

JAARGANG 23 NUMMER 2 JUNI 2019

geotek kunst

ONAFHANKELIJK VAKBLAD
VOOR GEBRUIKERS VAN
GEOKUNSTSTOFFEN



**EXCURSIE NAAR HET WINDPARK WIERINGERMEER EN
INTRODUCTIE PUBLICATIE 'KRAANOPSTELPLAATSEN'**

**KLIMAATVERANDERING EN WEERSEXTREMEN: TOEPASSING VAN
GEOKUNSTSTOFFEN BIJ WATERKERINGEN EN KUSTVERDEDIGING**

GEOKUNST WORDT MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR:

Sub-Sponsors



Low & Bonar
Westervoortsedijk 73
6827 AV Arnhem
Tel. +31 (0) 85 744 1300
Fax +31 (0) 85 744 1310
info@lowandbonar.com
www.lowandbonar.com



NAUE GmbH & Co. KG
Gewerbestr. 2
32339 Espelkamp-Fiestel – Germany
Tel. +49 5743 41-0
Fax +49 5743 41-240
info@naue.com
www.naue.com

De collectieve leden van de NGO zijn:

CDR International BV, Rijssen
Cofra B.V., Amsterdam
Deltares, Delft
Enviro Quality Control BV, Maarsse
Fugro NL Land B.V., Leidschendam
Genap BV, 's Heerenberg
Geopex Products (Europe) BV,
Gouderak
GeoTec Solutions BV, Den Dungen.
GID Milieutechniek, Velddriel
Huesker Synthetic BV, Den Dungen
InfraDelft BV, Delft

Intercodam Infra BV, Zaandam
Juta Holland BV, Oldenmarkt
Kiwa NV, Rijswijk
Kwast Consult, Houten
Low & Bonar, Arnhem
Movares Nederland BV, Utrecht
Naue GmbH & Co. KG,
Espelkamp-Fiestel
Ooms Civiel BV, Avenhorn
Prosé Geotechniek BV,
Leeuwarden
Quality Services BV, Bennekom
Robusta BV, Genemuiden
S&P Clever Reinforcement
Company Benelux, Aalsmeer
T&F Handelsonderneming BV,
Oosteind
Ten Cate Geosynthetics
Netherlands BV, Nijverdal
Tensor International,
's-Hertogenbosch
Terre Armee BV, Waddinxveen
Vulkan-Europe BV, Gouda
Witteveen + Bos, Deventer



TenCate Geosynthetics
Netherlands BV
Europalaan 206
7559 SC HENGELO
service.nl@tencategeo.com
www.tencategeo.eu

Mede-ondersteuners



Enviro Quality Control B.V.
Daalseweg 1-B
3611 AA Oud-Zuilen
Tel. +31 (0)30 244 1404
mail@enviro-quality-control.nl
www.eqc.nu



Ooms Construction / Strukton Civiel
Scharwoude 9
1634 EA Scharwoude
Tel. +31 (0)229 54 77 00
info@ooms.nl
www.ooms.nl

YOUR KNOWLEDGE PARTNER IN GEOSYNTHETICS



Europalaan 206
7559 SC Hengelo
Nederland

+31 (0)546 544 811
geonederland@tencategeo.com
www.tencategeo.nl

twitter: @tencate_geo_nl



BESTE GEOKUNST LEZERS,

Ik begin dit voorwoord met een triest bericht, het overlijden van Gert den Hoedt, één van de ereleden van de NGO. Gert overleed 8 maart op de leeftijd van 83 jaar. Niet alleen nationaal maar ook internationaal was Gert zeer actief. Hij ontving hiervoor de eretitel van Honorary Member of the International Geosynthetics Society. Bij zijn afscheid waren diverse vertegenwoordigers vanuit de NGO aanwezig. Wij wensen zijn familie veel sterkte toe in deze moeilijke periode. Op verzoek van het NGO-bestuur heeft NGO-erelid Hans Dorr, een goede bekende van Gert, een In Memoriam geschreven, dat in deze GeoKunst is opgenomen. Ook zal er in IGS News

aandacht worden besteed aan het overlijden van Gert. Ten slotte is er door de president van IGS de condoleances overgebracht aan de familie en The Netherlands Chapter of the IGS. De brief is toegevoegd aan het In Memoriam.

Op 13 maart organiseerde de NGO, in samenwerking met de KIVI-afdeling Geotechniek, een introductie van de nieuwe STOWA publicatie "Kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines" en een excursie naar Windpark Wieringermeer, het grootste windmolenpark van Nederland. Het was een geslaagde dag met volop belangstelling op een, hoe toepasselijk, zeer winderige dag. Paul ter Horst doet verslag van de gegeven presentaties over de publicatie Kraanopstelplaatsen, de achtergronden van het project Windpark, het ontwerp van de werkwegen en kraanopstelplaatsen specifiek voor het Windpark en de bijkomende praktische aspecten met ten slotte enige foto's van het locatiebezoek.



In een artikel van Rijk Gerritsen, Adam Bezuijen en Kees Dorst in de vorige GeoKunst is ingegaan op de problematiek en de effecten van klimaatverandering en de potentiële rol die geokunststoffen kunnen spelen. Met dit vervolgartikel gaan de auteurs uitgebreid in op verschillende onderzoeken en ervaringen uit de praktijk met het toepassen van geokunststoffen bij dijkversterkingen, nieuwe waterkeringen en kustverdediging.

Veel leesplezier met deze GeoKunst,

Erik Kwast

Eindredacteur GeoKunst

COLOFON

GeoKunst wordt uitgegeven door de Nederlandse Geotextielorganisatie. Het is bedoeld voor beleidsmakers, opdrachtgevers, ontwerpers, aannemers en uitvoerders van werken in de grond-, weg- en waterbouw en de milieutechniek. GeoKunst verschijnt vier maal per jaar en wordt op aanvraag toegezonden.

*Eindredactie
Tekstredactie
Redactieraad*

Productie

**E. Kwast
J. van Deen
A. Bezuijen
P. van Duijnen
M. Duškov
S. van Eekelen
P. ter Horst
Uitgeverij Educom**

Een abonnement kan worden aangevraagd bij:

Nederlandse Geotextielorganisatie (NGO)
info@ngo.nl
www.ngo.nl

IN MEMORIAM IR. GERT DEN HOEDT

Op 8 maart 2019 overleed ir Gert den Hoedt op de leeftijd van 83 jaar. Op de kennisgeving van zijn overlijden stonden vier kenmerkende mededelingen:

Ik heb geprobeerd te leven als medemens

Erelid van de Nederlandse Geotextiel Organisatie

Honorary Member of the International Geosynthetics Society

Ridder in de orde van Oranje Nassau

Vanaf het allereerste begin was Gert intensief betrokken bij de NGO. In eerste instantie vond hij een aparte vereniging voor het werken met geotextiel niet nodig, later heeft hij op zijn eigen bijzondere wijze veel invloed gehad op de werkwijze en de vormgeving van de vereniging. Gert waakte voor twee dingen: geen commercie en een hoge kwaliteit van onderzoek en ontwikkeling. Die staan nog steeds in het vaandel van de organisatie.

Gert was een echte ouderwetse ingenieur, hij kon ons altijd vertellen wat de mogelijkheden waren. Hij was ook een onderzoeker pur sang, creatief en altijd vol energie, ondanks zijn lichamelijke beperkingen. Zijn opleiding als fysicus gaf hem tussen de civiel ingenieurs altijd een speciale status.

Het vierde internationale congres van de IGS in 1990 in Den Haag was voor hem een mijlpaal. Erkenning van de Nederlandse status op het vakgebied wist hij als secretary general als geen ander te realiseren. Het organisatiecomité werd een vriendenclub, waarbij Gert altijd prominent



aanwezig was op de ontmoetingen die we tweemaal per jaar hadden. Enthousiast vertellend over nieuw onderzoek, nieuwe mogelijkheden, maar ook teleurstellingen omdat geld voor zijn onderzoek niet altijd beschikbaar was.

Na zijn pensionering bleef hij intensief betrokken bij de NGO. Probeerde hij zijn kennis en vooral zijn enthousiasme en gedrevenheid over te brengen op de jongere generatie. Soms wekte dat wel irritatie, maar wie wilde luisteren had er profijt van. De openlijke erkenning van zijn verdienste met het erelidmaatschap van de NGO vond hij niet zo nodig. Hij was vooral dankbaar dat hij als pionier mede de weg mocht banen naar de brede toepassingen die geotextiel heden ten dage heeft.

Ook internationaal stond Gert zijn mannetje. Normering, internationale congressen. Hij sprak

net zo makkelijk voor 10 mensen als voor 500. Zijn actieve rol binnen het internationale gebeuren kostte hem veel moeite. De stroperigheid, de dubbele agenda's. Zijn eerlijke recht vooruit denken en handelen botste nog wel eens in het internationale veld. Toch werd zijn inzet, zijn vermogen tot analytisch denken en zijn werkkraft en nooit aflatend enthousiasme zeer op prijs gesteld. Zijn honorary membership van de International Geotextile Society is daarvan het bewijs.

