

JAARGANG 25 NUMMER 2 JUNI 2021

Geotek kunst

ONAFHANKELIJK VAKBLAD
VOOR GEBRUIKERS VAN
GEOKUNSTSTOFFEN



**VELDMETINGEN IN EEN ONDER-WATER
PAALMATRAS MET GEOTEXTIEL-WAPENING**

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,
Gouderak
GeoTec Solutions BV, Culemborg
GID Milieutechniek, Velddriel
Havenbedrijf Rotterdam, Rotterdam
Huesker Synthetic BV, Rosmalen

InfraDelft BV, Delft
Juta Holland BV, Oldenmarkt
Joosten Kunststoffen, Bommel
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
Tensar 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,

In deze editie van Geokunst vinden jullie een in memoriam voor Koos Mouw, in februari overleden op de leeftijd van 76 jaar. Koos was een stuwende kracht achter de oprichting van de Nederlandse Geotextielorganisatie. Hij is jarenlang voorzitter geweest en later benoemd als erelid van de NGO. Koos is betrokken geweest als pionier voor de ontwikkeling van geotextieloplossingen bij de stormvloedkering Oosterschelde in de jaren '70. Hij was waterbouwer in hart en nieren, en we zijn hem dankbaar voor alles wat hij heeft betekend voor onze branche.

Ook vinden jullie in deze uitgave een boeiend artikel over paalmatrassen door Suzanne van Eekelen en anderen. Het artikel gaat in op uitgebreide veldmetingen bij een paalmatras opgebouwd met

geotextielen en onder de grondwaterstand.

Voor het bevorderen van kennisoverdracht in het vakgebied organiseert de NGO meermalen per jaar verschillende activiteiten. Vorig jaar is er voor Rijkswaterstaat en Prorail een succesvolle kennissessie georganiseerd met lezingen over de toepassing van geokunststoffen specifiek bij wegen en spoorlijnen (zie artikel Geokunst juni 2020 op ngo.nl). Op basis van deze succesvolle sessie is op 22 april 2021 een nieuwe lezingenmiddag georganiseerd met als onderwerp 'Geotextielen in de waterbouw'. Gezien de gezondheidssituatie was de bijeenkomst uiteraard

online. Met een uitnodiging via het ingenieursnetwerk van KIVI leidde dit tot een recordaantal deelnemers. Met meer dan 90 personen werd het één van de NGO-activiteiten met het grootste aantal deelnemers ooit! Hiermee zien we één van de voordelen van de huidige situatie: contact en kennisuitwisseling kan laagdrempelig en efficiënt online georganiseerd worden. Voor het volgen van de lezingenmiddag was er veel interesse uit het vakgebied en zodoende waren er deelnemers vanuit Rijkswaterstaat, Havenbedrijf Rotterdam, ingenieursbureaus, aannemers, onderzoeksbureaus, etc. De kennissessie bestond uit een zestal korte presentaties van twintig minuten met één specifiek onderwerp per lezing. Er kwam een breed scala aan onderwerpen aan bod als geokunststoffen onder steenbekleding, vervuilde waterbodems, kademuurconstructies, geotextiele zandelementen, afdichtingsconstructies bij dijken en erosiebescherming in de waterbouw. In de volgende editie zullen we uitgebreid verslag doen om hiermee het enthousiasme voor geotextielen in de waterbouw over te brengen op de nieuwe generatie.

Uit het bovenstaande mag duidelijk zijn: wij leven met water. Nederland is gebaseerd op het werk van vele noeste waterbouwers, al generaties lang. De toepassing van geokunststoffen als hoogwaardig bouw materiaal in waterbouwkundige toepassingen draagt een belangrijk steentje bij om Nederland veilig, leefbaar en bereikbaar te houden. En het mooie is dat deze kernwaarden de missie zijn van Rijkswaterstaat. Samen werken aan een duurzame toekomst doen we met elkaar.

Ik wens jullie een goede gezondheid en heel veel leesplezier toe.

Rijk Gerritsen
Eindredacteur GeoKunst



Oosterscheldekering (Beeldbank Rijkswaterstaat)

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



Dr. Ir. Suzanne J.M. van Eekelen
Deltares



Ing. Rob Zwaan
Deltares



Dr. Alain Nancey
TenCate Geosynthetics Frankrijk



Ing. Marco Hazenkamp
TenCate Geosynthetics
Nederland



Prof.dr. Young-Hoon Jung
Kyung Hee Universiteit
Zuid-Korea

VELDMETINGEN IN EEN ONDER-WATER PAALMATRAS MET GEOTEXTIEL-WAPENING

Inleiding

De ontwerprichtlijn CUR226 voor paalmatrassen is in 2016 gepubliceerd. De ontwerprichtlijn rekent met het Concentric Arches (CA) model (Van Eekelen et al., 2013 en 2015 en Van Eekelen, 2015). Dit model is gevalideerd met behulp van ruim 100 metingen in een flink aantal monitoringsprojecten en proevenseries (Van Eekelen et al., 2015). Alle matrassen waarin is gemeten hadden

minimaal één laag geogrid-wapening. Bovendien waren alle matrassen onverzadigd, en aangelegd boven of op de grondwaterspiegel. De gevalideerde toepassing van de in CUR226 beschreven ontwerpregels is beperkt tot paalmatrassen waarvan geometrie, conditie en materialen overeenkomen met de condities waarin is gemeten. Dit betekent onder andere dat de gehele aardebaan boven de grondwaterspiegel moet liggen, en dat

tenminste één laag van de wapening moet bestaan uit geogrid. Voldoen we niet aan deze condities, dan vraagt de CUR226-ontwerprichtlijn om aanvullende metingen waarmee aangetoond kan worden dat het CA model ook voor deze condities goede resultaten geeft.

Voor dit doel zijn er veldmetingen uitgevoerd in een paalmatras die deels onder de grondwaterspiegel is gebouwd. De paalmatras is bovendien gewapend met twee lagen geweven geotextiel, zonder geogrid. Dit artikel geeft de meetresultaten van het eerste meetjaar; en vergelijkt de gemeten rekken van het geotextiel met het CA model van CUR226.



Figuur 1 – Meetvak van de paalmatras van rotonde de Wetering in aanbouw. De paaldeksels worden bedekt met non-woven geotextiel. Dit beschermt de geotextiel-wapening die daarbovenop komt. Op de meetlocatie is de zandige ondergrond vervangen door slap veen.

Voor 27 februari 2019	Installatie palen en paaldeksels, beëindiging drainage.
27 februari 2019	0,35 m zand tussen de paaldeksels weggegraven en vervangen door slap veen (figuur 1). Dit is alleen gebeurd in het meetvak.
28 februari 2019	Zettingsslang 4 (onder het geotextiel). Aanbrengen beide lagen geotextiel-wapening en rekopnemers.
1 maart 2019	Aanbrengen zettingsslangen 1 en 3 en poriedruk-opnemers op geotextiel. Eerste 0,30 m menggranulaat (hoog gehalte gebroken baksteen).
3 maart 2019	Eerste meting zettingsmeetslangen.
4 maart 2019	Tweede 0,30 m menggranulaat (hoog gehalte gebroken baksteen); terugslaan geotextiel. Rekopnemers en poriedruk-opnemers op terugslag geotextiel.
12 maart 2019	Aanbrengen 0,40 m goed verdicht zand.
Tot 25 maart 2019	Afwerken berm noordzijde; plaatsen bomen.
1 april 2019	0,30 m goed verdicht hydraulische menggranulaat.
3 tot 5 april 2019	0,21 m asfalt.
6 april 2019	Openstelling weg.
3 mei 2019	Meting zettingsmeetslangen.
8 januari 2020	Start meten waterniveau in sloot.
4 maart 2020	Meting zettingsmeetslangen.

