

JAARGANG 24 NUMMER 4 DECEMBER 2020

Geotek kunst

ONAFHANKELIJK VAKBLAD
VOOR GEBRUIKERS VAN
GEOKUNSTSTOFFEN



**NGO: SAMENWERKEN DOOR KENNISDELING
BESCHADIGING VAN GEOTEXTIELEN DOOR VALLENDE STENEN**

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



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



NAUE GmbH & Co. KG
Gewerbestr. 2
32339 Espelkamp – 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, Maarssen
Fugro NL Land B.V., Leidschendam
Genap BV, 's Heerenberg
Geopex Products (Europe) BV,
Goudarak
GeoTec Solutions BV, Culemborg
GID Milieutechniek, Velddriel
Huesker Synthetic BV, Rosmalen

InfraDelft BV, Delft
Juta Holland BV, Oldenmarkt
Kiwa NV, Rijswijk
Kwast Consult, Houten
Low & Bonar, Arnhem
Movares Nederland BV, Utrecht
Naue GmbH & Co. KG,
Espelkamp
Prosé Geotechniek BV,
Leeuwarden
Quality Services BV, Bennekom
Robusta BV, Genemuiden
Rijkswaterstaat, Utrecht
S&P Clever Reinforcement
Company Benelux, Aalsmeer
Strukton Civiel, Scharwoude
Stybenex, Nijmegen
T&F Handelsonderneming BV,
Oosteind
Ten Cate Geosynthetics
Netherlands BV, Nijverdal
Tensor International,
's-Hertogenbosch
Terre Armee BV, Waddinxveen
Witteveen + Bos, Deventer

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



Strukton
Civiel

Strukton Civiel Regio West
Scharwoude 9
1634 EA Scharwoude
Tel. +31 (0)229 54 77 00
info@struktonciviel.com
www.strukton.com

Enka® Solutions

EnkaGrid®

Voor een stabiele fundering van wegen en kraanopstelplaatsen bij windmolens



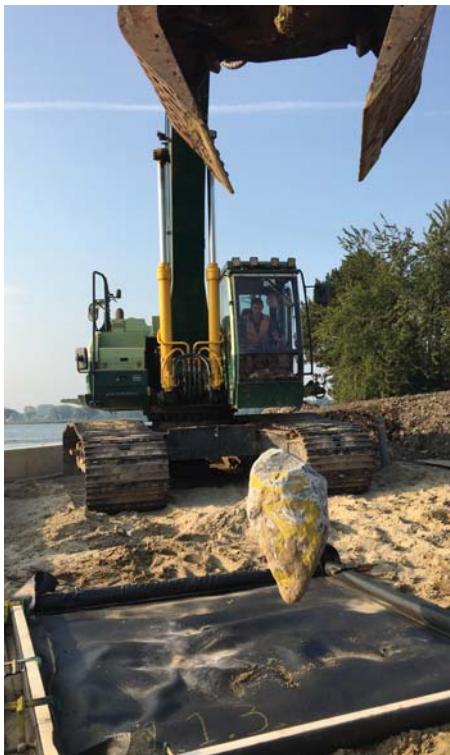
EnkaGrid MAX funderingswapening bij Windpark WP Energiek, Waardpolder



Low & Bonar
Westervoortsedijk 73, 6827 AV Arnhem | T +31 85 744 1300
www.enkasolutions.com | info@enkasolutions.com

BESTE GEOKUNST LEZERS,

Bij het lezen van dit voorwoord naderen we het einde van 2020. Een tijd om terug te kijken op een bijzonder jaar, waarin werk en privé situaties behoorlijk op de kop zijn gezet. Met zijn allen zijn we massaal gaan thuiswerken, bijeenkomsten zijn geschrapt, reizen naar het buitenland is lastig en ook onze sociale contacten in eigen kring staan op een laag pitje. Het afgelopen jaar zal hiermee nog lang in ons collectieve geheugen zitten. Iedereen is geconfronteerd met onzekerheden, die we samen nog niet eerder hebben meegemaakt. We mogen echter ook vooruit kijken. Hopelijk kunnen we in de loop van 2021 weer terugkeren naar ons 'normale' leven. Dit wordt naar verwachting wel een 'nieuw normaal', waarbij er bepaalde zaken waarschijnlijk structureel zullen veranderen.



Hoe het ook zij, de huidige situatie geeft voor velen een focus om in te zetten op een meer duurzame toekomst. In ons werkgebied kunnen toepassingen van geotextielen bijdragen aan een gewenste verduurzaming. Denk aan de vergelijking van de milieubelasting van ontwerpen met geotextielen ten opzichte van traditionele ontwerpen met granulaire filterlagen (Wallbaum, 2014).

In deze editie van Geokunst vinden jullie een interessant artikel over het onderzoek naar de effecten van vallende stenen op geotextielen door Adam Bezuijen en Ehsan Izadi. Bij de universiteit in Gent doet

Adam al lange tijd uitgebreid onderzoek naar de beschadiging van geotextielen onder stortsteen, waarbij valhoogte, puntigheid van de stenen en het type geotextiel (weefsel, vlies of composiet) van belang zijn.

Bij dit onderwerp is het zeer interessant te vermelden dat momenteel onder leiding van CROW een werkgroep druk bezig is met additionele valproeven van stenen op geotextielen (zie foto). Met evaluaties van de resultaten bekijkt men of de eenvoudige methode in de Ontwerprichtlijn Geotextielen onder Steenbekledingen aangepast moeten worden. De werkgroep bestaat uit deskundigen van opdrachtgevers, kennisinstituten, aannemers, ingenieursbureaus en producenten, waarbij het gezamenlijke doel is om te komen tot een richtlijn waarbij risico's op beschadiging van de geotextiele filterlaag worden beheerst. Mocht u geïnteresseerd zijn om deel te nemen in de klankbordgroep van deze werkgroep, dan horen we het graag. De werkgroep is een mooi voorbeeld hoe we ook in de wereld van de geotextielen aspecten samen onder controle kunnen krijgen en weer een stap vooruit kunnen maken.

Er is ook ander positief nieuws. Het bestuur van de NGO wordt versterkt met maar liefst drie nieuwe bestuursleden. Dit is een mooie aanleiding voor het gehele NGO bestuur om zich in een artikel nader aan u voor te stellen en de visie en ambitie van de NGO nog eens neer te zetten: het bevorderen van de uitwisseling van kennis en het uitdragen van deze kennis naar het werkveld.

