

---

Product-methodeblad nummer 11

# Zandophoging op paalfundering

# Inhoudsopgave

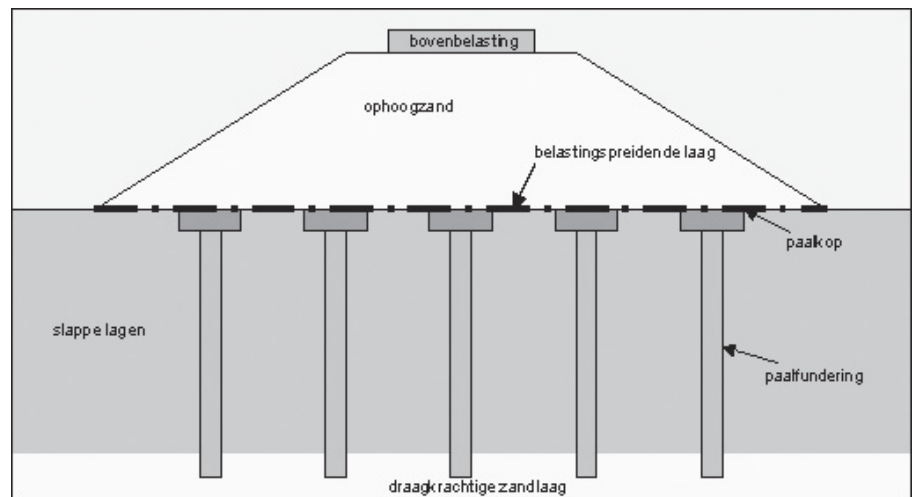
<b>11.1 Algemeen</b>	213
11.1.1 Principe methode	213
11.1.2 Technische levensduur	215
11.1.3 Voor- en nadelen	215
11.1.4 Beperkingen	216
<b>11.2 Ontwerpfase</b>	216
11.2.1 Benodigd grond- en laboratoriumonderzoek	216
11.2.2 Geotechnische ontwerpaspecten	217
11.2.3 Ontwerpdetails	218
11.2.4 Effect op bestaande weg	219
11.2.5 Effect op omgeving	219
11.2.6 Relevante wetgeving en doorlooptijd vergunningen	220
11.2.7 Raming aanlegkosten	222
11.2.8 Risico's, monitoring en maatregelen	222
11.2.9 Duurzaam bouwen	223
11.2.10 Verdere aandachtspunten	224
<b>11.3 Uitvoeringsfase</b>	224
11.3.1 Uitvoeringsmethode	224
11.3.2 K.A.M-zaken	226
11.3.3 Besteksteksten	227
<b>11.4 Beheer en onderhoud</b>	227
<b>11.5 Ombouw / sloop</b>	227
11.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding	227
11.5.2 Sloop	228
<b>11.6 Referenties</b>	228
11.6.1 Ervaringen	228
11.6.2 Literatuur	229

# Zandophoging op paalfundering

## 11.1 Algemeen

### 11.1.1 Principe methode

Een zandophoging op een paalfundering kan worden beschouwd als een zettingsvrije ophoging. De funderingspalen dragen de belasting (gewicht ophoging en bovenbelasting) over naar de draagkrachtige ondergrond, onafhankelijk van het gedrag van de slappe lagen (zie figuur 11.1). Een op palen gefundeerde aardebaan voldoet aan strenge eisen wat betreft zettingsgedrag. Het is een beproefde constructie die echter ook tamelijk kostbaar is.



Figuur 11.1a Principe zandophoging op paalfundering



Figuur 11.1b Aanbrengen paalfundering terp HW5 (uit [5])

Tussen paalkoppen en de ophoging is een belastingspreidende laag nodig om de belasting op de palen over te dragen. De volgende principes zijn te onderscheiden:

- een gewapende betonplaat; er zijn constructies bekend waarbij de asfaltverharding direct op de betonplaat is aangebracht en constructies waarbij eerst de wegfundering op de betonplaat is aangebracht. Beide methoden zijn in Nederland wel eens toegepast
- boogwerking bij een hoge aardebaan; als de dikte van de aardebaan 3 à 4 x de paalafstand bedraagt, kunnen drukbogen in het ophoogzand ontstaan, waardoor de belasting op de paalfundering wordt overgebracht; opgemerkt wordt dat er nog geen volledige theoretische verklaring van boogwerking bestaat; met een licht geokunststof weefsel tussen de palen kan het gedeelte van het ophoogzand, dat zich beneden de drukbogen bevindt, worden ondersteund
- een geokunststof wapening over de paalkoppen die volgens het hangmat-principe het ophoogzand ondersteunt; hiervoor is wapening benodigd met hoge sterkte;
- een uit geogrids opgebouwde gewapende granulaatmatras; deze bestaat uit enkele lagen geogrids en een grofkorrelig aanvulmateriaal (bijvoorbeeld menggranulaat); in financiële zin is deze constructie aantrekkelijk omdat gebruik wordt gemaakt van wapening met een relatief lage sterkte; een mogelijk positief aspect is, dat de boogwerking nu waarschijnlijk ook optreedt bij een geringe dikte van de aardebaan, namelijk een dikte ongeveer gelijk aan de ruimte tussen de paalkoppen; de verwachting is verder dat deze constructie zich ook bevredigend gedraagt ten aanzien van een dynamische belasting.

In de laatste 2 gevallen ontstaan drukbogen in de aardebaan als de dikte van de aardebaan 1 à 1,5 x de paalafstand bedraagt, afhankelijk van de schuifsterkte van de belastingspreidende laag.