Privé was hij een medemens. Hij praatte er altijd bescheiden over, maar altijd waren hij en zijn vrouw Alice bezig voor kerk en maatschappij. Ook daarin was hij enthousiast en was niets hem teveel. Altijd was er de ander. Altijd vroeg de minder bedeelde medemens zijn aandacht, zijn inzet. Lang bleef hij actief in de Parkstraat kerkgemeente in Arnhem. De waardering daarvoor werd tot uiting gebracht toen hij tot zijn grote verrassing benoemd werd tot Ridder in de Orde van Oranje Nassau.

Gert den Hoedt, een markant mens, een markant medemens. Als u op een weg rijdt, over een dijk loopt of bij de Gamma een rol worteldoek ziet, weet dan dat Gert den Hoedt aan de wieg heeft gestaan van die constructies, die producten. We hebben met veel respect afscheid van hem genomen op vrijdag 15 maart te Arnhem.

Hans Dorr (erelid NGO)

Een interview met Gert den Hoedt is te vinden in de GeoKunst van april 2008.



EXCURSIE NAAR HET WINDPARK WIERINGERMEER EN INTRODUCTIE PUBLICATIE 'KRAANOPSTELPLAATSEN'

Handreiking 'Kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines'

Na een welkomstwoord en introductie door NGO-bestuurslid Rijk Gerritsen, gaf Erik den Arend, rapporteur van de handreiking en geotechnisch adviseur bij BT Geoconsult, een presentatie over de handreiking.

Doorschaalvergroting is de hoogte van windturbines op land de afgelopen decennia fors toegenomen. Zo is de gemiddelde ashoogte toegenomen van ca. 20 m in 1982 naar ongeveer 100 m nu. En dus zijn de kranen, die nodig zijn voor de opbouw en het onderhoud van deze turbines, ook groter en zwaarder, met de daarbij behorende toegenomen grondbelastingen. Een kraanopstelplaats vraagt om een zorgvuldig, veilig en economisch verantwoord ontwerp. Hierbij zijn locatiespecifieke factoren van belang: het kraantype, de belastingen, de omgeving en de (veelal slappe) ondergrond. Maar ook het op een juiste wijze verwerken van de potentiële risico's gerelateerd aan de hijswerkzaamheden, vraagt aandacht. Omdat vaak pas

op een laat moment bekend wordt welke kraan/kraantype zal worden ingezet of welke belastingen daadwerkelijk zullen optreden is de ontwerprichtlijn ook bedoeld voor de inschatting van risico's op basis van een indicatief ontwerp met een voorlopige kraanbelasting. Vaak zal dit in een later stadium leiden tot een herontwerp.

Op basis van deze uitgangspunten is getracht een ontwerprichtlijn voor kraanopstelplaatsen (foto 1) bij de bouw van windturbines op te stellen. De publicatie heeft voornamelijk het karakter van een 'handreiking ten behoeve van het ontwerp'. De bedoeling is om hiermee in de komende jaren ervaring op te doen. Dat kan vervolgens leiden tot een aangepaste ontwerprichtlijn.

Het doel van de publicatie is het bundelen van kennis en ervaring over turbines, kranen, ondergrond, ontwerp, realisatie en beheer en onderhoud, waarmee uiteindelijk kan worden gekomen tot:

- Verhoogde veiligheid en betrouwbaarheid;
- Eenduidige specificaties en eisen;
- Handreikingen voor het ontwerp en de realisatie;

- Meer inzicht in en beheersing van (geotechnische) risico's door het uitvoeren van risicogestuurd grondonderzoek;
- Inzicht in raakvlakken tussen de belanghebbenden en meer draagvlak;
- Verhoogde efficiëntie en doorlooptijd;
- Kostenreductie.

Bij het toetsen van de funderingsstabiliteit spelen het draagvermogen (gedraineerd en ongedraineerd) van de ondergrond en de belastingen vanuit de kraan een belangrijke rol. De sterkte en de vervormingscapaciteit van de ondergrond bepalen het draagvermogen en de vervormingen van de kraanfundering. Een goed en gedetailleerd plan voor (gecombineerd) geotechnisch en geohydrologisch onderzoek leidt tot besparingen in kosten en doorlooptijd. Bij deze onderzoeken moet men in eerste instantie denken aan bestaande informatie uit bijvoorbeeld DinoLoket met uitvoering van aanvullende boringen en sonderingen. In het Definitief Ontwerp (DO) kan op de specifieke probleemlocaties een nadere verfijning met aanvullend grondonderzoek plaatsvinden. Naast de eigenschappen van de ondergrond zijn de specificaties van de turbineleverancier bepalend voor het ontwerp. Daarbij is



Foto 1 - Kraanopstelplaats.

Foto 2 - Superlift.



SAMENVATTING

Op 13 maart 2019. organiseerde de NGO, in samenwerking met de KIVI-afdeling Geotechniek, een introductie van de nieuwe STOWA publicatie "Kraanopstelplaatsen bij de bouw van windturbines" en een excursie naar het grootste windmolenpark van Nederland: het Windpark Wieringermeer. Het doel van de publicatie is het verhogen van de veiligheid en de betrouwbaarheid, in combinatie met kostenreductie in ontwerp en realisatie. De eerste presentatie behandelde de huidige kennis betreffende turbines, kranen,

ondergrond, ontwerp, realisatie en beheer. Daarna kwam het ontwerp van werkwegen, opslagterreinen en kraanopstelplaatsen met het toepassen van geogrids aan de orde, inclusief de voordelen van de per situatie gekozen oplossingen en geokunststoffen. De laatste presentatie gaf een praktische inkijk in de 3D-geocelstructuur oplossing van de kraanopstelplaatsen. De bijeenkomst werd afgesloten met een site visit.

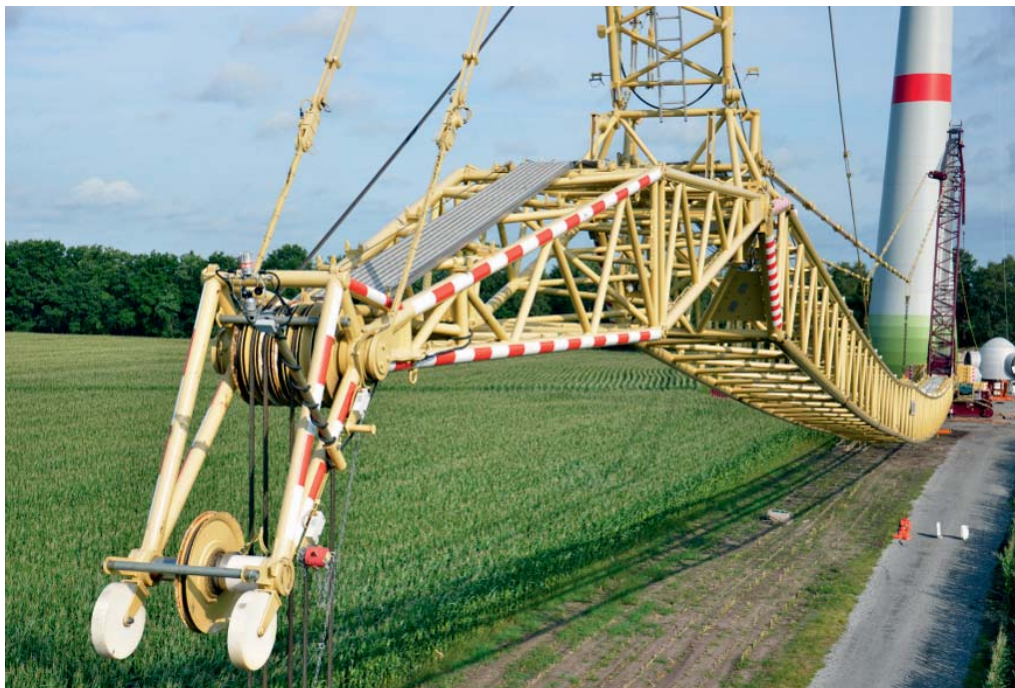


Foto 3 - Maatgevende belasting: het oprichten.

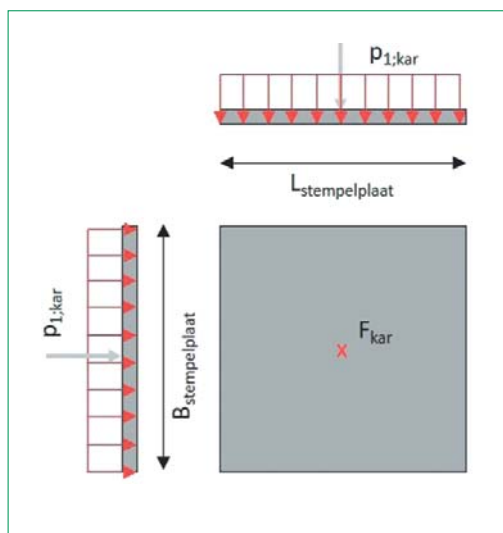
opstelplaatsen worden gerealiseerd voor de kranen die de uiteindelijke kraan opbouwen.

