
Product-methodeblad nummer 6

Zandophoging op maaiveld met luchtdrukconsolidatie

Inhoudsopgave

6.1	Algemeen	115
6.1.1	Principe methode	115
6.1.2	Technische levensduur	117
6.1.3	Voor- en nadelen	117
6.1.4	Beperkingen	117
6.2	Ontwerpfase	118
6.2.1	Benodigd grond- en laboratoriumonderzoek	118
6.2.2	Geotechnische ontwerpaspecten	120
6.2.3	Ontwerpdetails	120
6.2.4	Effect op bestaande weg	120
6.2.5	Effect op omgeving	121
6.2.6	Relevante wetgeving en doorlooptijd vergunningen	121
6.2.7	Raming aanlegkosten	123
6.2.8	Risico's, monitoring en maatregelen	124
6.2.9	Duurzaam bouwen	126
6.2.10	Verdere aandachtspunten	126
6.3	Uitvoeringsfase	126
6.3.1	Uitvoeringsmethode	126
6.3.2	K.A.M-zaken	129
6.3.3	Besteksteksten	131
6.4	Beheer en onderhoud	131
6.5	Ombouw / sloop	132
6.5.1	Toekomstige ombouw / uitbreiding	132
6.5.2	Sloop	132
6.6	Referenties	132
6.6.1	Ervaringen	132
6.6.2	Literatuur	132

Zandophoging op maaiveld met luchtdrukconsolidatie

6.1 Algemeen

6.1.1 Principe methode

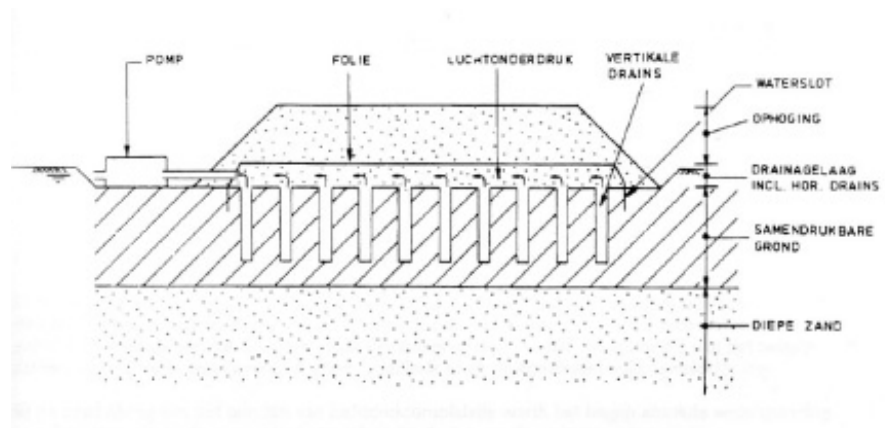
Luchtdrukconsolidatie is een snelle methode om samendrukbare grondlagen met behulp van luchtdruk te consolideren, zie *Richtlijn Luchtdrukconsolidatie* [6]. Dit product-methodeblad is gebaseerd op deze richtlijn. De luchtdrukbelasting werkt als een tijdelijke voorbelasting, die snel kan worden aangebracht zonder stabiliteitsproblemen zoals bij een tijdelijke voorbelasting door een extra overhoogte met zand. Bij een dik slappe lagenpakket kan de methode worden toegepast om de restzetting te verminderen. De methode is ook toegepast om het effect van de ophoging op kabels, leidingen en belendingen te verkleinen. De globale uitvoeringsvolgorde is als volgt:

- Eerst wordt een laag draineerzand op het maaiveld aangebracht, verticale drainage geïnstalleerd en een horizontaal drainage-net in de laag draineerzand gelegd.
- Op deze laag wordt een luchtdichte folie aangebracht. De folie wordt aan de randen doorgezet tot beneden de grondwaterspiegel waardoor een zogenaamd waterslot ontstaat. Een alternatief voor het waterslot is een wand van cementbentoniet rondom het terrein.
- Nadat de pompen zijn geïnstalleerd wordt onder de folie een onderdruk gecreëerd door water en lucht weg te pompen.
- Veelal wordt luchtdrukconsolidatie gecombineerd met een traditionele zandophoging door na enige tijd een zandophoging op de folie aan te brengen. De ophoging geschiedt gefaseerd (in lagen).
- Na bereiken van het gewenste resultaat (afhankelijk van de metingen) wordt de luchtdrukbelasting beëindigd en de installatie ontmanteld.

Er wordt op gewezen, dat met luchtdrukconsolidatie de waterspanning wordt verlaagd en niet de grondwaterstand. Het luchtdrukverschil over de folie werkt als bovenbelasting waardoor grondwater uit de ondergrond wordt geperst. Voor de korrelspanning in de ondergrond maakt het in principe geen verschil of het terrein wordt belast met een ophoogmateriaal (zand) of met luchtdruk. Alleen als de verticale drainage is aangebracht, werkt luchtdrukconsolidatie effectief tot onderin de samendrukbare laag. Bij slecht functionerende verticale drainage daalt de effectiviteit van de methode sterk. In figuur 6.1 is een schets van de constructie gegeven.

In plaats van verticale drains kunnen verticale zandschermen worden toegepast. Voor een nadere beschrijving, zie het betreffende product-methodeblad.

