
Product-methodeblad nummer 13

Zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen

Inhoudsopgave

13.1 Algemeen	233
13.1.1 Principe methode	233
13.1.2 Technische levensduur	235
13.1.3 Voor- en nadelen	236
13.1.4 Beperkingen	236
13.2 Ontwerpfase	237
13.2.1 Benodigd grond- en laboratoriumonderzoek	237
13.2.2 Geotechnische ontwerpaspecten	239
13.2.3 Ontwerpdetails	240
13.2.4 Effect op bestaande weg	241
13.2.5 Effect op omgeving	241
13.2.6 Relevante wetgeving en doorlooptijd vergunningen	242
13.2.7 Raming aanlegkosten	244
13.2.8 Risico's, monitoring en maatregelen	244
13.2.9 Duurzaam bouwen	247
13.2.10 Verdere aandachtspunten	247
13.3 Uitvoeringsfase	247
13.3.1 Uitvoeringsmethode	247
13.3.2 K.A.M-zaken	248
13.3.3 Besteksteksten	250
13.4 Beheer en onderhoud	250
13.5 Ombouw / sloop	251
13.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding	251
13.5.2 Sloop	251
13.6 Referenties	251
13.6.1 Ervaringen	251
13.6.2 Literatuur	252

Zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen

13.1 Algemeen

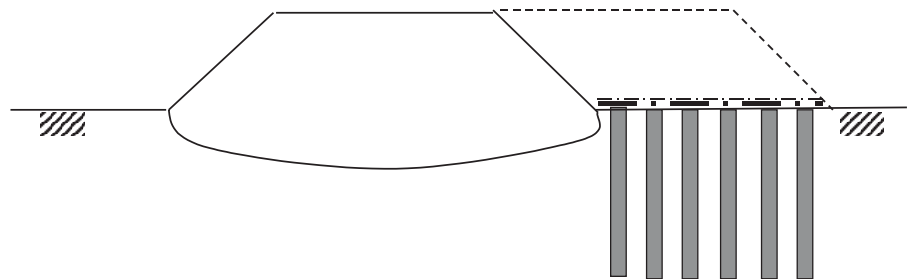
13.1.1 Principe methode

Gestabiliseerde grondkolommen zijn relatief sterke en stijve elementen in slappe cohesieve grond die zijn gevormd door een geschikt bindmiddel met de ondergrond te mengen. Gestabiliseerde grondkolommen kunnen worden toegepast om:

- de zetting van de ophoging te beperken (door hogere stijfheid gestabiliseerde grond);
- de stabiliteit van de ophoging te vergroten (door grotere sterkte gestabiliseerde grond);
- de verspreiding van trillingen naar de omgeving te beperken;
- de invloed van trillingen op de omgeving (door treinverkeer of aardbevingen) te verkleinen.

Mogelijkerwijs kunnen gestabiliseerde grondkolommen de verspreiding van trillingen naar de omgeving te beperken en/of de invloed van trillingen op de omgeving (door treinverkeer of aardbevingen) verkleinen. Hiervoor is echter nog geen hard bewijsmateriaal voor handen.

Daarnaast kunnen de kolommen worden toegepast voor het formeren van de wanden van sleuven en kleine bouwputten.



Figuur 13.1 Principe zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen met belastingspreidende laag

In grote lijnen geschiedt de uitvoering als volgt:

- aanbrengen werkvloer van zand
- installeren van de kolommen
- in acht nemen van een wachttijd voor verharding van de kolommen
- aanbrengen zandophoging inclusief tijdelijke extra overhoogte
- in acht nemen van een wachttijd voor consolidatie en verdere verharding van de kolommen
- verwijderen tijdelijke extra overhoogte en ophoging afwerken onder definitief profiel.

De voorbelasting met de tijdelijke extra overhoogte is nodig om de restzetting van de ophoging tot een minimum te beperken.

De methode is in de jaren '70 ongeveer gelijktijdig in Zweden en Japan tot ontwikkeling gekomen. Momenteel wordt de methode ondermeer toegepast in Scandinavië, Japan, USA, Italië, Polen, zie onder andere *Dry mix methods for deep stabilization* [8]. In Nederland zijn in CUR-verband recent enkele proefprojecten uitgevoerd (proefvelden Rijkswaterstaat - Hoge snelheidslijn en Abcoude), zie onder andere *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6] en *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard* [9]. In figuur 13.1 is een schets van de constructie gegeven.

De kolomdiameter bedraagt doorgaans 0,6 à 0,8 m. Grotere afmetingen (bijvoorbeeld 1,0 m) komen ook voor. De kolommen worden veelal in een driehoekig stramien geplaatst op een hart-op-hart afstand van 1,0 à 1,5 m. Ook worden rijen overlappende kolommen toegepast, zogenaamde panelen.

De kolommen worden in principe doorgezet tot in de draagkrachtige zandlaag. Bij een grote dikte van de samendrukbare lagen (zoals in Zweden), wordt de kolomlengte echter vaak beperkt tot 10 à 15 m zodat alleen het bovenste deel van de slappe laag wordt gestabiliseerd en de kolommen als het ware 'op kleef staan'.

In Finland is eind vorige eeuw een methode ontwikkeld om ondiepe veenlagen te stabiliseren. Hierbij worden geen afzonderlijke kolommen gemaakt maar wordt met een speciale menger de gehele laag intensief gemengd met een bindmiddel. De methode staat bekend onder de naam blokstabilisatie (*mass stabilisation*). Een soortgelijk effect kan ook bereikt worden door in alle richtingen overlappende kolommen te maken. In dit product-methodeblad wordt blokstabilisatie niet in detail behandeld. Verwezen wordt naar *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6].

Het bindmiddel kan in droge vorm als poeder of in natte vorm als slurry met de ondergrond worden gemengd.

Bij de droge methode, de zogenaamde DMM (Dry Mix Method), worden grond en bindmiddel voornamelijk in een horizontaal vlak gemengd. Er vindt nauwelijks vermenging van de verschillende grondlagen in verticale richting plaats. De droge methode is in de Scandinavische landen populair omdat deze ook bij vorst gebruikt kan worden.