Maatgevende belastingen voor het ontwerp kunnen in verschillende fasen optreden. Vaak is de belasting tijdens het oprichten maatgevend (foto 3). Tijdens het oprichten treden namelijk zeer hoge piekbelastingen op. Geleidelijke belastingen, zoals bijvoorbeeld tijdens het hijsen van elementen, kunnen ook maatgevend zijn.

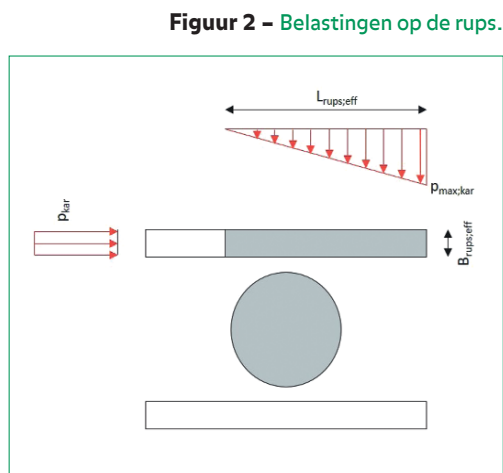
Omdat tijdens het ontwerp meestal nog niet duidelijk is welke specifieke kraan zal worden ingezet, worden belastingen aangenomen op basis van een representatieve kraan en (hijs)situatie. Voorafgaande aan de hijsoperatie dient wel getoetst te worden of de werkelijke belastingen, op basis van het hijsplan, vallen binnen de waarden zoals aangehouden in het ontwerp.

Bij een mobiele kraan, die op stempels wordt geplaatst, worden de kraanbelastingen in verschillende situaties berekend en daarbij de maatgevende situatie en kraan-oriëntatie bepaald. Daarna worden contactoppervlak en eventuele horizontale belastingen (die kunnen oplopen tot ca. 10% van de verticale belasting) meegenomen in het ontwerp van de verschillende belastingscombinaties (zie figuur 1). Het gaat daarbij zowel om statische als dynamische belastingen. Voor een rupskraan zijn daarnaast ook driehoek-belastingen aan de orde, die ontstaan door lokale belastingen van de rups. Zij worden omgezet naar gelijkmatig verdeelde belastingen en effectieve belastingoppervlakten (zie figuur 2).

In het ontwerp dient natuurlijk ook de omgeving te worden meegenomen. Hierbij moet men onder meer denken aan de grootte c.q. oppervlakte van de kraanopstelplaats, waterstanden, aanwezige taluds en eisen van zetting ten opzichte van de bestaande maaiveldhoogte.



Figuur 1 - Belastingen op de stempel.



Figuur 2 - Belastingen op de rups.

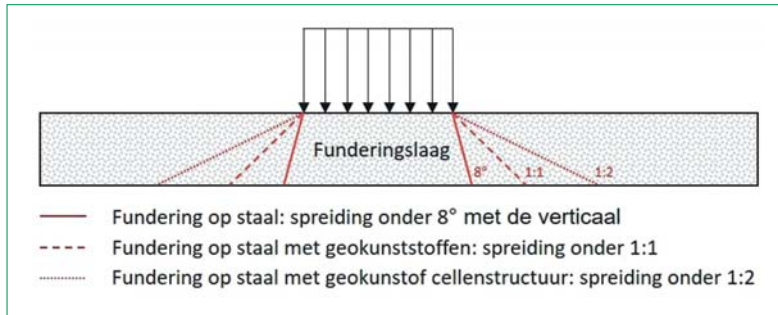
vooral het type kraan van belang. In Nederland worden vooral mobiele kranen gebruikt, op banden (met stempels) of op rupsen (meestal zonder stempels). Toren- en stempel-(pedestal)kranen komen minder voor. In het ontwerp dient rekening te worden gehouden met de verschillende fasen van de opbouw en het gebruik van de kraan. Zaken

als een superlift met een extra contragewicht (foto 2) tijdens oprichten en hijsen of oprichtpoten zijn daarvan voorbeelden.

Een kraanopstelplaats is zelf vaak maar 25 x 25 m2 (zonder superlift), maar voor de opbouw van de (rups)kraan moeten ook lay-down area's en kraan-

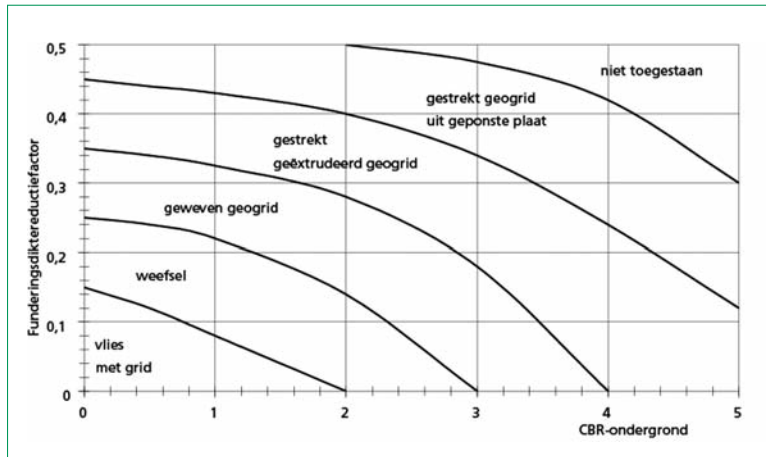
Het ontwerp leidt tot een oplossing voor de specifieke kraanopstelplaats. In beschouwing genomen oplossingen zijn:

- Fundering op staal, vaak een grondverbetering eventueel met soilmix, dus zonder permanente constructies in de ondergrond maar met risico op (verschil)zettingen;
- Fundering op staal met geokunststoffen, beperking verschilzettingen door betere belasting-



Figuur 3 – Belasting spreiding.

Figuur 4 – Fundering op staal met geokunststoffen, 3D-cellenstructuur.



spreiding, met één meerder lagen vormvaste geogrids of met een driedimensionale cellenstructuur, die is opgebouwd met vormvaste geogrids en een granulaire vulling (zie foto 4, cover van deze Geokunst);

- Paalmatras, een grondlichaam versterkt met hoge sterkte geokunststoffen op een paalfundering als zettingsvrije oplossing, waarbij mogelijk interactie optreedt met de palen van de kraanopstelplaats en turbine;
- Betonnen plaat op palen, niet flexibel maar een robuuste zettingsvrije oplossing van belang voor een beperkt aantal typen kranen.

De oplossingen kunnen in een trade-off matrix worden afgewogen, waarbij aspecten als ontwerp, realisatie, gebruik, bouwkosten en milieu worden meegenomen. Daaruit blijkt dat de oplossingen met palen robuuster maar ook duurder zijn. Andere oplossingen, met name de toepassing met geokunststoffen, geven minder overlast voor omgeving en milieu en hebben minder invloed op de omgeving van de kraanopstelplaats.

Voor de verschillende flexibele oplossingen zonder palen moeten belastingsspreidingen worden aangenomen (figuur 3). Bij een fundering op staal wordt de toets op pons onder een spreidingshoek van 8°, conform NEN 9997-1, uitgevoerd. Bij het toepassen van geokunststoffen (ten behoeve van de funderingstabilisatie) kan een spreiding van 1:1 worden aangehouden. Een nog hogere spreiding van 1:2 kan worden bereikt met de 3D-cellen-

structuur van vormvaste geogrids.

Ten slotte worden in de handreiking aspecten en aandachtspunten ten aanzien van de realisatie (bijvoorbeeld verdichten, vlakheid en dikte grondverbetering), het beheer en het onderhoud van een kraanopstelplaats behandeld. Hieronder valt ook de monitoring ten behoeve van het volgen van

risicovolle processen (vervormingen, trillingen en geluid) tijdens de aanleg van de opstelplaats of de hijsoperatie.

Elders in deze uitgave van Geotechniek staat een uitgebreid artikel van Erik den Arend en Mark-Peter Rooduijn over de handreiking.



Foto 4



Foto 5



Foto 6 – Leo Kuljanski, Geologics.



Foto 7 – Aanleg werkwegen met triaxiaal geogrid en non-woven.



Foto 8 – Aanleg werkwegen met triaxiaal geogrid en non-woven.