Ik wens jullie heel veel leesplezier toe. Juist nu.
Stay strong

Rijk Gerritsen

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

**R. Gerritsen
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



Rijk Gerritsen



Erik Kwast



Suzanne
van Eekelen



Joris van den Berg



Iljo Fluit



Leo Kuljanski

NGO: SAMENWERKEN DOOR KENNISDELING

Inleiding

Positief nieuws hebben we vanuit de Nederlandse Geotextiel Organisatie (NGO): het bestuur wordt versterkt met maar liefst drie nieuwe bestuursleden. Dit is een mooie aanleiding voor het bestuur om zich nader aan u voor te stellen. In dit artikel wordt daarnaast ingegaan op de doelstellingen van de NGO en de strategie voor de komende jaren. We blijven graag de drijvende kracht voor de juiste en verantwoorde toepassing van geokunststoffen in het werkveld van de grond-, weg- en waterbouw.

Wat zijn geokunststoffen?

Geokunststoffen zijn hoogwaardige bouwmaterialen, bijvoorbeeld weefsels of vliezen (geotextielen), maar ook andere materialen als geogrids (grondwapening), erosiematten, drainagematten, verticale drains, folieconstructies (afdichting) en lichtgewicht EPS. Met het gebruik van deze hoogwaardige geosynthetische bouwmaterialen kunnen in veel gevallen bouwconstructies beter, efficiënter, milieuvriendelijker, duurzamer en/of

goedkoper worden uitgevoerd (Wallbaum et al., 2014).

Vakblad Geokunst

Het vakblad Geokunst is het officiële magazine van de NGO. Het blad is opgenomen als katern in het onafhankelijke vakblad Geotechniek. Vanaf juni 2020 heeft Rijk Gerritsen vanuit het NGO bestuur het eindredacteurschap vol enthousiasme op zich genomen. Met het doorschuiven naar deze functie is voor de zomervakantie de behoefte ontstaan voor versterking op andere onderdelen van het NGO-bestuur.

Nieuwe bestuursleden

Meerdere leden hebben hun belangstelling laten blijken om toe te treden tot het NGO-bestuur. Door de grote belangstelling zijn er serieuze gesprekken gevoerd met meerdere kandidaten. Op basis van deze gesprekken hebben we positief nieuws: het bestuur wordt versterkt met maar liefst drie nieuwe bestuursleden! Joris van de Berg wordt programmacoördinator voor de activiteiten,

Iljo Fluit penningmeester en Leo Kuljanski kenniscoördinator nationaal en internationaal. Op de algemene ledenvergadering 19 november 2020 zijn de kandidaat-bestuursleden officieel voorgedragen aan de leden. We zijn zeer blij met deze nieuwe enthousiaste bestuursleden. Door het toetreden van de nieuwe bestuursleden wordt de slagkracht van het bestuur vergroot en kunnen frisse ideeën voor de toekomst nader worden uitgewerkt.

Afscheid penningmeester

Met zoveel belangstelling om toe te treden tot het bestuur, heeft Milan Duškov aangegeven dit een mooi moment te vinden om zijn bestuursfunctie van penningmeester beschikbaar te stellen. Milan heeft sinds 2001 verschillende functies in het NGO-bestuur gehad. We willen Milan enorm bedanken voor zijn inzet in het bestuur over de lange periode van maar liefst 19 jaar!

Wat doet de NGO?

De NGO heeft als doel het bevorderen van kennis en een verantwoorde toepassing van geotextielen en geokunststoffen in Nederland. De NGO is een vereniging die openstaat voor kennisinstellingen, overheidsinstanties, aannemers, ingenieursbureaus, inspectiebedrijven, certificatie-instellingen, laboratoria, leveranciers en producenten met hun werkveld in Nederland. Het bevorderen van de uitwisseling van kennis tussen leden en het uitdragen van deze kennis naar het werkveld wordt gedaan door bij te dragen aan publicaties, lezingen, workshops en congressen. Verder worden studie- en werkgroepen ingesteld of vindt er coördinatie plaats op het gebied van normering (NEN, ISO). Hiernaast wordt er contact onderhouden met andere belanghebbende organisaties, zowel nationaal als internationaal. De NGO is hierbij de formele Nederlandse afdeling van de IGS (International Geosynthetics Society). De IGS organiseert elke vier jaar een groot internationaal wereldcongres op het gebied van geokunststoffen. Met intervallen hiertussen wordt elke vier jaar een Europees congres georganiseerd. Het eerstvolgende congres is het Eurogeo7 congres in Warschau, Polen. Dit is het 7^e Europese congres op het gebied van geokunststoffen, gepland op 16-19 mei 2021. Van 18-22 september 2022 is in Rome het 12^e wereldcongres van de IGS: 12ICG (International



Foto 1 – Bestuur Nederlandse Geotextiel Organisatie. V.l.n.r. : Milan Duškov (scheidend penningmeester), Joop Groenveld (technisch secretaris), Leo Kuljanski (kenniscoördinator), Suzanne van Eekelen (secretaris), Erik Kwast (voorzitter), Iljo Fluit (penningmeester), Rijk Gerritsen (eindredacteur Geokunst), Joris van den Berg (programmacoördinator).

Conference on Geosynthetics). De deadline voor abstracts voor dit congres is gesteld op 31 januari 2021, dus vrij binnenkort. Noteer deze data alvast in je agenda.

Visie en ambitie

Uitwisseling van kennis tussen leden en het uitdragen van deze kennis naar het werkveld wordt bevorderd door velerlei activiteiten te organiseren.