Bij de natte methode is de apparatuur eenvoudiger (slurry verpompen is alledaags proces). Bovendien is het eenvoudiger in verticale richting grond en bindmiddel te mengen.

De chemisch-fysische werking van gestabiliseerde kolommen is sterk afhankelijk van het gebruikte bindmiddel en de te stabiliseren grond. In Nederland is veelal sprake van organische grondsoorten (organische klei en veen). In hoofdstuk 3 van CUR 199 *Handreiking No-Recess technieken* [5] wordt nader ingegaan op de interactie van bindmiddelen met (organische) grond.

Het te gebruiken bindmiddel is afhankelijk van de eigenschappen van de ondergrond. Aanvankelijk (begin jaren '70) werd ongebluste kalk voor de stabilisatie van klei gebruikt. In organische klei en veen levert ongebluste kalk

vaak niet het gewenste resultaat. Daarom worden andere bindmiddelen gebruikt zoals cement, gips, vliegashoudend cement en industriële reststoffen. Veelal worden mengsels van 2 of 3 stoffen gebruikt. De keuze van het bindmiddel en de toe te passen hoeveelheid vergt uitgebreid laboratoriumonderzoek vooraf. Momenteel is geen algemeen geldende receptuur voorhanden en staat bovendien niet met zekerheid vast dat de methode in alle grondsoorten toepasbaar is. De benodigde hoeveelheid bindmiddel varieert sterk en bedraagt volgens §7.3.3 van *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6]:

- voor de droge methode,
 - in klei hoeveelheid bindmiddel 80 tot 120 kg/m³
 - in organische grond hoeveelheid bindmiddel 250 tot 300 kg/m³
 - blokstabilisatie hoeveelheid bindmiddel 200 tot 400 kg/m³
- voor de natte methode,
 - hoeveelheid bindmiddel slurry 300 tot 400 kg/m³.

In aanvulling op het laboratoriumonderzoek is een onderzoek met proefkolommen in het veld nodig.

De ongedraineerde schuifweerstand van de gestabiliseerde grond wordt beschouwd als de kenmerkende eigenschap. In het veld bereikte waarden zijn afhankelijk van de hoeveelheid bindmiddel. Voor de hierboven genoemde hoeveelheden kan worden aangehouden, zie *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6]:

- in klei 40 tot 60 kPa
- in veen 100 tot 150 kPa.

Opmerking:

in het buitenland wordt vaak gewerkt met de prisma druksterkte, die wordt bepaald met de vrije prisma proef; de prisma druksterkte is gelijk aan 2x de ongedraineerde schuifweerstand.

De druksterkten die in het veld worden behaald, zijn veelal lager dan de druksterkten bepaald in het laboratorium. Een factor 2 à 5 is niet ongebruikelijk. De methode van mengen en de snelheid waarmee de injectielans wordt getrokken hebben invloed op de in het veld bereikte druksterkte. Nader onderzoek is nodig om de relatie tussen de druksterkte bepaald in het laboratorium en de druksterkte bereikt in het veld vast te stellen. Om de resultaten van verschillende projecten te kunnen vergelijken is een uniforme uitvoering van de laboratoriumproeven noodzakelijk. In §6.4 van *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6] en in §3.4 van *Handreiking No-recess technieken* [5] zijn hiervoor richtlijnen gegeven.

13.1.2 Technische levensduur

Nauwkeurige gegevens over de levensduur van de gestabiliseerde ondergrond zijn niet beschikbaar. Nader onderzoek hieromtrent is nodig.

Uit oogpunt van levensduur is de toevoeging van gips aan het bindmiddel volgens sommige onderzoekers ongewenst. Gips geeft een snelle ontwikkeling van de sterkte door de vorming van ettringiet kristallen. Bij een latere daling van de zuurgraad zijn deze kristallen echter onstabiel waardoor een afname van de sterkte op zou kunnen treden. Hierover bestaat geen

algemene overeenstemming. In Finland is circa 10 jaar ervaring met bindmiddelen waaraan gips is toegevoegd terwijl niets is gebleken van een afname van de sterkte.

In §6.3.4 van *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6], in §3.3 van *Handreiking No-recess technieken* [5] en in *Evaluatie No-Resess* [9b] wordt nader op de duurzaamheid ingegaan. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat de duurzaamheid van gestabiliseerde grondkolommen voldoende is.

13.1.3 Voor- en nadelen

Voor- en nadelen van de ophogingsmethode ten opzichte van een zandophoging op maaiveld met verticale kunststofdrains zijn gegeven in tabel 13.1.

13.1.4 Beperkingen

Naast de hiervoor genoemde nadelen, die een beperking voor de toepassing van de methode kunnen vormen, kunnen de volgende beperkingen worden genoemd.

De onzekerheid van de in het veld te bereiken kolomeigenschappen, met name in sterk organische grond (veen), vormen momenteel de grootste beperking voor de methode in Nederland. Daarnaast kan de onzekerheid ten aanzien van het Bouwstoffenbesluit een rol spelen. In §6.2.6 van *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6] wordt nader ingegaan op de milieuregelgeving in het kader van het Bouwstoffenbesluit.

Voor een lage aardebaan kan met de methode een nagenoeg zettingvrije ophoging (geringe restzetting) worden gemaakt. Voor ophogingen groter dan circa 3 m (netto) heeft de methode nog veel onzekerheden ten aanzien van het zettinggedrag zodat de methode niet gezien kan worden als een volwaardig alternatief, zie *Evaluatie No-Resess* [9b].

Vastgepakte tussenzandlagen in de ondergrond zijn moeilijk te penetreren en vormen een obstakel voor gestabiliseerde grondkolommen volgens de droge methode. Komen dergelijk lagen voor, dan zijn aanvullende en kostenverhogende maatregelen nodig zoals voorboren. Ook kan worden overgestapt op de natte methode aangezien de boormethode met een slurry zich betere leent voor het penetreren van vaste tussenzandlagen.