De globale uitvoeringswijze is als volgt:

- aanbrengen werkvloer van zand
- installeren paalfundering
- aanbrengen belastingspreidende laag
- aanbrengen zandophoging
- aanbrengen wegfundering en verharding; afwerken taluds.

Het aanbrengen van de werkvloer kan worden gecombineerd met het aanbrengen van een overhoogte (bijvoorbeeld 0,5 à 1,0 m), die na enkele weken of maanden, direct voor het aanbrengen van de palen, wordt verwijderd. Hierdoor wordt de grond tussen de palen tijdelijk voorbelast, waardoor de tussen de palen optredende belasting in de gebruikssituatie gedeeltelijk of geheel door de ondergrond kan worden opgenomen zonder dat dit leidt tot verdere zetting van de ondergrond. De ondergrond kan op deze wijze steundruk blijven leveren.

De palen worden op een hart-op-hart afstand geplaatst van 0,8 à 3,0 m afhankelijk van paaltype en belasting, in een driehoek- of vierkantstramien. Voor de paalfundering komen vele typen in aanmerking. De keuze zal vooral afhangen van de kosten. Gezien het grote aantal palen (kleine h.o.h.-afstand)

komen alleen palen in aanmerking die snel en eenvoudig aangebracht kunnen worden. Ook de overige uitvoeringsrandvoorwaarden spelen een rol (bijvoorbeeld: geen schroefpalen type avegaar in zeer slappe grond; verdringingseffecten tengevolge van onderlinge paalafstanden en inbrengvolgorde). De volgende typen komen het meest in aanmerking:

- palen type AuGeo, bestaande uit een slanke met beton gevulde PE buis (ontwikkeling van Vermeer Infrastructuur BV in samenwerking met Cofra BV)
- in de grond gevormde slanke betonpalen zoals de VOTON<sup>o</sup> HSP paal (ontwikkeling van Hylkema en Voorbij Funderingstechniek)
- In de grond gevormde slanke zand-cement kolommen, zoals de CSU kolom (ontwikkeling van BAUER)
- prefab beton palen (relatief duur)
- gecertificeerde houten palen.

Veelal wordt op de palen een betonplaat gelegd of worden de palen voorzien van vergrote koppen. Deze constructie wordt met name toegepast bij een gewapende grondmatras als belastingspreidende laag.

De zandophoging kan zonder tijdsrestricties worden aangebracht. Het talud kan direct met de definitieve helling worden afgewerkt.

#### 11.1.2 Technische levensduur

Over de technische levensduur van de palen wordt het volgende opgemerkt:

- van betonpalen is de technische levensduur in principe onbeperkt
- van houten palen is de technische levensduur in principe onbeperkt mits de palen permanent in het grondwater staan
- van AuGeo palen en andere recent ontwikkelde paaltypen zijn nog geen ervaringsgegevens over de technische levensduur voorhanden; gezien de gebruikte materialen mag verwacht worden dat de levensduur in principe onbeperkt is.

De technische levensduur van de gewapende grondmatras wordt voornamelijk bepaald door de technische levensduur van de geogrids. Factoren, die van invloed zijn op de technische levensduur van de geokunststof, zijn de productie onzekerheden, de belasting, de kruip, mechanische aantasting en de aantasting door omgevingsinvloeden (uv-straling, chemisch en biologisch). Bij de toepassing als belastingspreidende laag spelen aantasting door uv-straling en biologische aantasting geen rol van betekenis. Met betrekking tot mogelijke chemische aantasting wordt, op basis van de grondwaterkwaliteit, een geokunststof product gekozen met voldoende weerstand. Door middel van partiële 'veiligheids'-factoren op de korte-duur-sterkte van de geokunststof wordt met bovengenoemde aspecten rekening gehouden. De grootte van de factoren is mede afhankelijk van de gebruiksduur van de geokunststof. De gewenste gebruiksduur (bijvoorbeeld 80 à 100 jaar) wordt op deze wijze in het ontwerp meegenomen.

#### 11.1.3 Voor- en nadelen

Voor- en nadelen van de ophogingsmethode ten opzichte van een zandophoging op maaiveld met verticale kunststofdrains zijn gegeven in tabel 11.1.

Aspect	Voordeel	Nadeel	Toelichting
kosten		hoog	
bouwtijd	kort		geen wacht- en consolidatietijden
zetting gebruiksfase	nihil		de constructie is zettingsvrij
ruimtebeslag	klein		steile taluds mogelijk; geen overhoogte
complexiteit uitvoering	normaal		
ervaring met uitvoering		weinig	
aanwezigheid van risico's *)		hoog	
levensduur	onbeperkt		
status in relatie tot Bouwstoffenbesluit	bekend		
risico schade bestaande weg	gering		mits geen naverdichting van het weglichaam door trillingen tijdens installatie palen
risico schade kabels/leidingen	gering		
risico belendingen	normaal		
overig	toepasbaarheid		ontwerp details toepasbaar bij zeer slappe ondergrond (ongedraai- neerde schuifsterkte $f_{\text{undr}} \leq 15$ kPa); flexibiliteit ontwerp; restricties bij toekomstige verbredingen (palen niet bestand tegen hoge zijdelingse gronddruk)

\*) waaronder begrepen onzekerheid in de grondparameters, onvolkomenheid van ontwerpmodellen, uitvoeringstechnische onzekerheid / beheersbaarheid; een verdere uitsplitsing staat in §11.2.8; 'weinig' of 'hoog' afhankelijk van rekenmodel of uitvoeringstechniek

Tabel 11.1 Voor- en nadelen zandophoging op een paalfundering

#### 11.1.4 Beperkingen

De in §11.1.3 genoemde nadelen kunnen een beperking voor de toepassing vormen. Daarnaast zijn er de volgende beperkingen.

