

von Karman Institute for Fluid Dynamics
Chaussée de Waterloo, 72
B - 1640 Rhode Saint Genèse - Belgium

CONTRACT REPORT 2011-11 24 januari 2011

WINDTUNNELPROEVEN TER BEPALING VAN
HET EFFECT VAN STRANDHUISJES OP HET
ZANDTRANSPORT BIJ SLAG VLUCHTENBURG

J.P.A.J. van Beeck, B. Conan, Ph. Planquart

EAR1111

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
2.	Probleemstelling	4
3.	Windroos Hoek van Holland	5
4.	VKI L-2B wind tunnel	7
5.	Windtunnelmodel strand Slag Vluchtenburg	8
6.	Werkwijze	10
7.	Testresultaten	11
	7.1 Visualisatie van windsnelheden op grondniveau	12
	7.2 Fase 1; zandtransport zonder huisjes	15
	7.3 Fase 2; zandtransport met huisjes	16
	7.4 Fase 3; zandtransportherstel	18
8.	Conclusies	19
9.	Dankbetuiging	20
10.	Bibliographie	21

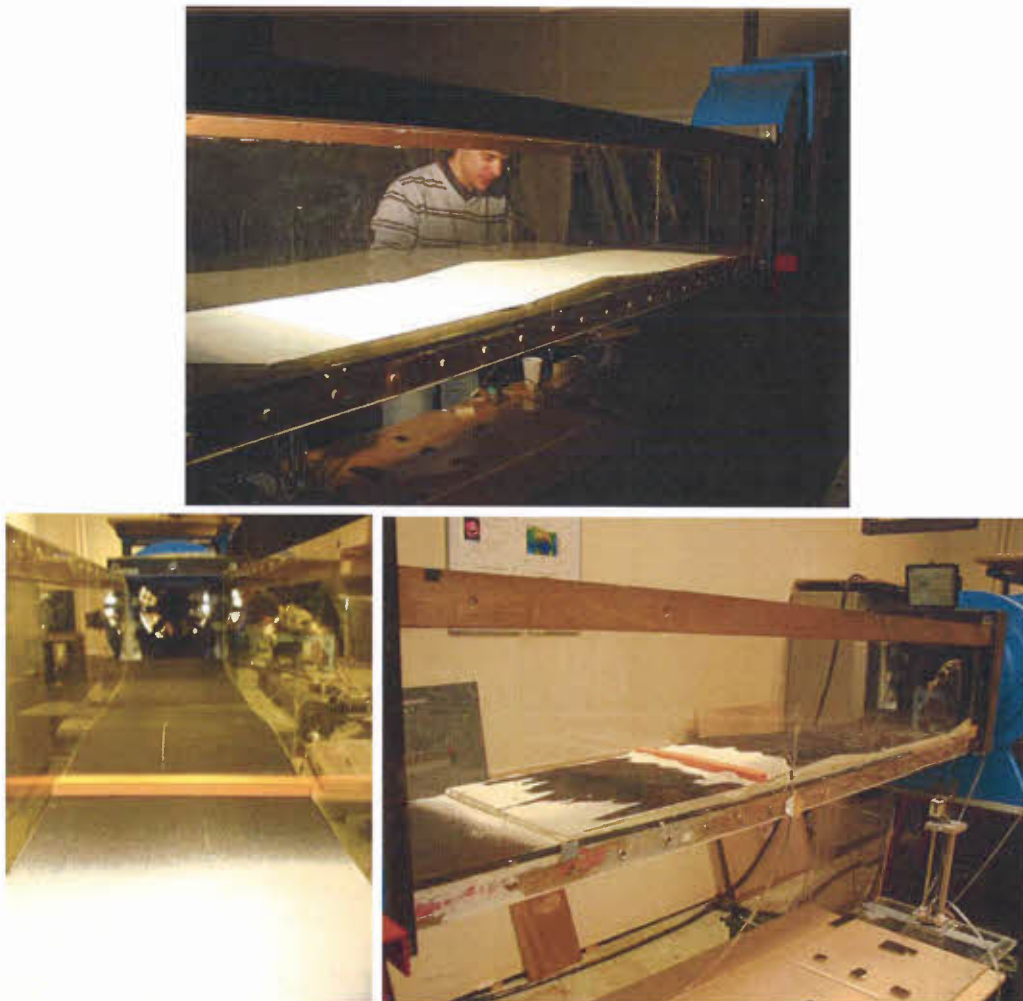
1. Inleiding

Dit verslag gaat over het resultaat van de windtunnelproeven ter bepaling van het effect van strandhuisjes nabij Slag Vluchtenburg op het zandtransport langs deze huisjes.

De studie is uitgevoerd voor en in samenwerking met

Dr. Frank van der Meulen en Dr. Bert van der Valk
DELTARES
P.O. BOX 177
2600 MH Delft
Nederland

Een veldbezoek van Philippe Planquart (B) en Jeroen van Beeck (NL) op het strand vond plaats op 26.11.2010. De windtunnelproeven hebben plaatsgevonden op het von Karman Instituut in december 2010, en zijn uitgevoerd door Boris Conan (F).



Figuur 1: Het windtunnelmodel van duinen en huisjes in de VKI L2B wind tunnel.

2. Probleemstelling

Figuur 2 toont een luchtfoto van een nieuw duingebied aangelegd voor de kust van Zuid-Holland bij 's-Gravenzande, Slag Vluchtenburg, met een nieuwe basisduin, verwijderd via een nieuwe duinvallei van de oude zeereep. Opmerkelijk is dat noordelijk van de huisjesrij een lichte streep van ongeveer 20m breed aan de zee kant van het nieuwe basisduin te zien is, en niet achter de huisjesrij. De lichte streep is ingewaaid en in helm-gevangen zand; iets wat blijkbaar achter de huisjes niet of minder gebeurt. Op dit zeereepje is zich al laag reliëf aan het vormen tot 1m hoog. De voorzijde van deze zeereep is begroeid met biestarwegras, niet met helm; de laatste is reeds ondergestoven. Figuur 3 toont de huisjes en de nieuwe basisduin, die daar erosief is.

De kernvraag is; wat is de doorvoercapaciteit en daarop gebaseerd, een inschatting van het effectieve doorvoerpotentieel van zand, van strand naar het nieuwe basisduin, en vandaar door de vallei heen, naar de oude zeereep achter de vallei.