Het project Windpark Wieringermeer

Namens de opdrachtgever Nuon/Vattenfall gaf Alexander Klaassen, Site manager Windpark Wieringermeer, uitleg en inzicht in het project. Het windpark in de Wieringermeerpolder is het grootste windmolenpark op land in Nederland. Er komen 99 molens die uiteindelijk per jaar 1,3 miljard kWh produceren en daarmee ca. 370.000 huishoudens voorzien van groene stroom. Door opschaling van de bestaande turbines kan er straks meer energie uit dit windrijke gebied worden gehaald, en met de nieuwe lijnopstellingen verbetert de uitstraling van het landschap. In opdracht van Nuon/Vattenfall voert de aannemerscombinatie Nordex Group, BAM Infra Nederland en Van Gelder Groep het werk uit. Klaassen behandelde chronologisch de uitvoering van het project, beginnend bij de aanleg van de fundatie en het asfalteren van de park-wegen tot aan fundatie van de kraanopstelplaatsen. Verder gaf hij uitleg over de aanleg van de kabels met hun hoge warmteontwikkeling, het heien van de vibropalen (foto 5) onder de betonnen fundatie van de turbines en het zeer uitgebreide vlechtwerk van de wapening.

Ontwerp van werkwegen, kraanopstelplaatsen en opslagerreinen

Leo Kuljanski, Senior Design Engineer bij Geologics (foto 6) en lid van het initiële tendersteam en het ontwerpteam van de civieltechnische aannemer Van Gelder gaf vervolgens uitleg over het ontwerp van de infrastructuur op het Windpark Wieringermeer.

Voor de werkwegen zijn uitgangspunten bepaald voor de geometrie (aantal turbines aan een streng), verkeersbelasting in zowel aanleg- als gebruiksfase en de draagkracht van de ondergrond. Een streng bestaat uit een aantal turbines die ca. 400 m uit elkaar worden gebouwd. De geasfalteerde werkweg is ontworpen op de opgegeven verkeersbelasting (aantal specifieke voertuigen) per turbine. Daarbij moest ook rekening worden gehouden met de aanleg van de werkwegen zelf tot en met het asfalteren. De funderingsdikte is iteratief bepaald op basis van deze belastingen. Omdat bij meer funderingsdikte ook meer werkverkeer nodig is voor de aanleg maar de uiteindelijke verkeersbelasting niet toeneemt, is het van belang de werkweg-funderingsdikte

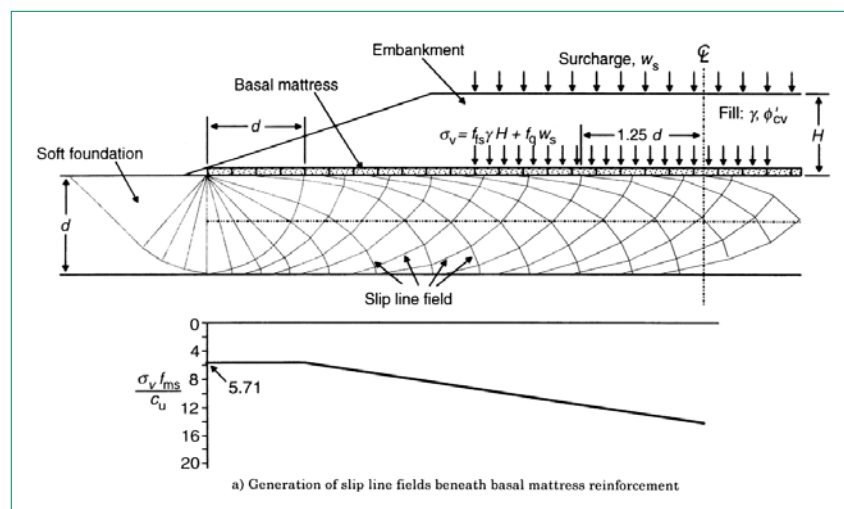
te optimaliseren. Daarmee worden kosten voor ontgraving en aanleg verminderd maar ook gewicht, dus zettingen, verminderd.

De funderingsdikte is afhankelijk van de ondergrond. Een slappere ondergrond, in dit geval klei, vraagt meer belastingspreiding, dus meer funderingsdikte die weer aanleiding geeft tot meer zettingen door meer gewicht. Tijdens het ontwerp is gekeken naar de verschillende ondergronden waarbij uiteindelijk drie kenmerkende situaties zijn onderscheiden met verschillende waarden voor de draagkracht van de ondergrond. Als uitgangswaarden zijn E_4 (resiliënte moduli) waarden van 20 MPa (organische klei), 30 MPa (siltige klei) en 50 MPa (siltig zand) aangehouden.

Door het beschouwen van de verschillende delen van de werkweg tussen de turbines, met variatie in draagkracht van de ondergrond en optredende verkeersbelastingen, zijn de werkwegen geoptimaliseerd voor de totale gebruiksduur van de verhardingsconstructie.

Met behulp van de rekenmethode uit de CROW 157 en 189, zijn reeds tijdens de tenderfase de funderingsdikten berekend met de funderingsreductiefactoren voor gestrekte geogrids uit geponste plaat (zie figuur 4). De funderingsreductie ligt hier op ca. 50%, mede door de toepassing van triaxiale geogrids. Om de omliggende klei niet in het menggranulaat te laten migreren, en daarmee de draagkracht-eigenschappen negatief te beïnvloeden, is een non-woven als scheiding om de funderingslaag aangebracht (foto 7).

Bij het ontwerp van de kraanopstelplaatsen is rekening gehouden met de hoogte van de opstelplaats boven het bestaande maaiveld, de afstand van de kraan tot de rand van de opstelplaats en de aanwezigheid van sloten of ontgravingen. Er is gekeken naar een stempelkraan-oplossing met een opgegeven contactdruk, de veiligheids-



Figuur 5 – Aanleg werkwegen met triaxiaal geogrid en non-woven.

factoren conform NEN 9997-1 voor een ondiepe fundering op staal met een risiconiveau RC1 en een hoge grondwaterstand. Met deze gegevens zijn de ongedraineerde en gedraineerde stabiliteit gecontroleerd evenals squeezeing. Daarnaast is natuurlijk ook een rupskraan beschouwd door de contactdruk (kN/m²) te berekenen over een specifiek oppervlak van de rups en de daaronderliggende dragline schotten. Hierbij is gebruik gemaakt van de Meyerhof-distributie om de krachten driehoek om te zetten in gelijkmatig verdeelde belastingen en effectieve belastingoppervlakten.

Ten slotte zijn de vier mogelijke oplossingen voor de kraanopstelplaatsen met behulp van een trade-off matrix afgewogen. Uitkomst van deze analyse was dat "Fundering op staal met geokunststoffen" het geschiktst was en specifiek de oplossing met de driedimensionale cellenstructuur samengesteld uit vormvaste geogrids en een granulaire vulling (foto 8). Vanwege de zeer gunstige belasting-spreiding van 1V:2H kunnen de optredende krachten van de kraan worden opgevangen binnen de gestelde vervormingseisen.

Voor het ontwerpen en controleren van de geocell-constructie is de Britse Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills (BS8006-1:2016) gebruikt. Deze wijdt een aparte paragraaf aan de "geocell mattress" als oplossing voor funderen van aardebanen op slappe of variërende ondergronden (zie figuur 5). De geocell-mattress is een honingraatstructuur bestaande uit vast-gekoppelde cellen, gevuld met granulair materiaal. Mede door de goede adhesie (afschuifweerstand) aan de slappe ondergrond, de relatieve stijfheid met verbeterde belasting-spreiding en de verbeterde drainage is ervoor gekozen op de klei rond Wieringerwerf alle kraanopstelplaatsen te bouwen met geokunststoffen.

Het TensarTech® Stratum™ systeem

De laatste presentatie was van Paul ter Horst, Area Manager Benelux bij Tensar International, met een praktische inzicht op de gekozen oplossing van een driedimensionaal, stijf funderingssysteem dat is samengesteld uit vormvaste geogrids met een granulaire vulling. Voor de opbouw van de cellenstructuur wordt eerst een tri-axiale (TriAx) geogrid als basis op de ondergrond gelegd. Verticaal hierop worden dwars en diagonaal uni-axiaal gestrekte geogrids van hoge-dichtheid poly-ethyleen (HDPE) geplaatst. Met behulp van een steekstaaf-verbinding (bodkin) wordt een driehoekige open celstructuur gemaakt. De afzonderlijke cellen worden daarna gevuld met granulair materiaal (bijvoorbeeld grof menggranulaat) en verdicht. De optredende belastingen worden door de cellenstructuur gespreid aan de ondergrond afgedragen en glijcirkels worden dieper de ondergrond in geleid zodat men een beter draagvermogen en hogere veiligheid tegen stabiliteitsverlies



Foto 9

Foto10



Foto 11



verkrijgt (zie figuur 5). Na een snelle installatie op de bouwplaats fungeert de constructie als een stijf platform dat gecontroleerd en gelijkmatige zetting zal vertonen, maar ook direct een veilige toegang is tot de bouwplaats.

Als laatste maar daarom niet minder belangrijk: de kraanopstelplaatsen met het beschreven systeem zijn conform van de wensen van opdrachtgever en aannemer kraanonafhankelijk.

