

Duurzame deining levert elektriciteit uit een 420 ton zware 'beschuitbus'

Stroom uit oceaangolven

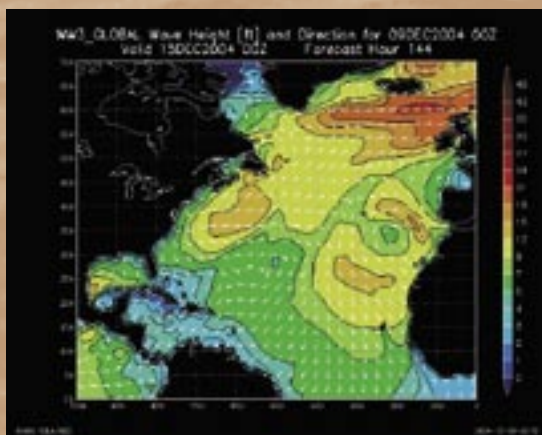
Wereldwijd worden honderdduizenden initiatieven ontwikkeld voor opwekking van duurzame energie. De overgrote meerderheid daarvan richt zich op zonne- en windenergie, ook al doordat beide bronnen over ter wereld voorhanden zijn. Ook de stichtingskosten zijn (al dan niet door subsidies) relatief laag, zodat zelfs volkstuintjes al een rijke aanblik op zonnepanelen bieden. Een andere bron van duurzame energie is de beweging van de zee. Ook in Nederland is daarvoor technologie ontwikkeld. Begin oktober jl. leverde de Archimedes Wave Swing voor het eerst stroom, na meer dan een decennium van onderzoek en ontwikkeling. Elektriciteit gegenereerd uit een 420 ton zware 'beschuitbus' die onder water voor de Portugese kust op en neer resoneert op de frequentie van de deininggolven van de oceaan.

De Archimedes Wave Swing, een omvormer van golfenergie, tijdens het afzinken op Atlantische oceaan voor de kust van noord Portugal op 19 mei 2004.

BENNIE MOLS

Oceanen bevatten enorme hoeveelheden energie, deels door de aantrekkingskracht van de maan die een eb- en vloedbeweging veroorzaakt en deels doordat de wind energie overdraagt aan het wateroppervlak. Met behulp van radarbeelden vanuit satellieten is het mogelijk de golven te meten. Door de

windvoorspelling te koppelen aan deze waarnemingen is het mogelijk om acht dagen vooruit de golven te voorspellen. De golfhoogte wordt weergegeven in voeten. De data wordt via Internet door de Amerikaanse marine beschikbaar gesteld aan derden. Ook het AWS-team maakt veel gebruik van deze data.



Een prestatie van formaat voor het team van uitvinder Fred Gardner, want ongeloof en technische en financiële tegenslagen hebben het project meerdere malen vertraagd. Delftse onderzoekers hebben in belangrijke mate bijgedragen aan de lineaire generator die de stroom opwekt en aan de modellering van de golven en de energie die daarin zit.

Tegengaan van het broeikas effect en het opraken van fossiele brandstoffen zijn de belangrijkste drijfveren achter het onderzoek naar duurzame energiebronnen. Wind- en zonne-energie vormen daarvan de bekendste. Maar de grootste en meest constante duurzame energiebron op aarde ligt in de oceanen. De aantrekkingskracht van de maan doet getijden ontstaan en door de wind ontstaan golven op het oceaanooppervlak. Gigantische watermassa's verplaatsen zich zo over de aarde.

Deininggolven zijn één van de typen golven die zich over grote afstanden over de oceanen verplaatsen. Ze ontstaan in gebieden met zware stormen en ze kunnen in het begin wel snelheden van honderd kilometer per uur halen. Als ze zich verplaatsen worden ze vervolgens steeds lager en langer. Zo lopen deininggolven typisch met een hoogte van twee tot vier meter en met een lengte van ruim honderd meter op de kust af. De hellingshoek van deze golven is zo laag dat je de golf van een afstand nauwelijks als golf herkent. Het zijn precies deze golven die de Archimedes Wave Swing (AWS) gebruikt om er elektriciteit mee op te wekken. Nadat de AWS in mei dit jaar voor het eerst op de zeebodem werd

geplaatst, leverde het apparaat afgelopen oktober voor het eerst elektriciteit. Een groot succes na méér dan een decennium pionierswerk.

Resonante luchtveer Bedenker van de golfschommel is de ondernemer-in-duurzame-energie Fred Gardner. In 1993 richtte hij samen met zijn compagnon Hans van Breugel het bedrijf Teamwork Technology BV op om zijn idee te verwezenlijken. Halverwege de jaren negentig kreeg hij een octrooi op zijn uitvinding.