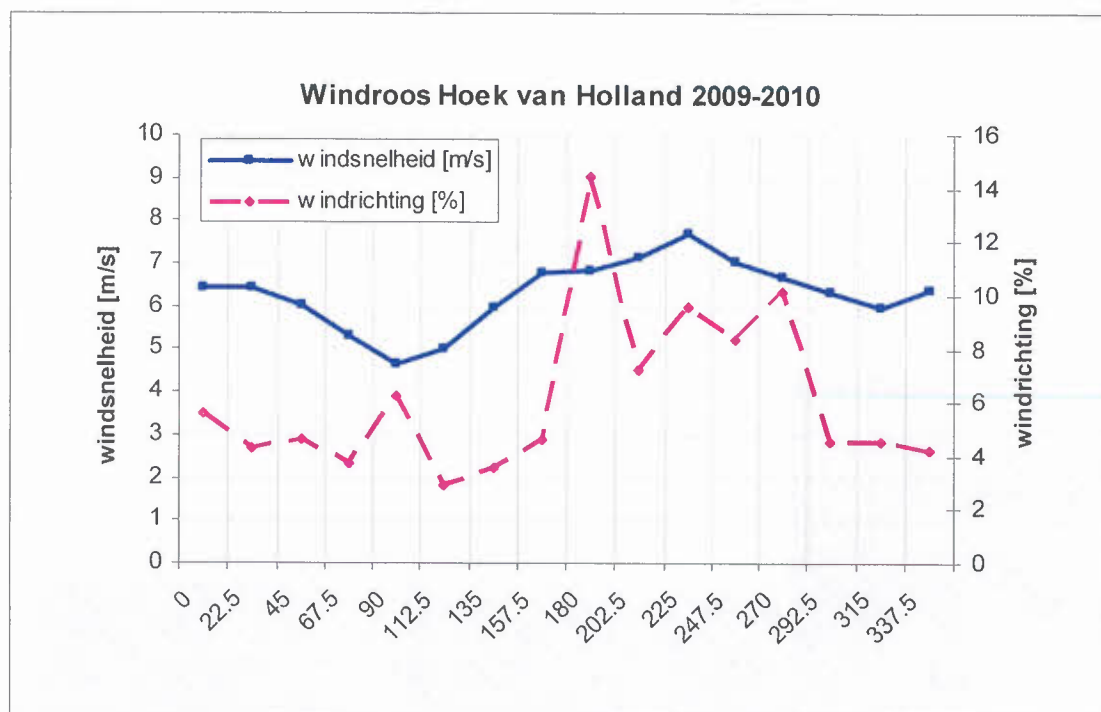
Figuur 2: Luchtfoto dd 6.9.2010 van het nieuwe artificiële duingebied bij Slag Vluchtenburg (links) met de lichte eolische duinreep aan de voet van de nieuwe basisduin (ook foto rechts), gevormd daar waar de huisjes niet staan. Maker luchtfoto: P. Kroes.



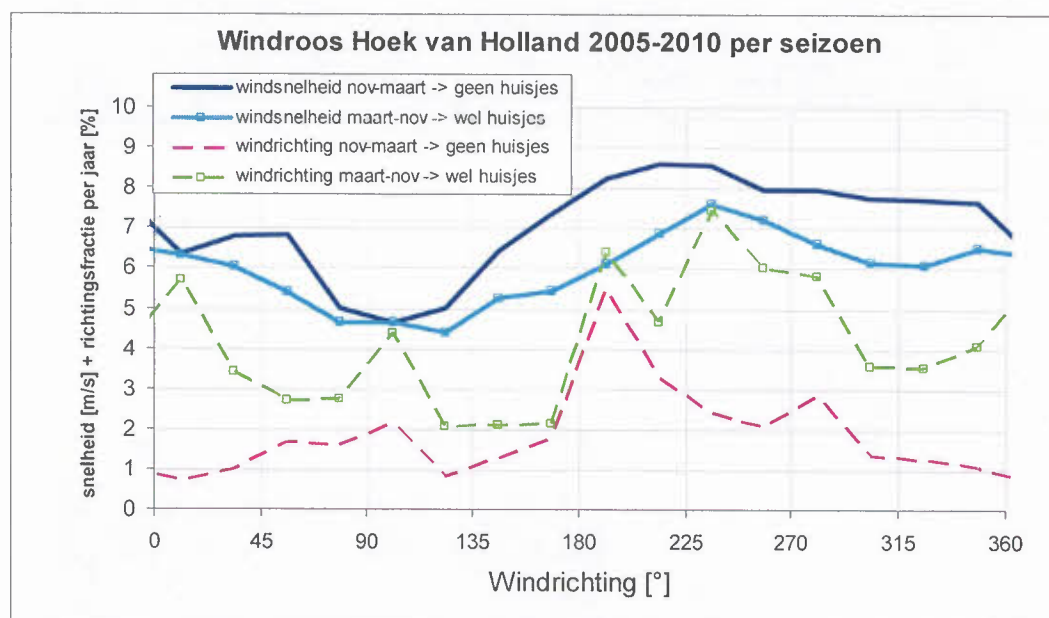
Figuur 3: Basisduin achter de huisjes. Het duin is daar erosief, gezien de schelpenvloertjes tussen de kwijnende helmpollen (foto links Ton van Schie, foto rechts dd. 26.11.2010).

3. Windroos Hoek van Holland

De windroos van Hoek van Holland is gepresenteerd in Figuur 4 voor 2009 en 2010, de jaren dat de huisjes er hebben gestaan van 1 maart tot 1 november. De gemiddelde windsnelheid is tot 8m/s op 10m hoogte. De dominante windrichting is tussen Zuid en Noord-West. De data komt van het KNMI via de TU Delft.