De maximale extra belasting die met luchtdrukconsolidatie kan worden bereikt, is afhankelijk van de aanzuighoogte van een pomp. Deze is theoretisch 10 m-waterkolom, doch in de praktijk aanzienlijk minder door drukverliezen (lekkage, plaatshoogte e.a.). Het luchtdrukverschil over de folie, dat werkt als bovenbelasting op de ondergrond, bedraagt in de praktijk 50 à 70 kPa. Het consolidatieproces dat hierdoor op gang komt, is vergelijkbaar met dat van een 3 à 4 m hoge zandophoging. Luchtdrukconsolidatie wordt veelal in combinatie met een traditionele zandophoging toegepast. De extra belasting door de luchtonderdruk komt dan in de plaats van de tijdelijke extra overhoogte zoals beschreven in product-methodeblad nr. 2.



Figuur 6.1 Principe zandophoging op maaiveld met luchtdrukconsolidatie (uit [6])

Tijdens de voorbelastingsperiode, dat wil zeggen de periode waarin luchtonderdruk toegepast wordt, is een intensieve controle en bewaking nodig om de luchtonderdruk op het juiste niveau te handhaven.

Door de verticale drainage wordt het overspannen water in de samendrukbare lagen snel afgevoerd, zodat het zettingsproces sneller plaatsvindt en de stabiliteit tijdens de uitvoering toeneemt. In de samendrukbare lagen worden verticale kunststofdrains aangebracht die het grondwater afvoeren naar het maaiveld. De drains mogen geen verbinding maken met het diepe zand omdat dan geen onderdruk kan worden opgebouwd. In principe worden de drains niet dieper doorgezet dan tot 1,0 à 1,5 m boven de onderliggende waterdoorlatende lagen (Pleistoceen). De werking van een verticaal drainage-systeem berust primair op verkorten van de afstroomweg. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van het principe dat de horizontale doorlatendheid van samendrukbare lagen groter is dan de verticale doorlatendheid. Hierdoor wordt de tijd die het overspannen poriënwater nodig heeft voor het afstromen uit de slecht waterdoorlatende laag sterk verkort. Gezien het feit dat de methode sterk afhankelijk is van het functioneren van de verticale drainage, worden de drains op een korte h.o.h.-afstand geplaatst, bijvoorbeeld 1,0 à 1,5 m.

In dit product-methodeblad worden alleen samengestelde drains beschouwd, dat wil zeggen drains, die bestaan uit een kern die is voorzien van noppen, ribbels of een profilering met daaromheen een omhulling (filter).

De luchtonderdruk kan zonder wachttijden worden aangebracht. Een eventuele zandophoging op de folie wordt, om stabiliteitsverlies te voorkomen, gefaseerd aangebracht, dat wil zeggen in dunne lagen. De toegepaste laagdikte is meestal niet groter dan 0,50 à 0,75 m. Na iedere ophoogslag wordt dan een wachttijd in acht genomen waarin de waterspanningen in de grond zich kunnen aanpassen.

Het doel van de luchtdrukconsolidatie is het forceren van zetting, door de grond aan een hogere belasting te onderwerpen dan in de gebruiksfase. Hierdoor zullen de zettingen in de gebruiksfase kleiner zijn dan wanneer geen luchtdrukconsolidatie wordt toegepast.

Door toepassing van luchtdrukconsolidatie zullen de horizontale vervormingen aan de polderzijde van de ophoging kleiner zijn dan bij een traditionele zandophoging, zie verder §6.2.4 en 6.2.5.

6.1.2 Technische levensduur

De folie en de verticale drainage hebben alleen tijdens de uitvoering een functie. De gevraagde levensduur bedraagt bij deze toepassing in het algemeen minder dan 6 maanden en is vrijwel altijd korter dan de technische levensduur. De effectieve levensduur van de drain is afhankelijk van het dichtslibben van de drain met fijne deeltjes en het knikken als gevolg van zetting. Gedurende de gebruiksfase van de drains blijft echter altijd voldoende drainerende capaciteit over.

6.1.3 Voor- en nadelen

Voor- en nadelen van de ophogingsmethode ten opzichte van een zand-ophoging op maaiveld met verticale kunststofdrains zijn gegeven in tabel 6.1.

6.1.4 Beperkingen

De in §6.1.3 genoemde nadelen kunnen een beperking voor de toepassing vormen. Daarnaast zijn er de volgende beperkingen:

- smal terreinoppervlak; als richtlijn wordt aangehouden dat de breedte van het terrein ten minste 2 à 3 x de dikte van de samendrukbare laag moet zijn; bij een kleinere breedte kunnen de randeffecten tot onvoldoende resultaat leiden
- sterk organische grondsoorten; door gasbelvorming ten gevolge van de onderdruk kan een geringere onderdruk en dus een geringere belasting optreden dan gewenst
- veel zandlagen in de samendrukbare laag; vanwege de grote doorlatendheid van de zandlagen kan onvoldoende onderdruk in de samendrukbare lagen worden bereikt
- diepe ligging freatische grondwaterstand; het aanbrengen van de horizontale drainage met het waterslot wordt dan erg kostbaar
- toepassing van luchtdrukconsolidatie is weinig zinvol bij samendrukbare lagen met een geringe dikte (3,0 à 4,0 m)
- kunststofdrains zijn moeilijk te installeren bij dichtgepakte tussenzandlagen (conusweerstand, sondering, $q_c > \text{circa } 6 \text{ MPa}$).

