

Bouwmaterialen
paalmatrassystemen
Delft Cluster Blijvend
Vlakke Wegen, WP3

Ons kenmerk
CO-418350/00020

Versie
01 Concept

Datum
juli 2007

Postbus 69
NL-2600 AB
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft

Telefoon (015)
26 93 500
Telefax (015) 26 10
821
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

Postbank 234342
ING Bank NV
rek.nr.65.09.62.524
KvK S41146461
BTW NL80097476B01

Rapportnummer
CO-418350/00020 v01
Concept

Datum
juli 2007

Versie
01 Concept

Aantal pagina's
[383](#)

Titel / subtitel
Bouwmaterialen paalmatrassystemen / Delft
Cluster Blijvend Vlakke Wegen, WP3

Samenvatting rapport

Dit rapport betreft een literatuurstudie naar
bouwmaterialen die in paalmatrassystemen worden
gebruikt. De volgende aspecten komen aan bod:

- Materialen voor paalmatrassystemen (palen,
geotextielen, matrasmateriaal)
- Hiaten in kennis (op basis van interviews)

Door middel van deze literatuurstudie en
interviewrondes met ontwerpers en aanbieders wil
Delft Cluster witte vlekken, behoeften en
ervaringen op het gebied van paalmatrassystemen
in kaart brengen.

Projectleider(s)
ir. R. van der Meij
ir. J. van Ruijven

Projectbegeleider(s)
ir. S.J.M. van Eekelen

Versie	Datum	Opgesteld door	Paraaf	Gecontroleerd door	Paraaf
01	Juli 2007	Ir. R. van der Meij/ Ir. J. van Ruijven		Ir. S.J.M. van Eekelen	

Rapportnummer
CO-418350/00020 v01 Concept

Datum
juli 2007

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Vervolgtraject	1
1.4	Onderzoeksopzet	1
2	Wat is een paalmatrassysteem?	3
3	Matrasmaterialen	5
3.1	Materialen	5
3.2	Vereisten aan matrasmaterialen	5
3.3	Granulair materiaal	6
3.4	Zand	7
3.5	Reststoffen	8 7
4	Geokunststoffen	10 9
4.1	Inleiding	10 9
4.2	Producenten	10 9
4.3	Productieproces	11 10
5	Paalsystemen	12 11
5.1	Inleiding	12 11
5.2	Grondverdringende palen	12 11
5.3	Gestabiliseerde grondkolommen	14 13
6	Kennisvragen	16 14
7	Referentie projecten	18 15
8	Geraadpleegde literatuur	19 16

Bijlage(n)

Bijlage 1	Eig
Bijlage 2	Eig
Bijlage 3	Gr
Bijlage 4	Gr
Bijlage 5	Re

Tabellen

Tabel 4.1: Voorbeelden van geokunststoffen op de markt	11 9
--	-----------------

Figuren

Figuur 2.1: Paalmatrassysteem: aardebaan, gewapend met één of meer lagen geokunststof, gefundereerd op palen	3
Figuur 2.2: CUR - publicatie 2006-2 'Innovatieve aardebaan', snel gebouwd, blijvend vlak: een beschrijving van innovatieve funderingsmethoden voor weg en rail	4

1 Inleiding

1.1 Kader

Het toepassen van palen in de slappe grond onder een aardebaan (paalmatrassystemen) is een zettingsarme technologie die in veel landen al heel gebruikelijk is (bijvoorbeeld Duitsland, zie Alexiew [2004], Engeland, Scandinavië en de Verenigde staten, (AASHTO en FHWA, 2002). Bijvoorbeeld in de Verenigde Staten is dit een veel toegepaste techniek, hoewel de paalmatrassystemen er toch nog vaak worden geassocieerd met hoge kosten.

In Europa, en zeker in Nederland, worden paalmatrassystemen minder toegepast, ondanks het feit dat de technologie juist in de Europese landen al ver is ontwikkeld. Zo zijn er verschillende technieken beschikbaar (snellere installatie, lichter materieel) waarmee de kosten aanmerkelijk kunnen worden gereduceerd.

Daarnaast speelt een discussie over de contractvormen bij grote civiel-technische projecten. Er wordt op een andere manier over de verdeling van risico's gedacht en over life-cycle-kosten. Met deze discussie en met de nieuwste goedkopere en snellere technieken, komen paalmatrassystemen wereldwijd, maar zeker ook in Nederland, steeds meer in de belangstelling te staan.

Delft Cluster speelt hierop in met één van de 5 werkpakketten van het Delft Cluster Thema Blijvend Vlakke Wegen, dat zich richt op paalmatrassystemen. Doel van dit werkpakket is de ontwikkeling van ontwerpvaardigheden en een Nederlands ontwerpinstrument voor paalmatrassystemen. Blijvend Vlakke Wegen sluit met dit ontwerpinstrument aan bij de werkgroepen *paalmatrassystemen* van de CUR.

1.2 Doelstelling

Door middel van een literatuurstudie en interviewrondes met ontwerpers en aanbieders wil Delft Cluster witte vlekken, behoeften en ervaringen op het gebied van paalmatrassystemen in kaart brengen.

1.3 Vervolgtraject

De literatuurstudie en de interviews vormen de basis voor een vervolgtraject waarin ruimte is voor nader onderzoek. Dit moet uiteindelijk leiden tot een breed geaccepteerd ontwerpinstrument.

1.4 Onderzoeksopzet

Allereerst wordt een korte beschrijving gegeven van paalmatrassystemen. Daarna wordt ingegaan op mogelijke matrasmaterialen en de aandachtspunten bij de toepassing van deze materialen. Vervolgens worden op dezelfde wijze paalsystemen en geokunststoffen besproken. Op basis van een viertal interviews worden vervolgens de belangrijkste hiaten in kennis en kennisvragen beschreven. Tot slot wordt een aantal referentieprojecten literatuur gegeven.

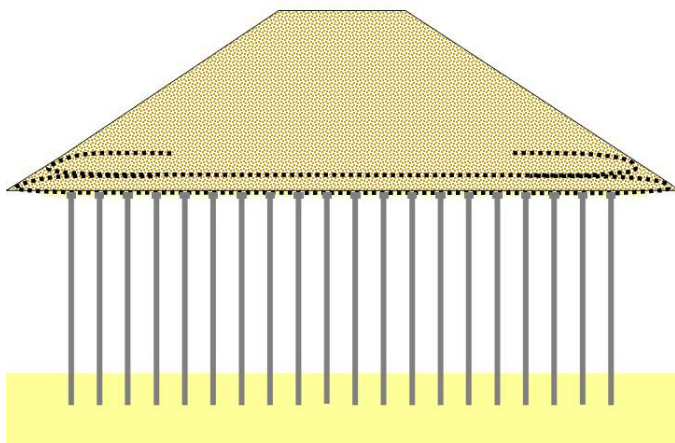
2 Wat is een paalmatrassysteem?

Paalmatrassystemen worden gebruikt voor wegenbouw, spoorwegenbouw en andere ophogingen op slappe grond waar vrij grote vlakheidseisen gelden (zoals bijvoorbeeld parkeerplaatsen, sportvelden).

Bij een paalmatrassysteem wordt de belasting van de aardebaan plus de bovenbelasting via palen door de slappe grond afgedragen naar de draagkrachtige ondergrond. Om de ruimte tussen de palen te overbruggen, wordt de aardebaan ondersteund door een of meer lagen horizontaal geplatst geokunststof (de wapening). In het algemeen wordt bovenop de geokunststof (meestal geogrid) een laag granulair materiaal aangebracht. Als er meerdere lagen geokunststof worden toegepast dan kan tussen de verschillende lagen een laag van 10-15 cm granulair materiaal worden aangebracht.

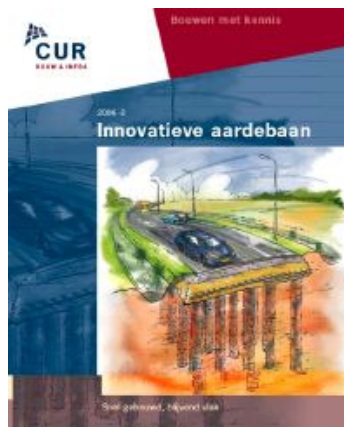
Tegenwoordig zijn heel sterke geokunststoffen beschikbaar (een treksterkte tot 1800 kN/m), zodat zelfs vrij grote ruimtes tussen de palen zijn te overbruggen. De belasting op het geokunststof is vaak lager dan volgens de klassieke grondmechanica werd verondersteld, omdat er boogwerking in de aardebaan optreedt.

Soms worden de lagen geokunststof met tussenliggende granulaire lagen beschouwd als een matras met daarbovenop de rest van de aardebaan en de verkeersbelasting als bovenbelasting. Anderen beschouwen aardebaan en wapening als één geheel. Alleen Bush-Jenner (en daarmee CUR 2002-7) gaat uit van een matras die bestaat uit meerdere lagen geokunststof. Alle andere ontwerpmodellen gaan uit van een aardebaan met daarin een wapening. Ongeacht of die wapening bestaat uit één of meer lagen geokunststof.



Figuur 2.12-4: Paalmatrassysteem: aardebaan, gewapend met één of meer lagen geokunststof, gefundereerd op palen

Er zijn verschillende paalmatras-concepten beschikbaar op de markt. CUR-commissie 'zettingsarm en snel' heeft hiervan in september 2006 verslag gedaan [CUR, 2006], zie Figuur 2.2.



| Figuur 2.2.2: CUR – publicatie 2006-2 'Innovatieve aardebaan', snel gebouwd, blijvend vlak: een beschrijving van innovatieve funderingsmethoden voor weg en rail

3 Matrasmaterialen

3.1 Materialen

In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van geschikte matrasmaterialen besproken. De matrasmaterialen worden onderverdeeld in de volgende groepen.

- Granulair materiaal (betongranulaat, menggranulaat, hydraulisch menggranulaat)
- Zand
- Reststoffen (Hoogovenslakken, Hoogovenslakkenzand, Fosforslakken, baggerspecie)

Voor een deel van deze bouwstoffen geldt dat ze zowel gebonden als ongebonden kunnen worden toegepast.