Bij een laagdikte groter dan 10 à 15 m zijn relatief zware palen nodig waardoor de kosten toenemen.

Vastgepakte tussen-zandlagen kunnen problematisch zijn bij ingedrukte paalsystemen.

De palen kunnen een belemmering vormen voor het toepassen van sleufloze technieken bij de aanleg van leidingen en tunnels.

### 11.2 Ontwerpfase

#### 11.2.1 Benodigd grond- en laboratoriumonderzoek

Het benodigd grondonderzoek is afhankelijk van de Geotechnische Categorie waarin een object valt. Rijkswegen vallen in het algemeen in Geotechnische

Categorie 2 volgens NEN 6740 art. 6.2 [7]. Het standaard grondonderzoek staat vermeld in hst. 4.7.3 van *Construeren met grond* [3] en in §2.4 van *Bepaling geotechnische parameters* [13]. Het doel van het grondonderzoek is het vaststellen van de bodemopbouw, de grondwaterpeilen, het volumieke gewicht van de grondlagen, de samendrukkings- en de schuifweerstandseigenschappen.

Bij wegverbredingen dient het grondonderzoek ook informatie te verschaffen over de kwaliteit (pakkingsdichtheid) van het bestaande weglichaam en de uitgestrektheid in de ondergrond.

#### *Sonderingen*

De onderlinge afstand tussen de sonderingen is afhankelijk van de variatie van de bodemopbouw. Volgens art. 8.4.2 van NEN 6740 [14] mag de gemiddelde afstand tussen de sonderingen niet meer bedragen dan 25 m indien geen bijzonder variaties in bodemopbouw zijn vastgesteld. De sonderingen dienen ten minste tot 3 m in de draagkrachtige laag te worden doorgezet.

Voor een goede karakterisering van de laagopbouw dient naast de conusweerstand ook de plaatselijke wrijving te worden gemeten. De elektrische sondeermethode met sonderingen volgens klasse 2 volgens NEN 5140 [12] dient te worden toegepast.

#### *Boringen, peilbuizen en laboratoriumonderzoek*

Bij toepassing van een paalfundering is geen uitgebreid laboratoriumonderzoek benodigd. Derhalve zijn ook geen boringen vereist.

Een indicatie omtrent het polderpeil kan worden verkregen met behulp van Waterstaatskaarten, bodemkaarten van Stiboka, gegevens van het DINO-loket van TNO-NITG ([www.nitg.tno.nl](http://www.nitg.tno.nl)) en door waterpassing van het slootpeil.

Een schatting van de (sterkte)parameters kan worden ontleend aan tabel 1 van NEN 6740 [14].

Afhankelijk van de specifieke omstandigheden (bijvoorbeeld lokale ervaring) kan het nodig zijn het grondonderzoek uit te breiden en/of de grondwaterkwaliteit nader te bepalen.

#### *11.2.2 Geotechnische ontwerpaspecten*

Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat de paalfundering ontworpen moet worden conform de in NEN 6743 [15] gegeven regels. Dit is echter nog onderwerp van een nadere studie. Wellicht kan voor de palen onder een zandophoging worden volstaan met een lager veiligheidsniveau.

Bij het ontwerp van een zandophoging op een paalfundering geschiedt iteratief. Variabelen zijn de h.o.h.-afstand, de paal draagkracht en de paalafmetingen. De palen worden in een driehoek- of vierkantstramien geplaatst. Bij de paalbelasting dient ook de verkeersbelasting te worden betrokken.

Bij het ontwerp worden beschouwd:

- de draagkracht van de palen, zowel geotechnisch als constructief
- de dimensionering van de belastingspreidende laag
- de eindzetting van de ophoging, dat wil zeggen de verwachte zetting van de paalfundering, zowel geotechnisch als constructief
- de stabiliteit van het talud.

Bij belendingen, kabels en leidingen dient bovendien te worden aangegeven:

- het effect van trillingen en gronddeformaties tijdens installatie van de palen op de omgeving.

Bij wegverbredingen dient bovendien te worden aangegeven:

- de gevolgen van de wijze waarop de verbreding wordt uitgevoerd boven het talud van het bestaande weglichaam
- het effect van trillingen tijdens installatie van de palen op het bestaande weglichaam.

De zetting treedt vrijwel direct na aanbrengen van de belasting op. De restzetting is verwaarloosbaar.

Het geotechnisch ontwerp resulteert in een advies omtrent:

- paaltype, afmetingen, paalpuntniveau en draagkracht
- afwerking paalkop
- de belastingspreidende laag (bijvoorbeeld de opbouw en materiaaleigenschappen van de gewapende grondmatras)
- dwarsprofiel / taludhelling ophoging
- de wijze waarop de verbreding wordt uitgevoerd boven het talud van het bestaande weglichaam
- het traject waarvoor het advies geldt en de wijze waarop overgangen naar trajecten waar andere methoden zijn gebruikt, moeten worden uitgevoerd
- geotechnische risicoanalyse, monitorings- en maatregelenplan tijdens uitvoering en gebruiksfase conform §11.2.8
- te verwachten omvang van en maatregelen tegen de schade aan kabels en leidingen en belendingen
- te verwachten omvang van en maatregelen tegen de schade aan de bestaande weg.