Aspect	Voordeel	Nadeel	Toelichting
kosten		hoog	handhaving onderdruk en monitoring
bouwtijd	relatief kort		korte 'ophoog'tijd: geen wachttijden bij aanbrengen lucht- onderdruk en relatief snel ophogen met zand mogelijk
zetting gebruiksfase	gering		mits zettingstijd voldoende lang
ruimtebeslag	gering		geen tijdelijke extra overhoogte nodig en relatief steile taluds mogelijk
complexiteit uitvoering		complex	gevoelig voor storingen (hoge eisen aan pompapparatuur en bewaking)
ervaring met uitvoering		matig	enkele projecten uitgevoerd
aanwezigheid van risico's *)		matig	gasbelvorming bij organische grond; gering effect bij ingesloten zandlagen beneden het waterslot; te grote samendrukking toplagen; beschadiging folie door vandalisme of grote samendrukking toplagen; ontwerpmodellen zijn onvolkomen
levensduur			
status in relatie tot Bouwstoffenbesluit			
risico schade bestaande weg	even groot		zie §6.2.4
	/ groter		
risico schade kabels/leidingen	gering		
risico belendingen	gering		
overig	toepasbaarheid		toepasbaar bij zeer slappe ondergrond

*) waaronder begrepen onzekerheid in de grondparameters, onvolkomenheid van ontwerpmodellen, uitvoeringstechnische onzekerheid / beheersbaarheid; een verdere uitsplitsing staat in §6.2.8

Tabel 6.1 Voor- en nadelen zandophoging op maaiveld met luchtdrukconsolidatie

6.2 Ontwerpfase

6.2.1 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* [5]. 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. Sonderingen dienen volgens klasse 2 NEN 5140 [9] te worden toegepast.

Voor de onderkenning van goed doorlatende tussenlagen kunnen sonderingen met meting van de waterspanning worden uitgevoerd. Met behulp van dissipatietesten in zandlagen kan de stijghoogte van die lagen worden bepaald.

Boringen en peilbuizen

Door middel van boringen dienen ongeroerde monsters te worden gestoken ten behoeve van laboratoriumproeven. 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.

Tevens dient door het plaatsen van peilbuizen de grondwaterstand te worden bepaald in met name de eventuele tussenzandlagen en het onderliggende watervoerend pakket. Een inzicht in de fluctuatie van de waterstanden is alleen 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:

- het volumiek gewicht en het watergehalte volgens NEN 5112 [13]
- de samendrukkings- en consolidatie-eigenschappen (samendrukkingsproeven) volgens NEN 5118 [14]
- de schuifweerstandseigenschappen (triaxiaalproeven) volgens NEN 5117 [15].

Een eerste schatting van de sterkteparameters kan worden ontleend aan tabel 1 van NEN 6740 [7].

In verband met lozing van het vrijgekomen drainagewater op het oppervlaktewater, kan het nodig zijn de milieu-hygiënische samenstelling van het grondwater te bepalen. Hiertoe kan worden besloten als uit verkennend bodemonderzoek is gebleken dat de bouwlocatie verdacht is, zie NEN 5740 [8].

6.2.2 *Geotechnische ontwerpaspecten*

Het geotechnisch ontwerp omvat de bepaling van :

- de eindzetting
- het zettingsverloop in de tijd en de restzetting, bepaling van de bouwtijd
- de stabiliteit tijdens de aanleg en de eindsituatie.

Bij wegverbredingen dient bovendien te worden aangegeven:

- het effect op de bestaande weg.

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

- het effect op de omgeving, zoals kabels en leidingen en belendingen.

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

Het geotechnisch ontwerp resulteert in een advies omtrent:

- drainafstand, drainlengte en draintype
- detaillering van folie, pompen, waterslot, doorvoeringen folie
- de gewenste luchtonderdruk in grootte en tijd
- bruto zanddikte
- taludhelling tijdens aanleg en ophoogtempo / dwarsdoorsnede van ophoging
- te hanteren wachttijden
- taludhelling / dwarsdoorsnede in de eindsituatie
- het traject waarvoor het advies geldt en de wijze waarop de overgangen naar trajecten waar andere methoden zijn gebruikt, moeten worden uitgevoerd
- prognose van het verhardingsonderhoud in de gebruiksfase
- geotechnische risicoanalyse, monitorings- en maatregelenplan tijdens uitvoering en gebruiksfase conform §6.2.8
- te verwachten omvang van en maatregelen tegen eventuele schade aan de bestaande weg
- te verwachten omvang van en maatregelen tegen eventuele schade aan kabels, leidingen en belendingen.

6.2.3 *Ontwerpdetails*

Niet van toepassing.

6.2.4 *Effect op bestaande weg*

Het aanbrengen van een zandlichaam veroorzaakt horizontale en verticale vervormingen van de bestaande weg. Deze kunnen leiden tot scheurvorming in de verharding. Door het toepassen van luchtdrukconsolidatie en verticale kunststofdrains zal de zetting versneld optreden, zodat de zetting (en dus ook het onderhoud) sneller onder controle zal zijn.

