

# PALENWANDEN IN NEDERLAND

ir. M. Korff, GeoDelft

prof.ir. A.F. van Tol, GeoDelft / TU Delft, faculteit CITG

ing. E. de Jong, VWS Geotechniek

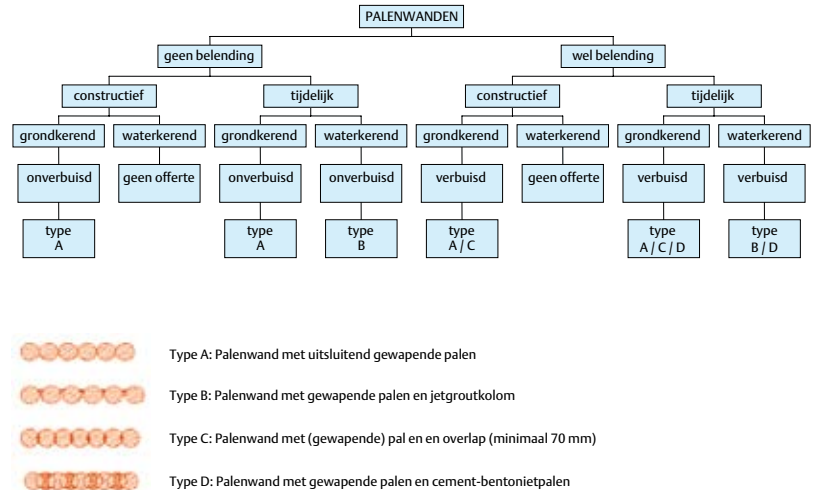
Het bouwen in binnenstedelijke gebieden, waarbij bouwputten voor de realisering van ondergrondse ruimtes als parkeergarages, winkels of kelders van woongebouwen, of voor infrastructuur worden toegepast, is gemeengoed aan het worden. Toch verloopt de bouw van ondergrondse projecten in bouwputten niet altijd zoals gepland. Om schade aan beleningen en overlast voor omwonenden te beperken, worden allerlei maatregelen genomen zoals de toepassing van trillingsarme en geluidsarme technieken. Dergelijke technieken hebben naast genoemde voordelen in een aantal gevallen ook nadelen. Naast een kostenverhogend aspect is vaak ook sprake van de introductie van nieuwe risico's die specifiek zijn voor de toegepaste techniek. In dit artikel wordt nader ingegaan op de risico's van palenwanden en vooral ook hoe deze risico's tijdens ontwerp en uitvoering kunnen worden beheerst.<sup>1)</sup>

In verband met het beperken van trillingen en geluidoverlast voor de omgeving, valt de stalen damwand soms af als grond- en waterkering voor een bouwput. Het op diepte drukken van een damwand is, indien toepasbaar bij de aanwezige bodemopbouw, een alternatief. In het geval van de aanwezigheid van vast gepakte zandlagen is de toepassing van een in-situ vervaardigde wand zoals een diepwand of palenwand, een goed alternatief voor de bouwputwand. Een diepwand heeft een groot draagvermogen en een grote stijfheid, zodat deze ook als definitieve constructie dienst kan doen. Een nadeel van de toepassing van diepwanden is het kostenniveau, zeker in geval van een bouwput met relatief kleine afmetingen. In dergelijke gevallen kan dan worden gekozen voor een palenwand. Deze bestaat meestal uit avegaarpalen die zodanig worden geplaatst, dat ze tezamen een doorgaande wand vormen.

## Risicoanalyse

Bij bijna alle (in-situ) funderingstechnieken bestaat er een relatief grote kans op onvolkomenheden in

<sup>1)</sup> Dit artikel is een bewerking van een Engelstalig artikel dat zal verschijnen in de proceedings van de ECSMGE in September 2007 te Madrid.