Tabel 1 - Sleuteldata bouw en monitoring paalmatras rotonde de Wetering

Beschrijving paalmatras in de Krimpenerwaard

In 2011 leverde Ballast Nedam een nieuw deel op van de N210 in de Krimpenerwaard. Omdat de 14 km lange nieuwe weg op een dikke laag extreem samendrukbaar veen is gelegen werd deze gebouwd op een paalmatras (Haring et al., 2008). Acht jaar later, in 2019, werd een nieuwe industriewijk bij Bergambacht met de nieuwe rotonde de Wetering aangesloten op de N210, weer met een paalmatras.

Tabel 1 en figuren 1 en 2 laten zien wanneer en hoe de paalmatras is gebouwd. Vierkante prefab 0,75 m x 0,75 m paaldeksels, met afgeronde randen en hoeken, liggen op de betonnen prefab palen. De gemiddelde dwars x langs hart-op-hart afstand van de palen is 2,28 m x 2,27 m. Een non-woven doek op de paaldeksels beschermt het daarboven gelegen wapeningsdoek (figuur 1). Deze wapening bestaat uit twee lagen geweven geotextiel (TenCate Geolon® PET 400/50) die direct op de non-wovens zijn gelegd. Het onderste geotextiel ligt dwars op de wegas, de tweede parallel aan de wegas.

Voor het valideren van een ontwerpmodel rekenen we met de gemiddelde waarde van de wrijvingshoek (niet de karakteristieke waarde, die waarde wordt gebruikt bij het ontwerpen).

SAMENVATTING

Het hart van onze ontwerprichtlijn voor paalmatrassen CUR226:2016 is het Concentric Arches (CA) model van Van Eekelen et al. (2013, 2015). Dit rekenmodel is gevalideerd met behulp van meetdata van monitoringsprojecten en proevenseries. De ontwerprichtlijn is geldig voor paalmatrassen die overeenkomen met de paalmatrassen waarmee het Concentric Arches model is gevalideerd. Dit betekent onder andere dat de hele aardebaan boven de

grondwaterspiegel moet liggen, en dat tenminste één wapeningslaag moet bestaan uit geogrid. Dit artikel beschrijft nieuwe veldmetingen voor een paalmatras met alleen geotextielen (maar zonder geogrids). De metingen laten zien dat de rekenregels van CUR226 ook toepasbaar zijn voor deze paalmatras. Bovendien meten we in deze paalmatras geen nadelige invloed van een stijgende grondwaterstand.

Voor de goed verdichte zandlaag in de ophoging is een gemiddelde waarde van de wrijvingshoek van 35 graden een goede inschatting. Daaronder ligt 0,6 m menggranulaat met een hoog gebrokenbaksteen-gehalte. De korrelvorm van het menggranulaat was subhoekig en de verdeling was gemiddeld tot goed. BSI (2015) en CEN (2008) adviseren hiervoor een karakteristieke residuele wrijvingshoek van 34 tot 36 graden. De gemiddelde waarde is dan 36,5 tot 38,5 graden. Het gewogen gemiddelde van de wrijvingshoek in de aardebaan binnen de booghoogte varieert dan tussen 35,8 en 36,9 graden. In de berekeningen in dit artikel variëren we de gemiddelde wrijvingshoek van de laag zand + menggranulaat wat ruimer: tussen 34 en 38 graden.

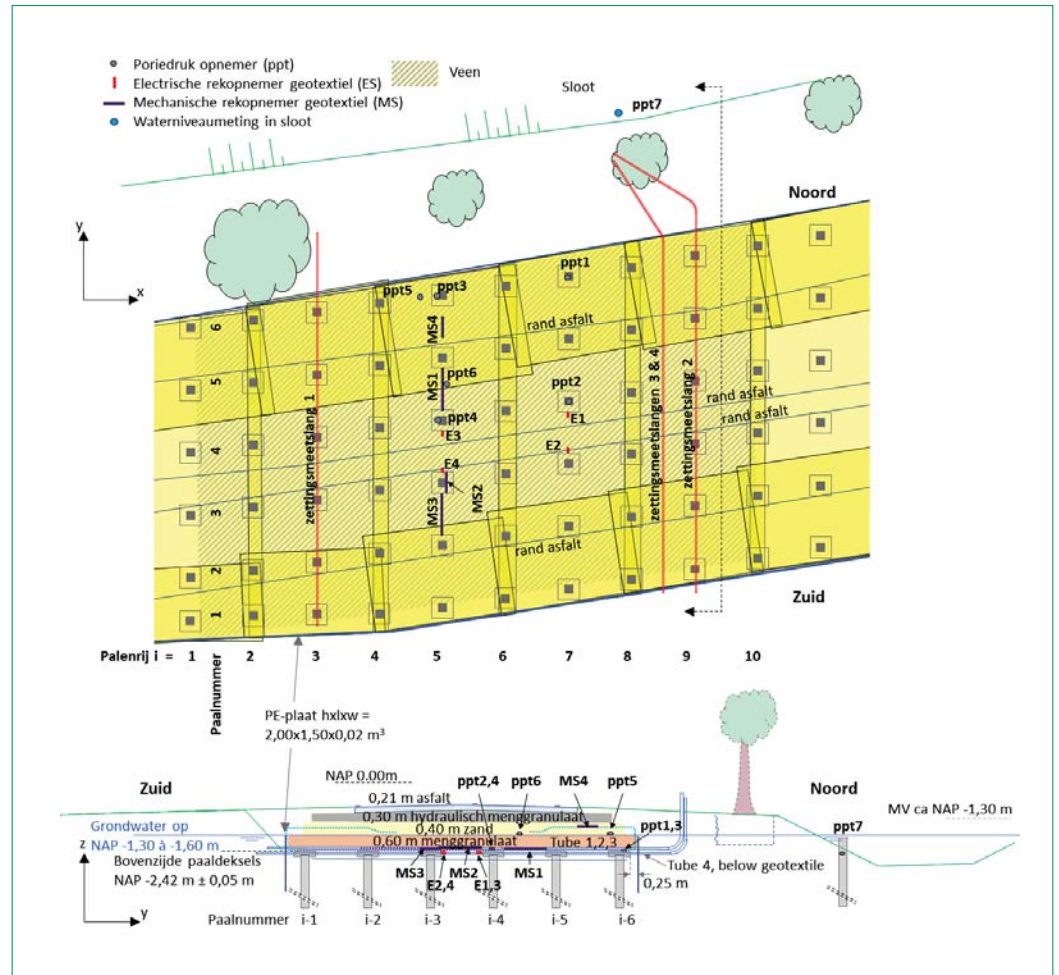
De paalmatras is gebouwd op een dikke laag extreem samendrukbaar veen. Net op de locatie van het meetvak was de ondergrond echter relatief goed, omdat daar een oud weglichaam lag. Om een representatieve doorhang van het geotextiel te garanderen gedurende de meetperiode van twee jaar, is daarom de bovenste 0,35 m van de ondergrond vervangen door onverdicht, losgepakt en sterk samendrukbaar veen, zoals te zien in figuur 1. Hierdoor zal de ondersteuning van het geotextiel al snel nihil zijn en de doorhang van het geotextiel vrijwel maximaal. Twee monsters van het veen hadden een volumegewicht van 11,2 kN/m³ en een natuurlijk watergehalte van 320%.