### 11.2.3 *Ontwerpdetails*

#### *Belastingspreidende laag*

Voor het ontwerp van een belastingspreidende laag met geokunststoffen bestaan verschillende ontwerpmethoden, die uiteenlopende resultaten kunnen geven. Het inschakelen van een specialist wordt daarom aangeraden.

In plaats van een gewapende grondmatras met geogrids kan wellicht gebruik gemaakt worden van een grondlaag, gestabiliseerd met een bindmiddel om de belasting uit de ophoging naar de palen te geleiden. Een algemene ontwerpmethode hiervoor ontbreekt echter.



#### *Draagkracht palen*

Bij de berekening van de draagkracht van de palen dient rekening te worden gehouden met negatieve kleef. Deze wordt niet veroorzaakt door het gewicht van de ophoging maar zal bijvoorbeeld kunnen ontstaan door een verlaging van de grondwaterstand of restzettingen van oude zandlichamen.

#### *Aantasting houten palen*

Houten palen moeten in z'n geheel beneden de grondwaterspiegel zijn geplaatst. Bij een lage grondwaterspiegel kan het gebruik van een betonopzetter nodig zijn.

#### *Aansluiting op traditionele aardebaan*

Bij laag gelegen wegen mag de overgang in dwarsrichting van een traditionele aardebaan in zand naar een zandophoging op een paalfundering niet ter plaatse van een wielspoor komen te liggen om te voorkomen dat scheurvorming in de verharding ontstaat doordat een ophoging op een paalfundering zich onder dynamische belasting anders gedraagt dan een in zand uitgevoerde aardebaan.

Een geleidelijke overgang in lengterichting van een op palen gefundeerde zandophoging naar een traditionele aardebaan in zand is alleen te realiseren indien de bestaande aardebaan nagenoeg vrij is van restzettingen. Dit kan worden bereikt met een tijdelijke extra overhoogte op de bestaande aardebaan. Ook kan een aparte overgangsconstructie worden toegepast, bijvoorbeeld bestaande uit een ophoging met EPS met een geleidelijk afname van de dikte van de blokkenstapeling. Bij een aansluiting in lengterichting worden ook stootplaten gebruikt.

#### *11.2.4 Effect op bestaande weg*

Vanwege de paalfundering zal de ophoging geen effect hebben op de bestaande weg bij wegverbredingen.

De installatie van palen in het talud van een bestaand weglichaam kan schade veroorzaken aan de verharding ten gevolge van naverdichting door heitringingen. In dat geval gaat de voorkeur uit naar een trillingsvrij paalsysteem.

#### *11.2.5 Effect op omgeving*

Vanwege de paalfundering zal de ophoging geen effect hebben op de omgeving.

Bij geheide palen is sprake van trillings- en geluidshinder. Ook kan door het aanbrengen van een dicht palenveld met grondverdringende palen aan de polderzijde van het palenveld enige horizontale grondverplaatsing ontstaan. Vanwege de slankheid van de palen en de bodemopbouw (slappe ondergrond) zal de invloed op de omgeving echter vrijwel altijd beperkt en verwaarloosbaar zijn.

Trillingshinder kan worden voorkomen door een trillingsvrij paalsysteem te kiezen.

Eventueel kan worden afgezien van het installeren van palen nabij belendingen. Dan zijn aanvullende maatregelen nodig om een zettingsarme constructie te realiseren, bijvoorbeeld door toepassing van lichtgewicht ophoogmateriaal.

*11.2.6 Relevante wetgeving en doorlooptijd vergunningen*

Op de volgende pagina is in tabelvorm weergegeven welke vergunningen naar alle waarschijnlijkheid moeten worden aangevraagd en wat daarbij de te verwachten doorlooptijd is.



### 11.2.7 Raming aanlegkosten

De onderstaande kosten zijn, tenzij anders vermeld, exclusief BTW, VAT (Voorbereiding-Administratie-Toezicht) en winst en risico en betreffen prijspeil 2004.

- zand voor werkvloer en ophoging, in het werk € 10,- à 11,- / m<sup>3</sup>
- betonpaal, type AuGeo, casing PE Ø<sub>inw</sub> 150 mm, beton C20/25, wapening 4 Ø 8 mm, vergrote paalkop Ø 310 mm, prijs inclusief winst & risico € 8,- à 13,- / m-paal
- gewapende grondmatras, 0,6 m, inclusief leveren en verwerken Repack / steenkorrel en beschermend geotextiel, 2 à 3 lagen geogrid treksterkte circa 250 kN/m, prijs inclusief winst & risico € 32,- à 38,- / m<sup>2</sup>

Voor andere paaltypen geldt:

- gecertificeerde houten paal € circa 5,- / m-paal
- prefab beton paal, schachtafmeting " 220 mm € 18,- à 19,- / m-paal

Het afgraven van zand (tijdelijke extra overhoogte) geschiedt doorgaans kostenneutraal (geen kosten voor de opdrachtgever).

In de bovengenoemde prijs zijn niet opgenomen de kosten voor:

- ontgraven, afvoeren en tijdelijk opslaan aanwezige grond
- voorzieningen om terrein bereikbaar te maken
- leveren en aanbrengen van dekgrond.