‘Mijn eigen kennis is beperkt, maar ideeën krijg je door beperkte kennis’, zegt Gardner cryptisch. ‘Om echt nieuwe innovaties te bereiken, moet je intelligent zijn, maar niet te intelligent’, legt hij zijn uitspraak verder uit. ‘Je moet kennis van zaken hebben, maar niet te veel kennis. Volgens de Rotterdamse onderzoeker Hans van de Braak slaat te veel kennis dood, want dan denk je dat dingen niet kunnen.’

Gardner was er altijd van overtuigd dat zijn AWS-ontwerp stroom kan leveren, maar menigeen heeft grote twijfels gehad.

‘Het grootste obstakel bij het bouwen van de AWS is ongeloof van anderen geweest. Dan is het heel moeilijk om aan kennis te komen. Je moet eerst krediet opbouwen en geloofwaardigheid hebben voordat kennisdragers aan universiteiten met je willen praten. Die kloof hebben we pas kunnen dichten toen we halverwege jaren negentig voor het eerst een werkend schaalmodel van 1:20 hebben getest in het Waterloopkundig Lab.’

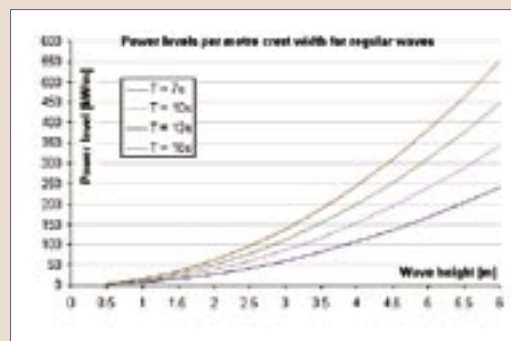
‘Beschuittrommels’ Het principe van de AWS is even eenvoudig als elegant. Centraal staan twee grote ‘beschuittrommels’. De ene staat vast op de oceanabodem en de andere, ook wel de drijver genoemd, staat op zijn kop over de eerste heen en is dus iets breder. Hij ligt er los over heen en kan vrijelijk op en neer bewegen. Het binnenste van de AWS is gevuld met lucht, die de belangrijke rol van luchtveer speelt in het hele systeem. Wanneer er nu een golf over het apparaat heen beweegt, drukt ineens een grotere waterhoeveelheid op de bovenste cilinder waardoor deze naar beneden beweegt. Tijdens die neergaande beweging neemt de druk van de lucht in het binnenste van de AWS toe. Op een gegeven moment is die druk zo hoog geworden dat er een netto-kracht op de buitenste cilinder ontstaat die naar boven is gericht. Zo beweegt de buitenste beschuitbus omhoog en neemt de luchtdruk weer af. Door de juiste hoeveelheid lucht bij de juiste drijvermassa te kiezen, kan het systeem zo worden getrimd dat bij een precies bepaalde golffrequentie een resonante luchtveer ontstaat, geheel analoog aan een klassiek resonerend massaveer-systeem.

‘Je kunt de omgeving van de resonante luchtveer ook vergelijken met een antennesysteem’, legt Gardner uit. ‘Van het hele spectrum aan elektromagnetische golven dat op een radioantenne valt, gebruikt de radio precies die frequentie die samenvalt met de modulatiefrequentie. Zo is de AWS ook precies afgesteld op de frequentie van de deininggolven.’

Daarnaast komen er ook windgolven langs en komen er deininggolven vanuit verschillende richtingen. Maar de golfschommel is niet richtingsgevoelig. Al die golven zijn bij elkaar opgeteld. Meestal gaat het om golfgroepen van een of twee minuten, die zijn opgebouwd uit golven die uit verschillende richtingen komen en verschillende frequenties hebben. Een deininggolf komt typisch met een periodetijd van zo’n tien seconden langs.

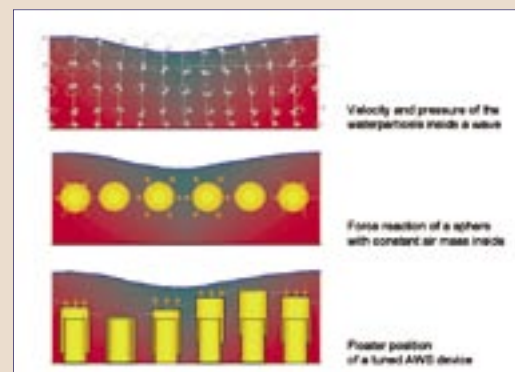
Gardner: ‘Bij een golfhoogte van één meter kan de drijver zelfs een uitslag krijgen van zeven meter. En dan te bedenken dat de drijver 420 ton weegt. 420 ton kan dus zeven meter omhoog en omlaag bewegen door een golf van maar één meter hoog! Zoveel energie zit er in een deininggolf.’