Een kijkje buiten

Na de theorie was het tijd om een en ander in de praktijk te bekijken en met de "poten in de klei te gaan staan". Helaas was er, mede door de harde wind, op het windpark weinig activiteit met

het installeren van funderingen op staal met geokunststoffen. Ook was de planning veranderd sinds het moment dat de excursie werd gepland in verband met toestemming van omwonenden en agrarische ondernemers voor de bouwwerkzaamheden (foto 9 en 10).

Gelukkig waren via Nuon/Vattenfall en aannemer Van Gelder ook dronebeelden beschikbaar zodat de aanleg van een werkweg en een kraanopstelplaats in aanbouw kon worden getoond (foto11).

Bronnen van foto's en figuren:

STOWA-publicatie 02-2019: Foto 1-2-3, Figuur 1-2-3 / Nuon/Van Gelder: Foto 4-5-7-11-12 / Tensar, Foto 8 / NGO: Foto 6-9 -10 / CROW 157, figuur 4 / BS8006, figuur 5. ●



KLIMAATVERANDERING EN WEERSEXTREMEN: TOEPASSING VAN GEOKUNSTSTOFFEN BIJ WATERKERINGEN EN KUSTVERDEDIGING (DEEL 2)

Inleiding

Nederland leeft met water. Het veilig en leefbaar houden van Nederland zal de komende decennia een grote opgave zijn, waarbij er een enorme versterkingsoperatie van waterkeringen moet plaatsvinden. Voor het verkleinen van de impact hiervan lopen meerdere innovatie-trajecten. In verschillende POV-onderzoeksprogramma's staan geokunststoffen op de kaart, maar de toepassing is tot dusverre beperkt terwijl deze wel grote potenties heeft. De mogelijke toepassingen van geokunststoffen bij dijkversterkingen zijn al beschreven in CUR-publicatie 186 (1996). De uitdagingen bij dijkversterkingen, nieuwe waterkeringen en kustverdediging worden steeds groter. Dit artikel gaat in op de kosten van overstromingen, het Nederlandse Hoogwaterbeschermingsprogramma en de mogelijkheden voor het gebruik van geokunststoffen in waterkeringen en kustverdediging.

Kosten van overstromingen

In het eerste artikel is uitgebreid ingegaan op de problematiek en de effecten van klimaatverandering. Zeespiegelstijging en extreme weersomstandigheden zullen significante effecten hebben op waterkeringen en kustverdediging wereldwijd. De mogelijke gevolgen voor de veiligheid, leefbaarheid en houdbaarheid van woon-,

werk- en landbouwlocaties zijn groot.

De wereldwijde schadekosten als gevolg van overstromingen zullen door de zeespiegelstijging naar verwachting enorm oplopen. Uit een recente studie van Jevrejeva e.a. (2018) blijkt dat bij 0.86 cm zeespiegelstijging (RCP8.5 scenario, mediaanwaarde) en zonder het nemen van maatregelen voor waterkeringen en kustverdedigingen, de wereldwijd geschatte schadekosten in het jaar 2100 ten gevolge van overstromingen bijna 15000 miljard€/jaar bedragen. De oplopende kosten tussen 2040 en 2100 als gevolg van overstromingen zijn voor verschillende scenario's weergegeven in figuur 1. Indien wel maatregelen worden genomen met betere bescherming van de kusten, zouden deze jaarlijkse schadekosten met circa een factor 10 kunnen worden verlaagd, maar ook een dergelijk bedrag blijft nog steeds van enorme omvang.

Om overstromingen te voorkomen besteedt Nederland sinds jaar en dag veel aandacht en geld aan de waterkeringen. Momenteel is het versterken van de waterkeringen geregeld in het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Het doel van dit programma is dat in 2050 alle primaire waterkeringen in Nederland op een sobere en doelmatige wijze zijn versterkt, zodat ze voldoen aan de wettelijke normen die zijn vastgelegd in de Waterwet. Hiermee wordt de waterveiligheid van

Nederland gewaarborgd. De opgave beslaat 1100 km aan dijken die versterkt moeten worden, omdat deze zijn afgekeurd in de (verlengde) derde toetsing van de primaire waterkeringen. Als gevolg van de nieuwe normen die per 1 januari 2017 in werking zijn getreden, komen hier naar verwachting nog enkele honderden kilometers bij. Dit betekent dat tot 2050 ongeveer de helft van alle primaire waterkeringen verbeterd moet worden. Ook zal een groot aantal kunstwerken moeten worden versterkt. Om dit doel te kunnen realiseren zijn de volgende ambities geformuleerd:

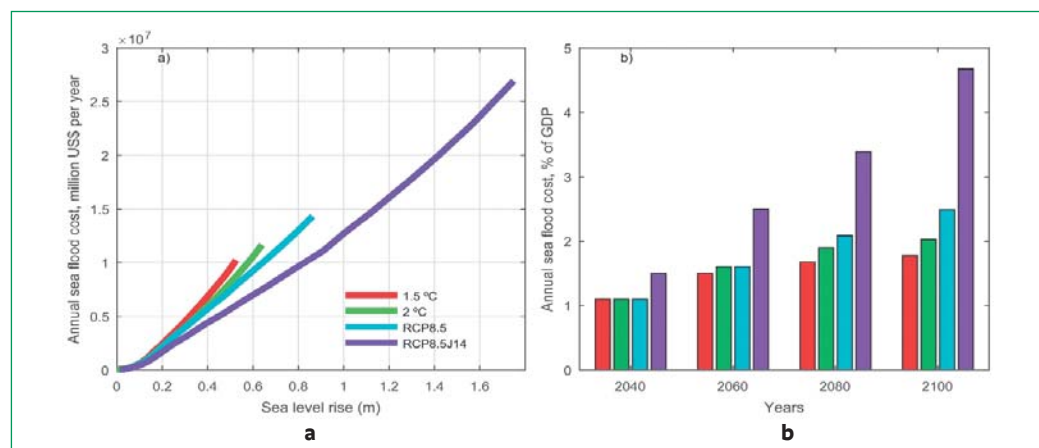
- Hoger productieniveau. Om in 2050 alle primaire keringen aan de norm te laten voldoen zal vanaf 2020 jaarlijks gemiddeld 50 kilometer primaire keringen versterkt moeten worden.
- Lagere kosten. Via slimmere en goedkopere oplossingen dienen de gemiddelde kosten van versterkingsmaatregelen beperkt te worden tot gemiddeld 7 miljoen €/km.

Geokunststoffen bij dijken en kustverdedigingen

Bij het realiseren van de ambities van het HWBP kunnen geokunststoffen een grote rol spelen. Het toepassen van geokunststoffen kan resulteren in een substantieel betere, snellere en goedkopere aanleg van nieuwe waterkeringen, dijkversterkingen of kustverdediging. Tabel 1 geeft een overzicht van mogelijke toepassingen. Hierbij is een onderscheid gemaakt naar de hoeveelheid ervaring met de toepassing, zowel in Nederland als in het buitenland. Op sommige onderdelen is men met de toepassingen in het buitenland verder gevorderd dan in Nederland. Op andere onderdelen is Nederland verder vooruit, bijvoorbeeld met het Verticaal Zanddicht Geotextiel. Hierdoor zijn er over en weer goede mogelijkheden om te leren van elkaars ervaringen.

Erosiebescherming met structuurmatten

Als gevolg van snelstromend water, golven of hevige regen bestaat er risico op erosie. Waterkeringen kunnen op een natuurlijke manier worden beschermd tegen erosie door een goede (gras-)vegetatie op een klei-onderlaag. Hiervoor moet er een diepe en goede beworteling zijn. Het



Figuur 1 – a) Wereldwijd geschatte jaarlijkse kosten overstromingen zonder additionele aanpassingen voor 1.5 °C (rode kleur), 2.0 °C (groene kleur), RCP8.5 (scenario 50% percentiel, licht blauw) en RCP8.5_J14 scenario 95% percentiel, paars). b) Kosten als fractie van het bruto nationaal product (GDP, gross domestic product). Referentie: Jevrejeva e.a., 2018

SAMENVATTING

Door klimaatverandering is het veilig en leefbaar houden van Nederland een grote uitdaging voor de komende decennia. Zeespiegelstijging en frequentere uitzonderlijke weersomstandigheden zullen significante effecten hebben op onze waterkeringen. De komende tijd zal een enorme en kostbare versterkingsoperatie van de waterkeringen moeten plaatsvinden. Met het gebruik van geokunststoffen kan deze enorme versterkingsoperatie substantieel beter, sneller en goedkoper.

Dit artikel is het tweede in een serie van twee. In het eerste artikel is ingegaan op de problematiek en de effecten van klimaatverandering en de potentiële rol die geokunststoffen kunnen spelen.