het eindproduct; relatief in vergelijking met bijvoorbeeld bovengronds gestort beton. In dat geval worden alleen al door visuele controle tijdens en na fabricage onvolkomenheden voorkomen, dan wel op tijd gesignaleerd en verbeterd. Voor in de grond gemaakte constructies is dat heel anders. Inmiddels is het bijvoorbeeld algemeen bekend dat injectielagen niet volledig waterdicht zijn. De stand van de techniek is momenteel nog niet zodanig dat met voldoende zekerheid een waterdichte injectielaag kan worden vervaardigd. Er is dan sprake van waterremmende in plaats van waterdichte lagen. Ook andere in de grond gemaakte constructies zijn moeilijk waterdicht te maken, zoals damwanden die uit het slot kunnen lopen. Palen kunnen verlopen of een te kleine diameter hebben en obstakels in de ondergrond kunnen verantwoordelijk zijn voor tal van afwijkingen. Kortom, onvolkomenheden in funderingstechnieken komen relatief veel voor. Op zich hoeft dit gegeven niet tot problemen te leiden, mits in het ontwerp en tijdens de uitvoering op dergelijke afwijkingen wordt geanticipeerd.

1 | Stroomschema palenwanden

## Kwaliteitscontrole

Bij elke ondergrondse constructie moet worden nagegaan wat de gevolgen zijn van eventuele onvolkomenheden. Als de ingeschatte gevolgen ernstig zijn, zullen aanvullende maatregelen beschikbaar moeten zijn en zal door monitoring of controle



2 | Palenwand type B

anderszins moeten worden bepaald of er in de uiteindelijke constructie daadwerkelijk onvolkomenheden aanwezig zijn. Bij het toepassen van in-situ gevormde palen heeft deze werkwijze er bijvoorbeeld toe geleid dat alle palen direct na installatie sonisch worden doorgemeten. Met deze controlemeting worden voor de functie van de paal ernstige afwijkingen in de paalschacht opgespoord, bijvoorbeeld forse insnoeringen of scheuren.

#### Palenwanden nader bekeken

Om de risico's bij toepassing van een palenwand te kunnen inschatten, is kennis van het maken van een palenwand nodig. Hierbij worden traditioneel verbuisde of onverbuisde avegaarpalen toegepast, die zodanig in elkaar worden gedraaid dat ze elkaar voldoende ver overlappen. Eerst wordt een ongewapende, primaire paal vervaardigd en vervolgens de tussengelegen secundaire paal, voorzien van een staalprofiel of een wapeningskorf. Ook andere methoden met toepassing van bijvoorbeeld cementbentonietpalen in plaats van de ongewapende primaire palen komen voor.

Binnen VolkerWessels wordt gebruikgemaakt van een stroomschema om in een specifieke situatie een juiste keuze van het toe te passen type palenwand te

kunnen maken (fig. 1). In dit stroomschema worden vier typen palenwanden onderscheiden: A tot en met D, met de volgende omschrijving:

- type A: palenwand bestaande uit tegen elkaar geplaatste, gewapende avegaarpalen, al dan niet verbuisd uitgevoerd;
- type B: palenwand bestaande uit losse gewapende avegaarpalen, waarbij aan één zijde een afdichting wordt gerealiseerd door middel van een jet-grout of injectiekolom (foto 2);
- type C: palenwand bestaande uit in elkaar gedraaide (gewapende) avegaarpalen volgens het primair / secundair principe (foto 3);
- type D: palenwand bestaande uit primaire kolommen van cement-bentoniet en gewapende secundaire avegaarpalen (foto 4).

Ook bij een palenwand moet de ontwerper er vanuit gaan dat de wand niet 100% waterdicht is, een en ander afhankelijk van het type wand en verdere constructiedetails. Een potentiële maatregel in het geval van ongewenste lekkage is dat na het ontgraven of na droogpompen (in geval van een bouwput met onderwaterbeton), door middel van injecties de waterdichtheid alsnog wordt verkregen. De ontwerper moet als integraal onderdeel van het ontwerpproces in een risicoanalyse nagaan of der-





gelijke injecties afdoende zijn. De gevolgen van lekkages moeten daarbij worden ingeschat: zijn ze beheersbaar, zijn ze naast watervoerend ook zandvoerend, wat zijn de gevolgen van ontgroning voor de bouwput en voor de belendingen, is reparatie door middel van injecteren realistisch enz. Deze analyse zal per geval moeten worden gemaakt en zal per geval tot een ander resultaat kunnen leiden. Naast de keuze voor één van de genoemde wandtypen, kan een dergelijk proces ook leiden tot de keuze voor een geheel ander type wand.

