

CIJFEREN OP HET RAAKVLAKE VAN ZEE EN KUST. DE AFDELING WEG- EN WATERBOUWKUNDE



Prof: AFDELING WEG- & WATERBOUWKUNDE (AWW)

Julien De Rouck

Peter Troch

Medewerkers;

Charlotte Beels

Griet De Backer

Leen Devos

Jimmy Geeraerts

Dieter Vanneste

Lander Victor

Dogan Kisacik

Tingqui Li (dr.)

Pieter Mathys

Philippe Van Poucke

Hadewych Verhaeghe (dr.)

David Derynck

Ludo Inghels

Sam Meurez

Herman Van der Elst

Tom Versluys

Ellen Vyncke

Anny Willems

Campus Ardoyen

Technologiepark 904

9052 Gent

België

ONDERZOEKSGROEP

binnen de vakgroep Civiele Techniek van de Faculteit Ingenieurswetenschappen

AWW bestaat uit 3 secties: Bruggen, Wegen & Kustwaterbouwkunde.

VERANTWOORDELIJKEN

prof. Julien De Rouck, prof. Peter Troch

PERSENEEL

2 professoren, 4 wetenschappelijk medewerkers,

5 doctorandi, 7 ATP

KEYWORDS

kustwaterbouwkunde, kustverdediging, erosiebescherming, golfverslag en -oploop, golfmodellering, prototypes, hydraulische respons, getijde- en golfenergie

URL: <http://awww.ugent.be>

Tel: + 32(0)9 264 54 89

Fax: + 32(0)9 264 58 37

Email: julien.derouck@ugent.be

peter.troch@ugent.be



INLEIDING ////

De Kust... De grenszone tussen land en zee is pittoresk, uitnodigend, toegankelijk maar soms ook vijandig. Het hoeft dan ook niet te verwonderen dat kustzones om verschillende redenen heel wat mensen aantrekken. Het zijn economische zones (havens, visserij,...), woongebieden, vakantiebestemmingen, ecologische hotspots (mangroves, estuaria)... Oorlogen worden beslecht in kustzones en prille liefdes ontstaan bij het ruisen van de zee. Tien procent van de wereldpopulatie woont in een kustzone niet hoger dan 10m boven zeeniveau, en dat aandeel stijgt nog altijd¹. Geen wonder dus dat de mens die kustlijn wil beheren. Daar komt kustwaterbouwkunde op de proppen.

AWW buigt zich over deze problematiek. In eerste instantie denkt men waarschijnlijk spontaan aan kustverdediging. Kustverdediging vormt inderdaad de oorsprong van de onderzoeksgroep (b.v. de uitbouw van de haven van Zeebrugge), maar het onderzoek gaat veel ruimer dan dit. Een greep uit het aanbod: metingen van golfwerking (zowel in het labo als in het terrein), erosiebescherming van stranden en fundering van windmolenparken, numerieke modellering van golfvoortplanting en golfinteractie met structuren, golfenergie conversie in groene (elektrische) stroom,...

¹ The Earth Institute at Columbia University, "Researchers Assess Risks Associated With Living In Low-lying Coastal Areas," *ScienceDaily*, 17 May 2006, 11 January 2008 <http://www.sciencedaily.com/releases/2006/05/060517175614.htm>.

HOEVEEL KM KUST IS ER WERELDWIJD?

Een vraag die –misschien verrassend– niet zo eenvoudig te beantwoorden is. Benoît Mandelbrot probeerde het in 1967 al voor de kust van Groot-Britannië. De lengte hangt namelijk af van de meetmethode: bij benadering moet je immers de kust opdelen in rechtlijnige stukken, en die afstand optellen. De lengte van die rechtlijnige stukken is van groot belang: hoe korter de lengte van de rechtlijnige stukken, hoe groter de totale lengte van de kustlijn is. De totale lengte gedraagt zich dan zoals een **fractaal**. Verwarrend? Feit is dat Canada, Noorwegen, Indonesië, Rusland en de Filippijnen de top 5 uitmaken. België bengelt helemaal achteraan in het peloton. Maar geen nood: de kustwaterbouwkundige uitdagingen liggen er voor het grijpen...



* Lijnstukken van
50 km. Totale lengte
bij benadering 3500 km.

* Lijnstukken van
100 km. Totale lengte
bij benadering 2800 km.

* Lijnstukken van
200 km. Totale lengte
bij benadering 2400 km.

Bron: Mandelbrot, Benoît (1967), "How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension", *Science*, Vol. 156 pp.636-8.

<http://www.answers.com/topic/how-long-is-the-coast-of-britain-statistical-self-similarity-and-fractional-dimension>.

ONDERZOEKSTHEMA'S EN -METHODES ////

AWW verricht onderzoek rond 3 pijlers.

Een 1ste thema betreft onderzoek in het kader van het **ontwerp, de constructie en de monitoring van kust(verdedigings)structuren** (stortsteen-golfbrekers, dijken, strandhoofden, zandsuppletie). AWW kan hiervoor steunen op heel wat expertise.