Bij de start van de luchtdrukconsolidatie zal de rand van de bestaande aardebaan een buitenwaarts gerichte horizontale vervorming ondergaan. Deze vervorming kan ertoe leiden dat de rand van de bestaande aardebaan enige extra zetting ondergaat. Door het aanbrengen van een zandophoging op de folie zullen de horizontale vervormingen geleidelijk tot staan worden gebracht. Na het beëindigen van de luchtonderdruk wil de grond in theorie weer in de richting van de bestaande aardebaan verplaatsen. Mede door de

hoge stijfheid van de geconsolideerde grond zal hiervan in de praktijk weinig terecht komen. In vergelijking met een traditionele zandophoging zal een zandophoging met luchtdrukconsolidatie daarom mogelijk kunnen resulteren in een iets grotere zetting van de bestaande aardebaan.

In veel gevallen is onder de bestaande rijksweg geen verticale drainage aanwezig. Dit dient ook zo in de berekeningen te worden ingevoerd. Vanwege het ontbreken van verticale drainage zal de bestaande aardebaan nog geringe vervormingen kunnen ondergaan nadat de verbreding gereed is.

6.2.5 Effect op omgeving

Het aanbrengen van de zandophoging leidt tot verticale en horizontale grondvervorming, waardoor de volgende effecten kunnen optreden:

- zetting van belendingen
- buigende moment in funderingspalen
- vervorming of breuk van kabels en leidingen.

Door de toepassing van luchtdrukconsolidatie zullen de horizontale deformaties aan de polderzijde van de verbreding kleiner zijn dan bij een traditionele zandophoging.

Kortsluiting van verschillende watervoerende lagen, mogelijk resulterend in een verstoring van de waterhuishouding in de omgeving, is over het algemeen niet toegestaan. In het ontwerp van de verticale drainage dient hiermee rekening te worden gehouden.

6.2.6 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.

Opmerking

Er is verondersteld dat geen puntlozingen van het drainagewater op het riool plaatsvinden. Er wordt geen water onttrokken zodat in het kader van de Grondwaterwet geen vergunning nodig is.

Tabel 6.2 Naar alle waarschijnlijkheid benodigde vergunningen bij toepassing van een zandophoging met luchtdrukconsolidatie

	WW	GBV	BB	WBR	WM	IVB	GWG	WGH	OGW	WA	WVO	WBB	PMV	PGV	PMV	WVH	Keur	BSB	PVV	WOT	WVW	Bos/Kp	3	3	3	3	3	3	3	3	3									
	Woningwet	Gemeentelijke bouwverordening	OGW	ontgrondingswet																																				
	GBV	Bouwbesluit	WA	wet afvalwater																																				
		wet beheer rijkswaterstaatswerken	WVO	wet verontreiniging oppervlaktewateren																																				
		wet milieubeheer	WBB	wet bodembescherming																																				
		Inrichtingen en vergunningenbesluit	PMV	provinciale milieuverordening																																				
		Grondwaterwet	PGV	provinciale grondwaterverordening																																				
		wet geluidhinder	WVH	wet op de waterhuishouding																																				
			Keur	keurverordening (waterschap, hoogheemraadschap)																																				
					4																																			
			WW	WBR	WM	IVB	GWG	WGH	OGW	WA	WVO	WBB	PMV	PGV	PMV	WVH	Keur	BSB	PVV	WOT	WVW	Bos/Kp																		
Maximum behandelingsduur ca. (in maanden)																																								
Benodigde vergunning/verordening			GBV																																					
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																																								
Peilbesluit wijzigen i.v.m. tijdelijke verlaging waterstand																																								
Gebruik van diverse bouwstoffen																																								
Aanleg van watergangen, duikers, overkluizingen en wegsloten																																								
Lozen van grondwater op riolering																																								
Reconstructiewerkzaamheden ... (vergunning eigen dienst)																																								
Verkeersbesluiten bij uitvoering																																								

6.2.7 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 verticale kunststofdrain inclusief installatie bedraagt ongeveer 0,65 per meter. Voor de drainlengte wordt aangehouden de lengte tussen onderkant werkvloer en voet van de drain. Harde bovenlagen worden met een aparte machine, voorzien van een avegaar, spuitlans of sloophamer, vorgeboord. Dergelijke maatregelen werken kostenverhogend. Verticale kunststofdrains zijn een massa-artikel en dus relatief goedkoop. De kosten zijn afhankelijk van de installatiesnelheid die weer afhankelijk is van de drainlengte, de bodemopbouw en de bereikbaarheid. Een project met korte drains zal tot een kleine dagproductie leiden door het vele stelwerk. Bij zeer lange drains kan de productie ook afnemen door de noodzaak omzichtiger om te gaan met het materieel en door de grotere gemiddelde grondweerstand. Belangrijk is dat een aannemer de juiste gegevens krijgt ter bepaling van de prijs. Zo kan het voorkomen dat bij een sterk wisselende grondopbouw een prijs wordt afgegeven per grondopbouw.

De gemiddelde prijs voor een werkvloer/draineerlaag (draineerzand) in het werk bedraagt ongeveer € 12,50 per m³. Zie voor opmerkingen omtrent het gebruik van draineerzand §6.3.2.