#### **Praktijkvoorbeelden van palenwanden**

De afgelopen vijftien jaar zijn in verschillende omstandigheden diverse palenwanden toegepast. In tabel 1 hebben de auteurs en directe collega's ervaringen verzameld over het type wand, de ondergrond en een indicatie van de kerende hoogte in de vorm van het aantal ondergrondse bouwlagen. In alle gevallen is er achter de wand grondwater aanwezig en alle palen zijn verbuisd aangebracht (nagenoeg standaardpraktijk). Uit deze tabel blijkt dat veel palenwanden zonder noemenswaardige problemen zijn gemaakt. Echter, er is ook een aanzienlijk aantal waarbij problemen met lekkages zijn opgetreden en waar maatregelen achteraf of tijdens de bouw noodzakelijk bleken.

#### **Risicoanalyse**

Aan de hand van de genoemde ervaringen zijn de top risico's vastgesteld voor palenwanden. De bepalende factoren blijken te zijn:

1. de kerende hoogte (onder de grondwaterstand):
  - bij toenemende kerende hoogte wordt de kans op het ontbreken van voldoende overlap tussen de palen steeds groter ten gevolge van afwijkingen in de verticaliteit van de palen;
  - het waterdrukverschil over de wand is mede bepalend voor de beheersbaarheid van lekkages;
2. het type te keren grond:
  - in cohesieve grond zal lekkage niet direct tot problemen leiden omdat het waterbezuwaar gering is en niet tot ontgroning leidt;
  - in met water verzadigd zand zal lekkage bijna direct leiden tot het instromen van een zand-watermengsel met ontgroning achter de wand tot gevolg;
3. het gebruik van de grond achter de wand in verband met de gevolgen van ontgroning:
  - in geval van wegen, leidingen of funderingen op staal kan ontgroning zeer ernstige gevolgen hebben;



3 | Palenwand type C

4 | Palenwand type D

Tabel 1 | Voorbeelden van palenwanden in Nederland in de afgelopen vijftien jaar

locatie	jaar	type	bouwlagen	ondergrond	resultaat / maatregelen
Elsloo	2006	C	2	zand, grind, klei	goed, ondanks geringe overlap
Arnhem	2006	C	1-2	zand	goed, geen lekkage
Den Haag	2005	D	1-2	zand, veen	goed
Tilburg	2004	D	2	zand	goed
Arnhem	2004	B	2	zand	goed
Middelburg	2003	C	3	zand	lekkage, zandtransport; bouwstop
Amsterdam	2003	D	2-3	klei, zand	goed, alleen nat ontgraven
Cuijk	2002	A	1	zand, gravel	goed, geen lekkage
Amsterdam	2001	C	-	klei, zand	goed
Utrecht	2001	C	1	zand	lekkage tweede wand binnenzijde
Emmen	2000	A	1	zand	goed, geen lekkage
Hilversum	1999	C	1		goed
Tilburg [1]	1999	C	2	zand, klei	goed
IJmuiden	1998	C	1	zand	goed
Middelburg	1998	C	3	zand	lekkage; jetgrouten
Budel	1998	C	1	zand, leem	goed
Nijmegen	1997	A	1	zand, gravel	goed, geen lekkage
Den Haag	1996	C	2	zand	lekkage tweede rij palen
Groningen [2]	1996	C	3	klei, stenen	lekkage; injecties
Budel	1995	C	1	zand, leem	lekkage
Heerlen	1995	A	1	zand, gravel	goed, geen lekkage
Den Haag	1995	C	1	zand	lekkage; injecties (kosten 6% totaal)
Maastricht	1992	C	2	gravel	lekkage; tweede wand binnenzijde

- in geval van paalfunderingen kunnen de gevolgen meevallen, afhankelijk van de grootte van de ontgroning en de afstand/situatie van de palen.