Een 2de thema betreft onderzoek van de **structurele respons (het "gedrag") van deze kust(verdedigings)structuren**. Hieronder verstaat men o.a. de golfoploop (een golf loopt namelijk omhoog indien hij b.v. op een dijk botst), de golfoverslag (water dat over een golfbreker of dijk slaat), de erosiebestendigheid van funderingen voor offshore windmolens, enz.,...

Een 3de thema is het onderzoek naar **hernieuwbare energie**. Zo wordt de erosie en erosiebescherming onderzocht bij de paalfundering van offshore windmolens. Daarnaast wordt ook onderzoek verricht naar getijde- en golfenergie. Hierbij wordt de zee als energiebron aangewend.

Om deze thema's te onderzoeken worden 3 methodes gebruikt: **terreinmetingen** (op prototype schaal), **laboproeven** (b.v. in een golf-goot) en **numerieke modellering**. De sterktes van elke van deze 3 methodes worden zo gecombineerd tot een integrale aanpak voor zowel onderzoek als ontwerp. Om dit te illustreren wordt het ontwerp van een golfbreker toegelicht. Eerst wordt nagegaan aan welke (golf)belasting de golfbreker wordt blootgesteld. Op basis hiervan wordt een eerste ontwerp gemaakt. Dit ontwerp wordt – op schaal – ingebouwd in de golfgoot (zie kader). Tevens wordt een numeriek model gemaakt om b.v. golfoploop of het faalgedrag na te gaan. De bekomen dataset geeft inzicht in de hydraulische respons van de golfbreker, en indien nodig zal het ontwerp bijgeschaafd worden. Als het uiteindelijke ontwerp gebouwd is, wordt deze gemonitord om toekomstige ontwerpen nog verder te optimaliseren.

In de volgende paragraaf worden de afgelopen en huidige onderzoeksprojecten opgesomd. De zonet opgesomde onderzoeksthema's en -thema's vormen dan ook de rode draad doorheen deze projecten.

GOLFBREKER, STRANDHOOFD, BOAREBREKER OF KATÉJE?

Puur inhoudelijk is de term **golfbreker** niet correct als men het heeft over de loodrecht op de kust staande constructies, die zo talrijk aan de Belgische stranden voorkomen. Immers, deze breken de golven niet, maar zijn veeleer gebouwd om het ontzanden van de stranden tegen te gaan. De correcte term voor deze constructies is '**strandhoofden**'.

Als een golf in ondiep water terecht komt, ondervindt deze golf weerstand van de bodem of golfbreker en zal de golf overslaan. Dit overslaan van de golf noemt men **golfbreking** en structuren met als doel deze breking te veroorzaken zijn golfbrekers. Het zijn vaak dammen (boven of onder water), b.v. de strekdammen van de haven van Zeebrugge. In de volksmond bedoelt men dus eigenlijk strandhoofd als men spreekt over een golfbreker, maar dit is eigenlijk niet correct.

Boarebreker is een Oostends dialectwoord en wordt gebruikt voor zowel strandhoofd als golfbreker (in deze context '**katéje**' genoemd). Boarebreker slaat ook op een (metalen) band aan de rand van een schip.

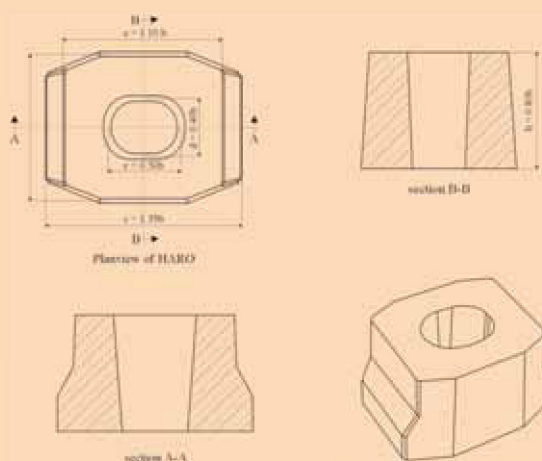
Bron: Gebaseerd op: Zeebegrippen op www.vliz.be en Oostends Woordenboek, 4de druk, Roland Desnerck.

ONDERZOEKEN

In de pioniersjaren werd vooral onderzoek gedaan naar de stabiliteit en de **respons van golfbrekers**. Zo'n golfbreker bestaat – van binnen naar buiten toe – uit een kern (relatief kleine stenen), een filterlaag (grovere rotsblokken) en een deklaag (b.v. zware rotsblokken stortstenen). Het is de deklaag die uiteindelijk blootgesteld wordt aan de golfwerking, en dus ook aan de immense golfkracht. Maar als de basis (lees: de kern van de golfbreker) niet goed is ontworpen of geconstrueerd, heeft een goede deklaag weinig zin. Door de golfkracht en de wisselende waterdruk in de kern van de golfbreker kan de stabiliteit ondergraven worden. In de jaren '70 en '80 zijn immers een aantal belangrijke stortsteengolfbrekers bezweken (Sines, San Ciprian, Bilbao, Tripoli,...). Een beter inzicht in de geotechnische stabiliteit en de hydraulische weerstand tegen golfwerking was dan ook noodzakelijk. Julien De Rouck sprong in deze kennisleegte, en ontwikkelde een afdekelement met – letterlijk – een leegte: het HARO-blok.