Aspect	Voordeel	Nadeel	Toelichting
kosten		hoog	
bouwtijd		matig lang	installatieproces kolommen en benodigde verhardingstijd
zetting gebruiksfase	gering		totale zetting veelal minder dan 0,5 m; restzetting gering
ruimtebeslag	klein		steile taluds mogelijk
complexiteit uitvoering		specialis- tisch	buitenlandse aannemers inschakelen
ervaring met uitvoering		gering	buitenlandse aannemers inschakelen
aanwezigheid van risico's *)		wisselend	organische grond: onzeker resultaatgelaagde grond: inhomogene kolom
levensduur		onbekend	met name in organische grond;onderzoek vindt plaats
status in relatie tot Bouwstoffenbesluit		onbekend	onderzoek vindt plaats
risico schade bestaande weg	klein		
risico schade kabels/leidingen	klein		
risico belendingen	klein		
overig	flexibel		kolomafstanden en plaatsing eenvoudig te variëren
	ontwerp		

*) waaronder begrepen onzekerheid in de grondparameters, onvolkomenheid van ontwerpmodellen, uitvoeringstechnische onzekerheid / beheersbaarheid; een verdere uitsplitsing staat in §13.2.8

Tabel 13.1 Voor- en nadelen zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen

13.2 Ontwerpfase

13.2.1 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* [25]. 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 uitgestrektheid van het bestaande weglichaam in de ondergrond.

Sonderingen

De onderlinge afstand tussen de sonderingen is met name afhankelijk van de samendrukbaarheid van de grond en de variatie van de bodemopbouw. De gemiddelde afstand tussen de sonderingen ligt tussen de 50 en 100 m. De

sonderingen dienen ten minste tot de bovenkant van 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 dient te worden toegepast (NEN 5140).

Om de ontwikkeling van de ongedraineerde schuifsterkte in de kolom te kunnen volgen zijn vinproeven in-situ uit te voeren.

Boringen

Door middel van boringen dienen ongeroerde monsters te worden gestoken ten behoeve van laboratoriumproeven ter bepaling van de grondparameters. De gemiddelde afstand tussen de boringen ligt tussen de 250 en 500 m. De boringen dienen te reiken tot de onderkant van de slappe lagen.

Daarnaast is voor het bindmiddel-onderzoek een grote hoeveelheid grond, afkomstig uit de slappe lagen, benodigd. Hiervoor kunnen monsters, verkregen met avegaar-boringen of pulsboringen met grote diameter worden gebruikt.

Bepaling grondwaterstand

Door het plaatsen van peilbuizen dient de grondwaterstand te worden bepaald in met name de eventuele tussenzandlagen en het onderliggende watervoerend pakket. Bepaald dienen te worden:

- de freatische grondwaterstand
- de polderpeilen
- de stijghoogte in eventuele tussenzandlagen
- de stijghoogte in het onderliggende watervoerend pakket.

Inzicht in de fluctuatie van de waterstanden is te verkrijgen indien metingen over geruime tijd worden uitgevoerd. 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) en door waterpassing van het slootpeil.

Laboratoriumonderzoek

Ten behoeve van het geotechnisch ontwerp dient van de slappe lagen door middel van laboratoriumonderzoek te worden bepaald:

- de classificatie volgens NEN 5104 [16]
- bepaling van het volumiek gewicht en het watergehalte volgens NEN 5112 [17]
- het gehalte organische stof volgens proef 124 RAW *Standaard RAW Bepalingen* [1]
- de chemische samenstelling (met name sulfide gehalte) en de pH van het grondwater volgens proef 119 RAW *Standaard RAW Bepalingen* [1]; dit onderzoek is van belang in verband met de agressiviteit ten aanzien van cement
- de schuifweerstandseigenschappen (triaxiaalproeven) volgens NEN 5117 [19] en de samendrukkings- en consolidatie-eigenschappen van de grond (samendrukkingsproeven) volgens NEN 5118 [20].

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

Daarnaast zijn voor het mengselonderzoek benodigd:

- bepalingen van de sterkte (meestal vrije prisma proeven) en de doorlatendheid van met bindmiddel gemengde grond.

Richtlijnen voor een uniforme uitvoering van de laboratoriumproeven van het mengselonderzoek zijn gegeven in §6.4 van *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6] en in §3.4 van *Handreiking No-recess technieken* [5].

Belangrijkste variabelen in het mengselonderzoek zijn het type bindmiddel, de hoeveelheid bindmiddel en de verhardingsduur. Zoals in §13.1.1 is vermeld is voor het mengselonderzoek een uniforme proefprocedure in ontwikkeling.

Zoals al eerder is opgemerkt dienen voorsnog ook in-situ sterkte-bepalingen plaats te vinden door proefkolommen te maken en hiervan de sterkte als functie van de verhardingstijd te bepalen.

13.2.2 Geotechnische ontwerpaspecten

Bij het ontwerp van een zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen wordt proberenderwijs de geometrie van de kolommen berekend. Dit betreft de hart-op-hart afstand en de plaatsing (driehoekstramien, rijen, kruisende rijen). Vaak worden hierbij de kolomdiameter en de verwachte sterkte van de kolommen als vast uitgangspunt genomen. Bij het ontwerp worden beschouwd:

- eindzetting
- zettingsverloop in de tijd en bepaling restzetting; bepaling van de bouwtijd
- stabiliteit tijdens aanleg en in de eindsituatie
- vormgeving van een eventuele belastingspreidende laag tussen kolommen en ophoging.

Bij wegverbredingen omvat het ontwerp ook bepalingen van :

- het effect op de bestaande weg.

Bij belendingen, kabels en leidingen:

- het effect op belendingen, kabels en leidingen.

In principe wordt de bouwtijd als een vaste randvoorwaarde voor het ontwerp opgevat.