De eerste afzinkpoging gebeurde in 2002. Het water liep via openstaande kleppen naar binnen en de instroom werd geregeld door de gecontroleerde tegendruk in de ballastkamer. Maar deze eerste poging mislukte. Door een rekenfout werd de samendrukbaarheid van de lucht onderschat. De AWS kwam te scheef te staan. Toen is besloten om het afzinkproces opnieuw te ontwerpen. Dat leidde tot de keuze voor een andere manier van afzinken, met het gebruik van kranen op schepen. Deze keuze bleek echter zeer gevoelig voor de golfkrachten die zich voor de Portugese kust altijd voordoen. Stijve verbindingen tussen de schepen knapten simpelweg doormidden. Hierna werd teruggegrepen op de oorspronkelijke bedachte manier van afzinken, maar nu door de flow in de ballasttanks te regelen met frequentiegestuurde pompen. In mei

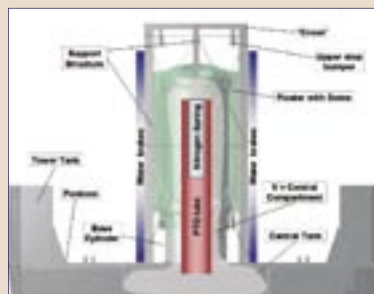


Deze grafiek toont het beschikbare vermogen per strekkende meter als functie van de hoogte van een regelmatige golf en de periode tijd.

Diagram van het principe van de AWS-omvormer. De interne druk van een golf vormt de aandrijvende kracht die de drijver van de generator op en neer doet bewegen. Onder een golftop wordt de drijver neerwaarts bewogen, onder een golfdal beweegt die naar boven. De lucht die in het systeem is gepompt, fungeert als een veer. Wanneer de



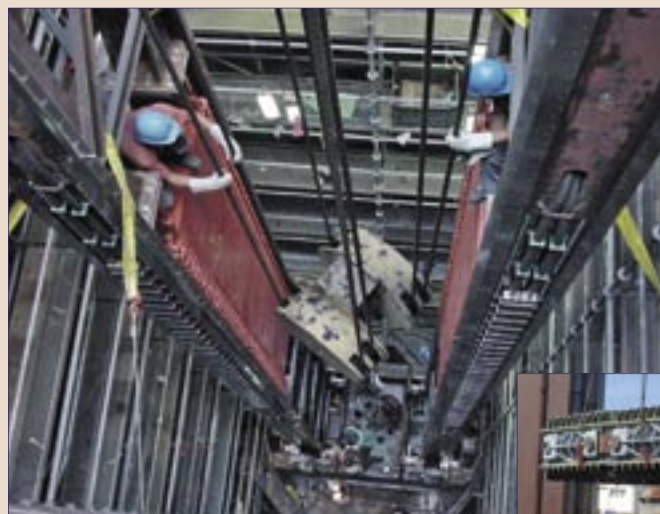
massa en de veer goed op elkaar zijn afgestemd, dan vindt een opslingering plaats. Dat betekent dat de beweging van de drijver wel zeven keer groter kan zijn dan de golfhoogte.



Doorsnede van de Archimedes Wave Swing. In de zogenoemde PTO-tube bevindt zich de 25 meter hoge generator. Alleen de centrale tank bevat lucht. De rest van het ponton, links en rechts van de witte lijntjes, heeft als enige functie draagconstructie te zijn voor dit prototype van de golfvormer..



Het casco van de AWS is gebouwd in Galatz (Roemenië) op een werf van het Nederlandse bedrijf Damen Shipyards Group.



De op de TU Delft ontworpen generator is door Hollandia-Kloos in de haven van het Portugese stadje Viana do Castelo ingebouwd. In de 25 meter hoge draagkolommen van de generator zijn twee 5½-meter hoge statoren ingebed.



De translators ('rotor') die om de statoren lopen, zijn elk opgebouwd uit twee van deze blokken. Ze bestaan uit een gegoten frame waarin de permanente magneten zijn gemonteerd.

De drijver van de generator kan worden afgeremd door vier waterremmen. Een waterrem bestaat uit twee in elkaar geschoven pijpen waarvan er een met de drijver meebeweegt. De remkracht kan worden gevarieerd een hydraulisch instelbare opening waar het water door naar buiten wordt geperst.



Op 16 mei 2004 werd begonnen met het afzinking van de AWS, een operatie die drie dagen zou duren.