- Project-excursies met lezingen: het bezoeken van een project in uitvoering waar geokunststoffen worden toegepast. De afgelopen jaren zijn bijvoorbeeld het Prinses Ariane Windpark (kraan-opstelplaatsen) en de Beatrixsluizen in Nieuwegein bezocht.
- Creatieve sessies: inspirerende studiedagen op één specifiek onderwerp, met lezingen (theorie), proeven (praktijk) en uitwerking van een casus in groepjes. Onderwerpen waren bijvoorbeeld aardbevingsbestendigheid (locatie Harderwijk), erosiebescherming (locatie op het strand van Den Haag) en afdichtingen met geokunststoffen (locatie Art Centre, Deltares in Delft).
- Lezingenmiddagen op het gebied van geokunststoffen in combinatie met een NGO algemene ledenvergadering. Recente onderwerpen waren geokunststoffen en het milieu (opgave klimaat-neutraal bouwen, circulariteit en duurzaamheid), oplossingen ter voorkoming van kusterosie, en een lezing met rondleiding op het geotechnisch/hydraulisch laboratorium (stroomgoten) bij Deltares.
- Specifieke lezingenmiddagen in samenwerking met opdrachtgevers. Afgelopen jaar is een succesvolle lezingenmiddag georganiseerd voor de toepassing van geokunststoffen bij wegen en spoorwegen in samenwerking met Rijkswaterstaat en ProRail.
- Het vakblad Geokunst met vier uitgaven per jaar

Overzicht NGO-bestuur

Erik Kwast	Kwast Consult Directeur-eigenaar	Voorzitter
Suzanne van Eekelen	Deltares, Expert onderzoeker en adviseur geo-engineering	Secretaris
Rijk Gerritsen	Enka Solutions Application manager hydraulic and civil engineering	Eindredacteur Geokunst
Joris van den Berg	Huesker Synthetic B.V. Managing Director	Programmacoördinator (activiteiten)
Iljo Fluit	Quality Services (QS) Managing Director QS Inspection	Penningmeester
Leo Kuljanski	Tensar International Senior Design Engineer	Kenniscoördinator nationaal/ internationaal
Joop Groenveld	Zelfstandig ondernemer	Technisch secretaris en boekhouding

en eventueel een aanvullende speciale uitgave bij congressen.

- Verzorgen van verschillende gastcolleges op het gebied van geokunststoffen op de TU Delft.

Gezien het overlappende werkveld met civiele techniek organiseert de NGO veel van de bovenstaande activiteiten in afstemming met de vakafdelingen Geotechniek, Bouw- en Waterbouwkunde, en Tunneltechniek en Ondergrondse Werken van ingenieursvereniging KIVI. Ter invulling van onze activiteiten zijn we altijd op zoek naar interessante projecten of ontwikkelingen op het gebied van geokunststoffen. Een goed idee of voorstel? Stuur ons een email of deel het via ons digitaal platform op LinkedIn.

Meedoen en lid worden?

Op basis van het bovenstaande zijn jullie vast

enthousiast geworden. Jullie kunnen ons volgen op LinkedIn onder de naam NGO Nederlandse Geotextiel Organisatie. Wil je eens (vrijblijvend) deelnemen aan één van de activiteiten? Dat kan door een mailtje te sturen naar het secretariaat (joop.groenveld@ngo.nl). Nadere informatie over geokunststoffen en een overzicht van activiteiten met downloads zijn te vinden op onze website <http://ngo.nl/>. Samen komen we verder!

#wedoemee.

Bronnen

– Wallbaum, H., Büsler, S., Itten, R., Frischknecht, R., 2014. Environmental benefits by using construction methods with geosynthetics, in: Proceedings van 10e International Conference Geosynthetics (10ICG), Berlijn, Duitsland. ●



Foto 2 – Creatieve sessie in juni 2019: inspirerende studiedag over erosiebescherming en het uitvoeren van proeven, locatie strand Den Haag.



Adam Bezuijen
Universiteit Gent,
België / Deltares, Delft



Ehsan Izadi
Geo-Wise BV, België
Universiteit Gent

BESCHADIGING VAN GEOTEXTIELEN DOOR VALLENDE STENEN

Inleiding

Vallende stenen leiden regelmatig tot beschadiging van geotextielen tijdens de constructie van waterbouwkundige werken. In de 'Ontwerprichtlijn Geotextielen onder Steenbekledingen' (SBR-CUR, 2017, nu CROW, 2020) is dit dan ook een belangrijk aandachtspunt. Anders dan in eerdere ontwerp-regels is in deze richtlijn niet zozeer de sterkte maar de flexibiliteit van het geotextiel het uitgangspunt. Wanneer het geotextiel een voldoende grote maximale rek bij breuk heeft, zal het zonder te scheuren de vervorming van de ondergrond kunnen volgen wanneer er een steen op valt. Er is dan alleen een minimale robuustheid nodig om te voorkomen dat het geotextiel scheurt bij het aanbrengen.

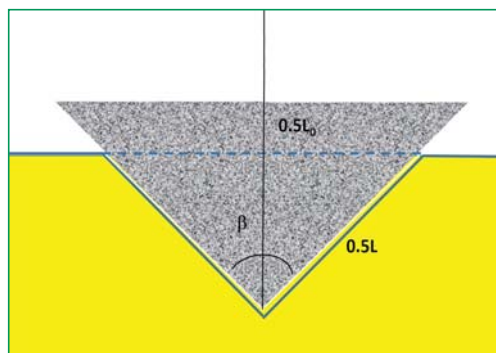
Vóór het uitkomen van genoemde richtlijn was of de treksterkte van een geotextiel of de zogenaamde absorptie-energie maatgevend. De absorptie-energie is gedefinieerd als de helft van de maximale rek maal de maximale trekkracht (zie formule 2). In het verleden werden daarom vaak geweven doeken gebruikt onder steenbekledingen. Nu flexibiliteit belangrijk is, hebben niet-geweven doeken vaak de voorkeur.

De richtlijn is gebaseerd op geometrische criteria, zoals hieronder zal worden uitgelegd. Om de richtlijn te toetsen zijn valproeven uitgevoerd in het Laboratorium voor Geotechniek van de Universiteit van Gent. Bij deze valproeven bleken nog andere aspecten belangrijk. Op grond van ervaringen uit de praktijk en de hierboven genoemde valproeven is in januari 2020 een Erratum uitgebracht (CROW, 2020).

In dit artikel wordt eerst het geometrisch criterium beschreven en dan de resultaten van de valproeven op één geotextiel en op twee op elkaar geplaatste geotextielen. Omdat de resultaten van de valproeven niet geheel aansluiten bij het geometrisch criterium, wordt ook aanvullende theorie ontwikkeld.