In Bijlage 1 is per materiaal aangegeven welke eigenschappen het materiaal heeft. Hierbij is onderscheid gemaakt in de volgende aspecten:

- Aard van het materiaal
- Mechanische eigenschappen
- Grondmechanische eigenschappen
- Chemische eigenschappen

De informatie in dit hoofdstuk is gebaseerd op de DC-publicatie, DC2-3.13-01 versie 5, Ophoogmaatregelen en Ophoogmaterialen [Delft Cluster, 2006] en op [CUR 2007-2, 2007].

3.2 Vereisten aan matrasmaterialen

De meeste paalmatrassystemen worden opgebouwd uit een granulair materiaal en worden gewapend met een geogrid. In CUR 2002-7 worden aan het matrasmateriaal eisen gesteld. Hieronder volgt een samenvatting van deze eisen [CUR 2002-7, 2002].

De eisen aan het matrasmateriaal hebben betrekking op- de volgende aspecten:

- eisen aan de chemische en mechanische interactie tussen wapening en ophoogmateriaal
- eisen aan het drainerend vermogen van het ophoogmateriaal
- eisen aan de filterwerking van de matras
- eisen aan de levensduur van de matras

Aan de randen van de matras kunnen aanvullende eisen gelden in verband met de stabiliteit van de randen. Bijvoorbeeld met betrekking tot de aanbrengmogelijkheden en de verdichtbaarheid van het ophoogmateriaal.

In CUR-rapport 2002-7 wordt uitgegaan van een grofkorrelig materiaal van goede kwaliteit met $\phi' > 35^\circ$. Het materiaal moet daarbij bestand zijn tegen de piekspanningen die boven de paalkoppen kunnen optreden. Bedacht moet worden, dat fijnkorrelig materiaal gevoelig kan zijn voor uitspoeling en verstoring van de interactie met de geogrid wapening bij dynamische belastingen. Onbekend is, of zand een geschikt materiaal is voor een gewapende matrasmateriaal. Een goede interactie tussen wapening en ophoogmateriaal stelt zowel eisen aan het ophoogmateriaal als aan de wapening. Bij gebruik van geogrids moet de korrelverdeling van het ophoogmateriaal afgestemd worden op de maaswijdte van de geogrids. Een beproefde combinatie is grof ophoogmateriaal (bijvoorbeeld puingranulaat) met geogrids. De eigenschappen van het ophoogmateriaal moeten voorkomen dat in de matras opbouw van

wateroverspanning kan ontstaan aangezien dit nadelig is voor de krachtsoverdracht en de interactie met de wapening. De vulling dient derhalve te bestaan uit drainerend materiaal. Het ophoogmateriaal mag hydraulische binding vertonen, doch dit mag niet leiden tot een bros, monoliet geheel, met een lage sterkte. Vanwege verschillen in belasting en deformatie is enige plastische vervorming noodzakelijk voor een goede krachtswerking van de matras. Ook krimp mag niet leiden tot scheurvorming in de matras.

Wanneer het materiaal onder de grondwaterspiegel wordt toegepast is alleen een categorie 1 bouwstof (of schoon materiaal) geschikt. Een categorie 2 bouwstof mag alleen worden toegepast op meer dan 0,5 m boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand en onder IBCmaatregelen (isoleren, beheren, controleren). Dit betekent dat een afdichting in de vorm van een folie noodzakelijk is.

CUR 2002-7 geeft de voorkeur aan een grofkorrelig materiaal van goede kwaliteit met $\phi'_{rep} \geq 35^\circ$. Na verdichting bedraagt de ϕ'_{piek} ten minste 45° . De aanbevolen korrelafmeting bedraagt 0-40 mm tot 0-75 mm. CUR 2002-7 stelt daarbij de volgende specifieke eisen aan het ophoogmateriaal:

- het materiaal mag geen scherpe delen bevatten die de geokunststof wapening kunnen beschadigen
- uit het materiaal mogen geen stoffen vrijkomen ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, zuren, basen, aardolie derivaten), ook niet op de lange duur, die de geokunststof wapening kunnen aantasten;
- eisen in verband met de uitvoering:
 - aanbrengen ophoogmateriaal, eerst een kleine hoeveelheid om de wapening op z'n plaats te houden, daarna de volledige laag
 - verdichten ophoogmateriaal volgens tekening / specificaties; veelal ten minste tot 95% Proctordichtheid
 - In verband met de berijdbaarheid en het vermijden van beschadigingen moet de eerste laag ophoogmateriaal op de geokunststof wapening ten minste 0,4 m dik zijn. Dit materiaal mag niet direct vanaf de vrachtwagen op de geokunststof wapening worden gestort. De vrachtwagen moet zijn lading storten op het reeds gerealiseerde werk, waarna het materiaal met een shovel gelijkmatig op de geokunststof wapening moet worden verspreid tot de beoogde dikte is bereikt.

BS 8006 adviseert een korrelverdeling 0-40 mm tot 0-90 mm (met een opgegeven korrelverdeling). Het betreft in dit geval grind, gebroken gesteente, betongranulaat, mijnsteen. Overige eisen zijn opgenomen in de zogenoemde Specifications for Highway Works. De Duitse Richtlijn EBGE0 (Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen) schrijft voor dat het materiaal een hoek van inwendige wrijving (ϕ') van ten minste 30° moet hebben [CUR 2002-7, 2002].

3.3 Granulair materiaal

Betongranulaat

Betongranulaat is een aggregaat dat voornamelijk uit betonpuin is bereid, waarbij de hoofdbestanddelen voor tenminste 80% (m/m) moeten bestaan uit gebroken grind- en steenslagbeton, waarvan de korrels een droge dichtheid van tenminste 2100 kg/m^3 bezitten en voor ten hoogste uit 10% (m/m) overige gebroken steen en steenachtig materiaal mogen bestaan, waarvan de korrels een droge dichtheid van tenminste 2.100 kg/m^3 bezitten. Betongranulaat wordt vervaardigd door het breken en zeven van (door selectieve sloop verkregen) betonpuin in bouw- en sloopafval bewerkingsinrichtingen. In Nederland wordt hoofdzakelijk betongranulaat (sortering 0/40 mm) als funderingsmateriaal onder wegen toegepast. Na aanleg verhardt het materiaal door hydratatie van cementresten waardoor de stijfheid in de tijd toeneemt.

Menggranulaat

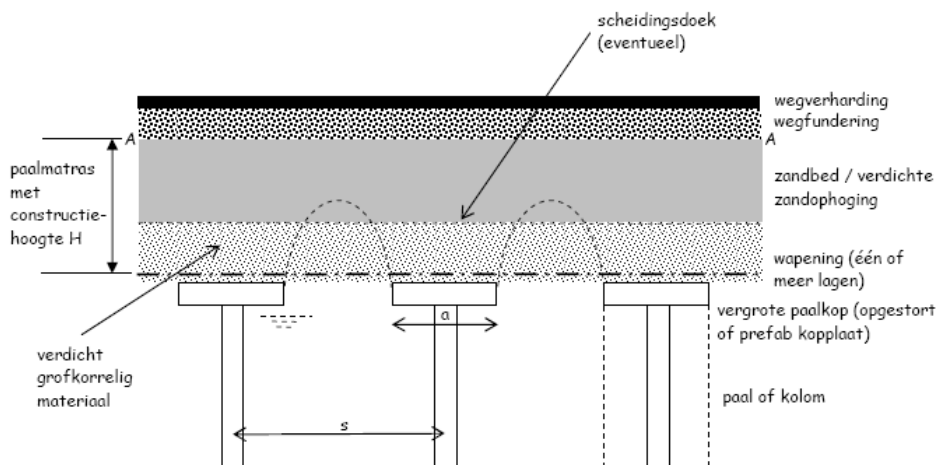
Menggranulaat is een aggregaat dat voornamelijk is bereid uit beton- en metselwerkgranulaat, waarbij de hoofdbestanddelen voor tenminste 45 % (m/m) moeten bestaan uit gebroken grind- en steenslagbeton, waarvan de korrels een droge dichtheid van tenminste 2100 kg/m³ bezitten. Menggranulaat wordt vervaardigd door het breken en zeven van (door selectief slopen verkregen) beton- en metselwerkpuin in bouw- en sloopafval bewerkingsinrichtingen. Als funderingsmateriaal heeft menggranulaat een hogere constructieve waarde dan zand.

Hydraulisch menggranulaat

Hydraulisch menggranulaat is een mengsel van menggranulaat en hydraulisch slakmateriaal dat wordt toegepast in wegfunderingen. Hierbij moet het aandeel van het hydraulisch slakmateriaal in het mengsel tussen 5% en 20 % (m/m) zijn. Menggranulaat ontstaat door het breken en zeven van beton- en metselwerkpuin in een bouw- en sloop afval bewerkingsinrichting. Hydraulisch menggranulaat ontstaat wanneer aan het menggranulaat hydraulisch slakmateriaal wordt toegevoegd. Na aanleg bindt het materiaal verder waardoor de stijfheid en de draagkracht in de tijd toeneemt. Het bepalen van de ϕ' -waarde van menggranulaat is gecompliceerd. Als het menggranulaat wordt aangebracht onder RAW voorwaarden kan op basis van onderzoek worden uitgegaan van $\phi_{rep} = 40^\circ$. Dit wordt beschouwd als een conservatieve waarde [CUR2007-2, 2007].

3.4 Zand

Er is nog nooit een matras volledig uit zand opgebouwd. Om de interactie met de geogrid wapening voldoende te garanderen adviseert CUR 2007-2 om het onderste (gewapende deel) van het matras op te bouwen uit granulaat met hierop een scheidsdoek. Op het scheidsdoek kan de rest van de ophoging eventueel worden opgebouwd uit zand (zie ook [onderstaande](#) figuur 1-1 in [CUR2007-2, 2007]).



Figuur 3.1 Principeschematische tekening van een paalmatrassysteem (bron: figuur 1-1 in CUR 2007-2, Eisen aan paalmatrassystemen).