Het HARO blok: een massieve betonblok met een hoge stabiliteit en een centrale opening die de golfenergie kan opvangen. Naast een gewichtsbesparing van 25-30% t.o.v. de klassieke kubusvormige deklaag elementen trad er ook minder schade op bij hoge golfbelasting. Deze dek-

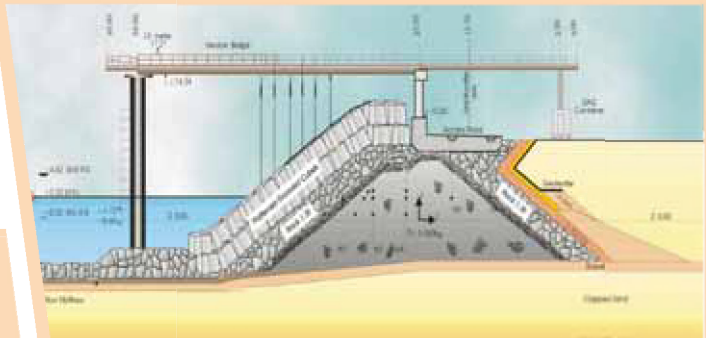
laagelementen zijn gebruikt voor de golfbrekers aan de binnenkant van de haven van Zeebrugge, nadien ook in Pakistan, ea...



In het kader van 3 Europese onderzoeksprojecten, gecoördineerd door AWW, is een unieke meetopstelling op de golfbreker te Zeebrugge uitgebouwd voor het opmeten van golfbelasting en poriëndruk in de kern (MAST-II), golfploop (OPTICREST) en golfoverslag (CLASH).

Deze projecten leverden een unieke prototype dataset op.

Dwarsdoorsnede van de meetopstelling aan de westelijke buitendam van Zeebrugge. Deze unieke meetopstelling, in beheer van de afdeling Maritieme Toegang, meet het invallende golfklimaat, de poriëndruk doorheen de lagen van de golfbreker, de golfploop en het overslagdebiet. Het initiatief tot het bouwen van deze meetopstelling werd genomen door de toenmalige Dienst der Kust, nu de afdeling Maritieme Toegang. AWW dankt de afdeling Maritieme Toegang voor de jarenlange zeer goede samenwerking.



* Measurement Jetty Location of sensors 2005



In het OPTICREST project ging alle aandacht naar de golfoploop op het talud van kustverdedigingsstructuren. Uit de vergelijking tussen de golfgootproeven (op laboschaal) en terreinmetingen van het prototype (stortsteengolfbrekers en dijken) bleek dat de golfgootproeven de golfoploop tot 25% onderschatten. Deze belangrijke vaststelling was te wijten aan de schaal- en modeleffecten.

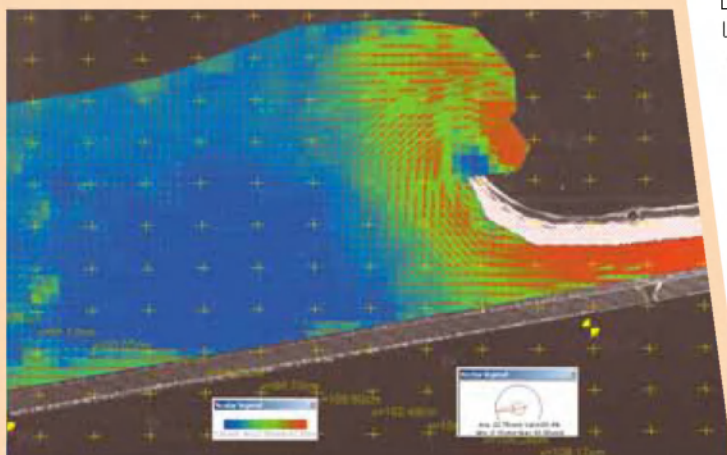
DE GOLFGOOT: INZICHT IN (HET GEDRAG VAN) GOLVEN.

Het ontwerp van kustwaterbouwkundige constructies (zoals golfbrekers) wordt bestudeerd op basis van een schaalmodel opgebouwd in een golfgoot in het labo.

Voor deze fysische modellering staan in het labo van AWW twee golfgoten ter beschikking. Zowel de "kleine" goot (15m x 0,35m x 0,6m, lxbxh) als de "grote" goot (30m x 1m x 1,2m) zijn uitgerust met computergestuurde golfschotten. Deze schotten kunnen zowel regelmatige als onregelmatige golven opwekken en ogenblikkelijk de teruggekaatste golven aan het schot absorberen zodat geen onnatuurlijke golven gegenereerd worden. Men kan ook in de goten accuraat de golfoploop en -overslag, de heersende krachten en drukken, de stromingssnelheden en de erosie opmeten.