Geometrisch criterium

Het zogenaamde geometrisch criterium is geschetst in 1. De figuur geeft een 2D situatie weer van een vallende steen die is ingedrongen in de grond. Voordat de steen is gevallen ligt het geotextiel op de ondergrond en heeft een lengte L_0 over het gebied waar de steen zal indringen. Als de steen is



Figuur 1 – Schets geometrisch criterium.

ingedrongen zal de lengte groter moeten zijn, namelijk L . De meest ongunstige situatie treedt op wanneer alleen het geotextiel dat onder de steen zit vervormt en het overige geotextiel niet. Met formule 1 is dan de rek die optreedt in het geotextiel eenvoudig uit te rekenen:

$$\epsilon_l = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{1}{\sin(0.5\beta)} - 1 \quad (1)$$

Hierin is ϵ_l de rek in het geotextiel en β de hoek tussen de steenoppervlakken. Voor een 3D situatie hangt de vervorming ook af van de vorm van de steen (pyramide of kegel), maar de 2D situatie geeft de grootste rekken, zodat we slechts deze hoeven te beschouwen.

Opzet proeven

Een ronde betonnen cilinder met wanden van 10 cm dik, 0,8 m diameter en 0,9 m hoog is gevuld met droog Mol-zand. Dit is een gezeefd kwartszand met een gemiddelde korreldiameter van 155 μm . Voor elke proef werd de bovenste laag zand losgemaakt om te voorkomen dat de laatste proeven werden uitgevoerd op veel vaster gepakt zand dan de eerste, zie figuur 2.

De bovenkant van het zand is gelijk aan de bovenkant van de betonnen rand van de container. Op de bovenkant van de rand werd het te testen geotextiel gelegd. Het ongeveer 1,5 bij 1,5 m grote geotextiel werd vastgezet met een spanband rondom de container. Aan de buitenkant rondom de container was aan de bovenkant een rubberen strip gelijkijd voor maximale wrijving tussen de container en het geotextiel. Voor reproduceerbare resultaten is een goede fixatie van het geotextiel



Figuur 2 – Losmaken van de bovenste 0,3 m van het zand na een valproef zodat de dichtheid van het zand bij de verschillende proeven min of meer gelijk is.

noodzakelijk. De steen met een gewicht van 40 kg die werd gebruikt voor de proef werd met een portaalkraan op de gewenste hoogte gebracht en dan losgelaten met een elektromagneet (figuur 3).

Er zijn verschillende stenen toegepast. De stenen konden vallen op een punt of op een ribbe, daarnaast werd de hoek β gevarieerd van 60° tot 120° (figuur 5). Figuur 6 toont typische schadepatronen.

De kritieke valhoogte werd bepaald door het oppervlak bij een beschadiging te meten voor verschillende valhoogtes en uit te zetten in een grafiek. Er bleek een lineair verband te bestaan tussen valhoogte en beschadigd oppervlak. Extrapolatie naar een beschadiging van 0 cm^2 geeft dan de kritieke valhoogte (6).

Elke proef werd een aantal malen uitgevoerd om een gemiddelde waarde te bepalen. Meer details over de analyse van de resultaten zijn te vinden in Izadi et al. (2018).

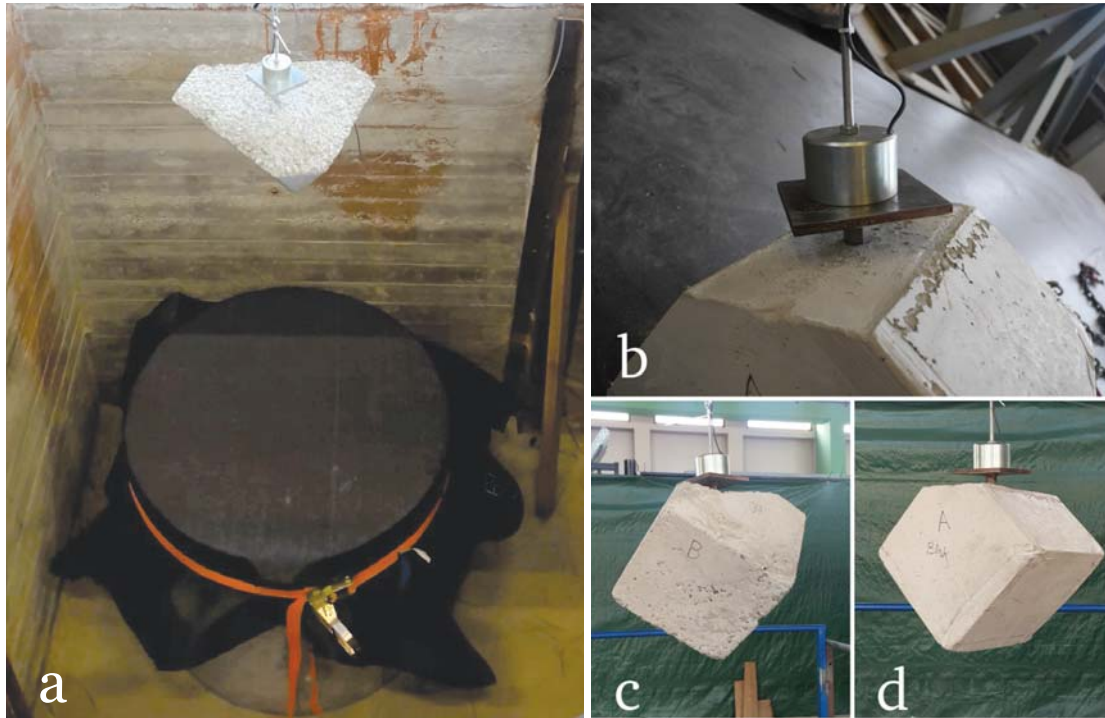
Resultaten valproeven met een enkel geotextiel

De proeven zijn uitgevoerd op een gewezen geotextiel met een treksterkte van 80 kN/m bij 12%