Formatted: Caption

Als matrasmateriaal wordt uitgegaan van het zogenaamde zand voor zandbed. Zand voor zandbed is een grondsoort van grotendeels minerale deeltjes, waarvan minimaal 85% (m/m) een korrelgrootte heeft tussen 63 μ m en 2 mm. Indien het gehalte tussen de 85 tot 90% ligt, mag bovendien het gehalte aan minerale deeltjes door zeef 20 μ m van de fractie door zeef 2 mm maximaal 3% bedragen. Zand voor zandbed is afkomstig uit de Noordzee, uit natte

winningsgebieden, uit onderhoudsbaggerwerken en grindwinning en uit droge winningen. Zand is een relatief homogeen materiaal. De mineralogische samenstellingen van het Nederlandse zand hebben geen invloed op de constructieve aspecten. Bij het aanbrengen van de zandlaag is het vochtgehalte van invloed op de verwerkbaarheid en verdichtbaarheid.

3.5 Reststoffen

Hoogovenslakkenmengsel

Hoogovenslakken is materiaal dat ontstaat bij het breken van slak die vrijkomt bij de bereiding van ruwijzer in hoogovens. Hoogovenslakkenmengsel moet bestaan uit een mengsel van gebroken hoogovenslak, gegranuleerde hoogovenslak en eventueel staalslak, waarbij het aandeel van de staalslak in het mengsel kleiner dan of gelijk aan 25 % moet zijn. De milieuhygiënische kwaliteit van de slak is afhankelijk van de samenstelling van het ijzererts, de cokes en de toeslagstof(fen). In de periode 1998-2001 zijn door het RIVM diverse partijen hoogovenslakkenmengsels getoetst aan de normen van het Bouwstoffenbesluit. Als vormgegeven bouwstof voldoet hoogovenslakkenmengsel aan de normen voor een categorie-1A bouwstof. Als niet-vormgegeven bouwstof voldoet hoogovenslakkenmengsel aan de normen voor een categorie-1 bouwstof bij een toepassingshoogte van 0,3 m.

Wanneer het Hoogovenslakkenmengsel niet-vormgegeven is, kan slechts een klein deel van het matras uit het Hoogovenslakkenmengsel bestaan. De dikte mag tenslotte niet groter dan 0,3 m zijn. Het Hoogovenslakkenmengsel kan wel als vormgegeven bouwstof worden toegepast, maar onder voorwaarde dat dit mag niet leiden tot een bros, monoliet geheel, met een lage sterkte.

Hoogovenslakkenzand

Hoogovenslakken is materiaal dat ontstaat bij het breken van slak die vrijkomt bij de bereiding van ruwijzer in hoogovens. Gegranuleerde hoogovenslak is de slak die wordt verkregen als de vloeibare hoogovenslak met een overmaat aan water onder hoge druk wordt afgekoeld. De fijnere fractie (0/5 mm) van de gegranuleerde hoogovenslak wordt hoogovenslakkenzand genoemd. De milieuhygiënische kwaliteit van de slak is afhankelijk van de samenstelling van het ijzererts, de cokes en de toeslagstof(fen). Hoogovenslakkenzand is gecertificeerd volgens het Bouwstoffenbesluit leverbaar. Hoogovenslakkenzand is toepasbaar als straatlaag en als funderings- of ophoogmateriaal. Hoogovenslakkenzand kan als matrasmateriaal worden toegepast onder voorwaarde dat het Hoogovenslakkenzand de juiste korrelverdeling heeft en het voldoet aan de milieuhygiënische eisen.

Fosforslakken

Fosforslakken is materiaal dat ontstaat bij het breken van slak die vrijkomt bij de productie van fosfor. Fosforslakkenmengsel moet bestaan uit een mengsel van gebroken fosforslak, gegranuleerde hoogovenslak en eventueel staalslak, waarbij het aandeel van de staalslak in het mengsel kleiner dan of gelijk zijn aan 25 % m/m moet zijn. Bij het productieproces wordt fosforeerts samen met grind en cokes in een elektro-oven tot ongeveer 1500 °C verhit. Daarbij komen fosfor en koolmonoxide gasvormig vrij en er ontstaat een vloeibaar calciumsilicaat, de slak. De vloeibare slak wordt vervolgens in slakkenbedden uitgegoten en aan de slakkenbedden uitgegoten en aan de lucht afgekoeld, waarbij de slak vaak met water wordt besproeid om de afkoeling te bespoedigen. Hierdoor ontstaan kripscheuren die het breken van de slak vergemakkelijken. De gestolde slak wordt tenslotte opgebroken in een breek-zeefinstallatie gebroken en gezeefd tot de gewenste korrelverdeling. In de periode 1998-2001 zijn door het RIVM diverse partijen fosforslak getoetst aan de normen van het Bouwstoffenbesluit. Bij toepassing van fosforslak in zoet watermilieu kan 89 % als categorie-1A en 1B en 11% als categorie-2 bouwstof worden toegepast. De toepassing van hydraulische fosforslakkenmengsel als gebonden wegfundering in brak oppervlakte- of zeewater voldoet voor 100% aan de normen die het Bouwstoffenbesluit stelt aan categorie 1A bouwstoffen. Fosforslakken kunnen als matrasmateriaal worden toegepast onder voorwaarde

dat de hydraulische binding niet leidt tot een monoliet geheel, het materiaal de juiste korrelverdeling heeft en het voldoet aan de milieuhygiënische eisen.

Koude immobilisatie van baggerspecie

Immobilisatie is een bewerking, waarmee de chemische en fysische eigenschappen van verontreinigde grond worden gewijzigd met het doel de verontreinigende stoffen in de grond vast te leggen, zodat ze op korte en lange termijn geen bedreiging meer vormen voor het milieu. Bij koude immobilisatie van baggerspecie worden verontreinigde stoffen in uitgehard materiaal gefixeerd door ontwaterde baggerspecie te mengen met bindende stoffen. Bij koude immobilisatie wordt de specie volledig nuttig toegepast. De civieltechnische eigenschappen zijn instelbaar. Zo kan de gerijpte baggerspecie tot een ophoogmateriaal worden verwerkt maar ook tot een hoogwaardiger funderingsmateriaal. Species met meer dan 10% lutum of meer dan 10% organisch stof zijn moeilijk verwerkbaar tot nuttige bouwstof. Voorwaarde is wel dat het materiaal korrelig of granulair van structuur is en geen (bros) monoliet geheel.

Er is een pilot gebouwd, de Kyotoweg, waarbij een baggerspeciemengsel als matrasmateriaal is toegepast. In deze pilot worden sinds 2005 metingen uitgevoerd waarbij het mechanisme | boogwerking wordt aangetoond [<http://www.kyotoweg.nl> Van Eekelen, 2007 [a](#), [b](#) en [c](#)].

4 Geokunststoffen

4.1 Inleiding

Geokunststoffen zijn textielproducten opgebouwd uit kunststof vezels, bandjes, mono- en multifilamentgarens of bandjesgarens. Voor de productie van geokunststoffen (weefsels en vliezen) wordt gebruik gemaakt van polymeren als grondstof:

- Polyester (PET)
- Polypropyleen (PP)
- Polyethyleen (PE)
 - Hoge-dichtheid polyethyleen (HDPE)
 - Lage-dichtheid polyethyleen (LDPE)
- Polyamide (PA)

Er zijn verschillende soorten geokunststoffen op de markt met verschillende functies [www.ngo.nl, 2007].

Type	Functie
Vliezen (non-woven)	Scheiden, filteren, draineren, beschermen, wapenen
Weefsels (woven)	Scheiden, filteren, stabiliseren, wapenen
Geogrids	Scheiden, stabiliseren, wapenen

Uit het bovenstaande overzicht blijkt dat voor paalmatrassystemen met name geogrids en weefsels geschikt zijn. Per materiaal kan de richting waarin het materiaal kan worden belast verschillen. Een uniaxiaal materiaal kan in een richting worden belast en heeft minder sterkte in een andere richting. Een biaxiaal materiaal kan in beide richtingen worden belast.

Een andere variabele is het spannings-rek gedrag van het materiaal. Hierbij spelen zowel het korte- als het lange termijn gedrag een rol, waarbij het korte-termijn gedrag in het algemeen minder van belang is dan het lange termijn gedrag, de additionele kruiprek. De korte-termijn rek kan vaak al worden gecompenseerd gedurende de constructie van de weg, bijvoorbeeld door een ruimte te laten tussen de paaldeksels of die ruimte op te vullen met tuinaarde. Dit is bijvoorbeeld toegepast bij de nieuwe Welham-brug, in de A614 vlak bij Goole in Engeland. De kruiprek treedt echter op gedurende de hele gebruiksfase en kan niet zomaar worden gecompenseerd [CUR 199, 1999].

4.2 Producenten

In de onderstaande tabel is een aantal producenten weergegeven die geotextielen produceren die geschikt zijn voor paalmatrassystemen.

Producent	Product	Type	Materiaal	Belasting
Huësker	Fortrac	Geogrid	PVA, PET, Aramide	uniaxiaal, biaxiaal
	Stabilenka	Woven	PET, PA	uniaxiaal, biaxiaal
Tensar	Tensar Basetex	Woven	PET	Uniaxiaal
	Tensar SS geogrid	Geogrid	PP	Biaxiaal
Colbond	Enkagrid MAX	Geogrid	PP	Biaxiaal
	Enkagrid PRO	Geogrid	PET	Uniaxiaal
Bidim/Ten Cate	Polyfelt Rock PEC	Non Woven	PET	uniaxiaal, biaxiaal
	Miragrid GX	Geogrid	PET	uniaxiaal, biaxiaal
	Polyfelt Geolon PET	Woven	PET	uniaxiaal

Tabel 4.1: Voorbeelden van geokunststoffen op de markt

De eigenschappen van de bovengenoemde geokunststoffen zijn gegeven in Bijlage 2.

4.3 Productieproces

Geogrids zien er uit als een rechthoekig soort visnet. Er worden verschillende productieprocedures gehanteerd met een verschillend resultaat.