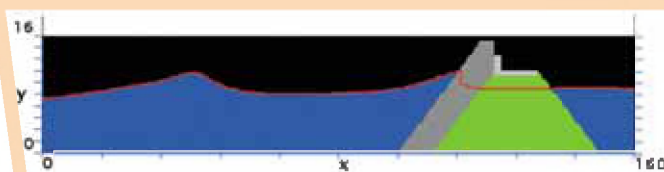
Snelheidsvelden en stromingen worden optisch geregistreerd en softwarematig geanalyseerd d.m.v. de 'Particle Image Velocimetry' techniek (zie kader verder voor het principe van deze meetmethode). Onderstaande figuur geeft de snelheids-grootte en -richting van de waterdeeltjes in een dwarsdoorsnede van de golf (blauw: 13cm/s, groen 23cm/s, rood 80cm/s).



DE NUMERIEKE MODELLERING VAN GOLFINTERACTIES NADER BEKEKEN

De fundamenteën van de numerieke pijler binnen AWW's waterbouwkundegroep zijn gelegd in het doctoraatswerk van Peter Troch. Zijn numerieke, tweedimensionele model ("VOFbreak2") laat toe de golfaanval en stroming in de kern van een poreuze stortsteengolfbreker van achter de pc te bestuderen. In ingenieurstaal uitgedrukt lost dit numerieke model de **Navier-Stokes stromingsvergelijkingen** op evenals een **Volume of Fluid (VOF)** vergelijking voor de bepaling van de positie van het wateroppervlak. Hierdoor is dit model heel wat veelzijdiger dan andere veelgebruikte modellen, die gebaseerd zijn op potentiaalstroming.

Dit tweedimensioneel model is o.a. toegepast bij de studie van de afname van de poriëndruk binnenin een stortsteengolfbreker en bij het onderzoek naar golfoverslag over een ondoordringbare dijk. Onder-tussen is de code uitgebreid tot drie dimensies ("LVOF") en wordt ook turbulentie mee gemodelleerd. LVOF heeft ondertussen bewezen een zeer stabiele code te zijn voor simulatie van golfbreking, golfoploop en golfoverslag. De ontwikkeling van het 3D model gaat nog steeds verder in het kader van (post)doctoraal onderzoek. Hierbij wordt de code verder ontwikkeld om het gedrag en de respons van drijvende golf energie convectoren te beschrijven. Tevens wordt de poreuze stromingsmodule verder ontwikkeld.



* Interactie tussen een golf (blauw), de deklaag (grijs) en kern (groen) van een stortsteengolfbreker, berekend met het VOFbreak2 model. De rode lijn geeft het wateroppervlak weer en toont duidelijk de golfoploop aan de deklaag en de demping in de (poreuze) golfbreker.

Deze belangrijke vaststelling en de tot dan verzamelde dataset, lagen aan de basis van CLASH. Hierbij werd de dataset verder uitgebreid met terreinmetingen te Zeebrugge, Ostia (Italië) & Samphire Hoe (Groot-Brittannië). In dit project werd het gevaar eigen aan golfoverslag begroot en werd een nauwkeurige inschatting gemaakt van de schaal-effecten in golfgoten. Ook werd, op basis van deze uitgebreide dataset, een algemene methode ontwikkeld om de optimale kruinhoogte van golfbrekers en dijken te bepalen. Daarvoor werden **neurale netwerken** gebruikt. Deze methode is gebaseerd op de werking van de menselijke hersenen en is in staat patronen te herkennen in de zeer uitgebreide dataset (meer dan 10000 proefresultaten). Daardoor is één rekenmodule voldoende om het overslaggebied te berekenen. Dit laat toe de kruinhoogte van de dijk of golfbreker te bepalen.

ZEEWERING OOSTENDE ////

Niet alleen op zonnige dagen lokt Oostende veel volk. Ook bij springtij, met een flinke NW-wind, komen vele mensen de **overslaande golven** bekijken. Wie vanop de dijk naar Oostende kijkt, ziet dat de binnenstand heel wat lager ligt dan het niveau van de dijk. Bovendien dringen golven tot ver binnen in de haven (tijdens de storm van '53 was er ook een overstroming aan het Montgomerydok). Gezond boerenverstand volstaat om te beseffen dat dit een potentieel gevaarlijke situatie is, maar waterbouwkundige inzicht is vereist om een dergelijk probleem op te lossen. Zowel de zandopspuiting als de nieuwe golfbrekers bieden hier een oplossing.

Deze nieuwe golfbrekers hebben een dubbele functie: enerzijds dient Oostende beschermd te worden tegen stormen en overstromingen, anderzijds dient de haven toegankelijk te blijven voor grote schepen. Deze grote infrastructuurwerken nemen echter vlug enkele jaren in beslag, en een tussentijdse oplossing is noodzakelijk om risico's op overstroming te vermijden.