Om de zetting van de ophoging te beperken wordt veelal een driehoekig kolomstramien toegepast. Hoe hoger de zandophoging, hoe dichter de kolommen bij elkaar geplaatst moeten worden aangezien de kolommen een beperkte sterkte bezitten. Om de stabiliteit van de taluds te verzekeren worden de kolommen veelal in overlappende rijen geplaatst.

Om te kunnen voldoen aan de eisen ten aanzien van de restzetting wordt, na een zekere verhardingstijd van de kolommen, een voorbelasting toegepast

door tijdelijk een extra ophoging (extra overhoogte) aan te brengen. Na een zekere zettingstijd wordt de extra overhoogte verwijderd waarna de ophoging nog slechts een geringe restzetting ondergaat.

Het ophoogtempo van de zandophoging op de gestabiliseerde grond is afhankelijk van de verhardingstijd. De sterkte van de gestabiliseerde grond neemt toe met de tijd.

Bij een relatief kleine dikte van de ophoging is een belastingspreidende laag nodig boven de kolommen (indien de bruto zanddikte van de ophoging kleiner is dan 3 à 4 maal de overspanning tussen de kolommen). Hiervoor komt een constructie met geokunststof in aanmerking zoals een gewapende granulaatmatras of een geokunststof product met hoge sterkte (hangmat principe).

Het geotechnisch ontwerp resulteert in een advies omtrent :

- soort bindmiddel, kolomafstand, kolomgeometrie, kolomdiameter, kolomlengte
- opbouw van een eventuele belastingspreidende laag
- bruto zanddikte, eventuele extra overhoogte
- taludhelling tijdens aanleg weergegeven in een dwarsdoorsnede
- ophoogtempo
- te hanteren wachttijden
- taludhelling in eindsituatie weergegeven in een dwarsdoorsnede
- het traject waarvoor het advies geldt en de wijze waarop overgangen naar trajecten waar andere methoden zijn gebruikt, moeten worden uitgevoerd.
- prognose van het verhardingsonderhoud in de gebruiksfase
- geotechnische risico-analyse, monitoring- en maatregelenplan tijdens uitvoerings- en gebruiksfase conform §13.2.8

Bij belendingen, kabels en leidingen:

- verwachte omvang van en maatregelen tegen de schade aan belendingen en kabels en leidingen.

13.2.3 *Ontwerpdetails*

Om kortsluiting met de onderliggende watervoerende zandlaag te voorkomen, moet het ondereinde van een drainerende kolom waterremmend worden gemaakt (hydraulische plug). Bij het proefveld Rijkswaterstaat - Hoge snelheidslijn te 's Gravendeel is een hydraulische plug aangebracht door in het onderste deel van de kolom een 2 x zo hoge hoeveelheid bindmiddel te gebruiken als in de rest van de kolom.

Daar waar de kolommen toegepast worden ter vergroting van de taludstabiliteit, worden de kolommen bij voorkeur in overlappende rijen (panelen) geplaatst.

Daar waar de zone met gestabiliseerde grondkolommen aansluit op een star gefundeerde constructie, zoals een landhoofd van een brug of viaduct, kan een overgangsgebied worden gerealiseerd door de hart-op-hart afstand van

de kolommen te verkleinen naarmate de afstand tot de star gefundeerde constructie kleiner is.

Aansluiting op traditionele aardebaan

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

Een geleidelijke overgang in lengterichting van een zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen 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 blokkenstapelning.

13.2.4 Effect op bestaande weg

Door de ophoging zal de gestabiliseerde grond tijdens de uitvoering enige samendrukking ondergaan. Om te voorkomen dat de bestaande aardebaan zetting met kans op scheurvorming in de verharding zal ondergaan, dient het kolomstramien aan de zijde van de bestaande aardebaan te worden verkleind. Ook kunnen daar kolompanelen worden toegepast. In vergelijking met andere methoden geldt in ieder geval:

- er treedt minder zetting op dan bij toepassing van een zandophoging (al dan niet met tijdelijke extra overhoogte) met verticale drains in de ondergrond
- er treedt meer zetting op dan bij een evenwichtsconstructie.

Direct na mengen heeft de grond tijdelijk een lagere sterkte dan voorheen. In de uitvoeringsfase moet, door een gefaseerde kolominstallatie, voorkomen worden dat de bestaande aardebaan zetting ondergaat en/of stabiliteitsverlies optreedt.

13.2.5 Effect op omgeving

Doordat bij de menging materiaal aan de ondergrond wordt toegevoegd, kunnen tijdens het installeren van de kolommen horizontale deformaties optreden en kan het maaiveld naast de ophoging omhoog komen.

Door de zandophoging zal het maaiveld buiten de teen van de ophoging zetting en horizontale deformatie ondergaan tijdens consolidatie van de ondergrond. De grootte van de deformaties is kleiner dan bij een zandophoging met verticale drainage en bovendien beheersbaar door het kolomstramien daarop aan te passen (kleinere hart-op-hart-afstand).

Direct na mengen heeft de grond tijdelijk een lagere sterkte dan voorheen (zie fig. 9 in *Preadvies omtrent het gebruik van kalk-cementkolommen in Nederland* [6]). Indien op korte afstand een belending aanwezig is, moet in

de uitvoeringsfase, door een gefaseerde kolominstallatie, voorkomen worden dat deze belending zetting ondergaat.

13.2.6 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.