18 mei 2004 om 10.15 uur.



om 12.45 uur. Ir. Michel Damen en Jan-Willem Vroege maken nog een verbinding met een niveausensor in orde, waarmee de waterhoogte in het centrale compartiment kan worden gemeten.



18 mei 2004 15.30 uur.



19 mei 2004 17.00 uur. Nadat een duiker een afsluiter heeft geopend, verdringt het binnenstromende water de lucht uit het binnenste van de AWS. Hierdoor krijgt het ponton extra gewicht en wordt de veer karakteristiek van de luchtveer ingesteld.

van dit jaar werd zo de allereerste AWS wel met succes afgezonken op een plek 5,4 kilometer uit de kust, in het noorden van Portugal. Daar komen de deininggolven met de juiste hoogte en frequentie aan.

‘De drijver kan negen meter op en neer bewegen, maar voor de veiligheid willen wij daar maar zeven meter van gebruiken’, zegt Gardner. ‘Het is immers een resonant systeem. Als we het onvoldoende dempen, kan het zich steeds meer opslingeren en destructief worden. Daarom zitten er allerlei subsystemen in die voor demping kunnen zorgen. Daar is bijna nog meer ontwerptijd in gaan zitten dan in het echte opklimmen van de energie.’

De drijver meet tien meter in diameter. De binnenste bus staat vast op een ponton dat op de oceanobodem rust. De hele constructie is dan 37,5 meter hoog. De ponton is alleen maar gemaakt om de AWS op de zeebodem te zetten en hem er weer vanaf te halen. Bij laagtij ligt de bovenkant van de drijver vier meter onder water, bij hoogtij een kleine acht meter.

In het midden van de drijver hangen twee rechte wanden met permanente magneten, gemaakt van neodymium-ijzer-boor (NdFeB). Wanneer de drijver op en neer beweegt, bewegen de magneten langs twee met spoelen bedekte platte pijlers, die aan de onderkant vastzitten aan het ponton. Hier wordt de elektriciteit gegenereerd doordat het bewegende magneetveld een elektrische spanning in de spoelen induceert. De afstand tussen de drijver met de magneten en de zogeheten stator met de spoelen moet op de millimeter precies kloppen. De generator staat helemaal in het droge, met lucht gevulde deel.

Lineaire generator Dr.ir. Henk Polinder, universitair hoofddocent bij de sectie Electrical Power Processing van de TU Delft, is de ontwerper van deze lineaire generator. Hij leverde hiermee een belangrijke bijdrage aan de stroomopwekking van de AWS.

In het beginstadium van de AWS-ontwikkeling was het idee nog om de lineaire beweging van de drijver om te zetten in een roterende, maar dat bleek uiteindelijk toch niet mogelijk. Bauke Vriesema van ECN, die ook bij het AWS-project betrokken was geraakt, vroeg zich toen af of het toch niet handiger zou zijn om een lineaire generator te bouwen. Hij benaderde vervolgens Henk Polinder met de vraag om uit te zoeken of dat kan, en zo ja hoe.

‘Ik zei meteen: ‘ja, natuurlijk kan dat’’, zegt Polinder, ‘alleen wordt het wel een grote en dure lineaire generator. Bovendien wilden Fred Gardner en zijn team een korte ontwikkelingstijd en grote betrouwbaarheid. We wilden daarom een generatortype dat zich al heeft bewezen. Een lineaire generator zo groot als in de AWS is niet eerder vertoond. Hij moest speciaal worden gemaakt en is daardoor ook veel duurder dan een generator die de lineaire beweging via een tandwielkast omzet in een roterende beweging. In dit laatste geval kunnen wél min of meer standaard componenten worden gebruikt. Maar de oplossing met een tandwielkast heeft weer als nadeel dat hij meer onderhoud vergt.

Nog problematischer is de onregelmatigheid van de golven. Af en toe zal de drijver zo sterk op en neer gaan dat hij tegen zijn eindbuffers loopt, een soort rubberen blokken die de beweging van de drijver snel moeten afremmen. Het afremmen van de generator, waar veel energie opgeslagen is in de rotatie, leidt dan tot enorme belastingen in de tandwielkast. Het bleek zó moeilijk een tandwielkast te ontwerpen die dan niet stuk gaat, dat we voor een lineaire generator gekozen hebben.’

Tandwielkasten ‘Bij windturbines zie je een soortgelijke keuze tussen twee systemen’, zegt Polinder. ‘Er zijn windturbines met tandwielkasten en systemen zonder tandwielkasten, de zogeheten direct drive-systemen. Die mét tandwielkasten zijn goedkoper in aanschaf, maar hebben ook meer onderhoud nodig. Een tandwielkast voor de AWS zou ook olie nodig hebben, en als hij op de zeebodem staat is het ook niet zo makkelijk om die olie geregeld te verversen. We moesten dus een goede afweging maken tussen voor- en nadelen. Het is niet zo dat a priori het ene systeem beter is dan het andere.’