Monitoringsprogramma

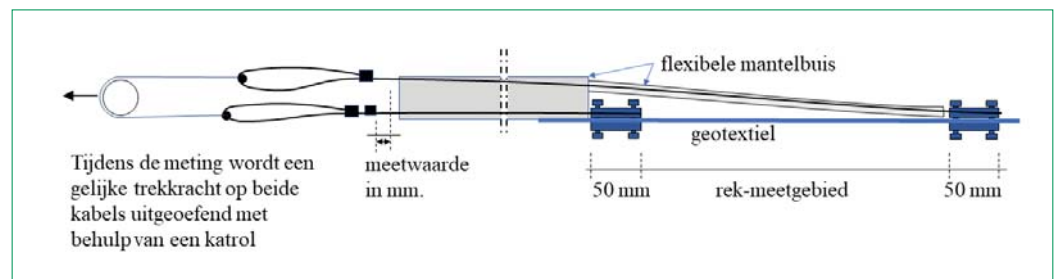
Figuur 2 toont een bovenaanzicht en een dwarsdoorsnede van het meetvak, inclusief de meetinstrumenten. Zettingsmeetslangen 1, 2 en 3 liggen op de twee lagen geotextiel en zijn er aan bevestigd. Zettingsmeetslang 4 ligt onder het geotextiel en is niet aan het geotextiel bevestigd. De positie van de zettingsmeetslangen wordt incidenteel elke 0,10 m gemeten. De meting van de hoogteligging heeft een nauwkeurigheid van 0,01 tot 0,02 m.

Poriedrukopnemers (ppt) 1 t/m 4 liggen op paaldeksels, gemiddeld op NAP -2,38 m, en ppt's 5 en 6 liggen 0,66 m hoger, op gemiddeld NAP -1,72 m. Alleen ppt1 en ppt6 zijn het hele eerste meetjaar blijven functioneren. In januari 2020 is een extra ppt, nummer 7, geïnstalleerd in de naastgelegen sloot.

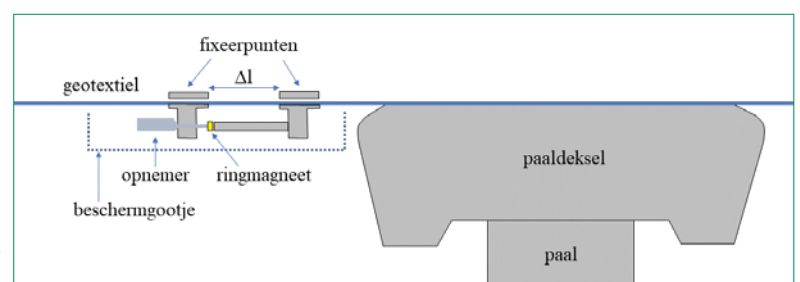
De rekken van het geotextiel worden op drie manieren gemeten of ingeschat.



Figuur 2 – Boven- en dwarsdoorsnede van het meetvak. De dwarswapening is ingetekend (in het bovenaanzicht in het geel, in de dwarsdoorsnede met een blauwe stippeltjeslijn), de langswapening is voor de overzichtelijkheid in de tekening weggelaten.



Figuur 3 – Mechanische rekopnemers (MS).



Figuur 4 – Elektronische rekopnemers (E).

- Met mechanische opnemers (mechanical strain = MS). Dit is een grote versie van de door Van Eekelen et al. (2011) beschreven fiets-versnellingskabels die 10 jaar geleden zijn gebruikt in paalmatras-proeven van Deltares. Elke opnemer bestaat uit twee dezelfde stalen kabels met een diameter van 1,5 mm, geïnstalleerd in een PE-buisje en naast elkaar bevestigd aan het geotextiel (figuur 3). De MS opnemers waren 0,55 tot 1,39 m lang en worden incidenteel ingemeten. MS1, 3 en 4 meten de rekken tussen de paaldeksels en MS2 de rek op de paaldeksel.
- Met vier elektronische rekopnemers (E), die continue meten. Voor deze opnemers is een deformatie-opnemer ingebouwd tussen twee PVC geotextielklemmen. Door de rekken te schatten uit de metingen in de zettingsmeetslangen. Dit doen we voor elke geotextiel-overspanning tussen twee naast elkaar gelegen paaldeksels in zettingsmeetslangen 1 en 2.

Weer en grondwater

De grondwaterstand meten we met genoemde poriedruk-opnemers (ppt's). De invloed van regen beschouwen we door te kijken naar het neerslagtekort, het verschil tussen de verdamping en de neerslag. Voor de verdamping is het gemiddelde genomen van de gemeten waarden in de weerstations van Rotterdam, de Bilt en Herwijnen (KNMI, 2020a). De dagelijkse neerslag is gemeten in weerstation Groot Ammers (KNMI, 2020b). In dit artikel nullen we het neerslagtekort niet gedurende het winterseizoen. Dit gebeurt normaal wel voor landbouwdoeleinden, maar is hier niet zinvol.

Meetresultaten

ZETTINGSMEETSLANGEN

In de metingen in zettingsmeetslangen 1 en 2 zien we duidelijk de positie van de paaldeksels (figuur 5). Het geotextiel zakt namelijk tussen de paaldeksels. In maart 2020 was de doorhang van het geotextiel gemiddeld 0,10 m en maximaal 0,13 m. Dit doorhangen is nuttig, want hierdoor ontwikkelt zich de boog-werking. Het is het beste om de doorhang grotendeels te laten gebeuren vóór het asfalteren, omdat dan het asfalt vlak blijft. Figuur 5 toont dat dat het geotextiel al meteen doorhangt doordat het veen gemakkelijk meegleeft en het geotextiel nooit helemaal strak ligt. Het grootste deel van de doorhang (en rek van het geotextiel) daarna heeft in dit geval inderdaad al snel heeft plaats gevonden: tussen maart en mei 2019. Daarna meten we vrijwel geen extra zettingen meer.

Figuur 6 toont de meetresultaten voor zettingsmeetslangen 3 en 4 die respectievelijk boven en onder het geotextiel liggen. Ook hier zien we de meeste zetting in de eerste twee maanden. De zettingsmeetslang onder het geotextiel zakte in de eerste twee maanden maximaal 8 cm en zakte verder tot maximaal 10 cm na een jaar. Zettingsmeetslang 3 op het geotextiel zakte minder: maximaal 7 cm na twee maanden tot 8 cm na een jaar. Dit laat zien dat de ondergrond meer zakt dan het geotextiel. Het geotextiel verliest zoals verwacht dus zijn ondersteuning van de ondergrond doordat de ondergrond eronder wegzakt.