Tabel 13.2 Naar alle waarschijnlijkheid benodigde vergunningen bij toepassing van zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen

WW	Woningwet	OGW	ontgrondingenwet	BSB	Bouwstoffenbesluit	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
GBV	Gemeentelijke bouwverordening	WA	wet afvalwater	PWV	provinciale wegeverordening	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
BB	Bouwbesluit	WVO	wet verontreiniging oppervlaktewateren	WOT	wet op de telecommunicatievoorzieningen	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
WBR	wet beheer rijkswaterstaatswerken	WBB	wet bodembescherming	WVW	wegenverkeerswet	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
WM	wet milieubeheer	PMV	provinciale milieuverordening	Bos	boswet	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
IVB	Inrichtingen en vergunningenbesluit	PGV	provinciale grondwaterverordening	Kap	kapverordening	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
GWV	Grondwaterwet	WVH	wet op de waterhuishouding	GW	Gemeentewet	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
WGH	wet geluidhinder	Keur	keurverordening (waterschap, hoogheemraadschap)	APV	Algemene Politieverordening	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3														
Maximum behandelingsduur ca. (in maanden)																													
Benodigde vergunning/verordening	WW	GBV	BB	WBR	WWS	4	WBR	WM	IVB	GWV	WGH	OGW	WA	WVO	WBB	PMV	PGV	WVH	Keur	BSB	PWV	WOT	WVW	Bos	Kap	GW	APV		
Sloopwerkzaamheden, duikers, portalen, geleiderail, geluidsschermen, viaducten, overkluizingen	•	•	•																										
Werkzaamheden aan bestaande rijksweg				•																									
Werkzaamheden aan bestaande provinciale weg																													
Vervoer/opslag van grond (droog)												> 3m MV																	
Verwerken van zand en grond																													
PTT-kabels																													
Geluidshinder tijdens werkzaamheden																													
Rooien van bomen en struweel																													
Lozen van water op oppervlaktewater																													
Onttrekken van water																													
Gebruik van diverse bouwstoffen																													
Aanleg van watergangen, duikers, overkluizingen en wegsloten																													
Lozen van grondwater op riolering																													
Reconstructiewerkzaamheden ... (vergunning eigen dienst)																													
Verkeersbesluiten bij uitvoering																													

13.2.7 Raming aanlegkosten

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

De gemiddelde prijs voor een zandophoging (ophoogzand) in het werk bedraagt ongeveer € 10,- à € 11,- per m³.

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

In Nederland bestaat weinig ervaring met gestabiliseerde grondkolommen. Voor de installatie van de kolommen zijn aanvankelijk buitenlandse, gespecialiseerde aannemers ingeschakeld. Inmiddels is ook door Nederlandse aannemers ervaring met de methode opgedaan. Gebaseerd op de in *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard* [9] gegeven prijzen en recente informatie van een gespecialiseerde aannemer bedragen de kosten ongeveer (inclusief winst & risico):

- gestabiliseerde grondkolom Ø 0,6 m (bindmiddel 200 kg/m³)
€ 18,- / m-kolom
- idem
€ 64,- / m³-kolom

Opgemerkt wordt dat de kosten voor het bindmiddel ongeveer 1/3 van de kosten van de gestabiliseerde kolom uitmaken.

In de bovengenoemde prijs zijn niet opgenomen de kosten voor:

- ontgraven, afvoeren en tijdelijk opslaan aanwezige grond
- voorzieningen om terrein bereikbaar te maken
- verwijderen en afvoeren van het zand, gebruikt voor als tijdelijke extra overhoogte
- leveren en aanbrengen van dekgrond.

13.2.8 Risico's, monitoring en maatregelen

Risicofactoren

Bij een zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen bestaat hoofdzakelijk onzekerheid in de eigenschappen van de gestabiliseerde kolommen. Met name bij toepassing in organische klei en veen is een risico aanwezig omtrent de in-situ te bereiken resultaten. Daarnaast is het gedrag van de kolommen op de lange termijn onzeker. Dit betreft niet zozeer de levensduur als wel de milieukundige beïnvloeding van de omgeving (uitlooggedrag in kader Bouwstoffenbesluit).

De ongewenste gebeurtenissen bestaan uit:

- afwijkende eindzetting (waardoor ook de hoeveelheid ophoogzand afwijkt)
- onvoorzien verhardingsonderhoud door te grote zetting in de gebruiksfase (te grote restzetting)
- instabiliteit van de ophoging tijdens de uitvoering resulterend in een lager ophoogtempo en het uitlopen van de bouwtijd

- het uitlopen van de bouwtijd door een langere wachttijd voor het verharden van de kolommen
- een groter ruimtebeslag in de eindsituatie door de noodzaak de zandophoging met een flauwere taludhelling op te zetten
- schade aan de bestaande weg in het geval van een wegverbreding
- schade aan belendingen, kabels en leidingen, indien aanwezig.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een geotechnische risicoanalyse 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 monitoring- en maatregelenplan opgesteld, of wordt het ontwerp of het Programma van Eisen bijgesteld.

Monitoring

Door monitoring kunnen de risico's worden beheerst. De monitoring van de grondstabilisatie richt zich op het verloop van de installatie en de gerealiseerde eigenschappen van de kolommen. Door middel van een zogenaamd geboortebewijs dat van iedere kolom wordt vervaardigd, wordt het verloop van de installatie van de kolommen vastgelegd. Dit betreft:

- de installatiedatum
- de kolomlocatie
- de gebruikte apparatuur
- de volgorde van kolominstallatie
- de hoeveelheid en samenstelling van het bindmiddel, als functie van de diepte
- overige aspecten (rotatiesnelheid mengkop, rijzing van de mengkop per omwenteling, drukken, enz.).

De eigenschappen van de gerede kolom worden bepaald na een zekere verhardingstijd. Voor de bepaling van de eigenschappen staan de volgende methoden ter beschikking:

- penetratieproef met speciale conus en 'snijplaat'
- omgekeerde penetratieproef (Pull Out Resistance Test, PORT) op vooraf geselecteerde kolommen waarin direct na fabricage onderin een speciale 'snijplaat' met trekkabel is aangebracht;
- druksondering (CPT)
- pressiometerproef in boorgat of met conuspressiometer (nadeel: hoge kosten)
- boring met ongeroerde monsternamen en beproeving van de monsters in het veld (pocket penetrometer enz) en in het laboratorium.
- opgraven van een gehele kolom en bepaling van de eigenschappen.

Aandachtspunten bij deze methoden zijn de ouderdom van de kolom (eigenschappen zijn afhankelijk van ouderdom; te harde kolom is niet te penetreren), het destructieve karakter van sommige methoden en de kans dat de conus of boor afwijkt van de verticaal en de kolom verlaat.