Zo hanteert Tensar een procedure waarbij eerst gaatjes worden geponst in het materiaal, waarna het materiaal in een richting (uniaxiaal) of in 2 richtingen (biaxiaal) wordt uitgerekt. Het resultaat is een vrij stijf materiaal met stijve knopen. Tensar veronderstelt dat deze knopen zorgen voor een beter 'interlocking effect' tussen granulaat en geogrid, waardoor in het ontwerpmodel kan worden gerekend op veel meer boogwerking, dat wil zeggen een lage boog (zie Bush-Jenner in o.a. CUR 2002-7 en CUR 2007-2, waarbij overigens wordt uitgegaan van een blijvend meedragende ondergrond).

-Andere leveranciers weven en lassen hun knopen. Het resultaat is een iets minder stijve knoop. Maar deze leveranciers bestrijden het verband tussen de meer stijve knopen en de betere boogwerking.

De internationale literatuur en de Duitse en Britse normen neigen ernaar om deze laatste veronderstelling te volgen. Zij gaan uit van iets minder boogwerking en daarmee van een hogere benodigde treksterkte van het geogrid. De CUR-commissie 'Ontwerprichtlijnen voor Paalmatrassystemen) kiest er waarschijnlijk voor om beide 'scholen' naast elkaar te laten bestaan, met daarbij duidelijke criteria waaraan een constructie moet voldoen, om een van de scholen te kunnen toepassen.

5 Paalsystemen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van paalsystemen voor paalmatrassen. De systemen zijn onderverdeeld in palen met grondverdringing en gestabiliseerde grondkolommen of wanden (grondstabilisaties). In CUR 2006-2 worden verschillende van deze paalsystemen gepresenteerd.

5.2 Grondverdringende palen

De volgende grondverdringende methoden worden toegepast onder een matras:

- | | |
|---|------------------------------------|
| • Prefab beton palen | Meerdere producenten |
| • Houten palen | Van Biezen e.a. |
| • Vibro betonnen palen | Meerdere producenten |
| • AuGeo | Cofra/Boskalis |
| • Voton HSP palen | Voorbij funderingstechniek en CRUX |
| • Geotextiel ommantelde zandkolommen Ringtrac ® | Huesker |

De bovenstaande lijst is niet uitputtend. Er is een groot aantal grondverdringende palen beschikbaar op de markt die in zeer diverse situaties kunnen worden toegepast. De genoemde paalsystemen worden over het algemeen toegepast in paalmatrassystemen.

Prefab beton palen

Prefab betonnen palen zijn algemeen verkrijgbaar. De toegepaste ontwerp- en aanlegprocedures zijn algemeen bekend, maar worden voor toepassing in paalmatrassystemen aangepast in CUR 2007-2.

Eén specialistische uitwerking van een paalmatrassysteem op betonnen palen is het "spijkerbed". Dit wordt ontworpen en aangelegd door de combinatie van Tensar, BetonSon en Koninklijke Wegenbouw Stevin. Hierin worden geprefabriceerde betonpalen in de grond geheid. Op elk van deze palen komt een constructief gewapende betonplaat (paalkopplaat). Na afdekking met een dunne zandlaag over deze platen wordt een geogrid (kunststof wapeningsraaster met starre ribben en vormvaste knooppunten) en een laag granulaat materiaal aangebracht. Na het verdichten van dit pakket worden er vervolgens nog twee lagen geogrid, met daarop granulaat, aangebracht. Deze worden opnieuw verdicht. Het granulaat matras dat zo ontstaat, overspant de vrije ruimten tussen de paalkopplaten. Een zware eindverdichting zorgt er uiteindelijk voor dat de grond tussen de betonpalen en de paalkopplaten iets zakt waardoor de geogridlagen strak over de betonnen paalkopplaten komen te liggen. De belasting uit de bovenliggende wegconstructie en het verkeer wordt direct op de paalkopplaten en dus op de palen overgebracht, zonder de slappe grondlagen tussen de palen te belasten [www.spijkertijdbed.nl, 2007]. De palen zijn in dit geval op kleef gefundeerd.

Houten palen

Houten palen zijn algemeen verkrijgbaar en de toegepaste procedures zijn algemeen bekend.

De productie van een houten paal is milieuvriendelijker dan de productie van alternatieve palen, zoals bijvoorbeeld betonnen palen. Bij zowel de productie als het transport van betonnen palen komt meer CO₂ vrij dan bij houten palen. Daarnaast is het toepassen van houten palen (met traditionele betonopzetter of poer) een duurzame palenfundering.

Groot voordeel van houten palen is dat ze licht van gewicht zijn en met licht installatiematerieel kunnen worden geïnstalleerd. Er is dan ook geen werkvloer nodig voor de installatie. De productiesnelheid die kan worden bereikt ligt rond de 30 palen per uur.

Een voorbeeld van een paalmatrassysteem op houten palen is de Kyotoweg in Assendelft [Van Eekelen et al, Land en Water, 2007]. Hierbij zijn houten palen h.o.h. 1,27 met een lengte van ca. 13 m gebruikt. Op de houten palen is gewapend matras bestaande uit 2 lagen geotextiel en een matras van Hegemann stabilisaat opgebouwd.

AuGeo palen

Het Augeo-systeem bestaat uit palen die zijn voorzien van een vergrote voet. AuGeo-palen worden geïnstalleerd vanaf het maaiveld. Met behulp van een drain-stitcher wordt een ronde stalen mantelbuis van 220x10 mm samen met een funderingsplaat de grond in gedrukt. In de mantelbuis wordt een kunststof buis geplaatst. De kunststofbuis wordt voor driekwart vol gepompt met mortel. Vervolgens wordt de mantelbuis opgetrokken. De kunststofbuis wordt op hoogte afgezaagd en voorzien van een wapeningskorf en ronde paalkop met een opdrukrand. Hierna wordt de buis afgevuld met mortel. De ruimte tussen de palen wordt opgevuld met zand. Het is niet noodzakelijk om tussen de palen te verdichten. Bij aanwezigheid van een goede stabiele werkvloer is een productie mogelijk van 20 palen per uur [www.augeo.nl, 2007].

Vibro betonnen palen

Bij het maken van een vibropaal wordt eerst een stalen buis met gesloten punt heidend in de grond gebracht. Het heien vindt hierbij plaats op de kop van de buis. Nadat de buis op diepte is gebracht, wordt in de buis een wapeningskorf gehangen (gewoonlijk alleen over het bovenste deel) en wordt de buis volgestort met betonspecie. Tijdens dit storten wordt de buis heidend of trillend omhoog getrokken, zodat de beton goed kan verdichten en een goede aansluiting tussen de paal en de omliggende grond ontstaat.

Paaldiameters vanaf 25 cm tot 60 cm zijn mogelijk. De voet onderaan de buis is qua diameter enkele centimeters groter dan de buisdiameter en blijft in de grond achter. De buis kan opnieuw worden gebruikt. Omdat geen gebruik wordt gemaakt van prefab onderdelen is een grote variatie van geproduceerde lengten (binnen een werk) mogelijk. Wel is het noodzakelijk de juiste verhardingstijd in acht te nemen, voor met een direct naastgelegen paal wordt begonnen, teneinde de vorm van de paal tijdens het verhardingsproces niet te verstoren.

Voton ® HSP palen

Het Voton-HSP systeem is een door de Voorbij Groep ontwikkeld in de grond gevormd, grondverdringend paalsysteem. Het betreft een paal met een standaard diameter 180 mm en een paal draagvermogen tot 250 kN. De productie bedraagt tot 300 palen per dag.

Allereerst wordt een stalen hulp buis met een hoogfrequent trilblok ingetrild en tegelijkertijd ingedrukt door de pull down van de kraan. In geval van moeilijk doordringbare lagen kan het proces worden vergemakkelijkt door fluïderen onderaan de buis. Binnen de hulp buis bevindt zich een betonleiding met aan de onderkant een afsluiter. Wanneer het paalpunt niveau bereikt is, wordt begonnen met de betoninjectie. Wanneer de juiste betondruk is bereikt, wordt de casing tijdens het injecteren getrokken. Het is van belang de juiste verhardingstijd in acht te nemen, voor met een direct naastgelegen paal wordt begonnen, teneinde de vorm van de paal tijdens het verhardingsproces niet te verstoren [www.voorbij-groep.nl, 2007].

Geotextiel ommantelde zandkolommen

Geotextiel Ommantelde Zandkolommen (GOZ) zijn op het eerste gezicht verticale zanddrains. Bij het GOZ systeem wordt zand in een geotextiel kous aangebracht. Dit geotextiel levert horizontale spanningen in het zand waardoor de kolom een veel hogere sterkte en stijfheid dan de omringende grond krijgt. Hierdoor zal het een groot deel van de bovenbelasting naar zich toe trekken en afdragen naar een diepere ondergrond.

Geotextiel Ommantelde Zandkolommen zijn grondverdringende palen. Aan de onderzijde van de kolommen kan een laag zand-bentoniet worden aangebracht als geohydrologische prop om kwel vanuit het Pleistocene zand te voorkomen.

Het meest bekende merk is Ringtrac®. Voor de uitvoering van GOZ bestaat een patent – en licentiebescherming door nationale en internationale aanmeldingen [CUR 199, 1999].

In Bijlage 3 zijn de eigenschappen van de bovengenoemde palen gegeven.

5.3 Gestabiliseerde grondkolommen

Grondstabilisatie is het mengen van grond met een geschikt bindmiddel waardoor de grond betere eigenschappen krijgt zoals sterkte en stijfheid. Dit bindmiddel kan een cement zijn of een hydraulisch bindmiddel. Bij de hydraulische bindmiddelen is de basis vaak een “gewone” cementsoort, vaak gecombineerd met additieven als CEM I, CEM II, CEM III en CEM V of metselcement. De materialen zijn ruimschoots leverbaar, maar de expertise om cement of een hydraulisch bindmiddel te vermengen met grond, voor het versterken van de grond, is zeer beperkt. In bijvoorbeeld Zweden en Japan is wel veel ervaring met het toepassen van gestabiliseerde grondkolommen [CUR 199, 1999].