REKKEN IN HET GEOTEXTIEL

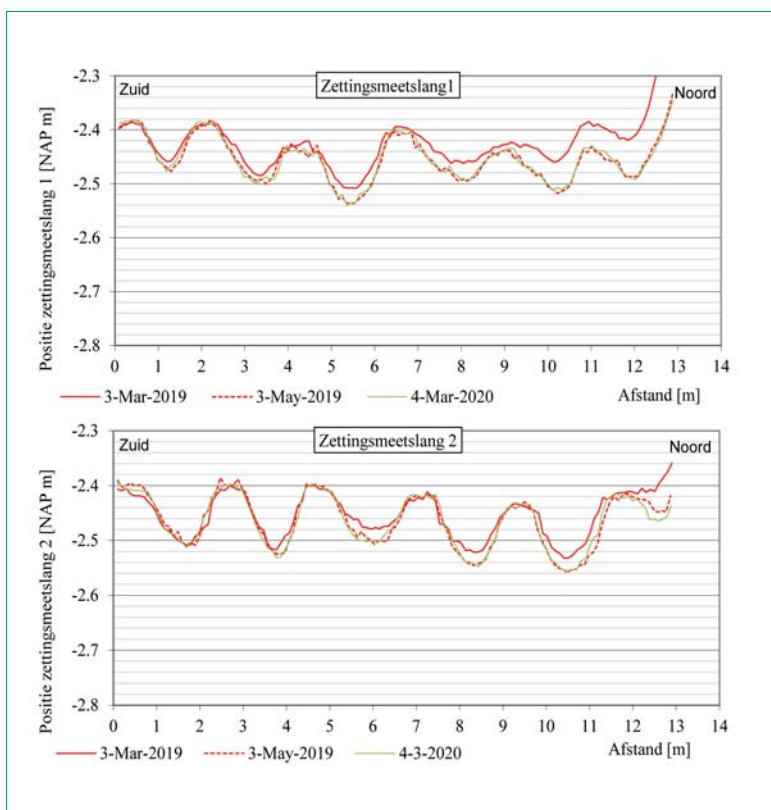
Figuur 7 toont de gemeten rekken. E1 en E2 geven de grootste rekken, en deze rekken komen overeen met de meting van MS1. Daarom beschouwen we deze waarden als maatgevend. De rekken vertonen een dagelijkse cyclus die we vaker hebben gezien in andere monitoringsprojecten, maar die we niet kunnen verklaren.

PORIEDRUKKEN, GRONDWATERNIVEAU EN NEERSLAGTEKORT

Figuur 8 toont het verloop van de grondwaterspiegel zoals gemeten door de twee ppt's die het hele eerste meetjaar bleven functioneren. Ze geven identieke resultaten. Ppt7 is in januari 2020 in de sloot geïnstalleerd. De figuur laat zien dat de aardebaan voor een groot deel in het grondwater ligt. Het neerslagtekort (verdamping min neerslag in m) in de figuur laat zien wanneer er neerslag valt. Als het regent, dan daalt het neerslagtekort en dan zien we in de poriedrukopnemers een stijgende grondwaterstand. Dat laat zien dat de poriedrukopnemers betrouwbare resultaten geven. De droge zomer van 2019 geeft een stijgend neerslagtekort. Aan het einde van deze zomer, eind september 2019, ging het stevig regenen: er viel 90 mm regen in acht dagen tijd. Het neerslagtekort kelderde en de grondwaterstand liep op. We zien dus duidelijk dat de grondwaterstand oploopt bij neerslag. Na een poosje is de invloed van de bemaling merkbaar: de grondwaterstand daalde weer terwijl het nog steeds regelmatig regende, wat we zien aan het nog immer afnemende neerslagtekort.

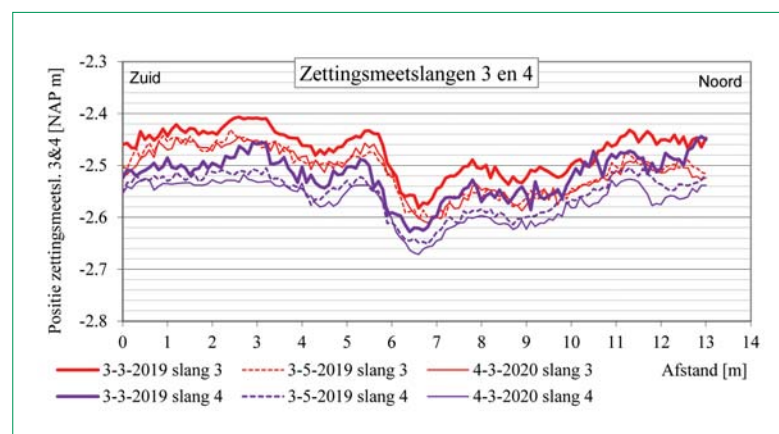
GRONDWATERNIVEAU EN REK IN HET GEOTEXTIEL

Figuren 9 en 10 tonen wat er gebeurde tijdens de natte periode vanaf eind september 2019: de grondwaterspiegel steeg en de rek in het geotextiel daalde. Waarschijnlijk kwam het geotextiel omhoog door de afname van het effectieve grondgewicht van de aardebaan, wat gepaard ging



Figuur 5 –
Zettingsmeetslangen
1 en 2. Elke
zettingsmeetslang
ligt over zes palen.

Figuur 6 – Zettingsmeetslangen 3 en 4.



met een afname van de rek van het geotextiel. Deze verklaring, het afnemende effectieve gewicht van de aardebaan, is in lijn met de metingen van Van Eekelen et al. (2020), Briançon en Simon (2012) en Sloan (2011). Zij meten allemaal dat de belasting op de palen iets afneemt gedurende zware regen. Echter, in de laatste meetmaand stijgt het grondwater weer, maar nu reageert het geotextiel niet. Verder onderzoek naar de invloed van water in de paalmatras is nodig.

Figuur 10 is een detail van figuur 9 en toont een dagelijkse schommeling in de metingen. Dit zien we vaker en kunnen we niet goed verklaren. Het kan een relatie hebben met de spreiding van verkeer over de dag, elektrische invloeden of met dagelijkse temperatuurschommelingen.