Dit vervolgartikel gaat uitgebreid in op verschillende onderzoeken en ervaringen uit de praktijk met het toepassen van geokunststoffen bij dijkversterkingen, waterkeringen en kustverdediging.

ontwikkelen daarvan duurt meerdere groeiseizoenen, over het algemeen minimaal twee. Bij aanleg van nieuwe taluds wordt in het algemeen in Nederland geaccepteerd dat de grasmat de eerste maanden of zelfs jaren nog onvoldoende sterkte heeft, vertrouwend op de erosiebestendigheid van de onderliggende kleilaag. Aanleg of oplevering in het najaar betekent dat de groeitijd voor vegetatie te kort is voor het eerstvolgende hoogwaterseizoen (15 oktober – 15 maart). In het buitenland ligt de eis voor snelle bescherming met grastaluds bij waterkeringen veelal hoger, zoals bijvoorbeeld in Amerika, waar in die gevallen veelal verankerde structuurmatten worden toegepast.

Voor het vasthouden van de bovenste grondlaag op taluds bij waterkeringen kan een driedimensionale geokunststof structuurmat worden toegepast in de toplaag (zie figuur 2). Deze mat biedt bescherming van de kale grond of prille vegetatie, waardoor extra weerstand wordt verkregen tegen erosie. Dit voorkomt dat jonge begroeiing of net aangebracht graszaad wegspoelt en bevordert zo een homogene ontkieming. Het effect hiervan is de ontwikkeling van een kwalitatief betere grasvegetatie. Hiernaast biedt de structuurmat een blijvende versteviging van de toplaag in de wortelzone. Dit kan nodig zijn waar hogere belastingen worden verwacht, bijvoorbeeld door golfwerking of overslag. Tevens biedt de mat een aanvullende versterking bij een schrale onder-

grond, het (lokaal) niet aanslaan van de vegetatie, of waar lokaal beschadigingen kunnen optreden (schapenpadjes, fietssporen langs trappen, etc.). Bij uitgevoerde overslag- en oploopproeven op grastaluds van waterkeringen op Tholen is waargenomen dat versneld falen kan optreden bij lokale beschadigingen in de grasvegetatie (Infram, 2011). Voor het vaststellen van de erosiebestendigheid van erosiematten zijn uitgebreide proeven gedaan met verschillende typen matten, zonder en

met grasvegetatie, en differentiatie in het type gras (figuur 3).

Indien een snelle vegetatieontwikkeling gewenst is, kan ervoor worden gekozen om gras niet te zaaien, maar om hydro-mulching toe te passen. Hierbij wordt een mengsel van graszaad, voedingsstoffen en bodemdeeltjes hydraulisch in een 3D-structuurmat gespoten. Deze techniek wordt veel toegepast in het buitenland (bv. Amerika),

Tabel 1. Toepassing en ervaring geokunststoffen bij dijkversterkingen, nieuwe waterkeringen en kustverdediging in Nederland en het buitenland

Omschrijving	Nederland	Buitenland
Erosiebescherming met 3D-structuurmatten	Nieuw	Bestaand
Steile taluds en (keer)wanden in gewapende grond met geogrids	Incidenteel	Incidenteel
Stabiliteit ophogingen op slappe ondergrond met hoge sterkte grondwapening	Incidenteel	Bestaand
Filterconstructies onder stort- of zetsteen	Bestaand	Bestaand
Kustverdediging met behulp van met zand gevulde geotextiele zakken, tubes of containers	Incidenteel	Bestaand
Ontwatering van baggerspecie met geotextiele tubes ingebouwd in de waterkering	Incidenteel	Bestaand
Teen- en taluddrainage, beheersing waterstanden met 3D-drainagematten	Incidenteel	Incidenteel
Consolidatie slappe bodemlagen onder de waterkering met verticale drains	Bestaand	Bestaand
Waterremmende lagen met bentonietmatten of folie	Nieuw	Bestaand
Anti-piping constructies met Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG) of bentonietmatten	Nieuw	Nieuw

Toelichting: bij de toepassingen is aangegeven of deze volledig nieuw zijn (voor zover bekend niet eerder toegepast), incidenteel (een of enkele keren succesvol toegepast) of bestaande techniek (veel ervaring).



Figuur 2 – Erosiebescherming waterkering met beginnende vegetatie op een 3D-open of voorgevulde structuurmat met bitumen gebonden steenslag (EnkaMat A20). Referentie: Low & Bonar



Figuur 3 – Uitvoering stroomproeven op grasvegetatie versterkt met een 3D open structuurmat (EnkaMat 7020, flow channel testing Colorado State University US). Referentie: Low & Bonar



Figuur 4 – Aanleg erosiemat EnkaMat A20 proefveld overgangsconstructies binnentalud Waddenzeedijk augustus 2016.

Referentie: Deltares



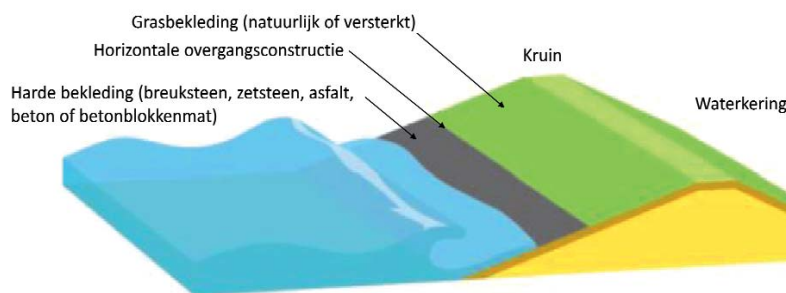
Figuur 6 – Uitvoering van valproeven op composiet geotextiel (woven/non-woven).

Referentie: Adam Bezuijen, Universiteit Gent

maar heeft nog beperkte toepassingen in Nederland. Bij hydro-seeding of -mulching dient er aandacht te zijn voor de kwaliteit van de zaden, voedingsstoffen en structuurmat aangezien alle onderdelen van grote invloed kunnen zijn op het verkrijgen van een goed begroeid talud.

Onderzoek overgangsconstructies

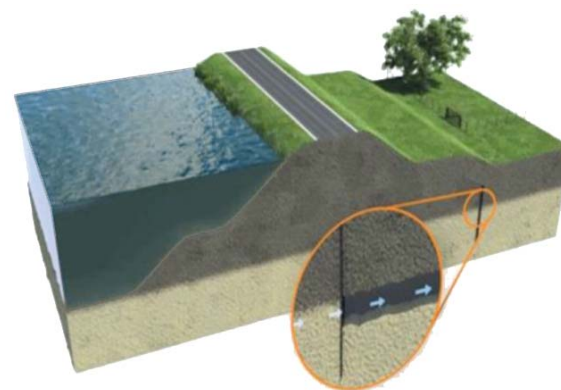
Afhankelijk van de omvang en zone van de hydraulische belasting worden op primaire waterkeringen verschillende soorten erosiebeschermingsmaatregelen toegepast. Zware bescherming is aangebracht in de golfbelastingzone: breuksteen (al dan niet gepenetreerd), zetsteen, asfalt, beton of betonblokkenmatten. Op de hoger gelegen delen of op het binnentalud is veelal een grasbekleding toereikend. Potentieel zwakke plekken zijn de overgangen van harde naar zachte constructies (horizontaal of verticaal) of knikken in het talud. De belastingen zijn hier veelal groter en de sterkte minder. Om deze reden is vanuit Rijkswaterstaat in samenwerking met verschillende marktpartijen (onder andere Deltares en Infram) onderzoek gestart naar potentiële versterkingsmaatregelen.



Figuur 5 – Horizontale overgangsconstructie bij primaire waterkeringen met overgang van harde constructie (bijvoorbeeld asfalt) naar zachte constructie (gras). Referentie: Van Steeg, november 2016, Deltares

Figuur 7 – Toepassing verticaal zanddicht geotextiel (VZG) ter voorkoming van piping onder een waterkering.

Referentie: Waterschap Rivierenland



Ten behoeve van dit onderzoek zijn in augustus en september 2016 een twintigtal testvelden met verschillende overgangsconstructies gebouwd op het binnentalud van de Waddenzeedijk nabij Sint Jacobiparochie (Van Steeg, 2016). De overgangen zijn gebouwd als horizontale overgangsconstructie (figuur 4 en 5). De testvelden bestaan uit een groot aantal versterkingsmogelijkheden, waaronder geokunststoffen met een viertal verschillende erosiematten en geogrids, injectie van vezels, kunststof raster, betonblokken, grasbetontegels, injectie van wortelbevorderende enzymen en niet-versterkte testvelden als referentie. De ondergrond is van alle testvelden hetzelfde. De verschillende testvelden zijn na aanleg ingezaaid met graszaad en het voornemen is deze na meerdere groeiseizoenen ter plaatse te beproeven met de golfoploopsimulator en/of in de Deltagoot in Delft. Dit gaat naar verwachting plaatsvinden in het najaar van 2019.