Essentieel bij de keuze van een bindmiddel voor gestabiliseerde grondkolommen of wanden is dat de combinatie van grond, water en bindmiddel uiteindelijk een voldoende sterke, dichte en duurzame matrix vormt. Dit hangt vooral af van de samenstelling van de grond. Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen grotendeels organische grond, en grotendeels anorganisch. De keuze van het bindmiddel hangt daarnaast indirect samen met het watergehalte van de grond, het vaste stofgehalte en de volumieke massa:

Met betrekking tot de wijze waarop bindmiddelen in de te stabiliseren grond wordt gebracht bestaan twee methoden [CUR 199, 1999]:

- Droge methode. In Scandinavië is dit verreweg de meest toegepaste methode. Ook in Japan wordt circa 50% van de projecten volgens deze wijze uitgevoerd. Het voordeel hiervan is dat er geen extra water in de grond wordt gebracht, waardoor de hydratatie van ongebluste kalk een positieve bijdrage aan de stabilisatie kan leveren. Het nadeel van deze methode is dat de menging van grond en bindmiddel soms niet homogeen is. Het bindmiddel dispergeert minder goed en kan in aders of kuiltjes aanwezig blijven. Het gebruik van kalk kan zorgen voor een meer homogeen mengsel en een betere korrelopbouw.
- Natte methode of slurymethode. Deze wordt in Japan in de helft van de projecten toegepast. Voordeel is dat de menging van grond en bindmiddel beter en intensiever plaatsvindt. Het nadeel is dat er extra water in de vaak toch al waterrijke grond wordt gebracht. Bovendien wordt er tot 20% meer bindmiddel gebruikt.

Het percentage cement dat wordt toegepast per m³ te verbeteren grond, is een economische parameter omdat het cement de belangrijkste kostenpost is bij gestabiliseerde kolommen. Wanneer er meer dan 300 kg per m³ grond moet worden gebruikt, dan kan het voordeliger zijn om prefab betonpalen te gebruiken, die eveneens zo'n 300 kg per m³ paal bevatten.

Enkele voorbeeld van gestabiliseerde grondkolommen zijn:

- MIP (Bauer)
- COLMIX (Soletanche Bachy)
- Limix (Hercules)
- FMI (Sidla & Schönberger)
- MIP ([Inside Consortium met oa. Keller](#))

In Bijlage 4 zijn een overzicht van de eigenschappen van de bovengenoemde grondstabilisaties gegeven.

6 Kennisvragen

Op basis van een viertal interviews is een aantal kennisvragen gegenereerd die in het Delft Cluster Programma Blijvend Vlakke Wegen en in CUR verband mogelijk verder worden uitgewerkt. Hieronder volgt een samenvatting van de uitgevoerde interviews.

Almer van der Stoel (CRUX)

CRUX is commercieel verbonden aan HSP (Voorbij), maar heeft ook kennis van AuGeo palen (Cofra) en ontwerpt voor aannemers. De ervaring van CRUX heeft met name betrekking op het ontwerpen van matrassen op slanke palen. CRUX begint met een analytisch model (BS/concept EBGeo/Jenner) en controleert zijn ontwerp in PLAXIS. De grootste ontwerpzonzekeheid hierbij zijn de grondeigenschappen tussen de palen. De ervaring leert dat de gemeten krachten in het geotextiel vaak lager zijn dan berekend. Dit pleit voor de (concept) EBGeo norm die gebruik maakt van een dragende ondergrond.

Palen worden gedimensioneerd op basis van NEN, maar niet getoetst aan het 1B criterium (BGT). In de ontwerp praktijk ontbreekt op dit moment een Nederlandse richtlijn, daarnaast is de invloed van het aantal geotextiel lagen op de eigenschappen van de matras onbekend. De invloed van de ondergrond (kruip, holle ruimtes) op de rek in het geotextiel is een ander punt van aandacht evenals de modellering in PLAXIS en de veiligheidsfilosofie.

Constant Brok (Huesker)

Uit ervaringen van Huesker blijkt dat berekeningen met PLAXIS over het algemeen gunstiger zijn dat metingen (bijvoorbeeld voor de DB bij Augsburg). PLAXIS wordt daarom hoofdzakelijk als toetsmiddel gebruikt en niet als ontwerp middel.

Jan van Dalen (IGWR)

Gemeente Werken Rotterdam put voor de ervaring met het toepassen van paalmatrassystemen vooral uit de aanleg van paalmatrassystemen bij Nesselande en bij Carnisselnde. Hier is bovendien uitgebreid gemonitord (hellingmeetbuizen, zettingsmeet slangen en zakbaken, rekopnemers op de paalpunt en de paalkop).

Bij Carnisselnde bleek dat voor het aanbrengen van AuGeopaln-HSP onvoldoende een juiste verhardingstijd noodzakelijk was, om verstoring van direct naastgelegen palen te voorkomen.

In Nesselande bleek men wat last te hebben van spanningswater bij het installeren van de AuGeopaln. Het toepassen van kortere op kleef geheide palen wordt afgeraden, maar er is volgens IGWR wel ruimte in het ontwerp van palen voor paalmatrassystemen die volgens NEN6743 worden ontworpen. Mogelijke vervolgwerkzaamheden ziet men o.a. op het gebied van asymmetrische belastingen van palen, wat gebeurt er wanneer een paal uitvalt en het gebruik van een reële hoek van inwendige wrijving.

Piet van Duijnen (Movares)

Movares heeft ervaring met het toetsen en ontwerpen van paalmatrassystemen. In het verleden heeft Movares zettingsmetingen van de HSL getoetst aan een PLAXIS modellering. Movares gebruikt vooral PLAXIS voor het ontwerp (en Terzaghi voor een eerste indruk).

Als ontwerpzonzekeheid wordt hierbij de spanningssprongen ter plaatse van de overgang tussen drukboog en paalkop gezien. De ontwerpervaring is over het algemeen dat de concept- Duitse Norm EBGeo betrouwbaarder dan de British Standard BS8006 omdat de Duitse Norm EBGeo gebruik het draagvermogen van de ondergrond op de juiste wijze rekening brengt. Dit blijkt ook uit PLAXIS-berekeningen (inclusief 2^e orde effect) en uit metingen in het geotextiel.

Het ontstaan van holle ruimte onder het geotextiel is echter ongewenst, omdat een zeer kleine verticale kracht nodig is om de drukboog in stand te houden. Er is behoefte aan een betrouwbare analytische methode en aan een nauwkeuriger voorspelling van gedrag door meten (niet door labonderzoek). Daarnaast zijn ook de belasting van het geotextiel (hier kan op bespaard worden), de veiligheidsfilosofie en onderzoek naar asymetrische belasting van de palen, genoemd als onderzoeksonderwerpen.

7 Referentie projecten

Enkele voorbeelden van referentie projecten in Nederland zijn:

- Busbaan Monnickendam
- A15, Hardinxveld Giessendam
- Bodegraven N11
- Kyotoweg, Giessenburg
- Hoogmade, toerit A4
- TramPlusLijn IJsselmonde
- Carnisselijn Barendrecht
- Betuweroute, Wijngaarden
- Proefterp Rijksweg A2 Abcoude
- Botlek spoortunnel
- NO RECESS, Gravendeel, HW 2, 3, 4 en 5

Enkele voorbeelden van referentie projecten uit het buitenland zijn:

- Stansted Airport Rail Link, UK
- Second Severn Crossing Toll Plaza, UK
- Lincoln Rope walk to Carholme Road Link, UK
- Link to M4 Motorway, Newport, S. Wales, UK
- Shell benzine station, Sofia, Bulgarije
- Project Crossing River Laje at Chapadoo, Ferronorte Rail, Brazilië
- A 63 Selby Bypass, British Highway Authority, UK
- Railway Berlin-Hamburg, ICE Section PRA 4, Deutsche Bahn, Duitsland
- Railway Werder-Brandenburg, Deutsche Bahn, Duitsland
- Rathenow ICE railway, Deutsche Bahn, Duitsland
- Harper Mühlenbach, Deutsche Bahn, Duitsland
- Paulinenaue, Deutsche Bahn, Duitsland
- Hannover Berlin Bypass Stendal, ICE, Deutsche Bahn, Duitsland
- M9, M876 Motorway Glasgow, Schotland
- A525 Rhuddlan Bypass, UK
- US I-95 Virginia State Route Alexandria, US
- Shannon Estuary, Ierland

In bijlage 5 zijn deze projecten nader beschreven.