Het verdient sterke aanbeveling vooraf een aantal proefkolommen in de directe omgeving van het werk te maken. De eigenschappen van de proefkolommen kunnen worden vastgesteld met behulp van bovengenoemde

proeven. Naar aanleiding van de meetresultaten kan worden besloten het soort bindmiddel, de dosering, mengmethode of mengselheid aan te passen. Voor de ongewenste gebeurtenissen in het gedrag van de zandophoging vindt de volgende monitoring plaats:

- te grote zetting in de gebruikfase: extrapolatie van de metingen van zakbaken ter bepaling van de eindzetting; het meten van het tijd-zettingsverloop met behulp van zakbaken en waterspanningsmeters in het hart van de ophoging
- instabiliteit van de ophoging tijdens uitvoering: het meten van de waterspanning in de ondergrond ter plaatse van de teen van de ophoging; het plaatsen en waarnemen van perkoenpalen ('doorzichten') in de teen van de ophoging
- kans op schade aan de bestaande weg bij verbreding: het regelmatig inmeten van meetboutjes; visuele inspectie van de toestand van de bestaande weg
- kans op schade aan kabels en leidingen: het meten van de horizontale deformaties met inclinometerbuizen, verticale deformaties met meetboutjes of zakbaken, in combinatie met de zakbaken en waterspanningsmeters ter bepaling van de stabiliteit van de verbreding
- kans op schade aan de omgeving: het inmeten en fotograferen van gevoelige belendingen; visuele inspectie.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een monitoringplan gemaakt. Hierin wordt beschreven wat, hoe, waar, wanneer en door wie wordt gemeten, en 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

De eerdergenoemde ongewenste gebeurtenissen kunnen worden beheerst door een deel van het ophoogzand te vervangen door licht materiaal (EPS of schuimbeton). Daarnaast zijn mogelijke maatregelen:

- bij instabiliteit tijdens de uitvoering: langere wachttijd aanhouden (lager ophoogtempo) zodat kolomsterkte verder kan toenemen en ondergrond langer kan consolideren, steunbermen aanbrengen
- bij schade aan belendingen, kabels en leidingen: damwandscherm aan de buitenkant van de ophoging aanbrengen.

Bij tegenvallende kolomeigenschappen kan voor nog te installeren kolommen worden overwogen het ontwerp aan te passen (verkleinen stramienmaat, verhogen hoeveelheid bindmiddel, ander bindmiddel).

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.

De ongewenste gebeurtenissen tijdens de gebruiksfase en bij reconstructies dienen te worden beperkt door goed beheer en onderhoud, zie §13.4.

13.2.9 *Duurzaam bouwen*

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

Typering gebruikte bouwstoffen

In §6.2.6 van *Diepe grondstabilisatie in Nederland* [6] wordt nader ingegaan op de milieuregelgeving in het kader van het Bouwstoffenbesluit. Hierin zijn 2 juridische kaders genoemd waarbinnen de gestabiliseerde grondkolommen kunnen worden beschouwd. Voor zover bekend is begin 2004 nog geen algemene procedure vastgesteld voor de toepassing van de kolommen binnen de regelgeving van het Bouwbesluit in Nederland.

Voor het zand wordt verwezen naar de *Leidraad Bouwstoffen* [4]. 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.

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.

De gestabiliseerde kolommen kunnen alleen tegen zeer hoge kosten worden teruggewonnen. In de praktijk zal dit niet gebeuren. Ook zal het terugnemen van de kolommen meer schade toebrengen aan grondslag en waterhuishouding dan het laten zitten van de kolommen. Wel kan worden geëist dat de bovenste meter van de behandelde grond wordt vervangen door teelaarde, om bijvoorbeeld landbouwkundig gebruik mogelijk te maken.

Extra milieumaatregelen

Als extra milieumaatregel kan de geohydrologische prop worden genoemd, zie §13.2.3.

13.2.10 *Verdere aandachtspunten*

Niet van toepassing.

13.3 Uitvoeringsfase

13.3.1 *Uitvoeringsmethode*

Het aanbrengen van de gestabiliseerde grondkolommen geschiedt als volgt:

- nadat een werkvloer van zand is aangebracht wordt het grid van kolommen met piketten uitgezet; de werkvloer dient tevens als drainagelaag voor de beheersing van de grondwaterstand in de ophoging
- de stelling wordt boven een piket gemanoeuvreerd en een lans, voorzien van een mengkop, wordt naar de gewenste diepte gedrukt
- de lans wordt vervolgens getrokken onder het gelijktijdig uitpersen van het bindmiddel en het ronddraaien van de mengkop

- nadat de gehele kolom is vervaardigd wordt de stelling naar de volgende locatie gereden en worden de handelingen herhaald.

Direct na mengen heeft de grond in de kolom tijdelijk een lagere sterkte dan voorheen. Door een gefaseerde kolominstallatie moet voorkomen worden dat een belerende constructie hierdoor zetting ondergaat en/of stabiliteitsverlies optreedt.

Het bindmiddel kan droog of nat worden uitgeperst. Bij de droge methode wordt luchtdruk gebruikt om het bindmiddel door de lans naar de mengkop te transporteren. Een dergelijke werkwijze stelt hoge eisen aan de apparatuur omdat voorkomen moet worden dat het droge mengsel samenklontert. Bij de natte methode wordt het bindmiddel eerst met water gemengd tot slurry welke vervolgens wordt verpompt. De natte methode wordt in dit product-methodeblad verder niet behandeld.

Om uitbraak van het bindmiddel naar maaiveld te voorkomen, wordt het inpersen van bindmiddel op 0,5 à 1,0 m beneden maaiveld beëindigd.

De moderne installatie-apparatuur is computergestuurd. Van iedere kolom wordt een 'geboortebewijs' vervaardigd waarop onder andere de hoeveelheid bindmiddel en de verdeling over de hoogte is vermeld.

Blokstabilisatie kan gerealiseerd worden door overlappende kolommen te maken of door speciale apparatuur in te zetten. Op deze speciale apparatuur wordt in dit product-methodeblad niet verder ingegaan.