Figuur 4: Windroos van Hoek van Holland in 2009-2010 (bron: KNMI)



Figuur 5: Windroos per seizoen met (8mnd; 1.3-1.11) en zonder (4mnd; 1.11-1.3) huisjes voor de periode 2005-2010. (bron: KNMI)

Figuur 5 toont de windroos per seizoen met huisjes (8 maanden; 1 maart – 1 november) en zonder huisjes (4 maanden; 1 november – 1 maart) voor de periode 2005-2010. In de periode zonder huisjes waait het gemiddeld minder hard maar toch meestal harder dan de drempelwaarde van 5m/s voor zandtransport. Ook valt op dat, ook al zijn de huisjes maar 4 maanden weg, het aantal dagen met wind uit het zuiden ongeveer even groot is als tijdens de periode van 8 maanden met huisjes. Wind vanuit het zuiden is echter niet relevant voor zandtransport van strand naar duin, wat duidelijk blijkt uit Figuur 6. Deze figuur toont een Google-maps-foto aan de hand waarvan de oriëntatie van het strand t.o.v. de windrichting goed zichtbaar is. Het strand loopt ongeveer van Zuid-West naar Noord-Oost. Zandtransport van basisduin naar de duinvallei vindt dus plaats in deze windsector. In deze sector waait het 175 dagen tijdens de periode met huisjes en 55 dagen van 1 november tot 1 maart, i.e. de periode zonder huisjes.



Figuur 6: Google view van het gebied rond Slag Vluchtenburg.

Beaufort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
km/uur	4	9	17	26	35	45	56	68	81	95	110
m/s	1	3	5	7	10	13	16	19	23	27	31
zeemijl	2	5	9	14	19	25	31	37	44	52	60

Tabel 1: omreken tabel windsnelheideenheden

Tabel 1 toont, ter volledigheid, een omreken tabel voor de windsnelheideenheden. De omrekeningsformule van km/uur naar Beaufort is als volgt:

$$U_{BEAUFORT} = 0.43(U_{KM/UUR})^{0.7}$$

4. VKI L-2B wind tunnel

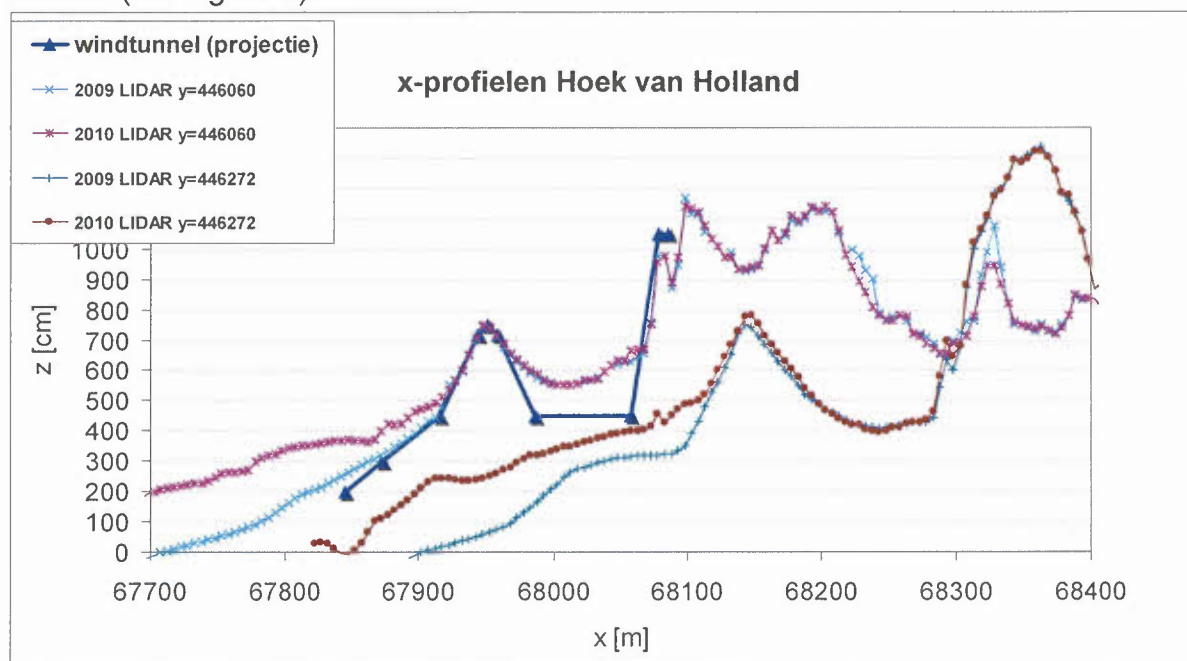
De windtunnelproeven zijn uitgevoerd in de VKI L-2B windtunnel, een kleine subsone windtunnel met een test sectie van 0.35 m x 0.35 m en 1.9 m lang. De maximale windsnelheid is 120 km/uur. De windtunnel is geschikt voor testen met zand en kan uitgerust worden met een neutrale atmosferische grenslaag op schaal. De grote windtunnel VKI L1-B, met een doorsnede van 3 meter, was niet beschikbaar voor de studie van december 2010 tot maart 2011.