Door rekening te houden met bovenstaande factoren is te voorkomen dat het niet-waterdicht zijn van ondergrondse constructies en meer in het bijzonder van palenwanden, tot grote gevolgen leidt.

Aan de hand van deze risico's en ervaringen heeft Volker Wessels een beslismodel gemaakt voor palenwanden. Met dit model kan een wandtype worden geselecteerd, gebaseerd op de hierboven genoemde factoren. In bepaalde gevallen kan worden besloten geen aanbidding te doen. Met gebruik van dit model zijn twaalf projecten met palenwanden in Nederland zonder lekkageproblemen afgerond. Het beslismodel geeft ook aan dat het type wand sterk bepalend is voor het beheersen van lekkages.

**Overlappende palen**

De afwijking van de palen in verticaliteit speelt een belangrijke rol in de kans op lekkages en de sterkte van de wand. Suckling [3] beschrijft dat de verticale tolerantie van verschillende wandtypes tussen 1,3% en 0,5% ligt. Dit komt overeen met waarden uit de Nederlandse praktijk. De vereiste verticaliteit in de Europese Norm EN 1536 [4] voor de installatie van in de grond gevormde palen bedraagt 2%. Voor een palenwand met overlappende palen zou een dergelijke afwijking nagenoeg nooit acceptabel zijn.

Behalve lekkages kunnen bij palenwanden ook constructieve aspecten van belang zijn. Het begrip van het gedrag van de palen onderling, met name in variabele bodem, is op dit moment nog gering.

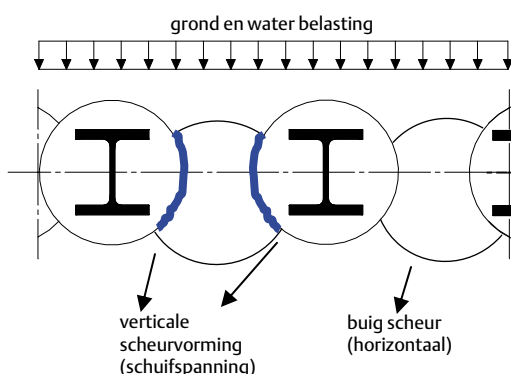
Het eerste constructieve effect dat in een overlappende palenwand type C voorkomt, is het gecombineerde buigen van de primaire en secundaire (dus gewapende en ongewapende) palen. Wegens verschillen in stijfheid, zal een schuifspanning in de interface tussen de palen voorkomen. Afhankelijk van de hoeveelheid overlap (lengte van de interface) en de kwaliteit van het beton, introduceren deze spanningen één of andere vorm van verticale scheur tussen de palen (fig. 5). Als de hoeveelheid overlap gering is, kunnen die scheuren gemakkelijk contact maken met het grondwater achter de wand en een lekkage vormen. Een ander probleem dat kan voorkomen is een horizontale scheur in de niet-gewapende primaire palen, veroorzaakt door het doorbuigen van de wand. Het buigend moment in de wand is in het algemeen hoger dan het scheurmoment van de ongewapende palen. Aangezien geen wapening aanwezig is om de scheurvorming te beperken, kan bij een geringe overlap de scheur tot lekkage leiden.

**Risicochecklist**

Het ontwerp en de uitvoering van een palenwand hangen sterk met elkaar samen; dit blijkt onder meer uit onderstaande lijst met mogelijke risico's:

- ontoereikende verticaliteit veroorzaakt lekkage, boven of onder het niveau van ontgraven;