Na een zekere verhardingstijd wordt de zandophoging op de gestabiliseerde grond aangebracht.

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* [26]. Een alternatieve wijze van ophogen is het hydraulisch ophogen (nat aanbrengen of spuiten). Deze methode voorkomt dat slecht begaanbaar terrein moet worden bereden 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 hoofdstuk U van *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Onderbouw* [2].

13.3.2 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).

Als onderdeel van de kwaliteitsbewaking worden voorafgaand aan het werk enkele proefkolommen gemaakt waarvan na een zekere verhardingstijd de eigenschappen (voornamelijk de sterkte) worden bepaald, zie §13.2.8. Aan de hand van de resultaten wordt een definitieve keuze gemaakt omtrent soort en hoeveelheid bindmiddel.

Vóór uitvoering dient een installatieplan te worden overlegd, waarop is aangegeven:

- de locatie van de kolommen
- het nummer van de kolommen
- de lengte van de kolommen
- de samenstelling van het bindmiddel
- de hoeveelheid bindmiddel in kg/m³
- eventuele bijzonderheden zoals het creëren van een hydraulische plug, zie §13.2.3.

Kwaliteits-afname controle

Op de bouwplaats dient gecontroleerd te worden:

- kwaliteit bindmiddellen
- kolominstallatie (geboortebewijs, zie §13.2.8).

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 van de *Standaard RAW Bepalingen* [1].

ARBO en veiligheidszaken

De normale ARBO en veiligheidsregels voor grondwerk zijn van toepassing. Het aanbrengen van de zandophoging geschiedt ook machinaal. Er is geen sprake van zware fysieke arbeid.

Bij gebruik van ongebluste kalk zijn persoonlijke beschermingsmiddelen nodig. Ook moet voorkomen worden dat ongebluste kalk zich verspreid in de omgeving. Recent is stuifvrije kalk op de markt gekomen.

Bij gebruik van andere bindmiddelen dient vooraf nagegaan te worden of persoonlijke beschermingsmiddelen nodig zijn.

Milieu

Geen bijzonderheden.

13.3.3 Besteksteksten

In Nederland zijn nog geen gestabiliseerde grondkolommen volgens bestek uitgevoerd. Bij een recent proefproject (proefvelden Rijkswaterstaat - Hoge snelheidslijn, zie *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard* [9]) is gebruik gemaakt van een werkomschrijving. Belangrijk voor de aannemer is dat deze de juiste grondgegevens heeft ter bepaling van het in te zetten materieel.

13.4 Beheer en onderhoud

Indien de gestabiliseerde grondkolommen naar verwachting functioneren, zal de ophoging in de gebruiksfase vrijwel geen zetting ondergaan. Tijdens beheer en onderhoud hoeven dan geen bijzondere maatregelen te worden genomen. Blijkt na verloop van tijd dat de kolommen niet naar verwachting functioneren, dan dient gerekend te worden op extra verhardingsonderhoud.

Ondanks het feit dat de ophoging weinig vervorming meer zal ondergaan, verdient het aanbeveling bij overdracht van uitvoering naar beheerder een prognose te maken van de verwachte zettingen en vervormingen in de gebruiksfase, en de consequenties daarvan voor het verhardingsonderhoud. De prognose dient te worden gebaseerd op zettings- en vervormingsmetingen tijdens de aanleg. Ook verdient het 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.

Tijdens de gebruiksfase dient de weg regelmatig te worden geïnspecteerd op schade. In het kader van de meerjarenplanning verhardingsonderhoud gebeurt dit tweejaarlijks. Afhankelijk van de verwachte zettingen en vervormingen in de gebruiksfase kan het nodig zijn om vaker een inspectie uit te voeren. De toestand van de verharding wordt hierbij getoetst aan de volgende interventiewaarden:

- de Immediate Roughness Index (IRI-waarde) mag maximaal 3,5 bedragen
- zettingsverschillen in langrichting mogen maximaal 0,05 m over een lengte van 25 m bedragen
- het verschil in langshelling tussen de verharding op de stootplaten van een kunstwerk en de verharding op het kunstwerk mag maximaal 1:100 bedragen
- de afwatering van de rijbaan mag niet worden belemmerd als gevolg van zetting van de verharding
- de dwarshelling van de rijstroken in rechtstanden dient minimaal 1 % en maximaal 5 % te zijn
- scheuren in de verharding mogen maximaal 20 mm breed zijn
- het hoogteverschil over de scheuren mag maximaal 10 mm zijn.

Indien één van deze interventieniveau's wordt overschreden, dient direct verhardingsonderhoud te worden uitgevoerd om te voorkomen dat de verkeersveiligheid in het geding komt.

13.5 Ombouw / sloop

13.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding

Een toekomstige verbreding van de ophoging kan op dezelfde wijze worden uitgevoerd als de oorspronkelijke constructie. Deze methode wordt alleen gekozen als de gestabiliseerde kolommen naar behoren functioneren. Het verbreden of verhogen van de ophoging met zand is alleen mogelijk als de kolommen voldoende sterkte bezitten en de bijkomende vervormingen (zettingen) beperkt en acceptabel zijn. Het ontwerp van de grondstabilisatie dient hierop afgestemd te zijn. Hebben de kolommen onvoldoende sterkte, dan is een toekomstige ophoging alleen uitvoerbaar met licht ophoogmateriaal of als ophoging op een paalfundering.

Ook bij het onvoldoende functioneren van de kolommen is een toekomstige ombouw alleen mogelijk met licht ophoogmateriaal of met een zandophoging op een paalfundering.

13.5.2 Sloop

De zandophoging (aardebaan) kan eenvoudig worden verwijderd.

De gestabiliseerde grondkolommen zijn in principe als verloren te beschouwen. De kolommen kunnen alleen tegen zeer hoge kosten worden teruggewonnen, maar zijn dan niet herbruikbaar. In de praktijk zal dit niet gebeuren. Ook zal het terugnemen van de kolommen meer schade toebrengen aan grondslag en waterhuishouding dan het laten zitten van de kolommen. Wel kan worden geëist dat de bovenste meter van de behandelde grond wordt vervangen door teelaarde, om bijvoorbeeld landbouwkundig gebruik mogelijk te maken.