Uit kostenoverwegingen is voor deze eerste generatie AWS voor rechte platen gekozen.

‘Maar met een slim ontwerp is een ronde lineaire generator in de toekomst misschien toch voordeliger’, denkt Polinder. Door het cilindersymmetrische karakter van de AWS lijkt een cilindersymmetrische lineaire generator immers logischer.

Veel bedrijven zijn uiteindelijk betrokken geweest bij de bouw van de lineaire generator. Het mechanisch ontwerp van Polinders generator is gebeurd bij

Wolters Engineering bv in Lichtenvoorde. De stator met de spoelen is gebouwd bij Alstom in Nancy en het deel met de magneten bij Bakker Magnetics in Eindhoven. Het ponton en het in elkaar zetten van de AWS is uiteindelijk gebeurd bij een scheepswerf in Roemenië, via het bedrijf Damen Shipyards. Nadat het ponton naar Portugal was versleept, werd daar de generator geïnstalleerd door Hollandia-Kloos die ook de waterremmen en de lagers hebben gemaakt. Zes maanden heeft het in elkaar zetten van de wave swing uiteindelijk geduurd.

Waterremmen Wanneer er grote, sterke golven zijn, kan er wel een kracht van vijf meganewton op de AWS komen te staan. De generator van de in mei afgezonken AWS zou dat niet kunnen weerstaan en een vijf maal zo grote generator, die die kracht wel zou weerstaan, is niet reëel. Daarom is het apparaat voorzien van waterremmen, die als een soort beveiliging dienen. Wanneer de golven te groot dreigen te worden, gaan de remmen aan. Zijn de golven normaal, dan hoeven de remmen niet aan. De huidige generator in de AWS kan zo'n één meganewton aan uitgeoefende kracht van de golven aan. Worden de krachten groter, dan moeten de remmen dat opvangen. Een belangrijke vraag voor Polinder was om te bepalen hoe groot de lineaire generator moest worden.

'In principe kan de AWS meer energie leveren als de lineaire generator groter is, maar dan wordt hij ook veel duurder', zegt de Delftse elektrotechnicus. 'Ik moest dus in een optimalisatie zowel de kosten als de energie-opbrengst laten meewegen. De generator heeft nu zo'n twintig vierkante meter generatoroppervlak.'

Wiebelstroom De lineaire generator van de AWS zet de bewegingsenergie van de drijver om in elektrische energie. De opgewekte stroom gaat vervolgens door een zes kilometer lange kabel over de zeebodem naar de wal. Daar zorgt een converter ervoor dat de wiebelige, door de AWS opgewekte stroom, wordt omgezet in een wat nettere stroomkarakteristiek met constante spanning en frequentie. Vervolgens gaat deze stroom rechtstreeks naar het elektriciteitsnetwerk.

2 oktober 2004 was de grote dag. Toen leverde de AWS voor het eerst elektriciteit. 'De grootste uitslag van de drijver was 3,6 meter en leverde de golfschommel één megawatt aan energie', vertelt de bedenker van de golfschommel. 'Hij heeft gedurende een paar dagen energie geleverd. Ik ben heel blij dat we het principe hebben bewezen. Maar ik heb er eigenlijk nooit aan getwijfeld dat het principe zou werken. De luchtveer gedraagt zich ook precies zoals we hadden voorspeld.' De geleverde energie hangt uiteraard af van de golven die langskomen. Het piekvermogen van de huidige AWS is zo'n twee megawatt. Bij echt hoge golven zou hij zelfs twintig megawatt kunnen halen.

Inmiddels is de AWS weer van de zeebodem gehaald. Het principe werkt, het apparaat leverde energie, de metingen waren verricht en er was geen reden het apparaat langer in zee te laten liggen.

'De AWS is inmiddels eigendom van het Portugese bedrijf Enersis', zegt Gardner. 'Zij hebben een licentie van ons gekocht en zij hebben een vergunning aangevraagd om de AWS voor de Portugese kust neer te leggen. Enersis heeft een langetermijnvisie. Ze zijn in Portugal de grootste projectontwikkelaar op het gebied van windenergie en ze hebben veel mini-waterkrachtcentrales. Enersis vond dat we voldoende hadden bewezen en wilde verder geen risico nemen met eventueel zware stormen in het najaar of in de winter, alhoewel het apparaat die wel zou moeten weerstaan. Maar zij willen dat we zo snel mogelijk met een volgende generatie AWS komen.'