Vermits een verhoging van de dijk geen oplossing is, is gekozen voor een verhoging van het strand (zandsuppletie). Het strand voor de golfbreker is dan minder diep. Dit zorgt ervoor dat de golven meer weerstand ondervinden (wegens de geringe diepte) en sneller breken. Het gevolg van die breking is dat de golf (een deel van) zijn energie verliest ("energie-dissipatie"), vooraleer de Zeedijk te bereiken.



* Voorstel voor de nieuwe golfbrekers te Oostende. Merk op dat het Westerstaketsel behouden blijft. (Bron: Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust – Afdeling Kust & Departement Mobiliteit en Openbare Werken – Afdeling Maritieme Toegang).

PRINCIPE EN WERKING VAN ZANDSUPPLETIE TE OOSTENDE ////



* Het probleem: Overslaande golven aan de zeedijk, vóór een zandsuppletie.



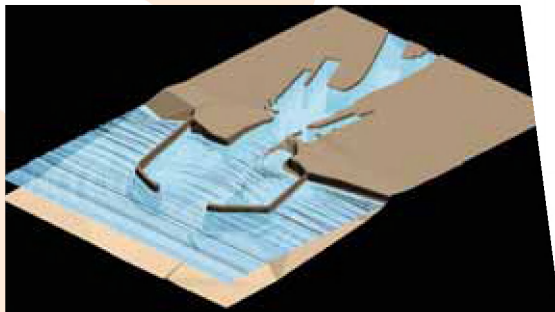
* De oorzaak van het probleem: de situatie vóór een zandsuppletie: de golven komen aangerold vanuit zee en bereiken de zeewering.



* De oplossing voor het probleem: de situatie met een zandsuppletie: de golven breken voor ze de zeedijk bereiken, waardoor ze met veel minder kracht de zeedijk bereiken.

Bron: Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust

Tevens werd een numeriek model voor de **golf-indringing in de haven** van Oostende gebruikt en gevalideerd. Dit is een wiskundig model dat de fysische processen van golfvoortplanting en golf-indringing in de haven bevat en in 2 dimensies uitrekent.



⚡ Golfindringing te Oostende (met de nieuwe geplande golfbrekers), bekomen via numerieke modellering. Dit numerieke model (SimWave, naar Sinha et al., 1998) houdt rekening met de golftransformaties. Deze zijn: reflectie (terugkaatsing), shoaling (ondiep water effect), refractie (afbuiging), diffractie (afscherming), golfoploop en golfbreking.

GOLVEN HET ZWIJGEN OPLEGGEN: HET STILLING WAVE BASIN CONCEPT. /////

Ongewenste golfoverslag over kustverdedigingsstructuren kan natuurlijk opgelost worden door de golfbreker of dijk te verhogen. Toch is dit niet steeds gewenst of mogelijk, omwille van visuele hinder. Daarom voerde de Gentse onderzoeksgroep onder het motto 'less is more' onderzoek uit naar **alternatieve, elegante strategieën** om **golfoverslag** over bestaande zeedijken te verminderen.

Eén van de belangrijkste ontwerpen in deze context is het zogenaamde "Stilling Wave Basin". Het principe van dergelijk bassin is dat de golven, nadat ze het dijktaalud zijn opgelopen, in contact komen met een dubbele rij van lage muurtjes (aan de zeezijde). Hierdoor worden de golven deels tegengehouden en deels 'omhooggeworpen' om vervolgens 'dood te vallen' in het bassin. Dit bassin is op zijn beurt aan de landzijde gescheiden door een tweede, iets hoger muurtje. Dit principe kan in de toekomst toegepast worden in Oostende.



⚡ Schaalmodel in de golfkooi van het Stilling Wave Basin. De aankomende golven stoten op een geschrante dubbel muurtje, waardoor ze omhoogspatten en hun energie verliezen.