13.6 Referenties

13.6.1 Ervaringen

In het buitenland wordt de methode al geruime tijd met succes toegepast. In Nederland zijn in 1998 en 1999 enkele (proef)projecten uitgevoerd waarbij een zandophoging op gestabiliseerde grondkolommen is aangebracht. Het betreft:

- Terp HW2 op het proefterrein van Rijkswaterstaat en de Hoge Snelheidslijn te 's Gravendeel, zie *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard* [9], *Gestabiliseerde grondkolommen, een nieuwe grondverbeteringstechniek in Nederland* [10] en *Projectplan for the installation of stabilised soil columns and block stabilisation* [11]. De ondergrond is hier gelaagd en bestaat uit organische klei, siltige klei, veen en zand. De kolommen zijn geïnstalleerd volgens de droge methode (bindmiddel 80% hoogoven cement en 20% anhydriet). De behaalde zettingsreductie was minder dan voorspeld, vermoedelijk vanwege de slechte verharding in de veenlagen.
- Terp bij Abcoude lang rijksweg A2. De ondergrond bestaat grotendeels uit veen. De kolommen zijn geïnstalleerd volgens de droge methode. De behaalde resultaten bleven ver achter bij de verwachtingen. Er is vrijwel geen zettingsreductie bereikt.

Daarnaast is in 1999 met stabilisatiekolommen een grondverbetering uitgevoerd ten behoeve van de tunnelboormachine voor de Botlekspoor-tunnel, zie blz. 45 in *Dry mix methods for deep stabilization* [8]. De ondergrond bestaat hoofdzakelijk uit siltige klei met veenlagen. Zowel de droge als de natte methode is onderzocht. Voor het daadwerkelijk werk is de natte methode gekozen. De bereikte resultaten waren voldoende. Tijdens de kolominstallatie werd evenwel horizontale deformatie en rijzing van het aanliggende maaiveld geconstateerd.

Bij de startschacht van de boortunnel onder het Groene Hart zijn in de holocene klei- en veenlagen gestabiliseerde grondkolommen toegepast om de stabiliteit van de diepwandsleuven te vergroten.

13.6.2 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] *Construeren met grond*, CUR handboek 162, 1993
- [4] *Leidraad Bouwstoffen*, RWS - DWW, maart 2000
- [5] *Handreiking No-Recess technieken*, CUR rapport 199, januari 2001
- [6a] *Diepe grondstabilisatie in Nederland. Handleiding voor toepassing, ontwerp en uitvoering*, CUR rapport 2001-10, december 2001
- [6b] *Euro Soil Stab. Development of design and construction methods to stabilise soft organic soils. Design Guide Soft Soil Stabilisation*, CT97-0351, Project No. BE 96-3177, CUR Gouda, 2002
- [7] *Lime en lime cement columns*, SGF Report 4:95E, Swedish Geotechnical Society, Linköping, Sweden, 1997
- [8] Bredenberg, H., G. Holm, B.B. Broms *Dry mix methods for deep stabilization*, Balkema, Rotterdam, 1999
- [9a] *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard 3 september 1999*, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, + Special Geotechniek, Oktober 1999
- [9b] *Evaluatie No-Recess testbanen Hoeksche Waard 17 januari 2001*, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, + Special Geotechniek, april 2001
- [10] Duijvenbode, J.D. van *Gestabiliseerde grondkolommen, een nieuwe grondverbeteringstechniek in Nederland*, Geotechniek, oktober 1998
- [11] *Projectplan for the installation of stabilised soil columns and block stabilisation [HW2]*, NGT-rapport F-2130, Rev. 1, February 1998
- [12] *Handleiding Wegenbouw. Ontwerp Overgangsconstructies*, RWS DWW, april 1996
- [13] *Handleiding Wegenbouw. Ontwerp Verhardingen*, RWS DWW, april 1998
- [14] NEN 6740 *Geotechniek. TGB 1990. Basiseisen en belastingen*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [15] *Gewapende granulaatmatras op palen. Toepassing, ontwerp- en uitvoeringsaspecten*, CUR rapport 2002-7, december 2002
- [16] NEN 5104 *Geotechniek. Classificatie van onverharde grondmonsters*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1990

- [17] NEN 5112 *Geotechniek. Bepaling van het watergehalte van grond in het laboratorium*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1995
- [18] NEN 5140 *Geotechniek, Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvings weerstand van grond. Elektrische sondeermethode*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1996
- [19] NEN 5117 *Geotechniek, Bepaling van de schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond. Triaxiaalproef*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [20] NEN 5118 *Geotechniek, Bepaling van de een-dimensionale samendrukkingseigenschappen van de grond*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [21] BS 8006 *Code of practice for strengthened/reinforced soils and fills*, BSI, 1995/1999
- [22] Russel, D., N. Piermont *An assessment of design methods for piled embankments*, Ground Engineering, November 1997
- [23] 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
- [24] Kempfert, H.-G., M. Stadel *Zum Tragverhalten geokunststoffbewehrter Erbauerke über pfahlähnlichen Traggliedern*, Geotechnik, Sonderheft DGGT, Essen, 1995
- [25] *Bepaling geotechnische parameters*, CUR-rapport 2003-7, 2003
- [26] *Verdichting van de zandbaan*, CROW-rapport 04-04, 2004
- [27] Göbel, Kempfert, Alexiew, Trunk, Vogel, Hubal en Heitz. *Empfehlung 6.9 Bewehrte Erdkörper auf punkt- oder linienförmigen Traggliedern*, Oktober 2003
- [28] Eekelen, S.J.M. van, A. Bezuijen, O.Oung *Aardebaan op palen: ontwerpberoeeningen en experimenteel onderzoek*, Wegbouwkundige werkdagen, CROW, 2004