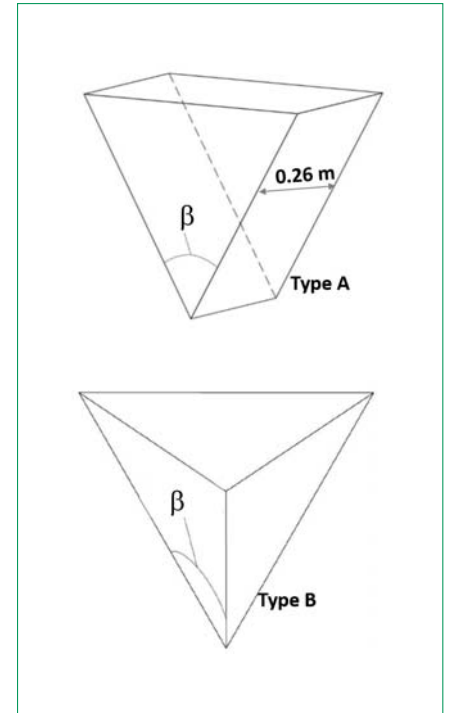
SAMENVATTING

Met valproeven met betonblokken van 40 kg op geotextielen op een ondergrond van zand is onderzocht onder welke omstandigheden een geweven (weefsel), niet-geweven (vlies) geotextiel of een composiet van een weefsel en een vlies wordt beschadigd. De resultaten zijn vergeleken met de 'Ontwerprichtlijn Geotextielen onder Steenbekledingen'. Zij bevestigen een aantal aspecten die

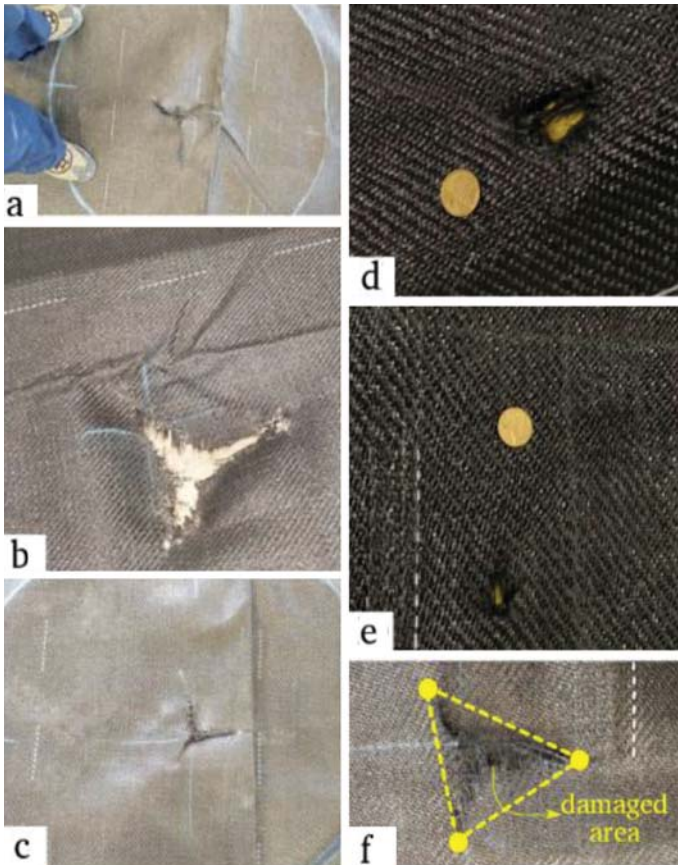
genoemd worden in die richtlijn: de maximale rek bij breuk is belangrijk, de absorptie-energie is minder belangrijk. De resultaten laten echter ook zien dat de werkelijkheid ingewikkelder is dan weergegeven in de richtlijn en hoe twee op elkaar geplaatste geotextielen reageren op impact.



Figuur 3 – Proefopstelling valproeven (a) en details: bevestiging met elektromagneet (b) en verschillende vormen betonblok (c,d).

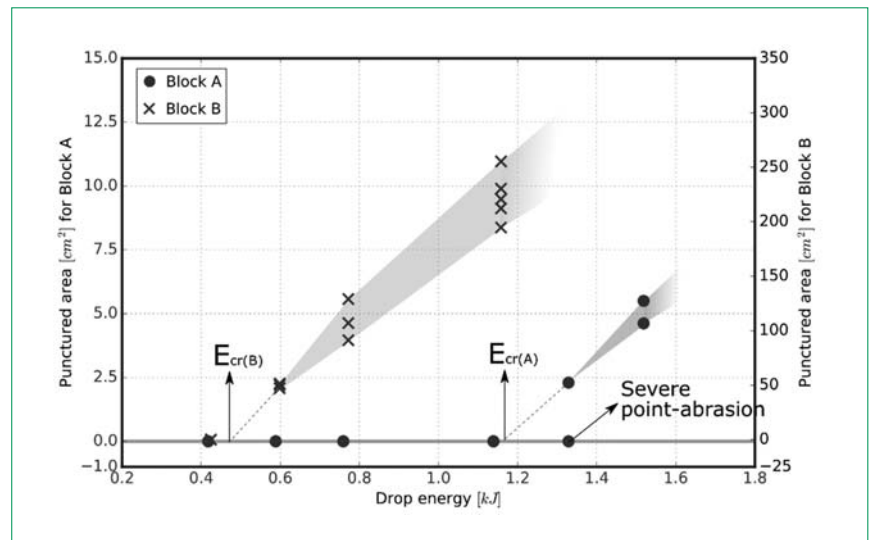


Figuur 4 – Definitie hoek β voor verschillende blokken.



Figuur 5 – Schadepatronen:

- a. Blok B, valhoogte 3 m
- b. Blok B, valhoogte 2 m
- c. Blok B, valhoogte 1,55 m
- d. Blok A, valhoogte 4 m,
- e. Blok A, valhoogte 3,5 m
- f. Berekening beschadigd oppervlak.



Figuur 6 – Verband tussen valenergie en beschadiging (Uit Izadi et al., 2018 op basis van de in dit artikel beschreven proeven). Valenergie is evenredig met valhoogte voor constant valgewicht, hier 40 kgf. (Bij "Severe point-abrasion" is er wel schade aan de weefsels, maar geen gat in het geotextiel).

rek en op een niet-geweven geotextiel (vlies) met een treksterkte van 17.5 kN/m bij 50% rek. Tijdens de proeven met een enkel geotextiel bleek de hoek β belangrijk, zie tabel 1.

In de proeven uitgevoerd met een blok type A met $\beta = 120^\circ$ en type B met $\beta = 105^\circ$ is geen schade gevonden bij de maximale valhoogte van 5,5 m. Hetzelfde geldt voor blok A90 met een vlies. Voor blok A60 is het weefsel stabiel en het vlies. Voor alle andere blokken is het omgekeerde het geval. Bij het blok B90 (een kubus die op een punt valt) is het verschil heel groot. Verder is opmerkelijk dat het heel puntige blok B60 zeer snel schade oplevert. Puntige stenen (kleine β) zijn dus zeer gevaarlijk voor een geotextiel.