Voor de kosten van luchtdrukconsolidatie kan worden aangehouden circa € 40,- per m². In deze kosten zijn begrepen: de verticale drainage, de folie, cementbentoniet wanden rondom, draineerlaag met horizontale drainage en het handhaven van de luchtonderdruk gedurende circa 3 maanden.

Opmerking:

een recente prijsindicatie is niet aanwezig aangezien de techniek de laatste jaren niet in Nederland is toegepast.

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).

Bovengenoemde prijzen zijn exclusief de kosten voor zaken zoals:

- voorzieningen ten behoeve van de toegankelijkheid van het terrein
- waterbeheersing zowel kwalitatief als kwantitatief, dat wil zeggen de maatregelen voor het afvoeren van het uit de drains vrijkomende water en de eventuele maatregelen in verband met de chemische samenstelling van het water (bijvoorbeeld een te hoog zoutgehalte)
- ontgraven, afvoeren en tijdelijk opslaan aanwezige grond
- de afwerking van de taluds.

6.2.8 *Risico's, monitoring en maatregelen*

Risicofactoren

De risicofactoren zijn:

- onzekerheden in de bepaling van de samendrukkingseigenschappen van de slappe lagen
- onzekerheden in de bepaling van de doorlatendheid van de slappe lagen
- onzekerheden in de bepaling van de sterkteparameters van de slappe lagen
- onzekerheden in de bepaling van de stijfheidseigenschappen van de slappe lagen
- onvolkomenheden in de gangbare ontwerpmodellen, met name voor de bepaling van de vervorming van de bestaande baan bij een verbreding en de mate waarin luchtdrukconsolidatie grondverplaatsingen beïnvloedt
- onzekerheden omtrent de mate waarin de verharding op de bestaande baan, kabels, leidingen en belendingen de extra belasting van de ophoging kunnen weerstaan.

De ongewenste gebeurtenissen bestaan uit:

- een te grote zetting in de gebruiksfase, waardoor onvoorzien verhardingsonderhoud nodig is
- instabiliteit van de ophoging tijdens de uitvoering
- schade aan kabels en leidingen en belendingen
- schade aan de bestaande weg in het geval van wegverbredingen.

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 monitorings- en maatregelenplan opgesteld, of wordt het ontwerp of het Programma van Eisen bijgesteld.

Monitoring

Door monitoring kunnen de risico's worden beheerst:

- periodieke waterpassingen van zakbaken voor de bepaling van de zetting en het verloop van de zetting in de tijd; eventueel aangevuld met metingen aan zettingsmeetslangen
- periodieke meting van de waterspanning onder de ophoging voor de beoordeling van het zettingsverloop
- eventueel: meting van de zetting als functie van de diepte (met name bij sterk wisselende lagen).

Ter controle van de luchttonderdruk (belasting op de ondergrond) worden hierbij de volgende metingen verricht:

- drukmetingen in de pompen en leidingen
- drukmetingen in de drainagelaag onder de folie
- eventueel: meting pompdebiët (in principe alleen bij proefproject vanwege de onzekere interpretatie van dergelijke metingen).

Bij gevaar voor instabiliteit van de ophoging tijdens de uitvoering:

- periodieke meting van de waterspanning onder de teen van de ophoging voor de beoordeling van het stabiliteit
- plaatsen en waarnemen ('doorzichten') van perkoenpalen voor de beoordeling van de stabiliteit van de ophoging.

Bij schade aan kabels en leidingen en belendingen:

- periodieke hellingmetingen in inclinometerbuizen voor de bepaling van de horizontale deformaties ten gevolge van het aanbrengen van de zandophoging
- verticale deformaties met meetboutjes of zakbaken, in combinatie met de zakbaken en waterspanningsmeters ter bepaling van de stabiliteit van de verbreding
- het inmeten en fotograferen van gevoelige belendingen; visuele inspectie.

Bij schade aan de bestaande weg bij verbreding:

- het regelmatig inmeten van meetboutjes
- visuele inspectie van de toestand van de bestaande weg.

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

Eerdergenoemde ongewenste gebeurtenissen kunnen op verschillende manieren worden beheerst:

- bij te grote zetting in gebruiksfase (consolidatiesnelheid is lager dan verwacht): een extra overhoogte aanbrengen, de luchtonderdruk langer handhaven (bouwtijd verlengen); voor nog in uitvoering te nemen vakken: extra verticale drains aanbrengen (kleinere h.o.h.-afstand); een deel van de ophoging uitvoeren in licht ophoogmateriaal
- bij afwijkende eindzetting: langer pompen (handhaven onderdruk) en/of het aanpassen van de hoeveelheid ophoogzand
- bij kans op instabiliteit van de verbreding: steunbermen of damwanden aanbrengen; een deel van het ophoogzand weer verwijderen en licht ophoogmateriaal toepassen
- bij kans op schade aan de bestaande weg bij verbreding: een deel van het ophoogzand weer verwijderen en licht ophoogmateriaal toepassen
- bij kans op het optreden van schadelijke effecten op de omgeving als gevolg van verticale en/of horizontale grondvervormingen: damwandschermen aan de polderzijde aanbrengen of het ophoogzand deels verwijderen en eventueel vervangen door lichter materiaal.