In de toekomst moet een energieproducerende AWS wel degelijk zo'n vijftien jaar onder water kunnen blijven staan.

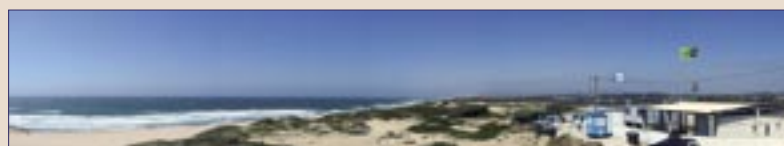
Hydrodynamica Naast de belangrijke bijdrage van Henk Polinder zit er nog meer Delfts werk in de AWS. Een student elektrotechniek rekende aan een sensorloze positiemeting van de lineaire generator en twee afstudeerstudenten rekenden onder leiding van hoogleraar vloeistofmechanica Jurjen Battjes en hoogleraar scheepshydrodynamica Jo Pinkster aan de hydrodynamica van het systeem.

'De studenten hebben software ontwikkeld die een variant is op software die we ook voor berekeningen aan schepen gebruiken', zegt prof. Pinkster.

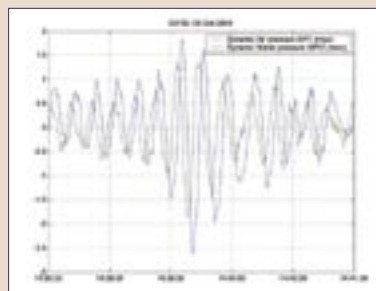
'Ze hebben onderzocht welke verticale golfkrachten precies op het systeem



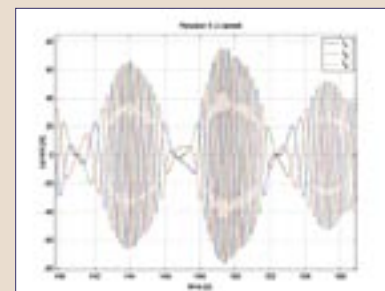
Omdat de elektrische besturing van de kleppen en de pompen vanaf het land niet werkten, hebben duikers een koppeling aangebracht, waardoor de bediening vanaf het schip mogelijk werd.



Het landstation van het AWS-team ligt direct achter de duinen. Hier komt ook de kabel aan land, waarmee de stroom aan het elektriciteitsnet wordt geleverd.



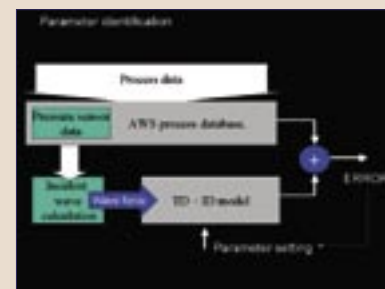
Door de druk bóven de drijver en in de drijver te meten, wordt de aandrijvende kracht berekend. De interne (lucht)druk wordt bepaald door de positie van de drijver. Wanneer deze onderin staat, wordt de lucht gecompriëerd en is de druk hoger. Het diagram laat zien dat de drijver constant in fase loopt met de aandrijvende golf.



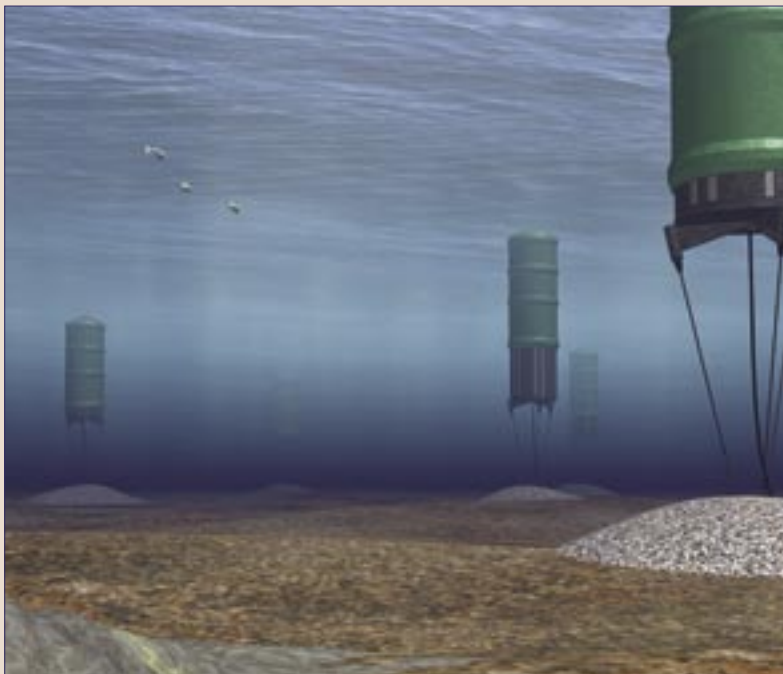
Bij ieder slag van de drijver loopt de snelheid van nul tot maximaal en weer terug tot nul. Dit is terug te zien in de stroommeting, waarbij de amplitude en de frequentie van het signaal eveneens van nul tot maximaal en weer terug naar nul verlopen.