Geotextielen onder breuksteen

Geotextielen worden sinds de jaren '70 veel gebruikt als filter onder breuksteen. Voordien werden zinkstukken volledig opgebouwd uit rijnshout, riet en wiepen. De onderlaag van het zinkstuk met filterfunctie werd later vervangen door een geweven geotextiel (zogenaamd lussendoek). Een bewerkelijk en kostbaarder meerlaags granulaair filter wordt hiermee vermeden. Een probleem dat zich soms voordeed bij deze toepassing was dat de stenen die op het geotextiel werden aangebracht het geotextiel beschadigden (CUR, 2004). De richtlijn Geotextielen onder steenbekledingen (SBR CUR net, 2017) stelt

daarom voor om voor dit soort constructies vliezen (non-wovens) met grote rekeigenschappen te gebruiken die door de grotere rek bij breuk beter kunnen vervormen onder de vallende stenen. In deze richtlijn staat hoe de toelaatbare impact berekend kan worden. De rekenmethode wordt momenteel getoetst met behulp van laboratoriumonderzoek (Izadi e.a., 2018, Bezuijen & Izadi, 2018) en in veldproeven. Hierbij wordt ook onderzoek uitgevoerd naar de prestaties van geocomposieten (woven/non-woven, zie figuur 6).

Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG)

Piping is een belangrijk faalmechanisme bij dijken. Bij dit mechanisme stroomt water via een zandlaag onder de dijk door op het grensvlak met klei. Afhankelijk van het stijghoogteverschil en de kwelweglengte (tussen in- en uittredepunt) kan hierbij een kritisch verhang ontstaan. Dit resulteert in zandmeevoerende wellen bij de teen van de dijk. Als dit proces doorgaat, zal tussen het buitenwater en het achterland een doorgaande verbinding ontstaan (een zogenaamde pipe) die de waterkering ondermijnt. Het is dan ook zeer belangrijk om dit proces tijdig te stoppen. Een traditionele oplossing is het aanleggen van lange pipingbermen in de binnenteen van de waterkering om het verhang te reduceren. Een recente ontwikkeling is het zogenaamde Verticale Zanddicht Geotextiel (VZG). Dit geotextiel wordt verticaal in de grond gebracht in de binnenteen van de dijk. Water dat onder de dijk doorstroomt wordt hierdoor niet gehinderd, maar het geotextiel voorkomt dat zandkorrels onder de dijk worden uitgespoeld (zie figuur 7). Een doorgaand erosieproces met het

verder groeien van de pijp onder de waterkering wordt hiermee gestopt. Sinds 2011 is het VZG in ontwikkeling en zijn laboratoriumproeven uitgevoerd. Bij de IJkdijkproef in Groningen is de effectiviteit van het VZG aangetoond (Förster e.a., 2013). Hierna is het VZG toegepast als pilot binnen het Ruimte voor de Rivier dijkversterkingsproject Hagestein-Opheusden (Waterschap Rivierenland, 2014). Vanuit de POV Piping is op basis van al het onderzoek een OBR (Ontwerp- en Beoordelings-Richtlijn) uitgebracht (POV Piping, 2017). In 2018 zijn door Waterschap Rijn en IJssel meerdere vervolg-maakbaarheidsproeven uitgevoerd ten behoeve van een tracé van 1200 meter langs het Twentekanaal bij Zutphen.

Bentonietmatten

Voor het aanbrengen van een kunstmatige waterremmende laag bij waterkeringen wordt van oudsher natuurlijke klei gebruikt, voor zowel de opbouw van de gehele dijk als voor het afdichten van taluds of het voorland (Dijkwerkers, 2018). Voor het verkrijgen van afdoende waterremming en erosiebestendigheid dient deze klei te voldoen aan hoge eisen. Erosiebestendige klei (voormalige 'categorie 1' klei) wordt nabij de projectlocaties steeds schaarser en moet vaak van ver weg worden gehaald. Dit vormt een steeds groter probleem met oplopende kosten en milieubelasting. Als alternatief voor een dikke laag natuurlijke klei kan bij waterkeringen ook gekozen worden voor de toepassing van bentonietmatten (zie figuur 8). Internationaal wordt gesproken over Geosynthetic Clay Liners (GCL's). Deze matten van circa 1 cm dik bestaan uit meerlaags hoogwaardige geotextielen waartussen (bij voorkeur) bentonietpoeder is verwerkt. Bentonietmatten kunnen worden gebruikt voor het (nagenoeg) waterdicht maken van zowel waterkeringen als het voorland, waarbij deze een 1 meter dikke kleilaag kunnen vervangen. Met toepassing van bentonietmatten in het voorland wordt de kwelweglengte verlengd door het verleggen van het intredepunt. Zo kunnen bentonietmatten ook worden toegepast als maatregel tegen piping. Naast een grote kosten-

besparing biedt de toepassing van GCL's andere grote voordelen ten opzichte van gebruik van klei: duurzaamheid (energiebehoefte en CO₂-uitstoot voor productie en transport), realisatiesnelheid (minder diepe ontgraving, geen bemaling nodig), grootschaliger toepassing van gebiedseigen grond en aanzienlijk minder grondonderzoek. Door de zwelcapaciteit van het bentoniet is de bentonietmat tot op zekere hoogte zelfhelend. Kleine gaatjes (orde centimeters) veroorzaakt door muizen of worteldoorgroei zullen dichtzwellen. De mogelijke toepassing van bentonietmatten op dijken en voorland wordt momenteel onderzocht vanuit Waterschap Limburg. Voor de mogelijke toepassing van bentonietmatten zal in het kader van de POV Dijkversterkingen met Gebiedseigen Grond (POV DGG) ook een OBR worden opgesteld.

Bentonietmatten hebben in een zoetwateromgeving een zeer lage doorlatendheid. In brak en zout water kan de doorlatendheid ordes hoger zijn (orde 10^{-10} m/s in zoet water, meer dan 10^{-8} m/s in zout water). Dit beperkt de toepasbaarheid van deze matten enigszins in brak en zout water of in water met veel chemische verontreiniging. Ook dan is de doorlatendheid nog steeds zeer laag met een weerstand gelijkwaardig of beter dan de traditionele 1,0 m dikke kleilaag. Bovendien kan de

kleilaag bij droog en warm weer over een grote dikte structureren (scheuren). Aan de Universiteit Gent wordt onderzocht hoe bentoniet ondoorlatend kan blijven in brak en zout water en onder vochtigheidswisselingen door het toevoegen van polymeren. Gebleken is dat deze zogenaamde Hyper Clay (bentoniet met polymeer) de lage doorlatendheid van bentoniet behoudt in brak en zout water (Di Emidio, 2010) en ook nog beter bestand is tegen wisselingen in de vochtigheid (De Camillis, 2017). Dat laatste is van belang voor bentonietmatten die op een talud boven water worden toegepast.

Verticale drainage

Waterkeringen zijn in Nederland vaak gelegen op een slappe ondergrond met samendrukbare lagen klei of veen. Bij het aanbrengen van een ophoging zal er consolidatie optreden. Dit is een proces waarbij wateroverspanning veroorzaakt door externe bovenbelasting langzaam dissipeert en de grond inklinkt. Bij dikke en slappe cohesieve lagen (bijvoorbeeld 8 tot 12 meter klei/veen) kan dit proces zeer langzaam gaan, hetgeen leidt tot een lange bouwtijd (ter voorkoming van instabiliteit tijdens de aanleg), en tot langdurige zettingen na oplevering. Dit leidt tot meer onderhoud van dijkbekleding, dijklichaam en op de dijk gelegen

Figuur 8 – Aanleg bentonietmat op een waterkering als kunstmatig waterremmende laag.
Referentie: Kees Dorst



Figuur 9 – Werking verticale drainage (ColbondDrain) met uittreidend water.
Referentie: Low & Bonar



Figuur 10 – Aanbrengen verticale drains (ColbondDrain) ten behoeve van grootschalige dijkversterking rond New Orleans US. Referentie: Low & Bonar

wegverhardingen. Ter voorkoming hiervan kan wateroverspanning versneld worden gereduceerd, veelal met behulp van kunststof verticale drains (figuur 9), waardoor het consolidatie- en zettingsproces sneller verloopt. Deze methode kan worden toegepast in combinatie met grondverbetering, overhoogte of geforceerde consolidatie (aanbrengen onderdruk in de drains). Kunststof verticale drains worden met een grote injectiestelling geïnstalleerd tot een diepte van 10-30 meter. In het buitenland met aanzienlijk grotere diktes van het slappe lagen pakket zijn er zelfs ervaringen tot een diepte van 60 m onder maaiveld. Informatie over consolidatie van bodemlagen met verticale drainage kan worden gevonden in de recent uitgebrachte publicatie POVM Grondverbeteringen (POVM, 2018). In deze publicatie worden toepassingen van verticale drains bij waterkeringen genoemd als de buitenwaartse versterking van de Neseppolderdijk (2000-2002) en de Zuiderdijk van Drechterland (2007-2011). Een voorbeeld uit het buitenland betreft grootschalige dijkversterkingen in het moerasgebied rond New Orleans voor het versterken van waterkeringen naar aan-