Tabel 1 – Invloed soort geotextiel en hoek β van het blok op kritieke valhoogte.
 β is het getal na het blok type.

Blok	Weefsel	Vlies
A60	3,80	3,41
A90	4,50	-
A120	-	-
B60	0,17	0,31
B90	0,72	5,25
B105	3,80	4,50

De absorptie-energie bedraagt:

$$E_g = 0.5T_u\epsilon_u \text{ [J/m}^2\text{]} \tag{2}$$

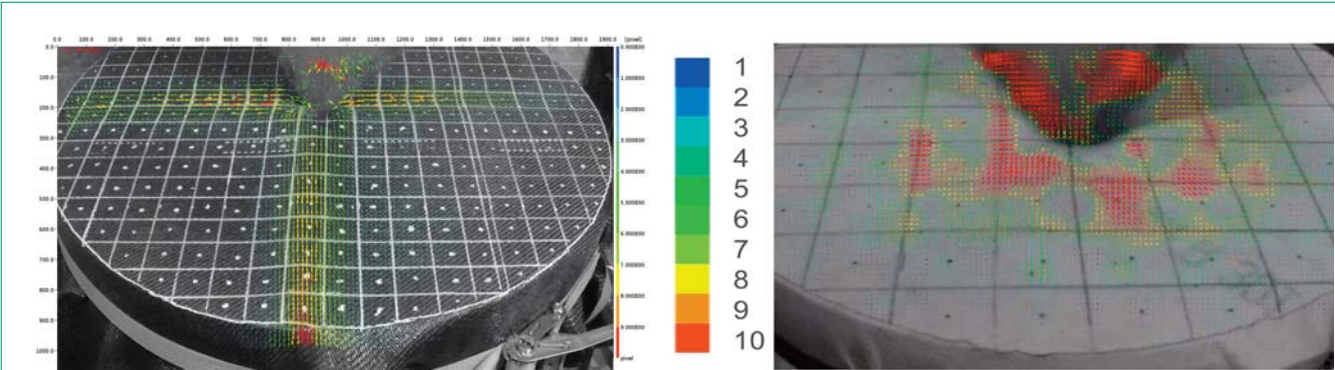
Hierin is T_u de treksterkte van het geotextiel en ϵ_u de rek waarbij de treksterkte wordt bereikt. Deze parameter is voor beide geotextielen heel gelijkwaardig: 4,9 kJ/m² voor het weefsel en 4,4 kJ/m² voor het vlies, maar toch wordt voor blok B90 een zeer groot verschil in impactenergie (valhoogte x blokgewicht) gevonden, respectievelijk 0,3 kJ en 2,1 kJ. De absorptie-energie op zich lijkt dus niet een goede maat om geotextielen te vergelijken. Afhankelijk van de soort steen heeft ook de maximaal toelaatbare rek een grote invloed. Bij het A60 blok is de noodzakelijke rek volgens het geometrisch criterium 100%. Dat is te veel voor beide geotextielen. Als dat het geval is, gecombineerd met een blok dat niet op een punt valt lijkt de absorptie-energie wel een goede maat om geotextielen te vergelijken. De verhouding in de gevonden valhoogte (3,8/3,41=1,14) is in elk geval in deze proeven voor deze geotextielen precies hetzelfde als de verhouding in absorptie energie (4,9/4,4=1,14).

Voor de blokken die op een punt vallen (type B) is de kritieke valhoogte voor de proeven op een vlies (veel) groter dan bij een weefsel. Behalve de

grotere rek die een vlies kan opnemen, speelt daar ook mee dat een weefsel veel stijver is in de machine- en dwarsrichting in vergelijking met andere richtingen. Voor een vlies is de stijfheid in alle richtingen vergelijkbaar. De invloed van dit verschil bleek duidelijk toen het deformatiepatroon van het geotextiel met image processing werd vastgelegd voor de proeven met blok B60 (figuur 7). Het weefsel links wordt alleen belast in de machine- en dwarsrichting en rekt daar uit. Het vlies wordt in alle richtingen belast. Dit heeft tot gevolg dat de belasting van de draden van het weefsel groter is en er in het weefsel dus relatief eerder schade ontstaat.

Resultaten valproeven met twee verschillende geotextielen

Sommige fabrikanten leveren composieten die bestaan uit twee geotextielen: een weefsel en een vlies. De combinatie wordt veel gebruikt voor zinkstukken; het idee is dat het weefsel voor de benodigde sterkte zorgt en het vlies voor de zanddichtheid en als beschermingslaag voor het weefsel. Er zijn proeven uitgevoerd op een dergelijke combinatie waarbij het weefsel en het vlies zodanig los met elkaar verbonden zijn dat ze over elkaar kunnen schuiven. Het weefsel was een polypropyleen geotextiel met een treksterkte van



Figuur 7 –
Deformatiepatroon bij impact van een scherpe vallende steen (B60), links een weefsel, rechts een vlies. De kleuren geven aan hoeveel pixels het geotextiel is verschoven. De figuren zijn oorspronkelijk 1920 x 1800 pixels (aangepast naar De Strijcker en Decraene, 2017).



Figuur 8 – Veldproef.
Rechts: voorbeeld van schade aan het onderste geotextiel (vlies) bij een test met twee lagen.
(Foto's Van den Herik)



40 kN/m en een maximale rek van 12% in beide richtingen; het vlies was ook van polypropyleen en had een treksterkte van 15 kN/m in de machinerichting en 12 kN/m in de dwarsrichting. In beide richtingen is de maximale rek voor het vlies meer dan 60%. De testen zijn alleen uitgevoerd met Blok B90 en een valhoogte van 1 m.

Eerst zijn de twee geotextielen afzonderlijk getest. Het beschadigde gebied was gemiddeld (bij 2 proeven) 70 cm² voor het weefsel en 15 cm² voor het vlies. Daarna is de combinatie getest. Dit gaf als opmerkelijk resultaat dat altijd het onderste geotextiel bezweek ongeacht of dit nu het vlies was of het weefsel. De schade was gemiddeld 16 cm² bij het weefsel wanneer dit het onderste geotextiel was en 9,5 cm² wanneer het vlies het onderste geotextiel was.