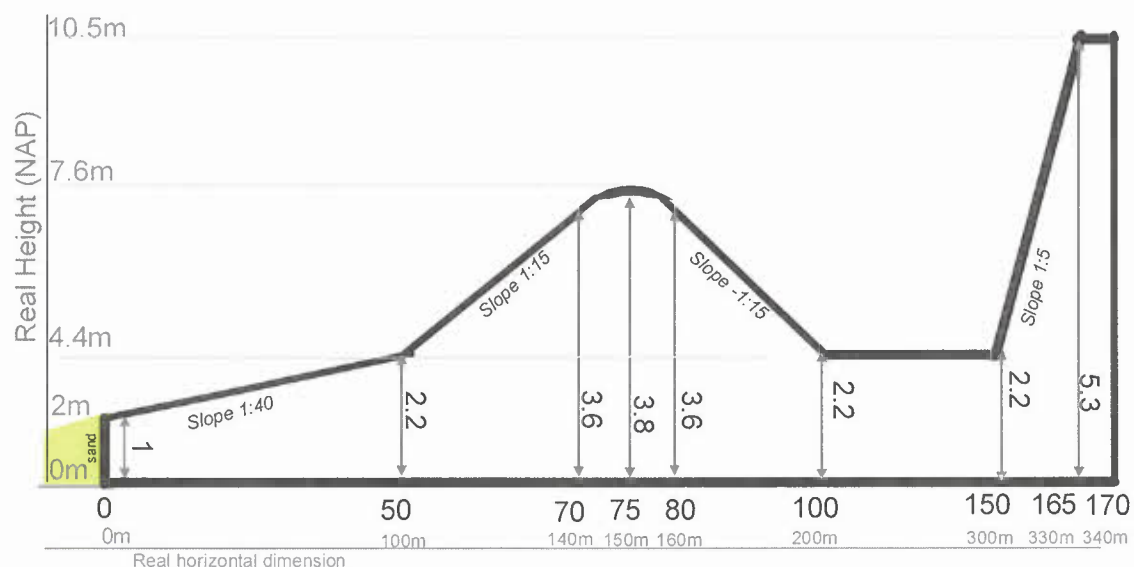
Figuur 7: De VKI L-2B windtunnel

5. Windtunnelmodel strand Slag Vluchtenburg

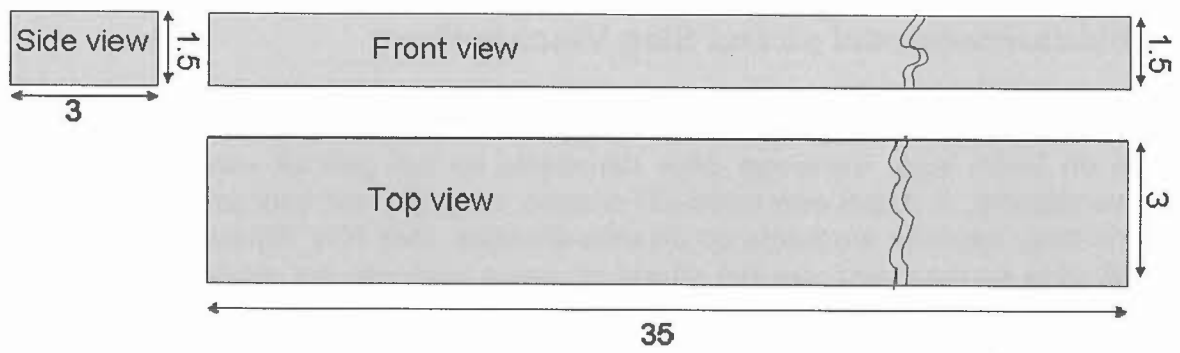
Het windtunnelmodel is gefabriceerd op schaal 1:200, en is in werkelijkheid 70m breed en 340m lang. Vanwege deze dimensies en het gebruik van de kleine VKI L2B windtunnel, is enkel een quasi-2D situatie mogelijk, wat leidt tot één mogelijke windrichting, namelijk loodrecht op de strandhuisjes, dwz NW. Rijkswaterstaat heeft LIDAR-data aangeleverd van het strand op basis waarvan het model gemaakt kon worden (zie Figuur 8).



Figuur 8: LIDAR profielen van het strand nabij Hoek van Holland voor 2009 en 2010, en het windtunnelprofiel. Het windtunnelprofiel is gebaseerd op de data voor $y=446060\text{m}$, waar de huisjes staan. Het andere profiel is ten noorden van de huisjes en toont inderdaad een groeiende nieuwe basisduin, vooral zeewaarts bij $z : 0=0\text{m}$ NAP.



Figuur 9: Het 2D windtunnelprofiel van het strand bij Slag Vluchtenburg in richting NW-ZO.



Figuur 10: Windtunnelmodel van de huisjes

In samenspraak met DELTARES zijn de huisjes als een blok gesimuleerd op schaal 1:200, zoals geschetst in Figuur 10. Figuur 1 toonde reeds een foto van het 2D strandprofiel met de huisjes geplaatst in de windtunnel.

6. Werkwijze

Voor de windtunnelproeven wordt gezeefd rivierzand gebruikt met een maximale korreldiameter van 500 micrometer. De drempelwaarde van de wrijvingssnelheid waarbij dit zand gaat rollen varieert slechts 10% van die van het zand van het nieuwe zeereepje dat is meegenomen op 26.11.2010 bij Slag Vluchtenburg .

De werkwijze die met DELTARES is overeengekomen bestaat 3 fasen;

- **Fase 1; Geen huisjes;** Bepaling van de windtunnel windsnelheid en testtijd die leidt tot de formatie van het nieuwe eolische duinreepje van 20m breedte en 1m hoogte op schaal 1:200. Deze totale testtijd moet overeenkomen met 18 kalendermaanden in werkelijkheid. Schalingswetten, windstatistieken en het feit dat de wrijvingssnelheid van het gebruikte zand praktisch identiek is aan dat op het strand in Hoek van Holland, geeft aan dat de testtijd ongeveer 5 minuten zal moeten bedragen.
- **Fase 2; Introductie van strandhuisjes.** Start zonder het nieuwe eolische duinreepje aan de voet van de nieuwe artificiële basisduin. De testen worden uitgevoerd met de windsnelheid bepaald in fase 1 gedurende 8/12 van de totale testtijd van fase 1. De fractie 8/12 komt ongeveer overeen met de fractie dat de huisjes op het strand hebben gestaan tot december 2010. Het zandtransport zal worden aangeduid met foto's en duinvolumes.
- **Fase 3; Zandtransportherstel.** Fase 3 vindt direct plaats na fase 2 en rapporteert of de situatie zonder huisjes (fase 1) wordt gereproduceerd in een testtijd van 4/12 van de totale testtijd van fase 1. Het zandtransport worden wederom aangeduid met foto's en duinvolumes. Het startvolume van 0.4l wordt tevens op het strand aangebracht.

Voor alle fasen wordt op het strand 0.4 l zand windwaarts van de locatie van de huisjes gelegd, met een zandlaagdikte van bijna 5mm, dus 1m in werkelijkheid. Aan het einde van de testen wordt het volume bepaald dat is doorgevoerd naar de oude zeereep, met en zonder huisjes. Het beginvolume van 0.4 l is arbitrair en veronderstelt dat aan het begin van de testen op het strand een laag zand van 1m dikte voor zandtransport beschikbaar is. Dit volume is constant gehouden voor de hieronder beschreven testfasen van de windtunnelproeven.