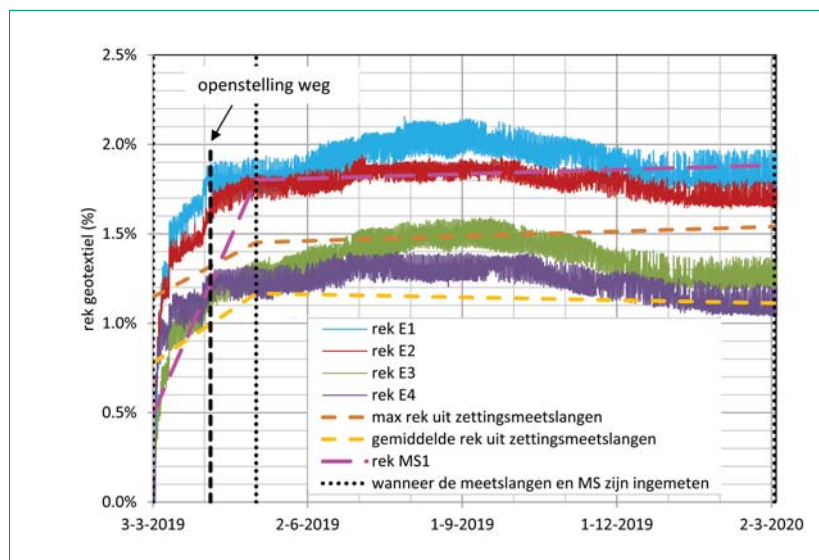
Berekeningen

De rekken in het geotextiel zijn berekend met het CA model (Van Eekelen, 2015) dat is opgenomen in de ontwerprichtlijn voor paalmatrasen CUR226:2016. Partiële factoren zijn niet gebruikt. Tabel 2 geeft de parameters waarmee is gerekend. Er worden een aantal parameters gevarieerd:

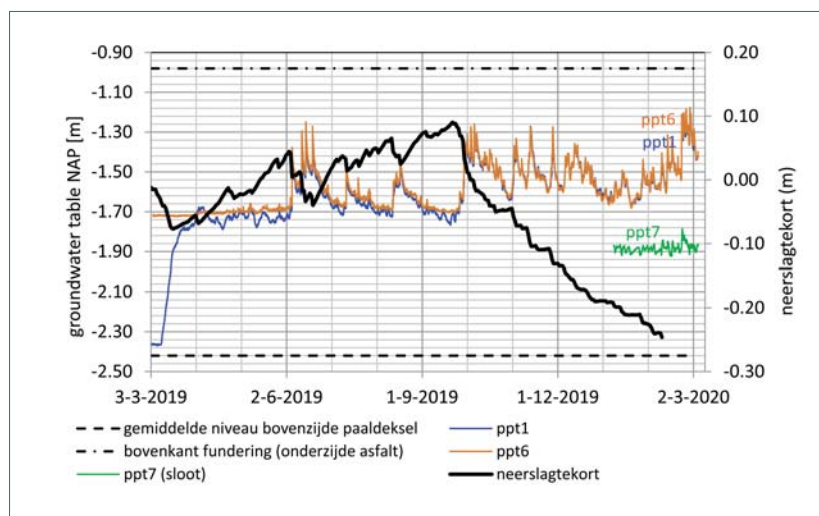
- De wrijvingshoek, zoals eerder uitgelegd.
- De verkeersbelasting. Er wordt gerekend zonder verkeersbelasting (omdat het verkeer tijdens een meting meestal niet aanwezig is) en met 25% van de ontwerp-verkeersbelasting (omdat het verkeer enige blijvende invloed heeft).
- De boogwerkingsreductie. Volgens CUR226 moeten we bij een paalmatras als deze (dunne matras, hoge verkeersbelasting) de boogwerking wat reduceren. Deze reductie blijft ook in stand als er recentelijk een vrachtwagen is langsgekommen. De boogwerkingsreductiefactor $\kappa = 1.58$. Deze waarde past bij deze configuratie en de volgens CUR226 voorgeschreven verkeersbelasting (tabel 2.3 van CUR226).
- Vermoedelijk is een berekening met enige verkeersbelasting en boogwerkingsreductie het meeste conform de werkelijke situatie.

Vergelijking metingen en berekeningen

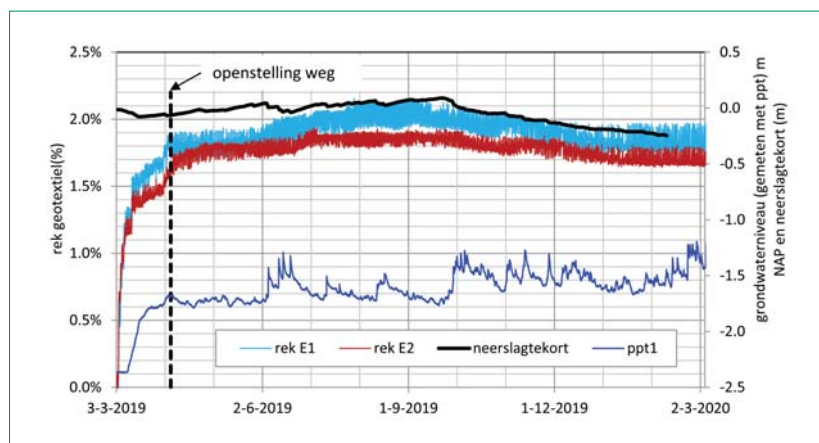
Figuur 11 en tabel 3 vergelijken de gemeten en berekende rek in het geotextiel. De berekeningen zijn uitgevoerd met twee verschillende wrijvingshoeken voor de aardebaan: 34 en 38 graden, wel en geen verkeersbelasting en wel en geen boogwerkingsreductie. De berekende rekken zijn de maximale rekken, die worden uitgerekend bij de rand van de paaldeksels. Om aan te tonen dat CUR226 een betrouwbare voorspelling geeft van de gemeten rekken, moeten de berekende rekken groter of gelijk zijn aan de gemeten rekken. De figuur laat zien dat de kleinst berekende rekken redelijk overeenkomen met de gemiddelde gemeten waarden van E1 tot en met E4. Alle andere berekeningen geven hogere waarden dan alle gemeten waarden. Dit is een veilig resultaat.



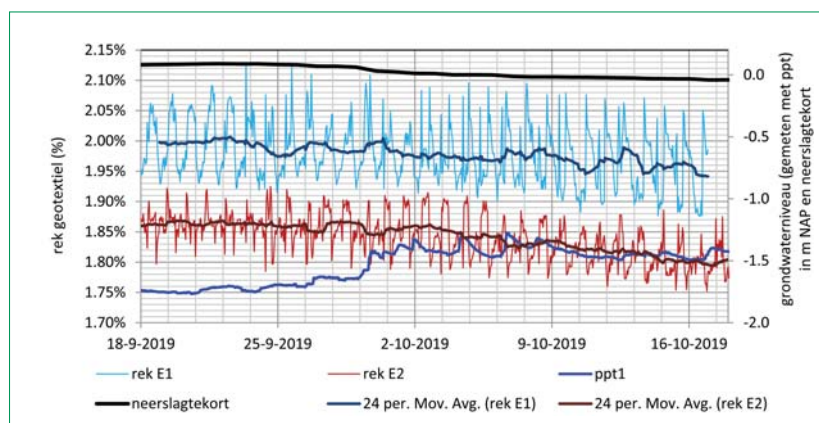
Figuur 7 –
Gemeten rekken in het geotextiel; zie figuur 1 voor de locatie van de rekopnemers. De rekken zijn elk uur gemeten.



Figuur 8 –
Gemeten grondwaterstand en neerslagtekort. De grondwaterstand is elk uur gemeten.