Ook in het veld zijn proeven uitgevoerd (figuur 8, Van den Herik, 2017). Hoewel verschillend van opzet en met andere stenen bevestigen deze veldproeven de resultaten van de laboratoriumproeven: het onderste geotextiel wordt het eerst beschadigd.

De resultaten van de proeven met twee geotextielen zijn niet te verklaren met het geometrisch criterium. Volgens dat criterium zou bij een twee-lagen test altijd het geotextiel met de laagste breukrek het eerst moeten bezwijken, omdat beide geotextielen volgens dat criterium dezelfde rek hebben bij de impact van de steen.

Mogelijk mechanisme

Uit figuur 7 blijkt dat geotextielen niet alleen vervormen onder de steen maar ook buiten het gebied waar de vallende steen komt. Daarnaast kunnen de wrijving tussen het geotextiel en de vallende steen, en de wrijving tussen het geotextiel en het zand van invloed zijn op de vervorming van het geotextiel. Veronderstel, als gedachtenexperiment, dat de wrijving tussen het geotextiel en het blok verwaarloosbaar is maar dat er wel wrijving is tussen het geotextiel en het zand. Wanneer het geotextiel is geplaatst op zand en er wordt een steen op gegooid, dan zal het zand naar buiten worden gedruwd door de steen, die met het geotextiel in het zand dringt. De wrijving tussen het zand en het geotextiel zal dan ook het geotextiel naar buiten trekken aan beide zijden van de vallende steen. Als gevolg daarvan ontstaat er een trekkracht in het geotextiel. Deze is het grootst bij de punt van de steen, dus daar zal het eerst schade ontstaan. Een steen die valt van een paar meter hoogte en na een paar centimeter penetratie in het zand tot stilstand komt, zal een vertraging hebben van orde 100 keer de zwaartekrachtsversnelling en dus krachten genereren die orde 100 maal het gewicht van de steen zijn. Voor een 2D situatie waarbij het blok op een ribbe valt, is de krachtenverdeling dan zoals is weergegeven in 9. De vertragende steen geeft een reactiekracht F en omdat in figuur 9 maar een halve steen wordt beschouwd,

dus 0,5 F. Bij de maximale penetratie wordt deze kracht gecompenseerd door de reactiekracht in het zand. Deze maakt een hoek ϕ' met de lijn loodrecht op het geotextiel, waarin ϕ' de wrijvingshoek van het zand en het geotextiel is. Dit resulteert in een kracht $F_{//}$ aan beide zijden van de punt van de steen. Deze kracht is dus de maximale trekkracht in het geotextiel.

Met figuur 9 kan worden afgeleid dat zonder wrijving tussen het blok en het geotextiel geldt:

$$F_{//} = \frac{\sin \phi'}{\sin (\frac{\beta}{2} + \phi')} 0,5F \quad (3)$$

Dus geldt bijvoorbeeld dat bij $\phi' = 40^\circ$ en $\beta = 90^\circ$ de kracht $F_{//} = 0,65 \cdot 0,5F = 0,325 \cdot F$. De kracht loodrecht op het geotextiel is:

$$F_{\perp} = \frac{\cos \phi'}{\sin (\frac{\beta}{2} + \phi')} 0,5F \quad (4)$$

Nu heeft het geotextiel ook nog een wrijving met het blok. Stel de wrijvingshoek tussen het blok en het geotextiel is ϕ'_b . Dan levert het blok een neerwaartse kracht, waardoor de totale belasting op het geotextiel kleiner wordt. Voor $F_{//}$ geldt dan:

$$F_{//} = 0,5 \left[\frac{\sin \phi' - \tan \phi'_b \cos \phi'}{\sin (\frac{\beta}{2} + \phi')} \right] F \quad (5)$$

$F_{//}$ is dan de totale kracht. Wanneer een blok een breedte heeft van, zoals bij deze proeven, 0,26 m, is de trekkracht in het geotextiel in kN/m lokaal dus nog 1/0,26 m hoger.

Nu dient F nog te worden berekend. Uit de slow motion videobeelden blijkt dat bij blok A90 de indringing bij een valhoogte van 4 m van blok ongeveer 0,09 m is. De gemiddelde vertraging is dus ca. 44 g. Echter deze zal in het begin minder zijn en dus aan het einde meer. Om dit te simuleren, is de penetrerende steen gezien als een ondiepe fundering, zonder het geotextiel in rekening te brengen. Voor een stripfundering op grond zonder cohesie geldt:

$$F = \alpha \cdot 0,5 \gamma' \cdot B \cdot A \cdot N_y \quad (6)$$

waarin γ' de 'effectieve' dichtheid, B de breedte van de fundering, A het oppervlak van de fundering. Verder is:

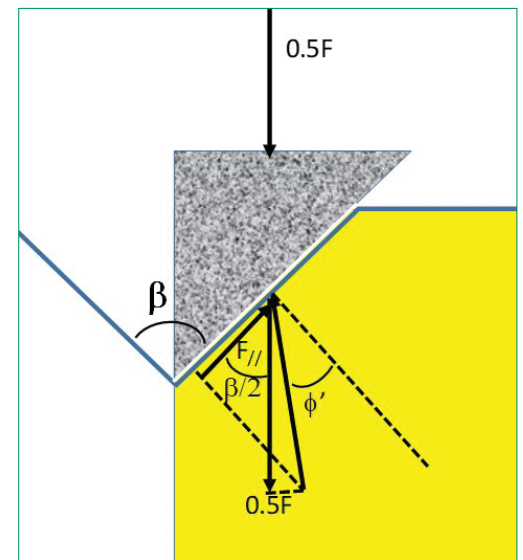
$$N_y = 2(N_q + 1) \tan \phi' \quad (7)$$

en

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi'} \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2}) \quad (8)$$

De factor α hangt af van de geometrie van de fundering en is 1 voor een lange fundering met constante breedte B en 0,6 voor een vierkante fundering. In een spreadsheetprogramma is nu het verloop van de indringing te berekenen. Uit de valhoogte is de snelheid van het blok bekend op het moment dat dit het geotextiel raakt.