7. Testresultaten

De kleine eolische zandstreep aan de zeekant van het nieuwe basisduin (Figuur 2) kon na 5 minuten niet of nauwelijks worden gereproduceerd in de windtunnel. Door aanbrengen van ruwheid konden enkele zandkorrels moeizaam worden ingevangen maar dit leidde niet duidelijk tot een nieuwe duin. Dit geeft al meteen aan dat eolische structuren zonder huisjes traag gevormd worden, d.w.z. meerdere jaren vergen; dit is op zich al een belangrijk resultaat. Om dit beter te begrijpen zijn, alvorens de drie fases uit te voeren die beschreven zijn in hoofdstuk 6, eerst visualisaties gedaan van de windsnelheid nabij de grond met behulp van zogenaamde zanderosietesten. Deze testen worden voor dit doeleinde reeds ongeveer 30 jaren toegepast op het von Karman Instituut [1,3]. Hierbij wordt een dunne laag zand van 2mm dikte *op het gehele model* gelegd. Bij het opvoeren van de windsnelheid zal het zand als eerste wegwaaien daar waar de lokale windsnelheid het hoogste is; deze locaties zijn gevoelig voor zanderosie. Omgekeerd zal op plaatsen waar de dunne zandlaag blijft liggen, ook de lokale windsnelheid het laagste zijn; op deze locaties kan zand deponeren en aldus accumuleren tot een duin op voorwaarde dat het aangevoerd wordt en een invangstructuur (helm) aanwezig is. Foto's van de erosiepatronen worden na 1 minuut genomen, waarna de windtunnelsnelheid met 0.5 m/s wordt opgevoerd. Deze procedure wordt herhaald tot al het zand weg is.

7.1 Visualisatie van windsnelheden op grondniveau

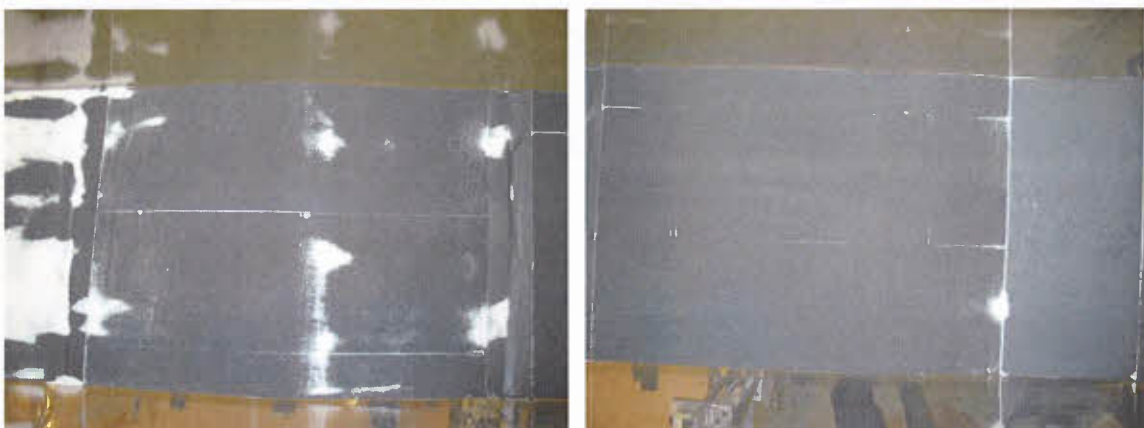
Figuur 11 tot en met Figuur 18 tonen de zanderosiepatronen met en zonder huisjes op het windtunnelmodel van het strand bij Slag Vluchtenburg, volgens de procedure hierboven beschreven, en dit voor 7m/s, 7.5m/s, 8m/s en 9m/s. De wind waait op iedere foto van links naar rechts.



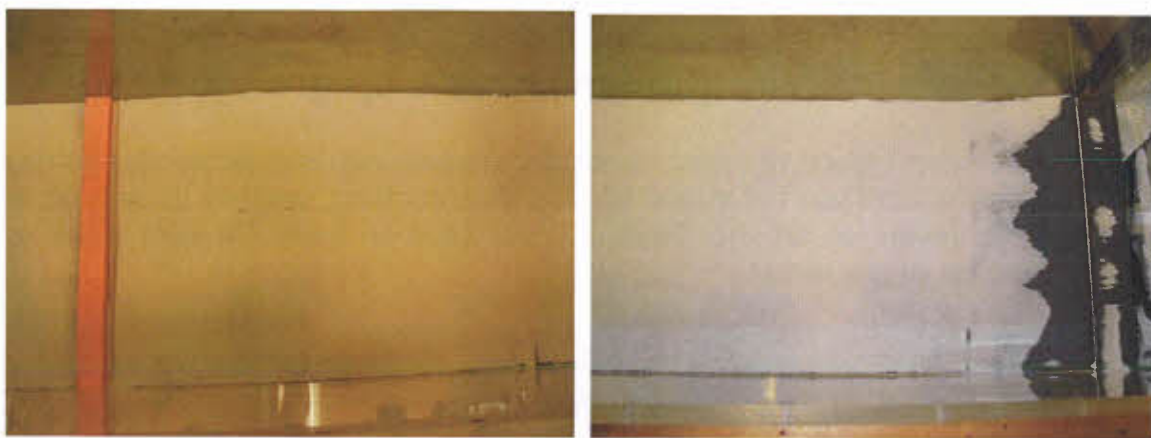
Figuur 11: 7m/s zonder huisjes, wind van links naar rechts



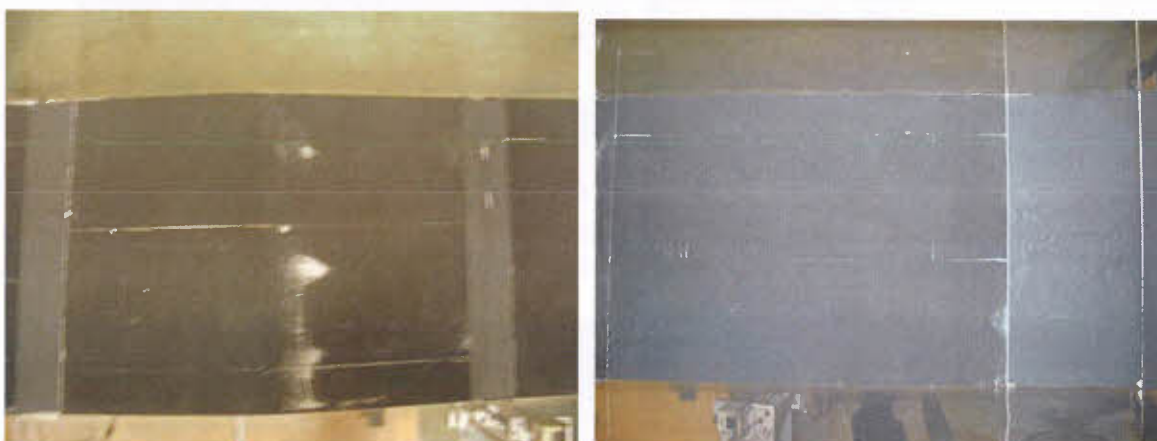
Figuur 12: 7m/s met huisjes, de situatie is praktisch nog zoals bij 0m/s.



