstijfheid hebben dan een gestempelde wand. De stijfheid en hoek van de verankering beïnvloeden de verticale stijfheid van een verankerde wand.

Binnen de commissie zal worden bekeken of hiervoor praktisch bruikbare regels zijn op te stellen. Als onvoldoende praktijkgegevens beschikbaar zijn, zal met behulp van modellen worden geprobeerd hiervoor regels vast te stellen die rekening houden met bovengenoemde aspecten.

Ook voor het bepalen van de ontwerpwaarde voor de veerstijfheid van ankerpalen is geen goede methode beschikbaar. De methode die in CUR-Aanbeveling 77 staat beschreven, gaat voorbij aan een aantal aspecten die toch een

belangrijke bijdrage leveren aan de veerstijfheid. Daarnaast is deze methode niet gebaseerd op projectspecifieke proeven, wat (evenals bij het aspect draagkracht) wel wenselijk is.

Bij de bepaling van de veerstijfheid vanuit proeven spelen de volgende drie factoren een belangrijke rol:

1. Bepaling van (lineaire) veerconstante vanuit niet-lineaire last-verplaatsingscurves

De last-verplaatsingscurve van een proefpaal heeft in het algemeen een niet-lineair verloop. Oorzaken hiervan zijn onder meer tension stiffening van de paal en niet-lineair en tijdsafhankelijk gedrag van de grond (waaronder kruip). Het bepalen van een eenduidige lineaire veerconstante (zoals gebruikelijk voor de berekening van onderwaterbeton) is daarom geen eenvoudige zaak. Daarnaast is ook de statistische verwerking van de proeven een belangrijk aandachtspunt. Afhankelijk van de hoeveelheid proeven en de spreiding hierin zal een veiligheidsfactor voor de rekenwaarde moeten worden vastgesteld.

2. Verschillen tussen proefpaal en productiepaal

Een proef wordt vaak uitgevoerd vanaf het bestaande maaiveld voordat de bouwkuip is gerealiseerd. Daarnaast kan er, om de proef tot bezwijken te kunnen voortzetten, voor zijn gekozen om het groutlichaam van de proefpaal korter te maken dan bij de productiepalen of om meer of ander staal in de proefpaal te gebruiken dan bij de productiepalen. Al deze omstandigheden kunnen ertoe leiden dat het stijfheidsgedrag van de proefpaal niet goed te vergelijken is met dat van een productiepaal.

3. Verschillen tussen enkele paal en groepsmaal

Een proef wordt eigenlijk altijd uitgevoerd op een enkele paal,

terwijl een paal onder een onderwaterbetonvloer altijd wordt belast als groepsmaal. Door het groepseffect ontstaan andere korrelspanningen ter plaatse van het groutlichaam. Daarnaast zal door het droogpompen van een bouwkuip opvering van de ondergrond onder de bouwkuip ontstaan. Deze opvering is het grootst in het midden van de bouwkuip en neemt af tot buiten de bouwkuip. Deze effecten spelen natuurlijk ook bij andere paaltypen, maar door de veelal lagere stijfheid van ankerpalen neemt de gevoeligheid voor deze effecten toe.

Binnen C152 zullen de genoemde effecten worden onderzocht met verschillende rekenmodellen, waarbij het zwaartepunt zal liggen op Plaxis-berekeningen. Hiermee kunnen simulaties worden gedaan van verschillende praktijksituaties, maar ook van situaties die in de praktijk niet haalbaar zijn. Op basis van de resultaten van deze simulaties en vergelijking met profresultaten, zullen praktische ontwerprichtlijnen voor de stijfheid worden bepaald.

Testprotocollen

uitvoeringsprotocol

Kenmerkend voor ankerpaalsystemen is de relatief grote mate van uitvoeringsgevoeligheid. Dit betreft zowel de productieomgeving (uitvoering vanaf maaiveld, traverse of drijvende stelling, enz.) als de instellingen van de machine (drukken, voortgangssnelheden enz.) Op deze laatste factoren kunnen ook de kennis en ervaring van de boormeester van grote invloed zijn. Toch zal het wenselijk zijn deze factoren zoveel mogelijk objectief vast te leggen. De noodzaak hiervoor neemt nog extra toe door het uitvoeren van proefbelastingen. Wanneer het ontwerp gebaseerd is op proefpalen moet er voldoende zekerheid zijn dat de productiepalen van vergelijkbare kwaliteit zijn. Dit kan alleen door de uitvoeringsparameters van de productiepalen te vergelijken met



4, 5 | Beproeven ankerpalen in een natte bouwkuip
(foto's: RWS Bouwdienst)

die van de proefpalen. Wanneer er afwijkingen zijn kan dit bijvoorbeeld aanleiding vormen voor extra controleproeven.