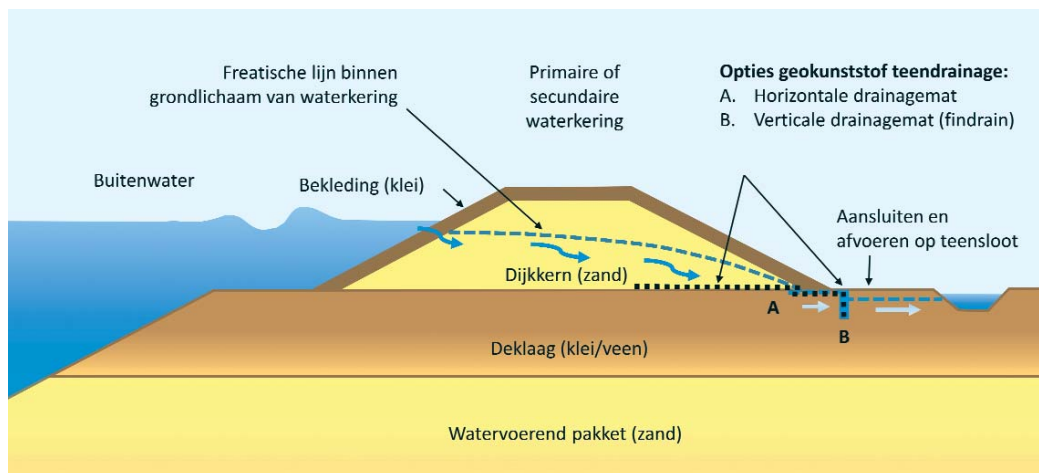
leiding van de overstromingen na de orkaan Katrina, zie figuur 10.

Bij verticale drainage onder waterkeringen dient er aandacht te zijn voor het afvoeren van het vrijgekomen consolidatiewater tijdens de bouw- en de gebruiksfase. Voor toepassing van verticale drainage is doorgaans een ontheffing nodig. Bij toepassing mogen de drains geen kortsluiting maken met een ondergelegen watervoerende laag (aquifer), waardoor bij hoge rivierwaterstanden de kwel zou toenemen door voeding van onderaf. Veelal wordt hiertoe een marge aangehouden in het aanbrengen van de verticale drains tot een maximale hoogte van 1 à 1,5 meter boven de onderzijde van de cohesieve lagen. Hiertoe is het uiteraard belangrijk dat het verloop van de onderzijde van deze lagen goed in beeld is gebracht, zodat de aanbrengdiepte veilig bepaald kan worden.

Teen en taluddrainage

Als gevolg van hogere waterstanden buitendijks en bodemdaling in de polders zal de hydraulische belasting op de waterkeringen toenemen. Deze

toename van het stijghoogteverschil zal negatief werken op de stabiliteit van de waterkering. Het verloop van de stijghoogte over de waterkering kan worden beïnvloed door gebruik te maken van geokunststof drainage. Dit onderwerp is zeer actueel. Vanuit de POV- macrostabiliteit en POV-piping is met een onderzoekscommissie geschreven aan de publicatie (POV-drainagetechnieken, mei 2018). Drainage bij dijken kan zinvol zijn ten behoeve van faalmechanismen als macro- en microstabiliteit en piping. In de publicatie is uitgebreid beschreven hoe moet worden omgegaan met het ontwerp, realisatie en beheer en onderhoud van verschillende drainagesystemen bij waterkeringen. Mogelijkheden in drainage zijn bijvoorbeeld verticale bronnen, grindkoffers, horizontale drains of geokunststof drainagematten. Deze drainagematten bestaan uit een composiet geokunststof 3D-structuur, die drukstabiël moet zijn onder de gegeven omstandigheden. Deze drainagematten kunnen verticaal worden ingebracht (bijvoorbeeld als teendrainage), horizontaal (deels onder waterkering of berm) of onder helling, onder de waterremmende kleilaag. Een schematische doorsnede van deze toepassing is gegeven in figuur 11.



Figuur 11 – Schematische doorsnede met freatische lijn binnen waterkering en opties aanbrengen van geokunststof teendrainage.

Referentie: Low & Bonar

Een voorbeeld van teendrainage bij waterkeringen is de toepassing bij de zeedijk Cadzand-Breskens. Hier is over 8,5 km teendrainage aangebracht door gebruik te maken van een geokunststof 3D-drainagemat. Ter plaatse lag een oud drainage-systeem met kapotte gresbuizen in een grindkoffer. Door de schade was deze drainage niet meer door te spuiten en voerde het oude systeem het aangeboden water ook niet meer af. Hierdoor was de stijghoogte in de teen soms zodanig hoog dat het water op de achtergelegen weg kwam te staan. Waterschap Zeeuws-Vlaanderen heeft ervoor gekozen om over dit traject de oude



Figuur 12 – Aanbrengen teendrainage met geotextiel drainagemat (EnkaDrain Findrain) in teenconstructie waterkering Cadzand-Breskens.

Referentie: Low & Bonar

grindkoffer te vervangen door een verticaal geokunststof drainagescherm met onderin een geïntegreerde kunststof drainage buis. Voor het aanbrengen hiervan is in de binnen teen van de dijk een smalle sleuf gefreesd, het verticale drainagescherm aangebracht en aangevuld met drainagezand (zie figuur 12).

Conclusie

Door klimaatverandering is het veilig en leefbaar houden van Nederland in de komende decennia een grote uitdaging. Er zal een enorme en kostbare versterkingsoperatie van de waterkeringen moeten plaatsvinden. Het op grotere schaal toepassen van geokunststoffen kan resulteren in een substantieel betere, snellere en/of goedkopere aanleg van nieuwe waterkeringen, dijkversterkingen of kustverdediging. Doorontwikkeling van concepten met het beperken van het ruimtebeslag (steile taluds), erosiebescherming (3D-structuurmatten), beheersing van waterstandverschillen (drainagematten), het gebruik van zandgevulde elementen (zakken, tubes of containers) of toepassing van waterremmende lagen met bentonietmatten bieden hierbij zeer goede potenties voor de toekomst, zowel voor Nederlandse als buitenlandse omstandigheden. Op sommige onderdelen is men in het buitenland

verder gevorderd dan in Nederland, op andere onderdelen is Nederland verder vooruit (bijvoorbeeld met het Verticaal Zanddicht Geotextiel). Hierdoor zijn er over en weer goede mogelijkheden om te leren van elkaars ervaringen.

Referenties

- Bezuijen A, Izadi E, (2018), Damage of geotextile due to impact of stones. 11th International Conference on Geosynthetics, Seoul.
- CUR 186 (juli 1996), Geokunststoffen en rivierdijkverbetering, Civiel Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, CUR/NGO.
- De Camillis, M. (2017), Experimental and Numerical Study of Wet and Dry Cycles on an Innovative Polymer Treated Clay for Geosynthetic Clay Liners, PhD thesis, Ghent University.
- Di Emidio, G. (2010), Hydraulic and Chemico-Osmotic Performance of Polymer Treated Clays, PhD thesis, Ghent University.
- Dijkwerkers (september 2018), Handboek Dijkenbouw, uitvoering versterking en nieuwbouw, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Utrecht.
- Förster, U., Van der Kolk, B.J. en Van den Berg, G. (september 2013), Verticaal zanddicht geotextiel als piping-preventiemaatregel, Land en Water.
- Infram (juni 2011), Overslagproeven en ophoopproef Tholen, projectbureau zeekeringen, factual

report, referentie 10i092.

- Izadi E, Decraene T, De Strijcker S, Bezuijen A, Vinckier D (2018), A laboratory investigation on the impact resistance of a woven geotextile Geo-textiles and Geomembranes 46 (1), 91-100.
- Jevrejeva, S, Jackson, Grindsted, A, e.a.(2018), Flood damage costs under the sea level rise with warming of 1.5°C and 2°C, Environmental Research Letters.
- POV Macrostablieit (september 2018), POVM grondverbeteringen, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Utrecht.
- POV Macrostablieit en de POV-Piping (mei 2018), POV Drainagetechnieken, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Utrecht.
- POV Piping (juni 2017), Ontwerp- en beoordelingsrichtlijn Verticaal Zanddicht Geotextiel, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), groene versie.
- SBR CUR net (maart 2017), Ontwerprichtlijn Geotextielen onder steenbekleding, SBR CUR net, Delft.
- Steeg, van P.(november 2016), Bouw overgangen, verslag van uitgevoerde werkzaamheden op de dijk in augustus 2016, Deltares rapport 1230042-005.
- Waterschap Rivierenland (april 2014), Nieuwsbrief dijkverbetering Hagestein – Fort Everdingen, nummer 12.

Copyright figuren: zie bij de figuren. ●

Enka® Solutions

EnkaGrid® & EnkaMat®

Grondwapening en erosiebescherming bij waterkeringen en dijkversterkingen



 Low & Bonar

Low & Bonar

Westervoortsedijk 73, 6827 AV Arnhem | T +31 85 744 1300
lowandbonar.com/civilengineering | civilengineering@lowandbonar.com