Figuur 13: 7.5m/s zonder huisjes; basisduin en vallei bijna volledig geërodeerd.



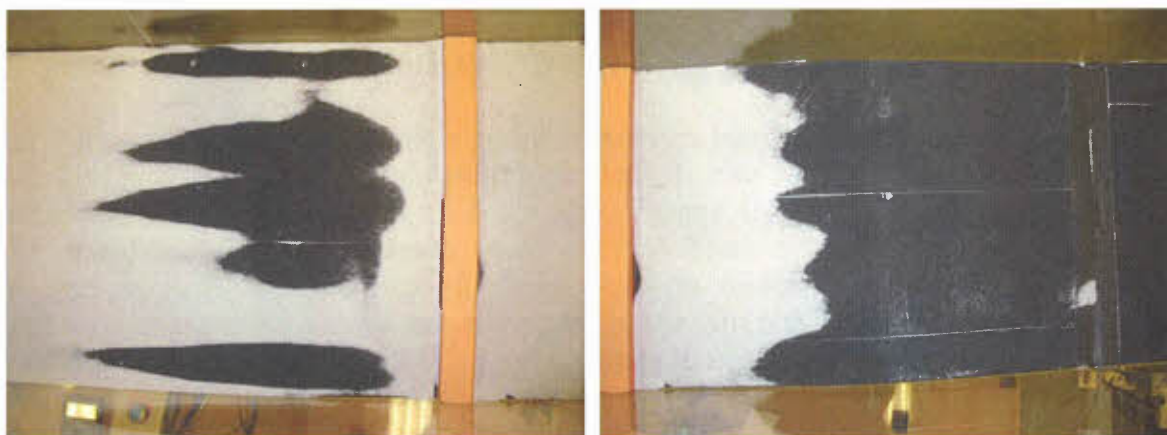
Figuur 14: 7.5m/s met huisjes; basisduin en vallei nog volledig bedekt.



Figuur 15: 8m/s zonder huisjes



Figuur 16: 8m/s met huisjes



Figuur 17: 9m/s met huisjes. Vallei geërodeerd. Rond huisjes nog veel zand, dus aldaar lage lokale windsnelheden met potentieel tot zanddepositie.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit de windtunnelproeven;

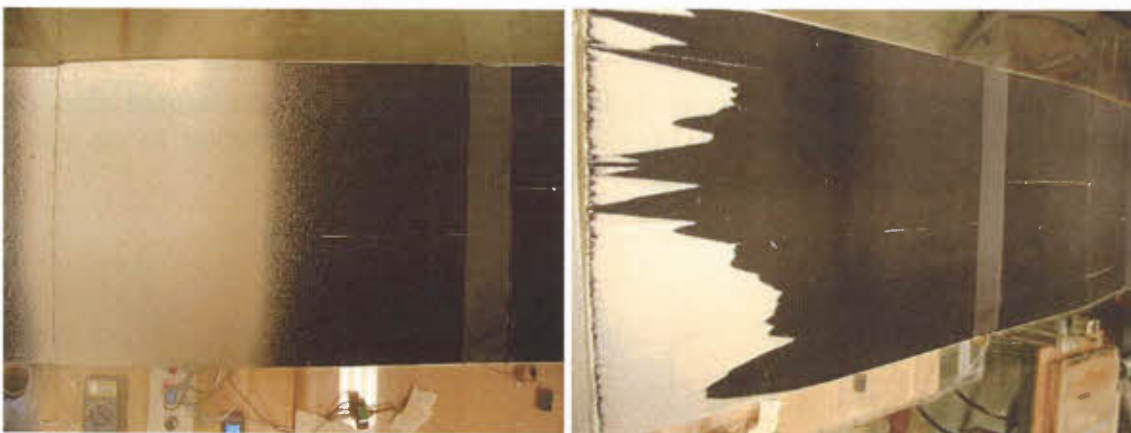
- a) **In het algemeen** blijft zand liggen in het geval van de huisjes tot hogere windtunnel-windsnelheid. Dit betekent dat door de aanwezigheid van de huisjes de lokale windsnelheid op het strand op grondniveau gereduceerd wordt, en dit zowel zeewaarts als duinwaarts. Door het blockage-effect van de huisjes in de windtunnel is de gemeten referentiewindsnelheid van de windtunnel misschien tot 10% te hoog. Deze onzekerheid kan verder bestudeerd worden maar verandert niets aan de conclusie; nl. dat de lokale windsnelheid nabij de huisjes lager is door introductie van de huisjes hetgeen duinformatie nabij de huisjes stimuleert en dus zandtransport naar de oude zeereep zal reduceren (zie fasen 1,2,3, besproken hierna).
- b) **Het basisduin** heeft op de top en vooral zeewaarts mogelijkheid tot duingroei. Figuur 11 toont dit voor de situatie zonder huisjes (overeenkomstig het noordelijk gedeelte van het strand). Duingroei is daadwerkelijk geobserveerd in het veld op deze locatie; een stevig snelgroeiende jonge zeereep is daar aanwezig (Figuur 2). Echter, in de situatie met huisjes (het zuidelijke gedeelte van het strand, Figuur 3), ontwikkelt zich slechts een zwakke jonge zeereep en dit lijkt in conflict met Figuur 17 maar dit is niet zo. Figuur 17 toont dat het zand dat initieel aanwezig was achter de huisjes daar blijft liggen, wat aangeeft dat de lokale windsnelheid op grondniveau daar laag is. Dit zal enkel daadwerkelijk tot duingroei zal leiden als er aanvoer van zand is, hetgeen in de secties hierna besproken zal worden.
- c) **De duinvallei** is met en zonder huisjes gevoeliger voor zanderosie dan de nieuwe basisduin, hoogstwaarschijnlijk door verhoogde turbulentie in de vallei veroorzaakt door de nieuwe basisduin [2].