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.

6.2.9 *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

Kunststoffen zoals gebruikt in verticale drains en folie vallen niet onder het Bouwstoffenbesluit.

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). 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

In de praktijk is het onmogelijk verticale drains terug te winnen en her te gebruiken. Door de optredende zettingen zijn de drains vaak geknikt. Bovendien is de treksterkte gering. Daarnaast zorgt het ankerplaatje voor een grote weerstand om de drain terug te winnen.

De folie kan alleen worden teruggewonnen na verwijdering van de zandophoging. Het vrijgekomen materiaal (polymeren) kan worden verwerkt tot nieuwe producten (vuilniszakken, markeringspaaltjes en dergelijke).

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.

Extra milieumaatregelen

Bij de toepassing van zeezand dient, indien het zand moet voldoen aan categorie 1 volgens het Bouwstoffenbesluit, te worden ontzilt.

Voorkomen moet worden dat verticale drainage een kortsluiting maakt tussen het oppervlaktewater en het grondwater in het diepe, pleistocene zand. Gebruikelijk is de draandiepte te beperken tot 1,0 à 1,5 m boven het diepe zand.

6.2.10 *Verdere aandachtspunten*

Niet van toepassing.

6.3 Uitvoeringsfase

6.3.1 *Uitvoeringsmethode*

Het terrein wordt om praktische redenen (pompcapaciteit, beperken van de gevolgen van lekkage en / of storingen in het pompsysteem) verdeeld in vakken; als indicatie: maximaal 3000 m² per vak. Alle werkzaamheden die het functioneren van het systeem kunnen beïnvloeden, dienen bij voorkeur onder verantwoordelijkheid van dezelfde aannemer uitgevoerd te worden. De werkzaamheden zijn:

- a. een laag draineerzand aanbrengen met een dikte van ten minste 0,5 m
- b. verticale drains installeren in de samendrukbare lagen tot 1,0 à 1,5 m boven het diepe zand; bij voorkeur kunststofdrains op een korte h.o.h.-afstand, nl. 1,0 à 1,5 m
- c. in de laag draineerzand horizontale drains aanbrengen, zo dicht mogelijk bij de freatische grondwaterspiegel
- d. meetinstrumenten aanbrengen
- e. op de laag draineerzand een luchtdicht membraan uitspreiden; vanwege het milieu geen PVC maar bij voorkeur een geflexibiliseerde LDPE-folie met een dikte van ca 1 mm. In verband met de luchtdichtheid speciale aandacht voor: de lasnaden (eventueel dubbele lasnaden), beschadigingen van de folie na het leggen, afdichting aan de rand van het terrein (waterslot of bentonietcement wand) en de doorvoeren in de folie ten behoeve van leidingen en meetinstrumenten
- f. de pompen installeren en de horizontale drainage daarop aansluiten
- g. controle op lekkage door onder de folie de luchtdruk te verlagen; zonodig reparaties uitvoeren; ter bescherming een laag zand ter dikte van 0,4 à 0,5 m op de folie aanbrengen
- h. de luchtdrukbelasting aanbrengen door de luchtdruk onder de folie te verlagen; de pompen onderhouden en metingen verrichten
- i. na enige tijd, als de gewenste consolidatiegraad is bereikt, een laag ophoogzand aanbrengen; na een wachttijd de volgende laag enz
- j. nadat het doel van de luchtdrukconsolidatie is bereikt, de installatie ontmantelen en de folie en de meetinstrumenten, indien mogelijk, verwijderen; indien de folie niet meer is te verwijderen, deze op korte afstanden (ter indicatie: ca 10 m h.o.h.) perforeren; hierbij voorkomen dat kabels van meetinstrumenten beschadigd worden.

Hoogteligging horizontale drainage

Om de luchtdrukbelasting optimaal te kunnen benutten, dienen de horizontale drains op of beneden het niveau van de freatische lijn te worden gelegd. Het plaatsen van de horizontale drains op een hoger niveau leidt tot een kleinere verhoging van de korrelspanning.

Pompen

De pompen vormen een kwetsbaar onderdeel van het systeem. Voortdurend is onderhoud nodig om de vereiste luchtdrukbelasting te kunnen handhaven. Bij grote en langdurige werken dient een hydrauliekmonteur op afroep ter beschikking te staan. Reserve pompen dienen op korte termijn te kunnen worden ingezet. Bij combinatie van luchtdrukconsolidatie met een zandophoging kan met name in de beginfase een storing van de pompen leiden tot problemen ten aanzien van de stabiliteit.

De aanzuighoogte van een pomp is theoretisch maximaal 10 m-waterkolom. In de praktijk is de aanzuighoogte door drukverliezen (lekkage, plaatshoogte e.a.) minder. Iedere meter die de pomp boven het freatisch niveau wordt geplaatst, betekent een meter verlies in het te realiseren luchtdrukverschil. Daarom dienen ook de pompen zo dicht mogelijk bij het freatisch niveau te worden opgesteld.