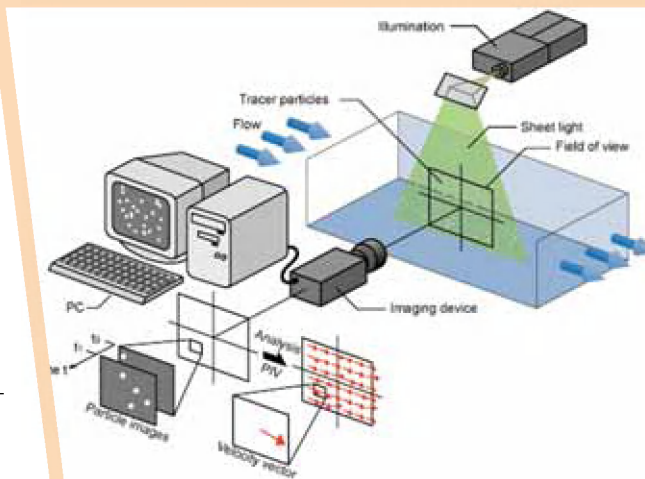
EROSIEBESCHERMING ROND FUNDERING VAN OFF-SHORE WINDMOLENS. /////

Rond paalfunderingen van windmolens op zee treedt lokale uitschuring of erosie van de omliggende bodem op. Het ontwerp van de fundering moet hiermee rekening houden of de erosie moet vermeden worden door het aanbrengen van een **erosiebescherming**. Een extra uitdaging hierbij betreft de gecombineerde actie van golven en stroming. Literatuuronderzoek leert dat dit fenomeen onvoldoende gekend is. Om dit effect te begroten, werden vooral laboproeven gebruikt. Een opmerkelijk resultaat van deze studie is dat de erosieput dezelfde grootte heeft bij brekende golven als bij niet-brekende golven. Dit resultaat kan verklaard worden m.b.v. van een PIV (Particle Image Velocimetry) meettoestel. Deze techniek geeft inzicht in de interactie tussen golven, stroming en de structuur en kon op deze manier een verklaring bieden.

Wanneer de erosiediepte onaanvaardbaar blijkt voor de stabiliteit van de fundering, wordt vaak een erosiebescherming aangebracht. Op de afdeling is uitgebreid fysisch modelonderzoek verricht naar een mogelijke optimalisatie van de erosiebescherming.

PIV: PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY.

Dit hoogtechnologisch toestel kan het snelheidsveld en de stroming rond de paalfundering optisch vastleggen met behulp van laserpulsen die zwevende deeltjes doen oplichten. Een hoge resolutie camera registreert dit, en de snelheidsvectoren worden door de computer berekend. Deze techniek is noodzakelijk bij turbulente stroming, b.v. de stroming in een golf.



⚡ Erosieput rond een paalfundering, veroorzaakt door een combinatie van golven en stroming (getijdewerking). Links de foto van een labotest, rechts het overeenstemmende resultaat, bekomen door een 3 dimensionale opmeting van het terrein rond de paal.

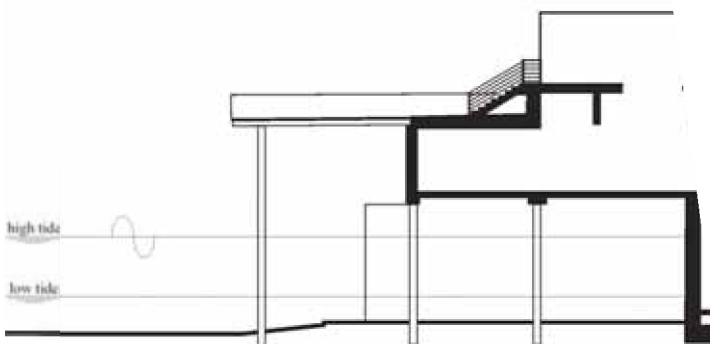
GOLFKLAPPEN OP DE PIER VAN BLANKENBERGE ////

De pier van Blankenberge, gelegen tussen de laagwaterlijn en hoogwaterlijn, is een uniek historisch monument. Tussen 1999 en 2003 werd de pier grondig gerenoveerd. Als onderdeel van deze renovatie is een betonnen verticale koker opgetrokken tussen de zeebodem en de oorspronkelijke vloer van de pier. Aankomende golven botsen op de koker. Zo ontstaan golfklappen op de vloer van de pier.

Toen in 2002-2003 tijdens winterstormweer schade optrad aan het piergebouw – ten gevolge van de golfklappen – besliste men om langs de zeezijde en vóór de pier een stalen scherm te bouwen. Zo hoopte men de golfklappen te reduceren. Gedurende 2 winters mat AWW, m.b.v. druksensoren (op de verticale betonnen wand, het horizontaal overhangende dek en het stalen scherm), de druk veroorzaakt door de golfklappen. De karakteristieken van de golven werden net vóór het scherm gemeten. Aan de hand van de verzamelde gegevens willen de ontwerpers een beter inzicht verkrijgen in de **krachten die inwerken op een structuur met verticale en horizontale wanden**. In het verlengde van deze meetcampagne wordt dit probleem verder onderzocht in een doctoraat.



* De gerenoveerde pier van Blankenberge, foto genomen tijdens laagwater.
Het centrale deel bestaat uit een betonnen cilinder, daarrond is een paalconstructie gemaakt om de horizontale vloer te ondersteunen.



* Dwarsdoorsnede van de pierconstructie, met de gemiddelde laag- en hoogwaterstanden.
Bij hoog water worden de golven ingesloten tussen de verticale cilinder en de horizontale vloer.
Daardoor ontstaat een drukpiek die trillingen en schade veroorzaken.