### 11.2.8 Risico's, monitoring en maatregelen

#### Risicofactoren

Bij een ophoging op een paalfundering bestaan de volgende risicofactoren:

- draagkracht van de paalfundering
- horizontaal deformatiegedrag
- zettingsgedrag van de paalfundering
- werking van de belastingspreidende laag
- de hoeveelheid trillingen die wordt geproduceerd bij installatie van de palen
- de mate waarin het bestaande weglichaam en de omgeving gevoelig zijn voor trillingen.

De risicofactoren kunnen resulteren in de volgende ongewenste gebeurtenissen:

- zetting van de ophoging in de gebruiksfase door overschrijding draagkracht palen of slecht functioneren van de belastingspreidende laag
- schade aan de omgeving
- schade aan de bestaande weg.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een geotechnische risico-analyse gemaakt. Hierbij wordt nagegaan of een realistische variatie van de meest onzekere parameters er toe leidt dat het ontwerp niet meer voldoet aan het Programma van Eisen. In dat geval wordt voor het desbetreffende risico een monitorings- en maatregelenplan opgesteld, of wordt het ontwerp of het Programma van Eisen bijgesteld.

### *Monitoring*

Door monitoring kunnen de risico's worden beheerst:

- zetting van de ophoging in de gebruiksfase door overschrijding draagkracht palen: installatiegegevens van de palen (lengte, dwarsafmeting, heikalender, drukkracht) en periodieke hoogtemetingen van de ophoging
- zetting van de ophoging in de gebruiksfase door slecht functioneren van de belastingspreidende laag: periodieke hoogtemetingen van de ophoging en eventueel meting van de rek in de geogrids van de gewapende grondmatras (in principe alleen bij onderzoeksprojecten).
- kans op schade aan de bestaande weg: visuele inspectie, zo mogelijk in combinatie met waterpassing van meetboutjes
- kans op schade aan de omgeving: het inmeten en fotograferen van gevoelige belendingen; visuele inspectie.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een monitoringsplan gemaakt. Hierin wordt beschreven wat, hoe, waar, wanneer en door wie wordt gemeten, hoe de gegevens worden opgeslagen en gepresenteerd. Ook wordt voor elke meting vooraf aangegeven, wat de verwachtingswaarde van de te meten grootte is, en wat de grenswaarde is waarbij sprake is van een ontoelaatbare afwijking.

### *Maatregelen*

Bij tegenvallende resultaten kunnen de volgende maatregelen worden genomen:

- bij zetting van de ophoging in de gebruiksfase door overschrijding draagkracht palen of slecht functioneren van de belastingspreidende laag: deel van de ophoging vervangen door licht ophoogmateriaal
- bij schade aan de bestaande weg: geen palen dicht bij bestaande weg installeren en aanvullende maatregelen nemen, zie §11.2.4
- bij schade aan de omgeving: geen palen dicht bij belendingen installeren en aanvullende maatregelen nemen, zie §11.2.5.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een maatregelenplan opgesteld. Hierin wordt aangegeven welke van bovengenoemde maatregelen wordt toegepast als uit de monitoring blijkt dat de grenswaarden van één van de gemeten grootheden wordt overschreden.

#### *11.2.9 Duurzaam bouwen*

Opgemerkt wordt dat met het begrip duurzaamheid in dit document niet zozeer de levensduur bedoeld wordt, maar met name de milieuduurzaamheid.

#### *Typering gebruikte bouwstoffen*

Voor het zand wordt verwezen naar de *Leidraad Bouwstoffen* [16]. Natuurlijk zand is veelal als schone grond of categorie 1 bouwstof aan te merken. Bij zeezand is de categorie-indeling afhankelijk van het succes van de ontziltingsstap (chloride kan kritisch zijn). Toegepast ontzilt zeezand is meestal categorie 1 bouwstof. Bij zand uit baggerspecie is de categorie-indeling afhankelijk van de herkomst en scheidingsresultaat van de baggerspecie.

Menggranulaat bestaat uit secundaire bouwstoffen. Alleen de fracties gebruiken, die volgens het Bouwstoffenbesluit categorie 1 bouwstoffen zijn.

Kunststoffen en beton vallen niet onder de werkingssfeer van het Bouwstoffenbesluit.

#### *Terugwinbaarheid / hergebruik*

Het ophoogzand kan eenvoudig worden teruggewonnen en hergebruikt. Kostentechnisch gezien is het de vraag of het zinvol is, daar transportkosten hoog zijn in verhouding tot de zandprijs.

Het ophoogmateriaal van de gewapende grondmatras kan eveneens eenvoudig worden teruggewonnen. De geogrids zijn vermoedelijk niet opnieuw te gebruiken maar kunnen worden verwerkt tot andere producten.

De palen kunnen in principe worden teruggewonnen. Het terugnemen van de palen kan evenwel meer schade toebrengen aan grondslag en waterhuishouding dan het laten zitten van de palen. Wel kan worden geëist dat de bovenste meter van de palen wordt verwijderd om bijvoorbeeld landbouwkundig gebruik van het terrein mogelijk te maken.

#### *Extra milieumaatregelen*

Niet van toepassing.

#### *11.2.10 Verdere aandachtspunten*

Niet van toepassing.

### **11.3 Uitvoeringsfase**

#### *11.3.1 Uitvoeringsmethode*

##### *Werkvloer*

Voordat de palen worden geïnstalleerd, wordt ten behoeve van het bouwmaterieel een 0,4 à 0,5 m dikke werkvloer van zand aangebracht.