Lucht- en waterdichtheid folieconstructie

Bij de start van de luchtdrukconsolidatie blijken vrijwel altijd lekkages op te treden. Zo bleek bij verschillende projecten dat langs de rand van het terrein een dusdanige lekkage optrad dat een aanvullende voorziening, in de vorm van een bentonietcement scherm, nodig was. Omdat dit pas bleek na de start van de luchtdrukconsolidatie leverde dit een vertraging op in de werkzaamheden. Door een uitgebreid grondonderzoek vooraf (bijvoorbeeld sonderingen met de piezo-conus) zou een dergelijke vertraging voorkomen kunnen worden.

De folie moet zodanig worden aangebracht dat een luchtdichte afscheiding wordt verkregen. Aan de rand van het terrein dient de folie te worden ingegraven tot ruim onder het waterpeil, het zogenaamde waterslot. Een eventueel boven de samendrukbare lagen aanwezige sterk doorlatende laag dient geheel te worden afgesloten, eventueel door het aanbrengen van een lucht- en waterdichte wand (bijvoorbeeld een bentoniet-cement wand). De doorvoeren in de folie ten behoeve van leidingen (meetinstrumenten en luchtonderdruk-installatie) dienen luchtdicht en flexibel te worden uitgevoerd om beschadigingen aan de folie door zettingen te voorkomen.

Lekkages in de folie en in de lasnaden dienen te worden voorkomen. Aan het leggen en lassen van de folie dienen derhalve hoge kwaliteitseisen te worden gesteld. Eenmaal aangebracht, dient ervoor te worden gezorgd dat geen mechanische beschadiging van het folie op kan treden, zoals door pikkende vogels, vandalisme of door ijsschotsen indien de folie is afgedekt met een dunne laag water (enkele decimeters).

Daar de luchtdoorlatendheid van grond vele malen groter is dan de waterdoorlatendheid, verdient het aanbeveling op de folie een dunne laag water aan te brengen, ook bij een folie onder een zandophoging. Bij het verlagen van de druk onder de folie ontstaat dan bij een eventueel lek niet direct luchtdrukverlies, mits het waterniveau boven de folie gehandhaafd blijft.

Vorst

Het leggen van de folie en het luchtdicht afwerken van de lasnaden is bij een temperatuur van minder dan ca 5° C niet mogelijk in verband met een toenemende brosheid van het materiaal.

Treedt vorst op tijdens de luchtdrukconsolidatie, dan zijn isolerende maatregelen noodzakelijk om te voorkomen dat de pompen en de leidingen bevriezen.

Verticale drainage

Zoals reeds vermeld dient de drainafstand voldoende klein te worden gekozen. De installatie van kunststofdrains geschiedt met behulp van een dragline, een hydraulische kraan of een heistelling die is voorzien van een makelaar waarlangs de inbrenglans verticaal op en neer kan bewegen. Gebruik van een spuitlans of iets dergelijks is slechts nodig als de drains door een dik en vast zandpakket moeten worden geïnstalleerd. De drainlengte bepaalt de lengte van zowel de stelling als de inbrenglans. Een rol, waarop de drains zijn gewikkeld, wordt geplaatst in een magazijn dat aan de stelling is

bevestigd. Van daaruit wordt de drain over een geleiderol door de inbrenglans geleid. Onderaan de inbrenglans wordt een ankerplaatje aan de drain bevestigd. Vervolgens wordt de lans met de drain naar de gewenste diepte gedrukt. Na het trekken van de lans wordt de drain door het ankerplaatje op diepte gehouden. De drain wordt vervolgens boven het maaiveld afgeknipt, waarna de gehele procedure kan worden herhaald op de volgende drainlocatie. Tijdens het aanbrengen van de kunststofdrains kan de inbrengdiepte op de installatie worden afgelezen.

Draineer- en ophoogzand

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 versprend 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* [17]. 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 hst. U van *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Onderbouw* [2].

6.3.2 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

Ter controle op lekkages van de folie, wordt de luchtdruk onder de folie verlaagd voordat grond of water op de folie wordt aangebracht. Aan de hand van het sissend geluid van een luchtstroom wordt een eventuele lekkage opgespoord. Na reparatie van de folie wordt opnieuw een controle op lekkage uitgevoerd.

Voor een kwalitatief verantwoorde verticale drainage is het noodzakelijk dat, naast een goed ontwerp, eisen worden gesteld aan het materiaal van de drains en de wijze waarop de drains worden geïnstalleerd. De eisen waaraan de verticale drains moeten voldoen, zijn gegeven in hoofdstuk 23 van de *Standaard RAW Bepalingen* [5]. De belangrijkste eisen zijn de afvoercapaciteit en de karakteristieke poriegrootte:

- afvoercapaciteit gestrekte drain moet ten minste 50×10^{-6} m³/s zijn
- afvoercapaciteit geknikte drain moet ten minste $37,5 \times 10^{-6}$ m³/s zijn
- karakteristieke poriegrootte O_{90} van het drainfilter mag niet groter zijn dan 80 mm.

Bovenstaande eisen gelden voor categorie 2. Opgemerkt kan worden dat door ontwikkelingen in de productiesfeer, de kostenbesparingen door toepassing van kunststofdrains met minder goede eigenschappen, niet meer relevant zijn.

De aannemer dient een bewijs van oorsprong van de door hem geleverde kunststofdrain (van de producent) te leveren. Op dit bewijs dienen een aantal zaken te worden vermeld zoals de naam van de producent, de datum van fabricage en enkele productspecificaties, zie hoofdstuk 23 van de *Standaard RAW Bepalingen* [5].