De 3000 volt die via de thyristoren naar de transformator wordt geleverd, wordt hier opgevoerd tot 15.000 volt.



De data die tijdens de energieproductie wordt weggeschreven naar de harde schijf wordt vergeleken met de door het tijdsdomeinmodel berekende waarde. Het tijdsdomeinmodel wordt gevoed met de werkelijk gemeten golfdruk. Door de parameters in het model te trimmen, kunnen de theoretische aannames worden geoptimaliseerd.



Het prototype staat nog op een ponton, maar het is bedoeling dat volgende generaties drijvend aan de zeebodem worden gehangen. Dergelijke constructies zullen een stuk eenvoudiger van constructie zijn en daardoor ook goedkoper.

Golfenergie wereldwijd

Wereldwijd zijn vier belangrijke typen golfenergiegeneratoren in ontwikkeling en deels in gebruik. Naast de AWS zijn dat de Oscillating Water Column, de Wave Dragon en de Pelamis.

De Oscillating Water Column genereert elektriciteit in twee stappen. Wanneer een golf de kolom binnenrolt, wordt de lucht in de kolom omhoog gedrukt langs een turbine en neemt de druk in de kolom toe. Wanneer de golf zich weer terugtrekt, stroomt de lucht naar beneden en opnieuw langs de turbine. Zo'n systeem wordt ingebouwd in de kust en kan alleen maar efficiënt werken als de hele kuststructuur zich daarvoor leent.

'Want als er heel veel civiel werk voor moet gebeuren om de kust aan te passen, wordt het systeem onbetaalbaar', zegt Gardner. 'De kuststroken die zich van nature lenen voor dit systeem zijn vaak juist aantrekkelijke natuurgebieden waar je liever niet in wilt gaan bouwen. In het Portugese Porto is men nu bezig om op een golfbreker die toch al in zee wordt gebouwd zo'n Oscillating Water Column aan te leggen. Dan kan het wel weer.'

De Wave Dragon is een soort strand waar het water tegenop kan lopen en in een basin kiepert. Water valt over twee tot drie meter hoogteverschil naar beneden en met turbines wordt dan elektriciteit opgewekt.

'Het grote voordeel van dit concept, zegt Gardner, 'is dat iedereen het snapt. Iedereen die wel eens op het strand is geweest begrijpt dat de golven die naar het strand rollen energie bevatten en dat je die energie kunt gebruiken. Zelfs uit lage golven kan het systeem toch energie halen. Maar voor mij is de vraag of het rendement wel hoog genoeg is en of het systeem wel robuust genoeg is. Voor Nederland zou de Wave Dragon in principe wel geschikt zijn, omdat hij uit lage golven energie kan halen.'

De in Schotland ontworpen Pelamis (letterlijk: zeeslang) is een soort slang die op het water ligt. De slang bestaat uit een lange reeks (zo'n honderd meter) van aan elkaar gekoppelde bussen die dwars op de golven liggen. In de op en neer bewegende verbindingstukken worden de golfbewegingen omgezet in elektriciteit, maximaal 750 kilowatt per Pelamis.

Gardner: 'De Pelamis en ons systeem lopen voorop op het gebied van golfenergie. De verhouding tussen energie en kosten zijn bij beide systemen ongeveer gelijk. Maar ik denk dat wij een aantal andere voordelen hebben. De Pelamis heeft als nadeel dat hij moet worden afgezonken wanneer er een storm op komt is. Bij hoge golven kan hij niet aan het wateroppervlak blijven liggen. Om die reden ligt de AWS al op de zeebodem. Bovendien neemt een lange slang heel veel ruimte in, waardoor er over een groot gebied ook geen schepen kunnen varen. Ik denk dat de AWS veel robuuster is en veel beter bestand tegen hoge golven.'

werken en hoe het systeem daarop reageert. De AWS maakt zelf ook golven en de totale golfenergie na het passeren van de AWS is lager dan ervoor. Het is een soort gekoppeld systeem: golven moeten de AWS aanslaan, maar de AWS genereert zelf ook golven. Uit de hydrodynamische data en de mechanische eigenschappen van de AWS volgt dan bijvoorbeeld de eigenfrequentie en de bandbreedte van het systeem en de hoeveelheid energie die het systeem kan onttrekken aan de golven. De Delftse TU-studenten hebben eerder gedane modelexperimenten in het Waterloopkundig Laboratorium naar de energieproductie geëxtrapoleerd voor diverse locaties elders in de wereld. De AWS zelf was toen al gebouwd.'