##### *Paalfundering*

Houten palen en prefab betonpalen worden door middel van heien geïnstalleerd, zie NEN 6741 respectievelijk NEN 6742. De geluids- en trillingshinder zijn vanwege de slankheid van de palen en de bodemopbouw (slappe grond) veelal van ondergeschikt belang.

De AuGeo® palen worden met drukkracht geïnstalleerd. De stelling waarmee dit geschiedt, vertoont veel overeenkomst met de stelling waarmee verticale drains worden geïnstalleerd. Met de stelling wordt een vierkante of ronde stalen buis van 220 x 10 mm in de grond gedrukt (druk van maximaal 450 kN). De buis is aan de onderzijde afgesloten met een stalen plaat. In de stalen buis bevindt zich een kunststof buis (PE) Ø 150 mm, die is voorzien van een eindafdichting met een funderingsplaat, die dient als vergrote paalpunt. Nadat de buis de gewenste weerstand heeft bereikt, wordt deze direct weer

getrokken. De achterblijvende kunststof buis wordt op de gewenste hoogte afgezaagd en voorzien van een kunststof paalkopmal en wapeningskorf. Vervolgens wordt de buis volgepompt met betonmortel. De paalkoppen vormen één geheel met de paal en zijn voorzien van een kunststof rand die het geogrid beschermd tegen beschadiging. Bij aanwezigheid van een goede stabiele werkvloer is een productie mogelijk van 20 palen per uur.

De VOTON® HSP paal is een in de grond gevormde betonpaal Ø 170 à 270 mm van (staalvezel) beton, eventueel voorzien van een centrale wapeningstaaf. Met een trilblok wordt een stalen buis op diepte gebracht, die aan de onderzijde is voorzien van een pneumatisch te bedienen afsluiter. Nadat de buis op diepte is wordt de afsluiter geopend waarna de betonmortel uitstroomt en de stalen buis statisch wordt getrokken.

Voor de uitvoering van de palen wordt verwezen naar de volgende normen:

- NEN-EN 12699:2001 en *Uitvoering bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen* [19]
- NEN-EN 14199:2001 Ontw. en *Uitvoering bijzonder geotechnisch werk - Micropalen* [20]

In NEN-EN 12699 is de minimale paalafstand gegeven voor verdringingspalen zonder casing in slappe grond. Zo dient bij een ongedraineerde schuifweerstand van 15 kPa, zoals in de slappe lagen in west Nederland veelvuldig voorkomt, de h.o.h.-afstand van de palen ten minste 10 x de paaldiameter te bedragen.

#### *Belastingspreidende laag*

Over de paalkoppen wordt een gewapende grondmatras bestaande uit geogrids en grofkorrelig ophoogmateriaal (bijvoorbeeld menggranulaat) aangebracht. In bijzondere gevallen kan een doorgaande betonplaat worden gebruikt doch deze is aanmerkelijk duurder. Een alternatief is een laag gestabiliseerde grond, waarmee echter nog vrijwel geen ervaring bestaat.

Voor de uitvoering van de belastingspreidende laag wordt verwezen naar de volgende norm:

- NEN-EN 14475:2001 Ontw. en *Uitvoering bijzonder geotechnisch werk - Gewapende grond constructies* [21]

#### *Uitvoering*

De uitvoering van de zandophoging op palen geschiedt in grote lijnen als volgt:

- aanbrengen van werkvloer (ca. 0,50 m zand of draglineschotten)
- aanbrengen van de palen
- afzagen van de palen en aanbrengen van de paalkoppen
- aanbrengen van 1<sup>e</sup> laag geogrid (in dwarsrichting)
- aanbrengen en verdichten van 0,25 m menggranulaat
- omslaan van 1<sup>e</sup> laag geogrid en aanbrengen van 2<sup>e</sup> laag geogrid (in langsrichting)
- aanbrengen en verdichten van 2<sup>e</sup> laag van 0,25 m menggranulaat
- aanbrengen van zandophoging, zandbed en bovenbouw.

### *Zandophoging*

Het ophoogzand wordt in het algemeen door middel van vrachtwagens of dumptrucks aangevoerd, waarna het door bijvoorbeeld een bulldozer of laadschop in dunne lagen van 0,5 à 0,75 m wordt uitgereden. Daarbij dienen de voertuigen versporend te rijden, zodat het zand wordt verdicht. Het belangrijkste voordeel van inrijden is dat het zand een laag watergehalte heeft, waardoor de verwerkbaarheid en de weerstand tegen afschuiven relatief hoog zijn. Vaak zal een trilwals ingezet moeten worden om te voldoen aan de verdichtingsgraad zoals vermeld in §22.02.06 van de *Standaard RAW Bepalingen* [1]. Nadere informatie is te vinden in *Verdichting van de zandbaan* [18].

Een alternatieve wijze van ophogen is het hydraulisch ophogen (nat aanbrengen of spuiten). Deze methode voorkomt dat slecht begaanbaar terrein moet worden bereiden en maakt een hoge productie mogelijk. Het gedeponeerde materiaal is echter inhomogeen, heeft een geringe stabiliteit tijdens de uitvoering en kan grotere schadelijke gevolgen hebben op de omgeving door het waterbezwaar en/of de uitslag van zout en fijn materiaal. Voor een verdere omschrijving wordt verwezen naar hst. U van *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Onderbouw* [2].

### *11.3.2 K.A.M-zaken*

In deze paragraaf worden de K.A.M.-zaken beschouwd die betrekking hebben op de uitvoering (K.A.M. staat voor Kwaliteits-afname controle, ARBO en veiligheidszaken en Milieu).