GOLF ENERGIE: EEN NIEUWE TELG IN DE GROENE STROOM FAMILIE. ////

Uit de voorgaande onderzoeken zou men denken dat bouwen in of aan zee altijd een gevecht tegen stromingen, wind en golven is. Dit klopt niet helemaal! De zee is een immense bron van energie en dit onder verschillende vormen: golfenergie, getijde-energie en energie op basis van gradiëntstromen (verschil in temperatuur of in zoutgehalte). Het energievraagstuk van de 21ste eeuw is een complex vraagstuk en om ecologische, economische, geopolitieke of technologische redenen is mariene energie een piste die mogelijke oplossingen kan bieden. Toegegeven: mariene energie staat nog in zijn kinderschoenen, maar net daarin ligt de uitdaging voor waterbouwkundige ingenieurs.

Een optimale mix tussen hernieuwbare energie (wind-, zonne-, biomassa- & mariene energie) en de niet-hernieuwbare energie is dan ook nodig om op een ecologische, economische en bedrijfszekere manier aan de energievraag van de 21ste eeuw te kunnen voldoen.

AWW verricht momenteel veel onderzoek naar **golfenergie** (en in beperkte mate ook naar de haalbaarheid van getijde-energie).

Golfenergie heeft raakvlakken met offshore windenergie (o.a. de verankering op zee, de aansluiting op het stroomnet), maar is toch fundamenteel verschillend.

Golfenergie heeft een aantal voordelen t.o.v. windenergie.

- **Grotere energiedichtheid:** De energiedichtheid in golven is groter dan bij wind. Bijgevolg kunnen kleinere toestellen dezelfde hoeveelheid energie produceren in een fractie van de ruimte die zou nodig zijn voor een windmolenpark.
- **Golven zijn regelmatig aanwezig:** Ze worden gegenereerd door windvelden die soms honderden tot duizenden kilometers ver verwijderd zijn. Golven verplaatsen zich zonder significant energieverlies. Ze zijn bovendien ook beter voorspelbaar dan wind.
- **Grotere capaciteitsfactor:** Het vermogen in golven vertoont veel minder spreiding dan bij wind, wat resulteert in een hogere capaciteitsfactor van de systemen (De capaciteitsfactor is de verhouding van het vermogen dat de convertor gemiddeld produceert t.o.v. zijn nominaal vermogen).
- **Beperkte visuele impact:** Golfenergieconvertoren steken slechts enkele meters boven water uit, terwijl windmolens typisch 100 m hoog zijn.

Golfenergie-onderzoekers hebben zich de voorbije jaren van hun inventiefste kant getoond, getuige daarvan de verschillende systemen om golfenergie om te zetten in elektrische energie. Men kan daarbij een viertal typische systemen onderscheiden.

EEN ZEE VAN ENERGIE: TYPES GOLF ENER- GIE CONVECTOREN (GEC).



OVERIGE SYSTEMEN

Deze gebruiken een andere technologie.

Bv. de Pelamis (Cornwall, Engeland, ontwikkeld door Pelamis Wave Power Ltd), een drijvende "slang" met scharnierpunten die op/nee en links/rechts kunnen bewegen. Hierdoor wordt hydraulische energie gegenereerd die verder omgezet wordt in elektrische energie.

OSCILLERENDE WATER KOLOM

Hierbij gaat het water op en neer, en wordt door de wijzigende luchtdruk boven het water een turbine aangedreven (zowel bij stijging als bij zakking van het water). Bv: Limpet 500 (Islay, Schotland, ontwikkeld door Wavegen & Queens University). Deze wordt ingebouwd in de kustlijn, maar er bestaan ook varianten die drijvend zijn.



POINT-ABSORBERS

Deze compacte GEC maakt gebruik van de relatieve beweging van een vlotter t.o.v het platform. Door gebruik te maken van het resonantie-effect kan de golfenergie optimaal benut worden.

Bv. het Buldra platform met een model van de F03, onderwerp van het Europees SEEWECE project, door AWW gecoördineerd.

OVERSLAGSYSTEMEN

Hierbij wordt het 'hoge' water van de golven verzameld in een tank, daarna stroomt het water door een turbine terug naar zee.

Bv. de Wavedragon (Nissum Brendning, Noorwegen, ontwikkeld door Wavedragon). Deze is drijvend, maar er bestaan ook systemen die ingebouwd kunnen worden in de kustlijn.

SEEWECE: een Europees project waarbij AWW optreedt als coördinator.

SEEWECE (www.seewec.org) tracht een robuuste, drijvende GEC te ontwerpen: de F03. Deze GEC is bedoeld om op een competitieve en economische manier golfenergie te exploiteren in ondiepe waters langs de Europese kusten.

AWW treedt enerzijds op als algemeen coördinator en anderzijds verricht ze zelf ook onderzoek naar de optimale vorm en robuustheid van de vlotters, de constructie van het platform en de optimale schikking van meerdere platformen in een golf-convectiepark.