8 Geraadpleegde literatuur

1. Delft Cluster [2006], *Ophoogmaatregelen en ophoogmaterialen voor voorzieningen op slappe bodem*, DC2-3.13-01 versie 5, Delft Cluster project CT03.10, Duurzame Onderhoudsstrategie (DOS) voor voorzieningen op slappe bodem
2. Alexiew [2001], *Reinforced embankments on piles for railroads: German experience*, Proc. 15th Int Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. Istanbul, Aug 2001, Lisse Balkema 2001, Vol 3, pp 2035-2040
3. Alexiew [2004], *Piled embankments for railroads: short overview of methods and significant case studies*, Proceedings of the International Seminar on Geotechnics, in Pavement and Railway design and Construction, 2004, pp 181-192.
4. Alexiew, Dimiter [2004], *Piled embankments: Overview Short verview of Methods and Significant Case Studies*, - Int. Conf. of Geosynthetics in Soil Reinforcement and Dynamics, sept 2004, Dresden
5. British Standard, BS 8006 [1995], *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*, BSI
6. Bruce, D., *Deep missing & jetgrouting*, Proc. No-Recess, Delft, May 1997, chapter 2.4, Contemporary Issues in foundation engineering, pagina 1, GSP 131
7. CUR 199 [1999], *Handreiking toepassing No-Recess technieken*, CUR, Gouda
8. CUR 2006-2 [2006], *Innovatieve aardebaan. Snel gebouwd, blijvend vlak*, CUR, Gouda
9. CUR 2007-2 [2007], *Eisen aan paalmatrasystemen*, CUR, Gouda
10. CUR rapport 175 [1995], *Geokunststoffen in de wegenbouw en als grondwapening*, ISBN 90 376 0046 8, CUR, Gouda
11. CUR rapport 2002-7 [2002], *Gewapende granulaatmatras op palen, Toepassing, ontwerp- en uitvoeringsaspecten*, ISBN 90 3760 262 2, CUR, Gouda
12. DWW [2004], *Handleiding Wegenbouw – Ontwerp Onderbouw*, Product-methodebladen, versie 2.0, ISBN 90-369-5567-X, DWW-2004-067, eerste druk, versie 2.0, oktober 2004
13. EBGeo [2004], *Entwurf der Empfehlung "Bewehrte Erdkörper auf punkt- oder linienförmigen Traggliedern"*, juli 2004, Entwurf EBGeo Kapitel 6.9. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Fachsektion "Kunststoffe in der Geotechnik" Arbeitskreis AK 5.2 "Berechnung und Dimensionierung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen"
14. Suzanne J.M. van Eekelen, Meindert A. Van and Adam Bezuijen [2007a], *The Kyoto Road, a Full-scale Test, Measurements and Calculations*, Proceedings of ECSMGE, Madrid, September 2007
15. Ir. S.J.M. van Eekelen, ir. A. Bezuijen [2007b], *Ook slappe ondergrond steunt aardebaan op palen*, Land en Water, nr. 5 (may 2007), pp 36-37
16. Suzanne J.M. van Eekelen & Dimiter Alexiew [2007c], *Die Kyoto-Straße: Ein Großversuch, Messungen und Berechnungen*, proceedings FS-KGEO-2007 (Kunststoffe in der Geotechnik), 15 februari 2007, (in German)
17. Eekelen, S.J.M. van, Beeker, A., Delft, W. van, Van, M.A. [2006], *De Kyotoweg, een duurzame en schone weg op houten palen*, number 'B87' on the CD-ROM of the 'wegbouwkundige dagen', june 2006, in Dorwerth, the Netherlands
18. Hight, D.W., *Options for construction on soft soils and piled embankments*, Proc. No-Recess, Delft, May 1997, chapter 2.3
19. Feuerbach, J., *FMI mixing (Fräs-Misch-Injektionsverfahren)*, Proc. No-Recess, Delft, May 1997, chapter 2.6
20. International workshop on soft soils-theory and practice 2003, pagina 619-624
21. Jenner, Austin, *Embankment Support Over Piles Using Geogrids*, C.G. Jenner, R.A. Austin & D. Buckland *Embankment Support over Piles Using Geogrids. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics*, 1998,
22. Raabe, E.W., *Some other construction methods of soil improvement with columns*, Proc. No-Recess, Delft, May 1997, chapter 2.7 No-Recess proceedings [1997], *No-Recess New Options for Rapid and Easy Construction of Embankments on Soft Soils*,

Formatted: Superscript

Formatted: Not Highlight

Formatted: Not Highlight

Formatted: Highlight

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan), (Other) Dutch (Netherlands)

Formatted Table

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan), (Other) Dutch (Netherlands)

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan)

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan), (Other) Dutch (Netherlands)

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan)

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan), (Other) Dutch (Netherlands)

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan), (Other) Dutch (Netherlands)

Formatted: Font: (Asian) Japanese (Japan), (Other) Dutch (Netherlands)

Formatted: German (Germany)

Formatted: German (Germany)

Formatted: Font: Italic, German (Germany)

Formatted: English (United States)

Formatted: Font: Italic, German (Germany)

Formatted: Not Highlight

paragraaf 2.3 tm 2.8, mei 1997

17. VOSB [1995], *Het ontwerpen van stalen bruggen, basiseisen en eenvoudige rekenregels*, NEN 6788
18. W.J. Hewlett, M.F. Randolph [1988], *Analysis of piled embankments*, Ground Engineering, april 1988, Volume 22, number 3, pp12-18
Rathmayer, H. Lime-cement stabilisation, Proc. No-Recess, Delft, May 1997, chapter 2.5
Vogel, W., Piled embankments of railway lines in Germany, Proc. No-Recess, Delft, May 1997, chapter 2.8
19. www.augeo.nl [2007]
20. www.kws.nl [2007]
21. www.kyotoweg.nl [2007]
22. www.ngo.nl [2007]
23. www.spijkerbed.nl [2007]
24. www.voorbij-groep.nl [2007]
25. www.voton-hsp.nl

Formatted: English (United States)

Formatted: English (United States)

Formatted: English (United States)

Formatted: Font: Italic, English (United States)

Field Code Changed

Formatted: English (United States)

Formatted: English (United States)

Formatted: English (United States)

Field Code Changed

Formatted: English (United States)

Comment [PAS OP!!!1]:
Verwijder dit sectie-einde niet!!!

Bijlage 1 Eigenschappen matrasmateriaal

Betongranulaat

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Korrelgrootteverdeling - percentage < 63 μm ¹	% (mm)	- 0/20: eis 0 - 8 - 0/40: eis 0 - 6
Korrelvorm ¹	-	Hoekig
Textuur van de korrels ¹	-	Ruw
Chemische, fysische en mineralogisch samenstelling ¹	% (m/m)	$\geq 80\%$ betonpuin $\leq 10\%$ overig gebroken steen en steenachtig materiaal $\leq 10\%$ gebroken metselwerkpuin en overig gebroken steen en steenachtig materiaal
Dichtheid - Korreldichtheid ¹ - Maximum proctordichtheid ¹ - Optimum vochtgehalte ¹	kg/m ³ kg/m ³ % (m/m)	2.000 – 2.300 (eis: 90% (m/m) ≥ 2.100) 1.800 – 1.900 (0/40) 8,5 – 9 (0/20) -6 (0/40)
- Natuurlijk vochtgehalte ¹ - Verdichtingsgraad ¹	% (m/m) %	6 – 8,3 (0/40) 98 – 104 (0/40) (eis: per monster: 98; gemiddeld: 101)
Poriëngehalte ¹	% (V/V)	12 – 20 (0/40)

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Verbrijzelingfactor ¹	-	0,71 – 0,84 (eis > 0,65)
Stijfheid - Dynamische stijfheidsmodulus ¹ - CBR-waarde ¹	MPa %	600 64 (toename in de tijd als gevolg van verkitting (eis $\geq 62,5$ na 28 dagen))
Wrijvingseigenschappen - Inwendige wrijvingshoek ¹	°	45 – 54
Verdichtingseigenschap ¹	-	Laat zich goed verdichten
Gevoeligheid voor ontmenging ¹	-	Er moeten maatregelen genomen worden om ontmenging tegen te gaan

Grondmechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Waterdoorlatendheid ¹	m/s	$2 \cdot 10^{-5}$ – $3 \cdot 10^{-7}$
Capillaire werking ¹	m	0,20 – 0,33
Wateropname ¹	%	0,3 % na 150 dagen
Vorstgevoeligheid (vorstheffing) ¹	-	Goede bestandheid tegen vorst

Chemische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Samenstelling en uitloogbaarheid ¹	-	Mogelijke overschrijding van PAK _(10-VROM) , sulfaat en minerale oliën.

Ongebonden menggranulaat

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Korrelgrootteverdeling - % <63 μm ¹	% (mm) % (mm)	2 – 7, eis: 0-8 (sortering 0/20) 2 – 5, eis: 0-6 (sortering 0/40)
Korrelvorm ¹	-	Hoekig, vorm mede afhankelijk van het type breker
Textuur van de korrels ¹	-	Ruw
Chemische, fysische en mineralogische samenstelling ¹	% (m/m)	≥ 45% betonpuin en ≤ 50% overige steenmaterialen > 1.600 kg/m ³ , diverse nevenbestanden
Dichtheid - Korreldichtheid ¹ - Maximum proctordichtheid ¹ - Optimum vochtgehalte - Verdichtingsgraad	kg/m ³ kg/m ³ % (m/m) %	1.700 – 2.200 1.500 – 1.800 11 – 14 98 – 103
Vochtgehalte ¹	% (m/m)	8 – 10
Poriëngehalte ¹	% (V/V)	13 – 20

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Mechanisch gedrag - Verbrijzelingfactor ¹	-	0,67 – 0,75 (eis ≥ 0,65)
Stijfheid - Dynamische stijfheidmodulus ¹ - CBR-waarde ²	MPa %	400 50-80
Wrijvingseigenschappen - Inwendige wrijvingshoek ¹ - Cohesie ³	° kN/m ²	40 – 50 98
Gevoeligheid voor ontmenging ¹	-	Gevoelig voor ontmenging

Grondmechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Waterdoorlatendheid ¹		$2 \cdot 10^{-6}$ tot $2 \cdot 10^{-7}$
Capillaire werking ¹	m	< 0,40
Wateropname	%	n.v.t.
Duurzaamheid vochtgevoeligheid ¹	-	Verpapping bij een hoog vochtgehalte

Chemische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Samenstelling en uitloogbaarheid ¹	-	De meest kritische stof voor uitloging is sulfaat. Incidentele overschrijdingen zijn mogelijk op de stoffen barium, molybdeen, chloride, fluoride, xyleen, fenolen, PAK-10, chloorhoudende pesticiden, minerale olie en extraheerbare organische chloorverbindingen.

Hydraulisch menggranulaat

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Korrelgrootteverdeling 0/40 ¹ - % <63 µm ¹	% (mm)	2 - 6
Korrelvorm ¹	-	Hoekig, vorm mede afhankelijk van het type breker
Textuur van de korrels ¹	-	Ruw
Chemische, fysische en mineralogisch samenstelling ¹	% (m/m)	≥ 40% betonpuin ≤ 50 % overig steenmaterialen groter dan 1.600 kg/m ³ . ca. 10% hydraulische slak, diverse nevenbestanddelen.
Dichtheid - Korreldichtheid ¹ - Maximum proctordichtheid ¹ - Optimum vochtgehalte ¹ - Natuurlijk vochtgehalte ¹ - Verdichtingsgraad ¹	kg/m ³ kg/m ³ % (m/m) % (m/m) %	1.700 – 2.200 1.500 – 1.850 11 – 14 8 - 10 98 – 103
Poriegehalte ¹	% (V/V)	13 – 20

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Mechanisch gedrag - Verbrijzelingfactor ¹	-	0,67 – 0,75 (eis > 0,65)
Stijfheid - Dynamische stijfheidsmodulus ¹ - CBR-waarde ² - Representatieve waarde breukrek	MPa % µm/m	600 60 50-80
Wrijvingseigenschappen - Inwendige wrijvingshoek ¹ - Cohesie ¹	° kN/m ²	40 – 50 nihil

Grondmechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Waterdoorlatendheid ¹	m/s	Ca. 10 ⁻⁶
Capillaire werking ¹	m	< 0,40

Chemische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Samenstelling en uitloogbaarheid ¹	-	De meest kritische stof voor uitloging is sulfaat. Incidentele overschrijdingen zijn mogelijk op de stoffen antimoon, koper, PAK-10, chloorhoudende pesticiden en minerale olie.