#### *Kwaliteits-afname controle*

Voor uitvoering van de paalfundering dient een installatieplan te worden overlegd, waarop is aangegeven:

- locatie en nummer van de palen
- type en afmeting van de palen
- paalkwaliteit
- lengte van de palen.

Op de bouwplaats dient gecontroleerd te worden:

- paalinstallatie (heikalender; drukkracht)
- kwaliteit belastingspreidende laag (bij gewapende grondmatras kwaliteit geogrids en ophoogmateriaal)
- Paal draagvermogen (belastingsproeven).

In §22.06.01 van de *Standaard RAW Bepalingen* [1] worden eisen gesteld aan en ophoogzand. Hierover wordt het volgende opgemerkt.

De eisen gesteld aan ophoogzand zijn dermate ruim, dat slecht drainerend materiaal met veel fijne deeltjes zou mogen worden toegepast (§22.06.01: 50% mag kleiner zijn dan 63 mm). Gebruik van zand dat aan deze eisen voldoet, kan leiden tot taludinstabiliteit vanwege verzadiging met water. Uit dit oogpunt zijn voor het ophoogzand strengere eisen noodzakelijk dan in §22.06.01 van de *Standaard RAW Bepalingen* [1] worden aangegeven. Uit ervaring is bekend dat zowel voor de werkvloer als de zandophoging het



beste matig fijn tot matig grof zand met maximaal 5 à 10 % fijne deeltjes (<63 mm) kan worden gebruikt.

Eisen voor de verdichting van de zandophoging zijn gegeven in §22.02.06 van *Standaard RAW Bepalingen* [1].

#### *ARBO en veiligheidszaken*

De normale ARBO en veiligheidsregels voor grond- en heiwerk zijn van toepassing.

#### *Milieu*

Geen bijzonderheden.

#### *11.3.3 Besteksteksten*

Voor de verschillende werkzaamheden (paal installatie, aanbrengen belastingspreidende laag en zandophoging) kan gebruik worden gemaakt van standaard besteksteksten. Belangrijk voor de aannemer is dat deze de juiste grondgegevens heeft ter bepaling van het in te zetten materieel.

### **11.4 Beheer en onderhoud**

#### *Gebruiksfase*

Indien de palen en de belastingspreidende laag naar verwachting functioneren, zal de ophoging in de gebruiksfase geen zetting ondergaan. In het kader van beheer en onderhoud zijn geen bijzondere maatregelen nodig.

Waakzaamheid is echter geboden tijdens belerende werkzaamheden vooral indien deze gepaard gaan met een toename van de horizontale gronddruk op de palen.

#### *Verwachte zetting*

Bij het minder goed functioneren van de constructie zijn de gevolgen redelijkerwijze te overzien. De zetting zal veelal beperkt blijven. Desalniettemin dient gerekend te worden op periodiek groot onderhoud aan de wegconstructie. Het achteraf verbeteren van het gedrag van de palen en de belastingspreidende laag is praktisch uitgesloten. Eventueel kan een deel van de ophoging worden vervangen door licht ophoogmateriaal.

Het verdient aanbeveling het geotechnisch ontwerp te evalueren aan de hand van de metingen en ervaringen tijdens de aanleg. De evaluatie dient aanbevelingen te bevatten ten aanzien van de grondparameters en rekenmodellen die moeten worden gebruikt bij het ontwerp van een eventuele toekomstige reconstructie of verbreding van de weg.

### **11.5 Ombouw / sloop**

#### *11.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding*

Een toekomstige verbreding van de ophoging kan op dezelfde wijze worden uitgevoerd als de oorspronkelijke constructie. Andere methoden zijn ook mogelijk mits de bestaande paalfundering wordt ontzien. Met name betreft dit

de horizontale gronddruk. Een traditionele wegverbreding met zand zal daarom niet kunnen worden toegepast, mits bij het ontwerp van de oorspronkelijke palen hiermee rekening is gehouden.

Het verhogen van de aardebaan met zand is alleen mogelijk als de bestaande palen en de belastingspreidende laag voldoende sterkte bezitten. Het ontwerp van de constructie dient hierop afgestemd te zijn. Heeft de constructie onvoldoende sterkte, dan is een toekomstige verhoging van de aardebaan alleen uitvoerbaar met licht ophoogmateriaal.

#### 11.5.2 Sloop

De zandophoging (aardebaan) kan eenvoudig worden verwijderd.

Het ophoogmateriaal van de belastingspreidende laag kan eveneens eenvoudig worden teruggewonnen.

De palen kunnen in principe worden teruggewonnen. Het terugnemen van de palen kan evenwel meer schade toebrengen aan grondslag en waterhuishouding dan het laten zitten van de palen. Wel kan worden geëist dat de bovenste meter van de palen wordt verwijderd om bijvoorbeeld landbouwkundig gebruik mogelijk te maken.

### 11.6 Referenties

#### 11.6.1 Ervaringen

Bij wegaanleg zijn in Nederland enkele malen zandophogingen op een paalfundering toegepast. Genoemd kunnen worden:

- A27 bij Werkendam waar betonpalen zijn toegepast met daarop een betonnen plaat en de wegverharding.
- N210 tussen Krimpen aan den IJssel en Bergambacht waar betonpalen zijn toegepast met daarop een betonnen plaat en een zandlaag en de wegverharding
- Provinciale weg tussen Alphen aan den Rijn en Boskoop waar houten palen met een doorgaande betonplaat zijn toegepast.
- N11 CSV kolommen ter plaatse van aansluiting Bodegraven.