- tijdens de uitvoering kan het beton van de primaire palen op het moment van inboren van de secundaire palen te hard of te zacht zijn. De betondoorsnede van een paal waar het beton reeds te hard is, kan zeer onregelmatig worden als gevolg van los gedraaide brokstukken en/of torsiescheuren. Daardoor kunnen lekkages ontstaan. Bij te zacht beton kan de primaire paal 'leeglopen' in het boorgat van de secundaire paal. Bovendien kan de primaire paal worden weggedrukt tijdens het verpompen van beton voor de secundaire paal. Een perfecte timing van de secundaire palen is moeilijk te bereiken. Externe invloeden zoals logistieke problemen bij de levering van beton, kunnen complicaties veroorzaken. Ook wordt het installatieproces per definitie 's nachts en in de weekeinden onderbroken. Als het beton te hard is, leidt dit tot onregelmatigheden of scheuren, als het te zacht is tot vervorming van de primaire palen. Dit probleem is niet aanwezig bij wanden van het type A en B en is in mindere mate aanwezig bij type D;
- obstakels in de grond vergroten de kans op plaatsingsafwijkingen en veroorzaken diametervariaties en insluitingen;
- door te lage betondruk kunnen insnoeringen of afnames van de paaldiameter ontstaan. Doordat de betondruk bovenop de avegaar wordt gemeten, geven de drukgrafieken geen inzicht over wat er in de grond daadwerkelijk voor betondruk heerst;
- de installatie van de wapening zou onmiddellijk na het betonneren van de palen moeten worden uitgevoerd. Als het staalprofiel (of de korf) trillend moet worden ingebracht, zullen de verse palen worden beïnvloed;
- als de overlap van de palen ontoereikend is, neemt de contactspanning tussen de palen toe; dit kan een oorzaak zijn van scheuren;
- de ruwe en onregelmatige oppervlakte van de palenwand kan insluiting van grond tussen de wand en de vloer van de bouwkuip veroorzaken;
- als de primaire palen op hoeken of vóór de secundaire palen worden geplaatst, zouden zij in de bouwkuip kunnen worden 'geduwd' door de grond- en waterdrukken achter de wand.



Gebaseerd op ervaring van de vermelde projecten, kent wandtype D (kolommen van bentoniet-cement) een bepaalde hoeveelheid plasticiteit na het verharden. Tijdens installatie van de belangrijke secundaire (gewapende) kolommen is er minder risico voor lekkage en scheuren. Wandtype B, waarbij primaire gewapende kolommen zonder overlap worden gemaakt, kunnen daarna waterdicht worden gemaakt met behulp van jetgroutkolommen. In beide gevallen dient het uitgangspunt te zijn dat de waterdichtheid van de wand niet permanent is. Voor permanente waterdichtheid dient een waterdichte voorzetwand te worden geconstrueerd.

### Conclusies

Afhankelijk van de mate waarin de uitvoeringsvarianties zijn voorzien, daadwerkelijk optreden en in het ontwerp voldoende zijn onderkend, kunnen wanden van in de grond gevormde palen prima worden toegepast als alternatief voor damwanden of diepwanden. Het uitvoeren van een technische risicoanalyse en het rekening houden met variaties tijdens de uitvoering zijn dus noodzakelijke onderdelen van het ontwerp van alle bouwputten en voor palenwanden in het bijzonder.

Naast het rekening houden met uitvoeringstoleranties en risico's zoals genoemd, dienen mitigerende maatregelen te worden ontworpen voor lekkages en plaatselijk verlies van sterkte.

In sommige gevallen, hoofdzakelijk in situaties in zandgrond met hoge waterstanden en nabijgelegen kwetsbare bebouwing, kan geen enkele lekkage worden geaccepteerd, omdat verzakking door verlies van grond achter de wand kan optreden. In die gevallen dienen preventieve maatregelen te worden genomen, bijvoorbeeld een kleinere paalafstand, een grotere paaldiameter of zelfs een ander type wand.

### Literatuur

1. Langhorst, P.H., Bouwput Interpolis Tilburg. *Geotechniek* 2001, special.
2. Ramler, J.P.G. en J.H. Vrieling, Palenwand voor parkeergarage te Groningen. *Geotechniek* 1998, nr. 1.
3. Suckling, T.P., C.J. Wren en V.M. Troughton, Secant pile walls - a consistent approach to risk management. Proceedings DFI conference 2005.
4. EN 1536, Execution of special geotechnical work - Bored piles.
5. Korff, M. en A.F. van Tol, Secant CFA-Pile walls - A risk management view. Proceedings DFI conference Amsterdam, 2006.

5 | Doorsnede palenwand met mogelijke scheurvorming