Aangezien de vorm van het blok bekend is, is bij een zekere indringing B bekend en kan de tegenkracht berekend, daaruit kan de vertraging



Figuur 9 – Krachten uitgeoefend op de ondergrond en geotextiel bij vertragende steen na impact.

van het blok, snelheid en verplaatsing worden berekend. Door dit te doen voor kleine tijdstapjes van 0,3 ms kan het verloop van de indringing worden berekend.

Omdat hier geen rekening gehouden wordt met het geotextiel is de berekende indringing te groot en moet met een hoge $\phi' = 42^\circ$ gerekend worden en een hoge $\alpha = 11$ (veel hoger dan de eerder genoemde waarden (0.6 en 1) omdat het geotextiel leidt tot extra spanning in de grond) om de berekende indringing te laten overeenstemmen met de gemeten indringing. Er is dan echter wel de piekvertraging te berekenen en die is bijna 180 g.

De berekende trekkracht in het geotextiel hangt sterk af van de gekozen wrijvingshoek tussen het geotextiel en het beton van het blok en die tussen het geotextiel en de ondergrond. Wanneer de wrijvingshoek tussen het zand en het geotextiel twee maal zo groot is als die tussen het beton en het geotextiel is de trekkracht in het geotextiel ($F_{//}$) door het naar buiten gedruwde zand ongeveer 45 kN/m. Nog onvoldoende om het geotextiel weefsel met een treksterkte van 80 kN/m over de gehele rib van het blok te laten scheuren, maar aan de randen zou dit wel kunnen gebeuren. Ook is de kracht wel voldoende om een vlies met een treksterkte van 15 kN/m te laten scheuren, zoals het vlies in het composietmateriaal, ondanks de hoge rek (60%) bij breuk. Volgens het geometrisch criterium zou het niet mogen scheuren omdat volgens het geometrisch criterium (formule 1) de rek niet hoger wordt dan 41%. Bij een puntvormig blok is de belasting nog groter, maar die mogelijkheid is niet opgenomen in deze eenvoudige berekening. Wel blijkt uit deze berekening dat wanneer twee geotextielen worden toegepast

en de wrijving tussen het zand en het onderste geotextiel groter is dan die tussen de geotextielen, het onderste geotextiel het zwaarst belast wordt en dus het eerst bezwijkt, zoals ook is gemeten.

Conclusies

Aan de hand van de uitgevoerde valproeven en de analyse van de resultaten zijn de volgende conclusies mogelijk:

- Het geometrisch criterium, zoals verwoord in de Ontwerprichtlijn Geotextielen onder Steenbekledingen is een belangrijk criterium en verklaart waarom vliezen beter bestand zijn tegen impact door vallende stenen dan weefsels.
- Weefsels worden door een vallende steen slechts in de machinerichting en dwarsrichting belast, bij vliezen is er een meer alzijdige belasting. Bij stenen die op een punt vallen is dat ook een belangrijke reden waarom vliezen stabiel zijn dan weefsels.
- De absorptie-energie kan niet worden gebruikt om de stabiliteit van verschillende geotextielen tegen vallende stenen te vergelijken. In de proeven bleek de absorptie-energie wel een

goede maat voor scherpe blokken waarbij voor verschillende geotextielen het geometrisch criterium niet voldoet.

- Bij een composiet en redelijk verdicht zand blijkt het onderste geotextiel altijd eerst beschadigd te worden. In het artikel is hiervoor een mogelijke verklaring gegeven: de wrijving tussen het onder het blok vervormende zand en het geotextiel. Daaruit blijkt dat ook de wrijving tussen het blok en het geotextiel belangrijk is voor het al of niet optreden van schade.
- Een eenvoudig rekenmodel laat zien dat er ook in de situatie dat er geen schade aan het geotextiel kan ontstaan, volgens het geometrisch criterium, er toch schade mogelijk is. Dit blijkt ook uit de metingen.

Medewerking

Met dank aan Van den Herik voor het beschikbaar stellen van foto's en proefresultaten van de veldproeven; aan Geopex, BontexGeo, TenCate en Naue voor het ter beschikking stellen van geotextielen; en aan Steven De Strijcker, Tijn Decraene, Merel den Dikken en Dries De Smaele voor het uitvoeren van de proeven.

Literatuur

- CROW (2020) (Erratum) CROW-CUR Ontwerprichtlijn Geotextielen onder steenbekleding (660.16), <https://www.crow.nl/publicaties/ontwerprichtlijn-geotextielen-onder-steenbekleding>.
- CUR (2004) Damage to geotextiles underneath -rip-rap (in Dutch). CUR committee F041. Dutch Centre of Research and Regulations for Civil Engineering.
- De Strijcker S. Decraene T. (2017) Strength of geotextiles against falling stones, laboratory experiments and software validation (Master thesis), Ghent University, Faculty of engineering science and architecture.
- Izadi E., Decraene T., De Strijcker S., Bezuijen A., Vinckier D. (2018) A laboratory investigation on the impact resistance of a woven geotextile. Geotextiles and Geomembranes 46 (2018) 91–100.
- SBR-CUR (2017) Ontwerprichtlijn Geotextielen onder Steenbekledingen. ISBN 9789053676363.
- Van den Herik Contractors (2017), Memo valproeven MKD, versie 27-11-2017, Project 10796. ●

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

TENCATE
GEOSYNTHETICS

Van experimenteel onderzoek
naar toepassing in de praktijk

Deltares is een onafhankelijk toegepast kennisinstituut op het gebied van water, bodem en infrastructuur. Wereldwijd werken we aan slimme technologische innovaties en duurzame oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen.

Wij werken aan geotechniek in

- Waterkeringen
- (Spoor)weg- en leiding infrastructuur
- Funderingen en ondergrondse constructies
- Klimaatbestendige netwerken

www.deltares.nl

DIJKVERSTERKING MET **BENTOFIX®** Bentoniet mat

Toepassingsgebieden:

- Dammen en dijken
- Opslagtanks, binnenwatertanks, vijvers
- Stortplaatsen, mijnbouw, tunnelbouw
- Infrastructuurmaatregelen, kustbescherming
- Waterbouw

Voordelen:

- Eenvoudige, snelle en voordelige installatie
- Direct een hoog afdichtend effect
- Hoge duurzaamheid
- Robuust en ongevoelig voor zettingen
- Geschikt voor steilere taluds door hoge bond sterkte



NAUE GmbH & Co. KG
Duitsland
Tel.: +49 5743 41-0
info@naue.com - www.naue.com