In §22.06.01 en .02 van de *Standaard RAW Bepalingen* [1] worden eisen gesteld aan draineerzand 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 (art. 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. Aan de andere kant zijn de eisen gesteld aan draineerzand volgens §22.06.02 van de *Standaard RAW Bepalingen* [1] voor toepassing in de werkvloer nogal streng. Gebruik van dergelijk zand werkt daardoor kostenverhogend. Ten aanzien van het zand voor de werkvloer kunnen daarom minder strenge eisen worden gesteld, mede gezien het feit dat de drainerende functie van de werkvloer van ondergeschikt belang is. Uit ervaring is bekend dat zowel voor de draineerlaag (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

Het aanbrengen van de drainagelaag en de horizontale drains geschiedt machinaal. Het uitrollen en neerleggen van de folie geschiedt gedeeltelijk met handkracht. Er is geen sprake van zware fysieke arbeid.

Verticale kunststofdrains worden machinaal aangebracht. De drainrol, achterop de stelling, dient regelmatig met handkracht te worden vervangen. Het afknippen van de aangebrachte drains gebeurt meestal eveneens met handkracht. Er is geen sprake van zware fysieke arbeid.

Het aanbrengen van de zandophoging geschiedt ook machinaal. Ook hier is geen sprake van zware fysieke arbeid.

Milieu

Geen bijzonderheden.

6.3.3 Besteksteksten

De bepalingen over verticale drains en ophoog- en draineerzand zijn gegeven in het RAW standaardbestek en hoofdstuk 22 en 23 van *Standaard RAW Bepalingen* [1]. Belangrijk voor de aannemer is dat deze de juiste grondgegevens heeft ter bepaling van het in te zetten materieel.

Belangrijk voor de aannemer is dat deze de juiste grondgegevens heeft ter bepaling van het in te zetten materieel.

6.4 Beheer en onderhoud

Bij een juist ontwerp zal de aardebaan na oplevering slechts een beperkte zetting ondergaan.

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 langsricting 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.

6.5 Ombouw / sloop

6.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding

Een toekomstige verbreding van de ophoging kan op dezelfde wijze worden uitgevoerd als de oorspronkelijke constructie.

Als bij een toekomstige uitbreiding een methode wordt gekozen waarbij een spanningsverhoging in de ondergrond ontstaat, moet rekening worden gehouden met deformaties (verticaal en mogelijk ook horizontaal) van de dan aanwezige ophogingen.

6.5.2 Sloop

De zandophoging (aardebaan) kan eenvoudig worden verwijderd. De folie, indien nog aanwezig, kan vervolgens worden verwijderd. Deze is niet meer geschikt voor hergebruik maar wel voor de vervaardiging van andere producten. De verticale kunststofdrains zijn in principe als verloren te beschouwen.

6.6 Referenties

6.6.1 Ervaringen

In Nederland is bij een aantal projecten luchtdrukconsolidatie toegepast, namelijk:

- dijkversterking Alblasserwaard, gedeelte Streefkerk-Oost
- opslagplaats verontreinigde grond (TOP) op industrieterrein Moerdijk
- secundaire weg S12 bij fietstunnel te De Lier
- van Brienenoord corridor te Rotterdam
- aansluiting rijksweg 11 aan rijksweg 4 te Zoeterwoude.

Met bovengenoemde projecten zijn zowel positieve als negatieve ervaringen opgedaan. De opgedane kennis en ervaring is verwerkt in aanbevelingen voor het ontwerp en de uitvoering van de methode, zie *Richtlijn Luchtdrukconsolidatie* [6].

6.6.2 Literatuur

- [1] *Standaard RAW Bepalingen*, CROW-publicatie, 2000, inclusief Wijziging december 2002
- [2] *Handleiding Wegbouw. 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] *Bepaling geotechnische parameters*, CUR-rapport 2003-7, 2003
- [6] *Handleiding Wegbouw. Ontwerp Onderbouw. Richtlijn Luchtdrukconsolidatie*, RWS DWW, 1994, voorlopige versie
- [7] *NEN 6740 Geotechniek. TGB 1990. Basiseisen en belastingen*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [8] *NEN 5740 Bodem - Onderzoeksstrategie bij verkennend onderzoek - Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 2000

- [9] NEN 5140 *Geotechniek, Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvings weerstand van grond. Elektrische sondeermethode*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1996
- [10] *Verticale drainage*, CROW-publicatie 77, november 1993
- [11] *Moderne funderingstechnieken*, A.F. van Weele, 1993
- [12] *Handleiding wegenbouw - ontwerp verhardingen*, DWW, 1998
- [13] NEN 5112 *Geotechniek. Bepaling van het watergehalte van grond in het laboratorium*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1995
- [14] NEN 5117 *Geotechniek, Bepaling van de schuifweerstand- en vervormingsparameters van grond. Triaxiaalproef*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [15] NEN 5118 *Geotechniek, Bepaling van de een-dimensionale samendrukkingseigenschappen van de grond*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [16] *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Overgangsconstructies*, DWW, 1995
- [17] *Verdichting van de zandbaan*, CROW-rapport 04-04, 2004