NIEUWE PROJECTEN ////

Een recent gestart onderzoek is de mogelijkheid tot afdekking van de Paardenmarkt. De Paardenmarkt ligt ten oosten van de haven van Zeebrugge en is een voormalige dumpplaats van oorlogsmunitie. Naar schatting gaat het hier over minstens 35 000 ton, waarvan ca. 1/3 gifgasgranaten. Deze vormen een bedreiging voor natuur en mens, maar vermits sanering een zeer dure en gevaarlijke onderneming is, onderzoekt AWW andere beheersalternatieven, waaronder een afdekking.

Daarnaast blijft het onderzoek naar deklaagstabiliteit en golfoverslag van golfbrekers wereldwijd een vaste waarde. Zo zijn er projecten uitgevoerd in opdracht van grote baggerfirma's in de Perzische Golf en voor Maasvlakte 2 (uitbouw van de haven van Rotterdam).

Ook de projecten rond hernieuwbare energie zitten in de lift. Verwacht wordt dat ook hierin kansen liggen voor AWW.

ONDERWIJS ////

De opleiding tot **Master of Science in Ingenieurswetenschappen** – optie Bouwkunde (klassiek gekend als de opleiding tot burgerlijk bouwkundig ingenieur) vormt ingenieurs die alle facetten van bouwwerken kunnen behandelen. In studiebureaus *ontwerpen* ingenieurs bouwkundige constructies. Bij *aannemers* (klein of groot, nat of droog, ...) worden deze bouwwerken ook effectief gerealiseerd. Onder het wakend oog van de ingenieur-bouwheer (openbare besturen of bouwpromotoren) worden deze bouwwerken *beheerd*. Ingenieurs in het toegepaste onderzoek zijn de *uitvinders* (nieuwe mechanismen, materialen). En in de verzekerings- en banksector gaan bouwkundige ingenieurs de kosten, schade, veiligheid en risico's *beoordelen*. De geografische horizon is hierbij niet beperkt tot België, vele bouwkundige ingenieurs vatten een mooie buitenlandse carrière aan.

Een student in de burgerlijk bouwkundige krijgt een uitgebreide basisopleiding. Gelijktijdig met deze basisopleiding heeft de student de keuze tussen 2 *verdiepende* majors (Constructieontwerp en Water & Transport) of 3 *verbredende* minors: Bedrijfskunde, Biosystemen en Milieu & Duurzame Ontwikkeling. Deze thema's worden uitvoerig (in het geval van de majors) of initiërend (in het geval van de minors) behandeld in de gedoeerde vakken. Een uitgebreide keuze dus, die bovendien geen beperking vormt bij een latere beroepskeuze!

AWW is verantwoordelijk voor volgende opleidingsonderdelen.

- **Waterbeheer & Leefmilieu:** concepten van algemeen waterbeheer, rivier- en kusthydraulica en -morfologie worden toegelicht. Daarnaast wordt aandacht geschonken aan natuurtechnische milieubouw (integraal waterbeheer, waterkwaliteit,...).
- **Rivieren, kanalen en sluizen:** basisconcepten van de scheepvaart en waterbouwkunde in het algemeen behandeld. In een verdere fase worden ook verbeteringswerken aan rivieren en kanalen (afvoer, taludbekleding) toegelicht. Daarnaast worden ook sluizen en stuwen toegelicht, om te eindigen met baggerwerken.
- **Zee- en Havenbouw:** is een typisch toepassingsvak, waarbij de student inzicht krijgt in de fenomenen zoals getijdewerking, stroming, golven, interacties met constructies. Daarnaast wordt aangeleerd hoe constructies op zee ontworpen en gebouwd moeten worden. Ten slotte wordt aangeleerd hoe kaaimuren ontworpen en gebouwd worden.
- **Offshore constructies:** Het doel van de cursus is de student inzicht te verschaffen omtrent alle aspecten van de offshore techniek. De basis is de bepaling van de belastingen en de geotechnische gegevens, waarna ook de constructies zelf besproken worden zo b.v. offshore platformen, pijpleidingen op zee, offshore windmolenparken.



EFFECT VAN ORKAAN KATRINA OP GOLFBREKER ////



★ Effect van orkaan Katrina op een storsteengolfbreker (Waveland, Mississippi) aan de hand van een vóór en ná foto. De 'na' foto is genomen 2 dagen nadat Katrina de kust bereikte. Tot 2 km landinwaarts werd er schade vastgesteld.

Bron: <http://coastal.er.usgs.gov/hurricanes/katrina/photo-comparisons/mainmississippi.html>

KUNSTVERDEDIGING ////



★ De Grote Golf nabij Kanagawa (Katsushika Hokusai, 1831, Hakone Museum te Japan). Deze kleine gekleurde houtgravure toont 3 Oshiokuribines, smalle Japanse visserbootjes, strijdend tegen brekende golven. Op de achtergrond staat Mount Fuji, en ondanks de storm, lijkt de zon te schijnen. Hokusai (1760-1849) hanteerde de Ukiyo stijl ('prenten van de vergankelijke wereld'). Hij stelde vooral de gewone man en het dagelijkse leven centraal in zijn werk.

Bron: <http://www.ee.umanitoba.ca/~kinsner/about/gwave.html>