Zand voor zandbed

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Korrelgrootteverdeling ¹ - % <63 μm ¹	% (m/m)	< 15
Korrelvorm ¹	-	Meestal rond, sommige korrels zijn meer plat (hangt af van het soort mineraal)
Textuur van de korrels ¹	-	Afgerond en glad
Chemische, fysische en mineralogische samenstelling ¹	% (m/m)	Belangrijkste deel bestaat uit kwarts maximaal 3% (humus).
Dichtheid - Korreldichtheid ¹ - Maximum proctordichtheid ¹ - Optimum vochtgehalte ¹ - Verdichtingsgraad ¹	kg/m ³ kg/m ³ % (m/m) %	2.650 1.600 – 1.800 10 - 15 93 – 101
Poriëngehalte ¹	% (V/V)	30 – 40
Vochtgehalte ¹	% (m/m)	2 – 7

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheid - Dynamische stijfheidmodulus ¹ - CBR-waarde	MPa %	150 - 200 15 – 20
Wrijvingseigenschappen - Inwendige wrijvingshoek	°	35 – 40
Verdichtingseigenschappen ¹	-	Afhankelijk van vochtgehalte
Verdichtbaarheid ¹	%	Maximaal circa 20

Grondmechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Waterdoorlatendheid ¹	mm/s	10^{-6} - 10^{-5}
Capillaire werking ¹	m	$\leq 0,30$
Wateropname ¹	%	Nihil
Vochtgevoeligheid ¹	-	Afhankelijk van het vochtgehalte.
Vorstgevoeligheid (vorstheffing) ¹	-	Niet vorstgevoelig.
Weerstand tegen erosie ¹	-	Gevoelig voor erosie.

Chemische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Samenstelling en uitloogbaarheid ¹	-	Kritische parameters zijn niet aan te geven, is afhankelijk van de oorsprong. Chloride is kritisch in Noordzeezand.

Bodemas

Aard materiaal

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Korrelgrootteverdeling		
- fractie <63 μm ¹⁻³	% (m/m)	7 - 13
- D_{60}/D_{10} ¹	-	12 – 25
- D_{50} ⁶	mm	0,5 - 2
- fractie > 2 mm ⁶	% (m/m)	22 – 39
Korrelvorm ¹	-	Varieert sterk: rond, hoekig, onregelmatig, scherp en langwerpig
Chemische, fysische en mineralogische samenstelling ¹	% (V/V)	SiO ₂ : 58 Al ₂ O ₃ : ca. 28 Fe ₂ O ₃ : ca. 7
Dichtheid		
- Korreldichtheid ³	kg/m ³	2370– 2560
- Verdicht vochtig gewicht ⁶	kg/m ³	1200
- Natuurlijke vochtige dichtheid ⁶	kg/m ³	1620 - 1820
- Maximum proctordichtheid ⁵	kg/m ³	950 – 1350
- Verdichtingsgraad ⁶	%	90 - 95
Gloeiverlies ¹	% (m/m)	0,1 - 20
Vochtgehalte		
- Natuurlijk vochtgehalte ⁶	% (m/m)	10 – 30
- Optimum vochtgehalte(Proctor) ⁶	% (m/m)	29 – 38

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
LA-waarde ¹	% (m/m)	27 - 50
Stijfheid		
- Dynamische stijfheidsmodulus ¹⁻²	MPa	200
- CBR-waarde ¹⁻²	%	17 – 38
Wrijvingseigenschappen		
- Inwendige wrijvingshoek ⁶	°	35 - 40
Samendrukbaarheid ¹	%	< 0,1

Grondmechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Waterdoorlatendheid ⁶	m/s	$3 \cdot 10^{-5}$ – $0,5 \cdot 10^{-5}$
Capillaire werking ⁶	m	0,20 – 0,25
Wateropname ¹	%	0,3 % na 150 dagen
Duurzaamheid	-	
- Vorstgevoeligheid ¹		Niet
Vorstgevoeligheid (vorstheffing) ¹	mm	1,2-1,5
Vorstbestendigheid ¹	-	Lichte mate van vorstbestendigheid
Weerstand tegen erosie ¹	-	Lage weerstand, bescherming noodzakelijk

Chemische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Samenstelling en uitloogbaarheid ¹	mg/kg d.s.	Kritisch kunnen zijn barium, molybdeen, seleen, vanadium en sulfaat bij toepassingshoogten van meer dan 2 m.

Flugsand

Aard materiaal

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Korrelgrootteverdeling (0/8) ¹		
- % <63 µm ¹	% (m/m)	≤ 15
- D ₆₀ /D ₁₀ ¹	-	> 5
Chemische, fysische en mineralogische samenstelling ¹	% (V/V)	Kwarts (8-25 %), Veldspaat (5 –20%) Mica (3-6%), Kaolinit (<1%), Vulkanisch glas (50-81%)
Dichtheid		
- Korreldichtheid	kg/m ³	2.340 – 2.630
- Losgestort		1.600 – 2.100
Klasse 1 ²	kg/m ³	< 850
Klasse 2 ²	kg/m ³	850 – 950
Klasse 3 ²	kg/m ³	950 – 1.050
- Dichtheid vochtig circa 90% verdicht		
Klasse 1 ²	kg/m ³	1100
Klasse 2 ²	kg/m ³	1250
Klasse 3 ²	kg/m ³	1400
- Natuurlijke vochtige dichtheid		
Klasse 1 ²	kg/m ³	1750
Klasse 2 ²	kg/m ³	1750 - 1900
Klasse 3 ²	kg/m ³	1900 – 2100
Holle ruimte		
- Verdicht in het werk ¹ (boven water)	% (V/V)	Circa 30
- Los gestort in het werk ¹ (onder water)	% (V/V)	30 – 35
- Verdicht in het werk ¹ (onder water)	% (V/V)	20 - 30
Natuurlijk watergehalte ¹	% (m/m)	20 – 50 (afhankelijk van de dichtheid)
Korrelvorm ¹	-	Onregelmatig
Textuur van de korrels ¹	-	Ruw

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Mechanisch gedrag, verbrijzelingfactor ¹	-	0,55 –0,60
Stijfheid		
- Dynamische elasticiteitsmodulus ¹	MPa	100
- CBR-waarde ¹	%	10 - 18
Wrijvingseigenschappen		
- Inwendige wrijvingshoek ¹	°	30 - 40

Grondmechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Waterdoorlatendheid ⁵	m/s	4*10 ⁻³
Capillaire werking ¹	m	0,20 –0,40
Wateropname ¹	%	0,3 % na 150 dagen
Vorstgevoeligheid (vorstheffing) ¹	mm	7
Vorstbestendigheid ³	5-10	Lichte mate van vorstbestendigheid NIET bij vorst verwerken
Weerstand tegen erosie		
- Externe erosie ³	m/s	0,2 (sleepsnelheid) erosiegevoelig
- Inwendige erosie ¹	-	Treedt niet op

Chemische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Chemische of fysische stabiliteit ¹	-	Bij normale verdichting nauwelijks verbrijzeling, beperkte verwring mogelijk bij pH < 4.
Samenstelling en uitloogbaarheid ⁴	mg/kg d.s.	Voor uitloging is fluoride een kritische parameter.

Bijlage 2 Eigenschappen geotextielen

Huesker Fortrac

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PVA, PET, Aramide
Karakteristieke openingsgrootte O_{50}	μm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	N/mm^2	
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	
Rekcapaciteit (breukrek)	%	

Huesker Stabilenka

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PET, Polyamide
Karakteristieke openingsgrootte O_{50}	μm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	Tot 1000
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Tensar SS Geogrid

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PP
Karakteristieke openingsgrootte O_{90}	μm	130
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	20 – 40
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	Tot 9-14 lengte Tot 15-23 breedte
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10-12 (breedte, lengte)

Tensar Basetex

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O_{90}	μm	130
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	Tot 200 – 1000
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Colbond Enkagrid MAX

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PP
Karakteristieke openingsgrootte O_{50}	μm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Biaxiaal		
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	Tot 25 – 47
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	Tot 17 – 28
Rekcapaciteit (breukrek)	%	6 – 14

Colbond Enkagrid PRO

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O_{50}	μm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Uniaxiaal		
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	48 - 200
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	37 - 121
Rekcapaciteit (breukrek)	%	4 - 9

Bidim Ten Cate Polyfelt Rock PEC

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Biaxiaal		
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O_{90}	μm	95
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	Tot 35-95
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	Tot 17-46
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Uniaxiaal		
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O_{90}	μm	95
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	-

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	-
Treksterkte	kN/m	Tot 35-230
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	-
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Bidim Ten Cate Miragrid GX

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Biaxiaal		
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O_{50}	μm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm^2	
Treksterkte	kN/m	Tot 20-80
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	Tot 7,5-27
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Materiaal eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Uniaxiaal		
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O_{50}	μm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m^2	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Stijfheidsmodulus	kN/mm ²	
Treksterkte	kN/m	Tot 35-400
Treksterkte bij 5% rek	kN/m	
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Bidim Ten Cate Polyfelt Geolon PET*Materiaal eigenschappen*

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Grondstoffen		PET
Karakteristieke openingsgrootte O ₅₀	µm	
Dichtheid Massa per eenheid van oppervlak	g/m ²	