Park met golfschommels Gardner is met zijn bedrijf Teamwork Technology inmiddels al bezig met een volgende generatie AWS: 'We hebben al een basisontwerp voor het volgende systeem. Hij wordt iets groter, hij gaat een grotere uitslag maken en hij wordt niet meer op een ponton gemonteerd. Ik heb veel geleerd van hoe je de besturing wel of niet moet maken. Het nieuwe apparaat krijgt een veel uitgekleedere besturing met weinig extra systemen eromheen.'

In het kader van het Marie Curie-programma van de EU werkt momenteel de Portugese promovendus Miguel Goden de Sousa Prado bij Teamwork. Ook Henk Polinder wil een AIO aantrekken voor verder onderzoek aan de AWS II.

Er is een nieuw, Schots bedrijf opgericht dat over twee jaar het volgende apparaat moet gaan plaatsen. Vanuit het buitenland is er heel veel belangstelling, maar volgens Gardner ligt overheidsfinanciering in Nederland heel moeilijk.

'We kunnen alleen maar Nederlandse subsidie krijgen wanneer we de energie ook in Nederland kunnen opwekken, maar daarvoor is de golfenergie voor onze kust te klein. In Nederland gaat het om acht kilowatt per meter gemiddeld over het jaar. In Schotland gaat het om zestig tot tachtig kilowatt per meter en in Portugal zo'n veertig kilowatt per meter. Nederlandse golven zijn wat dat betreft speelgoed. Overigens is van Nederlandse investeerders wel belangstelling.'

Om uiteindelijk een significante bijdrage te leveren aan de duurzame energievoorziening, is een onderzees park nodig van vijftig tot honderd AWS-apparaten. De afstand tussen twee apparaten zou typisch iets van honderd meter zijn moeten zijn. Dus voor honderd apparaten gaat het om tien kilometer. 'Je ziet er helemaal niks van', zegt Gardner. 'Ze staan helemaal onder water.' Honderd apparaten zouden dan zo'n tweehonderd megawatt kunnen leveren. Het elektrisch vermogen van één enkele AWS varieert van nul tot maximaal en weer naar nul in zo'n vijf seconden. Dat is onprettig voor het elektriciteitsnet omdat het kan leiden tot spanningsvariaties die bijvoorbeeld zichtbaar worden in een variërende lichtsterkte. Een hele reeks met apparaten, waarvan de elektriciteitspieken elkaar in de tijd afwisselen, zorgt zo ook vanzelf voor een constant elektriciteitsaanbod.

In Europa zijn het vooral Portugal, Frankrijk, Ierland, Groot-Brittannië en Noorwegen die geschikte golven voor de kust hebben voor de AWS. Alleen wanneer de apparaten nog verder in zee worden geplaatst, waar de golven per definitie hoger zijn, neemt het toepassingsgebied toe.

'Het grote voordeel van golfenergie', zegt Gardner, 'is dat de elektriciteitsvoorziening heel constant en voorspelbaar is, in tegenstelling tot windenergie. Grote golven kunnen acht dagen vooruit heel precies worden voorspeld.'

De prijs van golfenergie ligt volgens Gardner tussen de prijs van windenergie en zonne-energie in, dat wil zeggen duurder dan windenergie, maar goedkoper dan zonne-energie. 'De prijs van golfenergie zal ongeveer twaalf of dertien eurocent per kilowattuur zijn. In Portugal krijgen we die prijs al.'

'Qua kwaliteit denk ik dat ons systeem van alle duurzame energiebronnen de beste is', zegt Gardner. 'De AWS-energie is het meest stabiel en hij tast het milieu het minst aan. Sterker nog, de grootste milieuschade ontstaat pas op het moment dat we het apparaat uit de oceaan omhoog halen. In korte tijd is de AWS onder water namelijk een prachtig mini-ecosysteem van allerlei plantjes en vissen geworden. Dat raak je dan in één keer kwijt.'

Voor nadere informatie over dit onderwerp kunt u contact opnemen met Fred Gardner, tel. (0226) 423 411, e-mail fred.gardner@teamwork.nl dr. ir. Henk Polinder, tel. (015) 278 1844, e-mail h.polinder@its.tudelft.nl prof. dr. ir. J.A. Pinkster, tel. (015) 278 3598, e-mail j.a.pinkster@wbmt.tudelft.nl

Website van de Archimedes Wave Swing : www.waveswing.com