7.2 Fase 1; zandtransport zonder huisjes

In Fase 1 zou de testtijd bepaald moeten worden waarbij de nieuwe duin van 1m hoog zeewaarts aan de voet van de nieuwe basisduin gevormd zou worden. Uit Figuur 19 blijkt dat van de 0.4l aangebracht zand nog 0.2l over is na 5 minuten, maar dat al het geërodeerde zand naar de oude zeereep is getransporteerd. Uit schalingswetten, windstatistieken en type zand [3] kan afgeleid worden dat de testtijd van 5 minuten met windsnelheden van ongeveer 9m/s overeenkomt met een gecumuleerde tijd van 5 maanden in werkelijkheid. Dit komt ongeveer overeen met een totaal tijd van 18 maanden omdat er ook periodes zijn van windstiltes, stormen, en wind uit irrelevante richtingen. 18 maanden is ongeveer de tijdsduur vanaf het aanbrengen van de basisduin tot november 2010. Zoals vermeld in hoofdstuk 3, begint in werkelijk zandtransport reeds bij 5m/s hetgeen in Hoek van Holland gedurende het gehele jaar mogelijk is en niet alleen in de wintermaanden/stormseizoenen. Dus de windtunnelprocedure bepaald in deze Fase 1 is toepasbaar voor alle seizoenen.



Figuur 18: 9m/s met huisjes bij aanvang van de testen; 0.4l zand is aangebracht en komt overeen met een zandlaagdikte van bijna 5mm, dus 1m in werkelijkheid.



Figuur 19: wind van links naar rechts. 0.2 l zand is getransporteerd bij 9m/s na 5min tot aan de oude zeereep.

7.3 Fase 2; zandtransport met huisjes

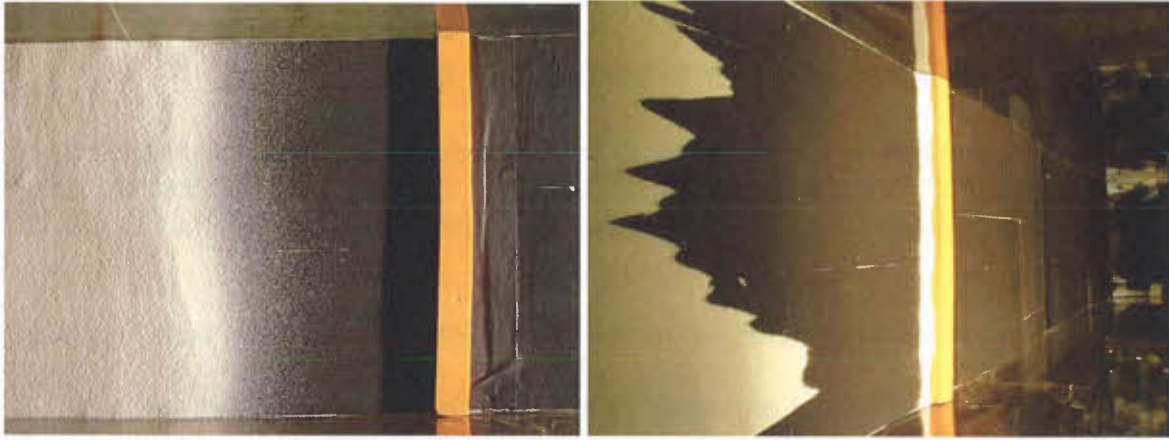
Fase 2, en vooral Figuur 21, toont de invloed van de huisjes op het zandtransport naar de vallei en de oude zeereep. Zoals bij fase 1 van de studie worden de testen gestart met een 5mm dikke, 0.4 l, zandlaag aangebracht voor de huisjes op het strand.

Volgende observaties en conclusies volgen uit de windtunnelproeven voor Fase 2;

- a) Zoals bij Fase 1 verdwijnt ongeveer de helft van het zand op het strand, i.e. 0.2l, na 3 minuten en 20 seconden bij 9m/s, maar blijft daarvan 10% (0.02l) voor de huisjes liggen (zie Figuur 22); dit komt overeen met ongeveer 1/10 van het volume van de huisjes. Dit duintje voor de huisjes is al binnen 20 seconden (9 dagen werkelijkheid) gevormd en groeit dan niet meer. Daarna zal al het aangevoerde zand naar de oude zeereep doorgevoerd worden. In het veld wordt het duin *voor* de huisjes echter regelmatig genivelleerd. Als dit iedere 9 dagen gebeurt dan zal praktisch al het zand dat van het strand afkomt zich iedere keer weer ophopen voor de huisjes, en reduceren de huisjes het zandtransport met 1/10 van het volume van de huisjes per 9 dagen.
- b) *Direct achter* de huisjes, nog voor de basisduin, wordt geen zand gedeponeerd dat van het strand afkomstig is, ook al is de lokale snelheid daar lager volgens Figuur 17 en kan zand zich daar dus ophopen. Het feit dat er geen duin wordt gevormd direct achter de huisjes stemt overeen met de veldobservaties. Het duintje *voor* de huisjes, gevormd na 9 dagen, fungeert namelijk als springplank voor het zand wat vervolgens over de lage-snelheidszone achter de huisjes heen vliegt, direct naar de oude zeereep.



Figuur 20: 9m/s met huisjes bij aanvang der testen; 0.4l zand is initieel aangebracht en komt overeen met een zandlaagdikte van bijna 5mm, d.w.z. 1m in werkelijkheid.



Figuur 21: wind van links naar rechts. 0.4l zand is bij aanvang van de testen aangebracht voor de huisjes op het strand (foto links). 0.2l blijft na de testen op het strand liggen. 0.02l blijft voor de huisjes liggen en is verloren voor transport naar de oude zeereep (foto rechts). 0.02 l is ongeveer 10% van het volume van de huisjes.

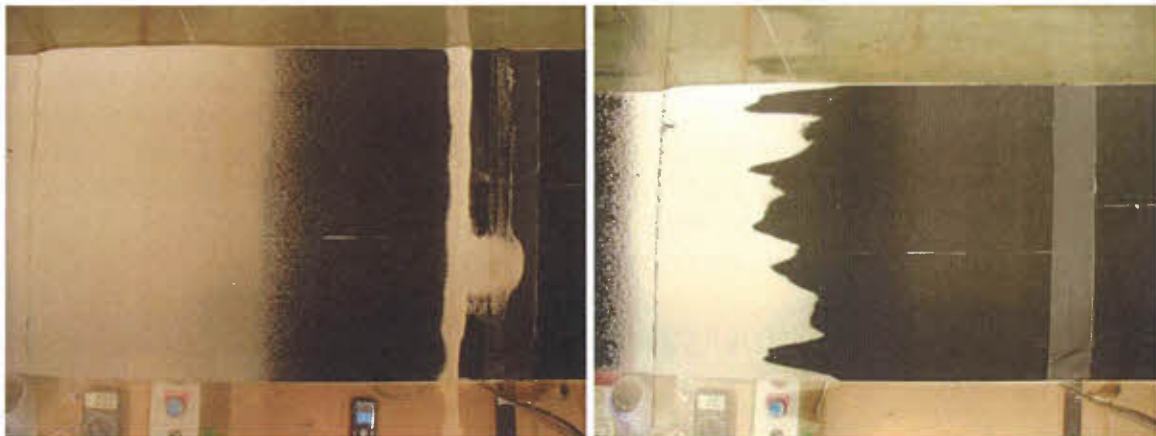


Figuur 22: Detailfoto met de duin gevormd tegen de huisjes na 20 seconden testtijd, 9 dagen in werkelijkheid.