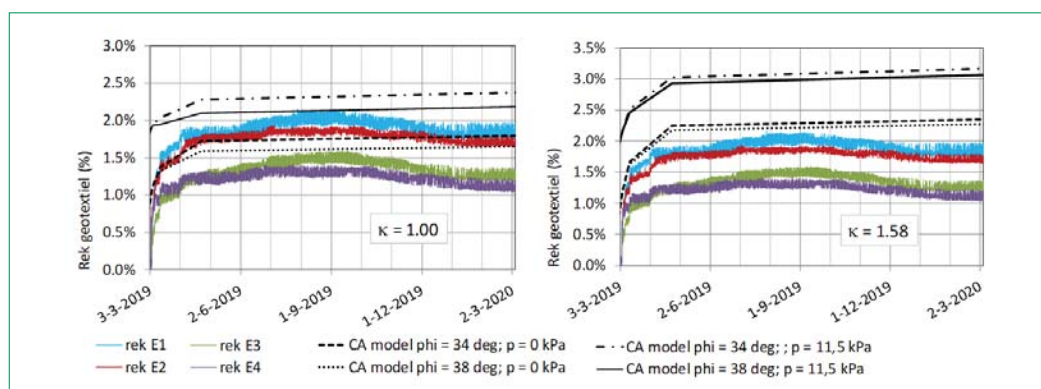
Figuur 9 –
Vergelijking gemeten rekken, neerslagtekort en grondwaterstand



Figuur 10 –
Vergelijking gemeten geotextiel rekken, neerslagtekort en grondwaterniveau. Detail van figuur 9, met een voortschrijdend gemiddelde ('moving average': ieder uur is er 1 x gemeten en de lijn geeft het gemiddelde over 24 uur) door de gemeten rekken.

Datum	Hart-op-hart afstand palen langs / dwars (m)	Breedte vierkante paaldeksels (m)	Dikte aardebaan (m)	Volume-gewicht aardebaan	Wrijvingshoek aardebaan (graden)	Beddingsconstante (kN/m ³)	Tijd- en rek-afhankelijke stijfheid geotextiel kN/m	Bovenbelasting (kPa)	Boogwerkingsreductie
2019									
28 Feb			0,00				3200		
01 Mar			0,30				3200		
05 Mar			0,60				3200		
12 Mar	2,27/2,28	0,75	1,00	19,0	34 en 38	0	2961	0 en 11,5	1 (niet) of 1.58 (wel)
24 Apr			1,51				2722		
2020									
29 Feb			1,51				2544		
25 Aug			1,51				2426		

Tabel 2 - Parameters die zijn gebruikt in de berekeningen met het Concentric Arches model.



Figuur 11 - Vergelijking gemeten en berekende geotextiel rekken. De berekeningen zijn uitgevoerd met het Concentric Arches (CA) model van Van Eekelen et al. (2013, 2015) dat in CUR226 is opgenomen. Links: berekening zonder boogwerkingsreductie ($\kappa = 1.0$), rechts: berekening met boogwerkingsreductie ($\kappa = 1.58$).

Datum	CA model $\phi' = 34$ deg	CA model $\phi' = 38$ deg	CA model $\phi' = 34$ deg	CA model $\phi' = 38$ deg	E1 24 h ^a	E2 24 h ^a	E3 24 h ^a	E4 24 h ^a
Bovenbelasting (kPa)	0	0	11,5	11,5				
Zonder boogwerkingsreductie ($\kappa = 1.0$)								
12-3-2019	1.38%	1.32%	2.03%	1.94%	1.35%	1.25%	0.82%	1.00%
24-4-2019	1.72%	1.58%	2.28%	2.09%	1.78%	1.77%	1.24%	1.22%
29-2-2020	1.79%	1.65%	2.37%	2.18%	1.81%	1.69%	1.26%	1.09%
Met boogwerkingsreductie ($\kappa = 1.58$)								
12-3-2019	1.67%	1.63%	2.51%	2.46%	1.35%	1.25%	0.82%	1.00%
24-4-2019	2.25%	2.18%	3.03%	2.93%	1.78%	1.77%	1.24%	1.22%
29-2-2020	2.35%	2.27%	3.16%	3.06%	1.81%	1.69%	1.26%	1.09%

Tabel 3 - Vergelijking gemeten rek en met het CA model van CUR226 berekende rek.

^a De metingen zijn elk uur genomen; de gegeven waarden zijn de gemiddelden waarden over 24 uur.

Figuur 12 geeft een uitbreiding van de eerder uitgevoerde validatie van het CA model. De figuur is overgenomen uit Van Eekelen et al. (2015), en aangevuld met de berekende waarden uit tabel 3 bij een ϕ' van 38 graden, geen verkeersbelasting en een boogwerkingsreductie ($\kappa = 1.58$) en voor de volgende momenten: 12 maart 2019, 24 april 2019, 1 september 2019 en 29 februari 2020. De figuur laat zien dat metingen van E1 en E2 heel goed overeenkomen met de berekeningen. De gemeten waarden van E3 en E4 liggen lager dan de berekende waarden. Dat is aan de veilige kant. Hieruit

kunnen we concluderen dat het CA model en daarmee de CUR226:2016 ontwerprichtlijn van toepassing is op deze paal-matras die is gewapend met geo-textielen en deels onder water is aangelegd. Deze conclusie is in ieder geval geldig voor geweven geotextiel zoals in dit meetproject toegepast.

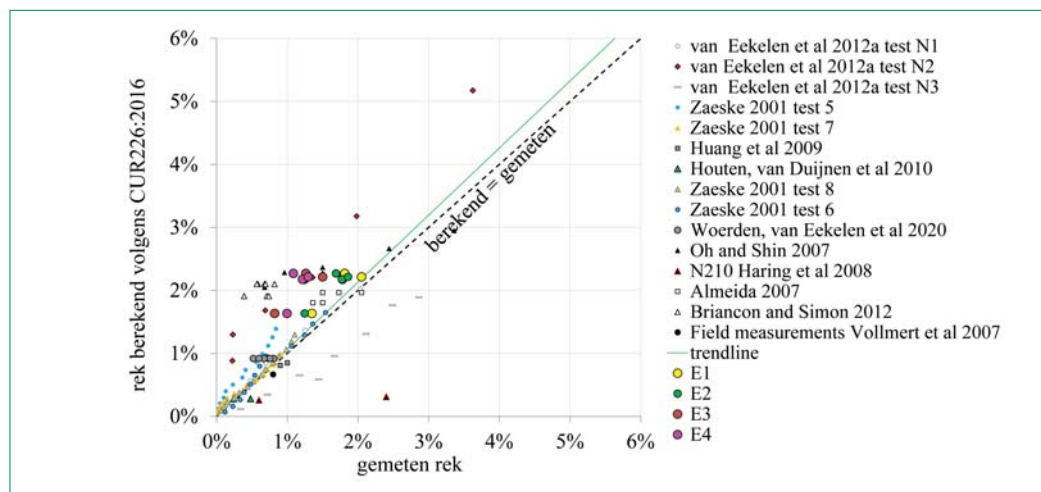
Discussie en conclusies

Het Concentric Arches (CA) model is ontwikkeld om geokunststof-gewapende paalmatrassen te ontwerpen en is in 2016 opgenomen in de paal-

matras-ontwerprichtlijn CUR226:2016. De gevalideerde toepassing van het CA model, en dus CUR226:2016, is gelimiteerd tot paalmatrassen waarvan de condities overeenkomen met die van de paalmatrassen die zijn gebruikt voor de validatie van het CA model. Dit betekent dat de aardebaan geheel boven grondwater moet liggen en dat tenminste één wapeningslaag moet bestaan uit geogrid. Als daar niet aan wordt voldaan, dan vraagt CUR226:2016 om additionele metingen in representatieve praktijkcases. Deze moeten aantonen dat het CA model ook voor dit type paalmatras goede resultaten geeft.