In het buitenland is recentelijk ervaring opgedaan met een gewapende grondmatras opgebouwd met geokunststof grids als alternatief op de bovengenoemde betonplaat, zie *Gewapende grondmatras op palen* [10].

In 1998 is in Nederland bij een proefproject het nieuwe paaltype AuGeo met een soortgelijke grondmatras toegepast. Het betreft terp HW5 op het proefveld Rijkswaterstaat - Hoge Snelheidslijn te 's Gravendeel, zie *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard* [5]. De ondergrond is hier gelaagd en bestaat uit organische klei, siltige klei, veen en zand. Naast AuGeo palen  $\varnothing$  0,16 m (zie fig. 11.1) zijn gecertificeerde houten palen  $\varnothing$  0,13 m toegepast. De h.o.h.-afstand van de palen bedroeg 0,8 à 1,0 m. De palen zijn geplaatst in een vierkantstramen. Op de palen is een gewapende grondmatras aangebracht bestaande uit 2 lagen geogrid met menggranulaat. Als ophoogmateriaal is gestabiliseerde grond toegepast. Direct na het ophogen is een

geringe zetting (enkele centimeters) gemeten. De ophoging gedraagt zich als een zettingsvrije ophoging.

In opdracht van de Provincie Noord-Holland is bij de verbreding busbaan Edam - Monnickendam een gewapende granulaatmatras op prefab beton palen toegepast (een zogenaamde GMOP). De h.o.h.-afstand van de palen bedroeg 2,2 à 2,5 m en op de palen is een betonplaat van 1,0 x 1,0 x 0,2 m geplaatst. In CUR rapport 2002-7 [10] is dit project uitgebreid beschreven.

In juli - september 2003 zijn 5900 AuGeo palen toegepast onder een zandophoging van 3,5 m voor de TramPulsLijn IJsselmonde.

Eind 2003 zijn VOTON® HSP palen Ø 180 en 273 mm toegepast voor de aardebaan van de Carnisselandelijn bij Rotterdam. Het betreft een brugoprit met een olopende zandlaagdikte tot 8,5 m.

#### 11.6.2 Literatuur

- [1] *Standaard RAW Bepalingen*, CROW-publicatie, 2000, inclusief Wijziging december 2002
- [2] *Handleiding Wegenbouw. Ontwerp onderbouw. Deel II Techniek*, RWS DWW, april 1991
- [3] *BS 8006 Code of practice for strengthened/reinforced soils and fills*, BSI, 1995/1999
- [4] *Handreiking No-Recess technieken*, CUR rapport 199, januari 2001
- [5a] *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard 3 september 1999*, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, + Special Geotechniek, Oktober 1999
- [5b] *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard 17 januari 2001*, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, + Special Geotechniek, april 2001
- [6] *Definitief ontwerp proefbaan HW2 No Recess Onderzoek*, Vermeer Infrastructuur B.V., rapportnr. 98.4111.1, 23 april 1998
- [7] Russel, D., N. Piermont *An assessment of design methods for piled embankments*, Ground Engineering, November 1997
- [8] Maddison, J.D., D.B. Jones, A.L. Bell, C.G. Jenner *Design and performance of an embankment supported using low strengths geogrids and vibro concrete columns*, Geosynthetics: Applications, design and Construction, De Groot, Den Hoedt & Termaat, Balkema, Rotterdam, 1996
- [9] Kempfert, H.-G., M. Stadel *Zum Tragverhalten geokunststoffbewehrter Erbauwerke über pfahlähnlichen Traggliedern*, Geotechnik, Sonderheft DGGT, Essen, 1995
- [10] *Gewapende granulaatmatras op palen. Toepassing, ontwerp- en uitvoeringsaspecten*, CUR rapport 2002-7, december 2002
- [11] *NEN 5112 Geotechniek. Bepaling van het watergehalte van grond in het laboratorium*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1995
- [12] *NEN 5140 Geotechniek, Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvings weerstand van grond. Elektrische sondeermethode*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1996
- [13] *Bepaling geotechnische parameters*, CUR-rapport 2003-7, 2003

- [14] NEN 6740 *Geotechniek. TGB 1990. Basiseisen en belastingen*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [15] NEN 6743 *Geotechniek. Berekeningsmethode voor funderingen op palen. Drukpalen*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [16] *Leidraad Bouwstoffen* Rijkswaterstaat, RWS DWW, maart 2000
- [17] Göbel, Kempfert, Alexiew, Trunk, Vogel, Hubal en Heitz. *Empfehlung 6.9 Bewehrte Erdkörper auf punkt- oder linienförmigen Traggliedern*, Oktober 2003
- [18] *Verdichting van de zandbaan*, CROW-rapport 04-04, 2004
- [19] NEN-EN 12699:2001 en, *Uitvoering bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen*
- [20] NEN-EN 14199:2001 *Ontw. en, Uitvoering bijzonder geotechnisch werk - Micropalen*
- [21] NEN-EN 14475:2002 *Ontw. en, Uitvoering bijzonder geotechnisch werk - Gewapende grond constructies*
- [22] Eekelen, S.J.M. van, A. Bezuijen, O.Oung *Aardebaan op palen: ontwerpberoeeningen en experimenteel onderzoek*, Wegbouwkundige werkdagen, CROW, 2004