7.4 Fase 3; zandtransportherstel

In fase 3 wordt gekeken of de situatie gevormd door de aanwezigheid van de huisjes wordt hersteld nadat de huisjes zijn weggehaald.

- a) Figuur 23 toont de situatie bij het begin van de testen; 0.4l zand is weer aangebracht op het strand en het duintje gevormd voor de huisjes is blijven liggen, maar de huisjes zijn dus weggehaald. Het duintje binnen korte tijd, i.e. 25 seconden, volledig verdwenen, hetgeen ongeveer 2 weken in werkelijkheid is. De totale testduur was 100 seconden (1 minuut 40 sec). Van het strand is weer bijna 0.2l weg.
- b) Het feit dat na 100 seconden (fase 3), 200 seconden (fase 2) en 300 seconden (fase 1) ongeveer evenveel zand van het strand verdwijnt, toont aan dat zandtransport afhankelijk is van de hoeveelheid zand op het strand en de periode met voldoende wind uit de juiste sector. Er wordt geacht dat de komende jaren voldoende zand aanwezig is op het strand, dus zal het zandtransport evenredig zijn met het totale aantal dagen dat de windsnelheid uit de sector ZW-NO waait, i.e. 55 dagen van 1 november tot 1 maart, en 175 dagen van 1 maart tot 1 november (zie hoofdstuk Figuur 5).



Figuur 23: 0.4l zand op het strand, geen huisjes, maar wel het duintje gevormd door de huisjes zeewaarts hiervan. Binnen 25 seconds, ongeveer na 2 weken, is het duintje weg.

8. Conclusies

De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit de windtunnelproeven ter bepaling van het effect van strandhuisjes op het zandtransport op het strand bij Slag Vluchtenburg

- a) De lokale windsnelheid nabij de huisjes is lager door introductie van de huisjes hetgeen duinformatie nabij de huisjes stimuleert en dus zandtransport naar de oude zeereep zal reduceren.
- b) Met en zonder huisjes is de duinvallei gevoeliger voor zanderosie dan de nieuwe basisduin, hoogstwaarschijnlijk door verhoogde turbulentie in de vallei veroorzaakt door de nieuwe basisduin. Dit is in overeenstemming met veldobservatie.
- c) Het duintje dat zich voor de huisjes binnen 9 dagen vormt, reduceert het zandtransport naar de oude zeereep met een volume dat overeenkomt met 10% van het volume van de huisjes. Dit duintje groeit na 9 dagen niet meer en fungeert dan als een springplank voor het zand wat vervolgens over de lagesnelheidszone achter de huisjes heen vliegt, direct naar de oude zeereep. Dit is de reden dat er zich geen duintje vormt direct achter de huisjes, in overeenstemming met veldobservatie. In het veld wordt het duintje voor de huisjes regelmatig weggehaald. Als dit iedere 9 dagen gebeurt, dan zal praktisch al het zand dat van het strand afkomt zich iedere keer weer ophopen voor de huisjes.
- d) Zandtransport van strand naar duin is afhankelijk van de hoeveelheid zand op het strand en de periode met voldoende wind uit de juiste sector. Er wordt geacht dat komende jaren voldoende zand aanwezig is op het strand, dus zal het zandtransport evenredig zijn met het totale aantal dagen dat de windsnelheid uit de sector ZW-NO waait, i.e. 55 dagen van 1 november tot 1 maart, en 175 dagen van 1 maart tot 1 november (zie hoofdstuk Figuur 5).

Twee kanttekeningen bij de windtunnelprocedure;

- Enkel de windrichting loodrecht op het strand is getest omdat deze verantwoordelijk is voor het zandtransport van strand via basisduin en duinvallei naar de oude zeereep. Windstatistieken tonen aan dat deze windrichting minder aanwezig is tijdens het stormseizoen.
- De huisjes zijn gesimuleerd als een niet-poreuze blok. In werkelijk staan de huisjes los van elkaar, dus heeft de huisjesrij een bepaalde porositeit. Het zandvolume dat zich voor de huisjesrij ophoopt en de daarmee samenhangende vermindering van het zandtransport naar het duin is omgekeerd evenredig met de porositeit van de huisjes [2,3]. Hoe dichter de huisjes op elkaar staan, hoe groter de transportreductie.

9. Dankbetuiging

Dit verslag kon binnen het korte tijdsbestek tot stand komen door uitmuntende samenwerking met de volgende personen;

- KNMI data (Figuur 4 en Figuur 5); ir. Sierd de Vries (TU Delft)
- LIDAR data (Figuur 8); de heer Rob Rijbering (DID Rijkswaterstaat)
- Dr. Frank van der Meulen en Dr. Bert van der Valk van DELTARES

10. Bibliographie

- [1] Jeroen van Beeck, Gábor Dezső, Philippe Planquart, *Microclimate assessment by sand erosion and irwin probes in atmospheric boundary layer wind tunnels*, in conference proceedings of PHYSMOD2009, von Karman Institute for Fluid Dynamics, 24-26 augustus 2009.
- [2] Yusuke Sakamoto, Daisuke Aoshima, Itsuki Nakamura, Takahiro Tsukahara, Makoto Yamamoto, Yasuo Kawaguchi, *Visualization and laser measurements on flow field and sand movement on sand dune*, 15th Int Symp on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics, Lisbon, Portugal, 5-8 juli 2010.
- [3] Javier Sanz Rodrigo, *On Antarctic wind engineering*, Ph.D thesis, Université Libre de Bruxelles, februari 2011.