Voor dit doel zijn er metingen verricht in een paalmatras waarvan de aardebaan deels in het grondwater ligt, en waarvan de wapening uitsluitend uit geweven geotextiel bestaat, zonder geogrid. Vergelijking van de gemeten rekken met de waarden die het CA model uitrekent leidt tot de volgende conclusies:

- In de berekening met de parameters die de kleinste rekken geeft, worden rekken berekend die overeenkomen met de gemiddeld gemeten rekken. In de andere berekeningen wordt altijd meer rek berekend dan gemeten. Zolang er meer rek wordt berekend dan gemeten levert het CA model, en daarmee CUR226:2016, een veilig ontwerp. Omdat het redelijk is om te rekenen met enige verkeersbelasting en boogwerkingsreductie, kunnen we op basis van dit monitoringsproject concluderen dat CUR226:2016 voor deze paalmatras, waarvan de wapening bestaat uit twee lagen geweven geotextiel, een veilig ontwerp zou hebben gegeven. Deze conclusie is geldig voor de geweven geotextielen van het type dat is gebruikt in deze veldmeting.
- Een hoog grondwatervniveau geeft in dit project minder rek in het geotextiel, of geeft geen respons van het geotextiel. Door de vermindering van het effectieve grondgewicht van de aardebaan komt het geotextiel wat omhoog waardoor de geotextielrek afneemt. Vervolgonderzoek naar de invloed van grond- en regenwater op de werking van paalmatrassen wordt aanbevolen.



Figuur 12 – Validatie van het Concentric Arches (CA) model: vergelijking gemeten en berekende geokunststof rekken met behulp van metingen in verschillende projecten. Bronnen worden gegeven in Van Eekelen (2015). Berekeningen zijn uitgevoerd met het CA model van Eekelen et al. (2013, 2015), dat is opgenomen in CUR226:2016.

Dank

De auteurs zijn dankbaar voor de financiële en praktische steun van TKI-PPS financiering van het ministerie van Economische Zaken, TenCate Geosynthetics, de Kyung Hee University in Seoul, Zuid-Korea, BAM en Deltares.

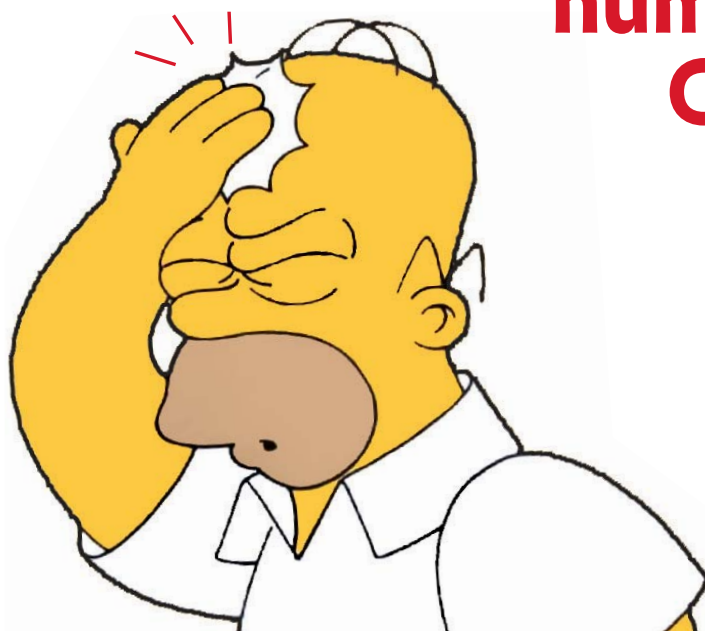
Bronnen

- [1] Briançon, L & Simon, B (2017). Pile-supported embankment over soft soil for a high-speed line. Geosynthetics International, 24, No. 3, 293–305.
- [2] BSI (British Standards Institution) BS 8002: 2015. Code of practice for earth retaining structures.
- [3] CEN 2008 European Committee for Standardi-

- zation, Technical Committee CEN/TC 154 "Aggregates.", British Standards Institution. Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction. British Standards Institution, London.
- [4] CUR226 2016. Ontwerprichtlijn paalmatrassystemen. CRW 699.16
- [5] Haring W, Profittlich M and Hangen H 2008 Reconstruction of the National Road N210 Bergambacht to Krimpen a.d. IJssel, NL: Design Approach, Construction Experiences and Measurement Results., Proc. van EuroGeo 4, 4th European Geosynthetics Conf. IGS, Edinburgh, UK, 8 p. paper number 259.

- [6] KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) 2020a Daggegevens van het weer in Nederland, www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens (3.9.20).
- [7] KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) 2020b Dagwaarden neerslagstations www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen#G (3.9.20).
- [8] Sloan, J A, 2011. Column-Supported Embankments: Full-Scale Tests and Design Recommendations. PhD thesis, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA.
- [9] Van Eekelen S J M, Van der Vegt, J, Lodder, H-J, Bezuijen, A, 2011. Paalmatrasproeven II, belangrijkste conclusies. GeoKunst, GeoTechniek, juli 2011, 46-50.
- [10] Van Eekelen, S J M, Bezuijen A, Lodder H J, van Tol A F, 2012 Model experiments on piled embankments. Part I. Geotextiles and Geomembranes 32, 69–81.
- [11] Van Eekelen S J M, Bezuijen A, van Tol AF, 2013. An analytical model for arching in piled embankments. Geotextiles and Geomembranes 39, 78–102.
- [12] Van Eekelen S J M, 2015. Basal Reinforced Piled Embankments. Proefschrift TU Delft.
- [13] Van Eekelen S J M, Bezuijen A, van Tol A F, 2015. Validation of analytical models for the design of basal reinforced piled embankments. Geotextiles and Geomembranes 43, 56–81.
- [14] Van Eekelen S J M, Venmans A A M, Bezuijen A, Van Tol A F 2020. Long term measurements in the Woerden geosynthetic-reinforced pile-supported embankment. Geosynthetics International 2020, 27, No. 2, 142-156. ●

U wilt toch geen nummer missen van Geotechniek?



Maak dan uw bijdrage in de verzendkosten € 27,50 over naar IBAN: NL95 ABNA 0426 4761 31 (BIC: ABNANL2A) t.n.v. Uitgeverij Educom, Rotterdam, Nederland, O.v.v. 'Ontvangst Geotechniek'

IN MEMORIAM KOOS MOUW

Op 26 februari 2021 overleed ing. Koos Aart Gerrit Mouw op 76-jarige leeftijd. “Waterbouwer in hart en nieren” stond er op de kennisgeving van zijn overlijden, “oprichter, voorzitter en erelid van de Nederlandse Geotextielorganisatie”.