Mechanische eigenschappen

Eigenschap	Eenheid	Waarde
Uniaxiaal		
Stijfheidsmodulus	kN/mm ²	
Treksterkte	kN/m	Tot 110-1100
Treksterkte bij 6% rek	kN/m	Tot 50-500
Rekcapaciteit (breukrek)	%	10

Bijlage 3 Grondverdringende paalsystemen

Betonnen palen

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Diameter	mm	180-350
Paallengte	m	2-40
Betonkwaliteit		B45-B65
Rekenwaarde draagvermogen paal	kN	150 tot 4.000

Houten palen

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Punt diameter	mm	90-160
Diameter verloop	Mm/m lengte	7,5
Paallengte	m	4-22
Rekenwaarde draagvermogen paal	kN	65 – 150

AuGeo palen

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Materiaal buis		PE
Diameter	mm	150
Wand Dikte	mm	14
Paallengte	m	2-15
Rekenwaarde draagvermogen paal	kN	150

Vibro betonnen palen

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Diameter heibuis	mm	273-608
Diameter voet	mm	300-740
Paallengte	m	2-15
Betonkwaliteit		B25-B35
Rekenwaarde draagvermogen paal	kN	Tot 3.500 à 5.000

Voton HSP palen

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Diameter	mm	170-273
Paallengte	m	2-17
Betonkwaliteit		B25-B35
Rekenwaarde draagvermogen paal	kN	Tot 250

Ringtrac @ palen

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Diameter	mm	40 - 1.000
Paallengte	m	Onbekend
Rekenwaarde draagvermogen paal	kN	Onbekend

Bijlage 4 Grondstabilisaties

MIP Bauer

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Bindmiddel		
Methode		
Paallengte	m	25 m
Diameter		1 m

COLMIX Soletanche Bachy

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Bindmiddel		
Methode		
Paallengte		
Diameter		

FMI Sidla & Schönberger

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Bindmiddel		Hydraulisch
Methode		Gestabiliseerde grondwand
Lengte	m	9
Diameter/breedte	m	0,5 – 1 m breed

Proceedings No-RecessDelft 22 en 23 mei 1997

Limix Hercules

Eigenschappen	Eenheid	Waarde
Bindmiddel		
Methode		
Paallengte		
Diameter		

Bijlage 5 Referentieprojecten nationaal

Project	Beschrijving	Bron
Busbaan Monnickendam	Dikte van het slappe lagen pakket 7 m (tot tussenzandlaag), prefab betonnen palen diameter 290 mm, paallengte 7 m, h.o.h. 2,5 m, paalkoppen 1x1 m, Tensar SS30 geotextiel en puinggranulaat, dikte aardebaan 1 m.	[CUR 2002-7, 2002]
A15 Hardinxveld Giessendam	Op de A15 zijn 3 verschillende paalmatrassystemen toegepast. Twee maken gebruik van betonnen funderingspalen. Een van deze twee heeft een matras van betongranulaat en geotextielen. Bij de tweede is gekozen voor een gewapende betonplaat. Het derde paalmatras maakt gebruik van AuGeo palen en een matras van betongranulaat en geogrids.	[www.kws.nl , 2007]
Bodegraven N11	CSV kolommen (geen matras)	
Kyotoweg Giessenburg	Slappe lagen pakket 9 - 9,5 m, aardebaan 1,15 m Hegemannmateriaal (bewerkte baggerspecie), houten palen h.o.h. 1,27 m, paalpunt diameter 120 mm.	[www.kyotoweg.nl , 2007]
Hoogmade, toerit A4	AuGeo palen	[www.augeo.nl , 2007]
TramPlusLijn IJsselmonde	Dikte slappe lagen pakket 15 m, AuGeo palen h.o.h. 1,15 m, geogrid Fortrac 200/50-30 MP, dikte matras 0,6 m zand, ophoging 3,5 m.	[www.augeo.nl , 2007]
Carnisselijn Barendrecht	Voton HSP palen h.o.h. 0,8 – 1,6 m, lengte 15,8 m, rond 180 en 273 mm, aardebaan dikte tot 8,5 m.	[www.voton-hsp.nl , 2007]
Betuweroute Wijngaarden	Geotextiel omhulde zandkolommen h.o.h. 1,8 m, diameter 0,8 m, dikte ophoging 4 m zand.	[CUR 199, 1999]
Proefterp Rijksweg A2 Abcoude	Slappe lagen pakket 5,3 m, gestabiliseerde grondkolommen h.o.h. 1,0 – 1,2 m, diameter 0,6 m	[CUR 199, 1999]
Botlek spoortunnel	Slappe lagen pakket 13 m, gestabiliseerde grondkolommen diameter 0,4 m (90% van de grond gestabiliseerd).	[CUR 199, 1999]
NO RECESS, Gravendeel HW2	Slappe lagen pakket 8 - 9 m dikte, gestabiliseerde grondkolommen h.o.h. 1,0 – 1,6 m, diameter 0,8 m.	[CUR 199, 1999]
NO RECESS, Gravendeel HW3	Gestabiliseerde grondwanden met gewapend matras	[CUR 199, 1999]
NO RECESS, Gravendeel HW4	Slappe lagen pakket 8 - 9 m dikte, Geotextiel ommantelde zandkolommen h.o.h. 2,0 – 2,4 m, diameter 0,6 m.	[CUR 199, 1999]
NO RECESS, Gravendeel HW5	Slappe lagen pakket 8 - 9 m dikte, AuGeo palen h.o.h. 0,8-1,0 m, diameter 160 mm, paalkop 300 mm ² . Ophoging 1-5 m, geogrid Fortrac 200/50 en 320/50.	[CUR 199, 1999]
Project	Beschrijving	Bron
Stansted Airport Rail Link, UK	Slappe lagen pakket 13 m dik, ophoging tot 5 m, betonnen palen lengte 20-35 m, h.o.h. palen 2,75 m, paalkop 1,4 m diameter, dikte paalkop 0,5 m.	[No Recess proceedings, 1997]
Second Severn Crossing Toll Plaza, UK	Slappe lagen pakket tot 6,5 m dik, ophoging tot 6 m, vibro betonnen palen met vergrote kop, lengte 6 m, h.o.h. 2,2 – 2,7 m, diameter 0,43 m, Tenser geotextiel SS2.	[No Recess proceedings, 1997]

Lincoln Rope walk to Carholme Road Link, UK	Slappe lagen pakket tot 6 m, ophoging tot 7 m, vibro betonnen palen h.o.h. 2m.	[No Recess proceedings, 1997]
Link to M4 Mortorway, Newport, S. Wales, UK	Slappe lagen pakket 11 m, 3,5 m ophoging, lengte palen tot 16 m, paalkop 75 cm, Tensar biaxiaal geogrid.	[No Recess proceedings, 1997]
Shell benzine station, Sofia, Bulgarije	Dikte slappe lagen pakket 6 m, betonnen palen 7 m lengte, 300x300 mm, h.o.h. 1,9 m, matras 1,4 m gravel, Fortrac 200/200 geogrid.	[No Recess proceedings, 1997]
Poject Crossing River Laje at Chapadoo, Ferronorte Rail, Brazil	Dikte slappe lagen pakket tot 6 m, aardebaan 7 à 8 m van locale cohesive grond, vibro palen h.o.h. 1,35 m, Fortrac 400/150, paalkoppen 0,5x0,5 m.	[Alexiew, 2004]
A 63 Selby Bypass, British Highway Authority, UK	Ophoging 12 m, betonnen palen h.o.h. 2,7 – 3,2 m, Fortrac uniaxiaal geogrid 600 en 400.	[Alexiew, 2004]
Railway Berlijn-Hamburg, ICE Section PRA 4, Deutsche Bahn	Mixed-in-place palen h.o.h. 1,5 m, Fortrac 400/30.	[Alexiew, 2004]
Railway Werder-Brandenburg, Deutsche Bahn	Slappe lagen pakket dikte 20 m, slanke stalen palen h.o.h. 1,9 m, paalkoppen 1,0x1,0 m, Fortrac 150/150, aardebaan dikte 2 m zand.	[Alexiew, 2004]
Rathenow ICE railway, Deutsche Bahn	Aardebaan dikte 2,3 m, Fortac 800/100, gecementeerde zand/steen kolommen diameter 0,5 m.	[Alexiew, 2004]
Harper Mühlenbach, Deutsche Bahn	Vibropalen h.o.h. 1,75 m, diameter 0,6 m, aardebaan 1,6 m dikte, Fortrac 150/30 lengte en Fortrac 400/50 breedte.	[Alexiew, 2004]
Paulinenaue, Deutsche Bahn	Gecementeerde gravel kolommen, biaxial geogrid Fortac 200/200, aardebaan dikte 2,2 m.	[Alexiew, 2004]
Hannover Berlin Bypass Stendal, ICE, Deutsche Bahn	Dikte slappe lagenpakket 6-8 m, gecementeerde gravel kolommen h.o.h. 1,7 m, diamter 0,6 m, Fortrac 200/30, dikte aardebaan 1,5 – 2,5 m.	[Alexiew, 2004]
M9, M876 Motorway Glasgow	Aardebaan naar kunstwerk, hoogte 9 m, palen op kleef en dragende palen.	[W.J. Hewlett, M.F. Randolph, 1988].
A525 Rhuddlan Bypass	Slappe lagen pakket 7-8 m, vibro palen h.o.h. 2,0 – 2,65 m, diameter palen 0,45 m, aardebaan 0,65 – 0,95 m dikte, paalkop diameter 0,75 m, Tensar geogrid SS1 en SS2.	[Jenner,]
US I-95 Virginia State Route Alexandria	Slappe lagen pakket 9,5 m, mixed-in-place kolommen h.o.h. 1,83 - 3,05 m, diameter 810 mm, dikte aardebaan 5,5 m.	[Contemporary Issues in foundation engineering,]
Shannon Estuary Ireland	Slappe lagen pakket 4-6 m, vibro palen h.o.h. 2,75 m, diameter 430 mm, verbrede paalkop diameter 900 mm, aardebaan dikte 1,85 m, Tensar SS20, SS30 en Basetex geogrid.	[International workshop on soft soils-theory and practice, 2003]