Per paalsysteem zal daarom duidelijk moeten worden wat er in het werkplan moet worden beschreven en welke productiegegevens en uitvoeringsparameters moeten worden vastgelegd tijdens het aanbrengen van de paal.

Bij het beproeven van de palen is er behoefte aan een proefprotocol waarin de procedure van beproeven helder en eenduidig wordt

beschreven. Aspecten die hierin aan de orde zouden moeten komen, zijn onder meer hoeveel belastingstrappen, duur en belastingniveau van elke belastingtrap, met of zonder ontlasten-herbelasten, de wijze van meten en de wijze van krachtsafdracht. Hiervoor kan worden aangesloten op de reeds bestaande voorschriften van CUR 166 en NEN 6745-2.

Staaltechnische aspecten

Bij de ankerpalen die op dit moment op de markt zijn, wordt gebruik gemaakt van diverse staal-soorten, waarvan de specificaties niet altijd volgens de geldende normen worden bijgeleverd. Het is de bedoeling dat de gebruikte staalsoorten allemaal worden geclassificeerd volgens de Europese norm EN 10025. Daarbij zal onderscheid worden gemaakt in de oorspronkelijke staalkwaliteit voor bewerking en de staaleigenschappen van het bewerkte product.

Binnen C152 zal de veiligheid op het staal worden beschouwd en worden indien nodig aanbevelingen gedaan voor aanvullingen of wijzigingen van de materiaalfactoren en belastingfactoren.

Ook de duurzaamheid en de corrosiebeschermende maatregelen zullen worden beschouwd. Hierbij zal waar mogelijk worden aangesloten op beschikbare Europese normen, CUR 166 en NEN 6770. Wanneer ankerpalen (tevens) als drukelement worden toegepast speelt ook de knikstabiliteit van de palen een rol in het ontwerp, met name als de palen door een dik pakket slappe lagen gaan. De knikstabiliteit van slanke stalen elementen zal worden beschouwd op basis van NEN-EN 14199 'Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Micropalen'.

Conclusie

De resultaten van de commissie zullen eind 2008 in de vorm van een CUR-publicatie worden gepresenteerd. De invloed van de CUR-commissie is echter nu reeds

zichtbaar in de dagelijkse praktijk. Het aantal geschiktheids- en bezwijkproeven dat in het afgelopen jaar is uitgevoerd is groter dan in de tien jaren ervoor. Het nut van geschiktheidsproeven op de projectlocatie wordt door zowel de opdrachtgevers (beperken van risico's of van onzekerheid naar betrouwbaarheid) als de opdrachtnemers (optimalisatie van de toe te passen paallengte) ingezien. Met het resultaat van de CUR-commissie hebben ontwerpers straks de mogelijkheid te kiezen uit betrouwbare paalsystemen met een bekende draagkracht en stijfheid, die bovendien op de projectlocatie aan de hand van geschiktheidsproeven kunnen worden geverifieerd. ■

Literatuur

1. Aukema, E.J., Ankerpalen voor de toeritten van de Hubertustunnel in Den Haag. *Geotechniek* oktober 2006.
2. CUR-rapport 2001-4, Ontwerp-regels voor trekpalen. Stichting CUR, Gouda, juni 2001.
3. CUR-Aanbeveling 77, Reken-regels voor ongewapende onderwaterbetonvloeren. Stichting CUR, Gouda, mei 2001.
4. CUR-publicatie 166 (vierde druk), Damwandconstructies. Stichting CUR, Gouda, oktober 2005.
5. NEN 6745-2:2005, Geotechniek - Proefbelasting van funderingspalen - Deel 2: Statische axiale belasting op trek.
6. NEN-EN 14199:2005, Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Micropalen.