Koos was al vroeg betrokken bij de ontwikkeling van geotextiel. Als ambtenaar bij de Deltadienst van de Rijkswaterstaat werd hem gevraagd om het onderzoek te begeleiden naar de kwaliteit van wat destijds genoemd werd het Delta-doek. Een weefsel, geproduceerd voor de deltawerken, waarvan zoolstukken werden geproduceerd. Bodembescherming ten behoeve van de afsluiting van de Oosterschelde. We spreken dan over 1973. Dat onderzoek breidde zich al snel uit omdat geotextiel een belangrijke rol kreeg toebedeeld in de diverse ontwerpen voor de stormvloedkering. Dat werk aan de kering, eerst het onderzoek, later de praktijk, was zijn lust en zijn leven. Zonder geotextiel geen stormvloedkering! Niet voor niets stond op de kennisgeving van zijn overlijden een foto van de stormvloedkering.

Ook internationale contacten kwamen er. Via het eerste geotextielcongres in Parijs in 1977, via diverse studiereizen. Koos begreep al snel dat het onderzoek en het werk dat hij deed breder van invloed waren dan alleen de stormvloedkering Oosterschelde. Een nieuwe techniek, met nieuwe producten werd geboren.

Koos Mouw was een stuwende kracht achter de oprichting van de NGO. Hij zag als geen ander het belang om de Nederlandse kennis en ervaring te promoten in het internationale gezelschap, dat in die tijd vooral gedomineerd werd door Fransen en Amerikanen. Als eerste voorzitter van de NGO sprak hij met kennis van zaken en gezag, gezien wat in Nederland tot stand was gebracht op dit gebied.

Zijn inbreng op de internationale congressen werd algemeen op hoge waarde geschat. Het vierde internationale congres in 1990 in Den Haag was voor hem een mijlpaal. Het organisatiecomité van dat congres werd een vriendenclub, waarbij Koos en Gera altijd aanwezig waren op de ontmoetingen die we tweemaal per jaar hadden.



Koos ontwikkelde zich steeds meer als bestuurder. In 1987 werd hij opnieuw voorzitter van de NGO. Tot 1999 gaf hij als voorzitter leiding aan de vereniging, die in die tijd verder uitgroeide tot een professionele vereniging terwijl de toepassing van geotextiel algemeen werd in de weg- en waterbouw. Vanuit zijn werk bij KIWA kon hij zich verdiepen in normering en certificering van de diverse producten.

Na zijn pensionering bleef hij intens betrokken bij de NGO. Als erelid was hij van mening dat hij nog een functie kon hebben in het adviseren van het bestuur, het meedenken over de organisatie en de activiteiten.

Ook was hij de voorzitter van de stichting die de uitgave van het boek “De Kering” verzorgde. Het verhaal van de bouwers van de stormvloedkering zelf (zie afbeelding).



De ziekte van Parkinson sloopte hem. Niet alleen lichamelijk maar ook geestelijk. Maar tot het laatste moment, toen veel herinnering hem al was ontvallen, kon hij nog met veel smaak vertellen over de beginperiode van de NGO. De tijd dat we op het gebied van geotextiel het internationale podium konden veroveren en een gerespecteerde organisatie vorm gaven.

We hebben met veel respect afscheid van hem genomen op donderdag 4 maart te Burgh Haamstede.

Hans Dorr



Contact

NAUE Prosé Geotechniek B.V.

Aldlânsdyk 3, 9056 LK Koarnjum
Postbus 564, 8901 BJ Leeuwarden

T 0031-58 257 2954
0031-6 814 63 121
prose@naue.com
www.naue-prose.com

NAUE en Prosé bundelen krachten

Geosynthetische fabrikant NAUE en Prosé Geotechniek kondigen joint venture NAUE Prosé aan.

Van productontwikkeling, productie en levering tot planning en installatie: NAUE is leider op de wereldmarkt voor full-service van succesvolle, ecologische, langdurige en duurzame geotechnische oplossingen. Prosé Geotechniek heeft een lange historie in het leveren en installeren van geotechnische materialen op de Nederlandse en internationale markt.

De joint venture NAUE Prosé zal het complete NAUE productenpakket aanbieden, alsmede het installeren van het productenpakket. Een toegevoegde waarde zullen de ontwerpdiensten zijn die de nieuw opgerichte firma via het eigen ingenieursbureau van de NAUE groep aanbiedt.

'Wij zijn erg blij de start van NAUE Prosé aan te kunnen kondigen', zegt algemeen directeur Alexander Naue van de NAUE groep. "Deze fusie onderstreept ons streven elke markt zo goed mogelijk te bedienen. Het is een duidelijk signaal voor onze betrokkenheid bij de Nederlandse markt."

'Dit zijn zeer enerverende tijden', voegt Peter Prosé, sales director van NAUE Prosé toe. "In het verleden hebben wij NAUE producten geleverd omdat we van de hoge kwaliteit ervan overtuigd waren. Het is een geweldige mijlpaal nu deel uit te maken van de NAUE groep."

NAUE is een van 's werelds grootste producenten van geosynthetische kunststoffen. Met 500 werknemers opereert het bedrijf vanuit het hoofdkantoor in Duitsland en dochterondernemingen en kantoren over de hele wereld. NAUE beschikt over een onderzoeksafdeling en een ingenieursbureau voor klantspecifieke vragen.

NEDERLAND ZONDER WINDMOLENS IS ALS DIJKEN ZONDER **NAUE**

**Waterbouw met geokunststoffen
voor een veilige dijk.**

NAUE PROSÉ

NAUE Prosé Geotechniek B.V.
Nederland
Tel.: +31 58 257 2954
prose@naue.com - www.naue-prose.com

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

enviro
QUALITY
CONTROL BV

Kwaliteit met zekerheid

Geaccrediteerd sinds 2005 door de Raad voor Accreditatie als type A onafhankelijke inspectie-instelling op basis van de NEN-ISO/IEC 17020, RvA registratie I188 voor het uitvoeren van inspecties bij:

- Aanleg van onder- en bovenafdichtingen van stortplaatsen
- Aanleg van een werk waarin IBC-bouwstof wordt toegepast voor protocol AS6901
- Tijdens de gebruiksfase van een IBC-werk voor protocol AS6902
- Levensduuronderzoek op kunststoffolie en lasverbindingen



Inspectie in het werk



Testen op het werk



Beproeven in het laboratorium

+31 30 244 1404

www.eqc.nl

OOMS-VOEG

Toepassing van de Ooms-voeg bij bruggen, viaducten en tunnels heeft voordelen voor beheerder, gebruiker en omwonende. De eerste voeg is toegepast in 2003 op de A50 en de techniek heeft zich bewezen op tal van andere plaatsen in Nederland.



- Reductie van geluid en trillingen geeft comfort en minder omgevingshinder
- Geen spoorvorming maakt het wegdek veilig
- Hoge kosteneffectiviteit doordat onderhoud niet nodig is



Strukton
Civiel

Meer informatie:
www.ooms.nl/specialismen
www.struktonciviel.nl