

directie waterhuishouding en waterbeweging
district kust en zee
afdeling hellevoetsluis

nota WWKZ - 84:5006
FA - 8401

Het CODAR

(Coastal Ocean Dynamics

Applications Radar)

HF-radar systeem

juni '84

rapport nr.217

projectcode						

auteur(s): ir. J. van Heteren (WWKZS), ir. H.C. Peters (TH Delft),
drs. R. Spanhoff (WWFA)

datum: juni 1984

bijlagen: -

samenvatting: Verslag bespreking Dr. D. Barrick op 6 en 7 maart 1984
te Den Haag.

behoort bij: nota
datum: juni 1984
bladnr: 2

nr. WWKZ - 84.5006
FA 8401

1. INLEIDING

Informatie over zeegolven is van groot belang bij het garanderen van de veiligheid van de Nederlandse kust. Daarnaast spelen ook economische motieven een duidelijke rol; genoemd kunnen worden de constructie van waterbouwkundige werken en de begeleiding van de scheepvaart in de mond van de Nieuwe Waterweg.

Bij het verkrijgen van deze informatie nemen natuurmetingen een belangrijke plaats in. De huidige operationele meettechnieken zijn bijna alle éénpuntsmetingen: golfmeetpalen en boeien. Voor het bepalen van de locatie van zo'n meetpunt is de representativiteit van dat punt voor een groter gebied essentieel. Voor inhomogene gebieden zijn meer meetpunten vereist. Een belangrijk nadeel van deze meetmethoden vormen de hoge kosten van plaatsing en onderhoud. Daarbij komt dat storingen dikwijls optreden tijdens storm, zodat de meetpunten dan niet bereikbaar zijn.

Remote sensing biedt daarom interessante perspectieven voor golfwaarneming. Vooral radartechnieken worden onderzocht. Eén van de voor dit doel in ontwikkeling zijnde radars is de H.F.-radar (High Frequency Radar), welke, dankzij de lange golflengte waarmee deze werkt, over de horizon heen kan "kijken", en metingen kan doen tot op meer dan 150 km vanaf de radarlocatie. Naast golfwaarnemingen is het ook mogelijk met deze radar stroommetingen te verrichten en windinformatie te verkrijgen.

Gezien de mogelijkheden van de H.F.-radar heeft Rijkswaterstaat grote belangstelling voor dit instrument. De ontwikkelingen zijn op dit moment zo ver gevorderd dat operationele toepassing op niet al te lange termijn te verwachten valt. Daarom wordt op dit moment actie ondernomen om op de ontwikkelingen in te springen. Een eerste vereiste is kennis betreffende deze radar te verkrijgen. Hieraan wordt langs diverse wegen gewerkt, b.v. via het bestuderen van de literatuur en, vooral, via een samenwerkingsverband met de Universiteit van Birmingham (BU). In het kader van dit samenwerkingsverband vond eind 1983 een gezamenlijke meetcampagne plaats voor de kust van Pembrokeshire waarbij BU zijn HF-radar inzette en Rijkswaterstaat een WAVEC boei. Deze meetcampagne heeft als doel de door BU ontwikkelde algoritmen voor het extraheren van de relevante golfrichtingsinformatie uit de HF-radarsignalen te verifiëren.

behoort bij: nota

nr. WWKZ - 84.S006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 3

Door deze samenwerking wordt aan RWS inzicht gegeven in deze methoden en de mogelijkheden en eventuele beperkingen van deze techniek. Zie voor een uitgebreide beschrijving van de radar van BU ref. 1.

Daarnaast wordt contact gezocht of onderhouden met andere organisaties die zich met HF-radar t.b.v. het observeren van de zee bezig houden, zoals het Franse IFP/Syminx (zie ref. 2). Na enkele eerdere vergeefse pogingen is het gelukt in contact te komen met dr. D. Barrick, die in de V.S. reeds vele jaren aan de HF-techniek werkt. Dit heeft geleid tot een gesprek, op 6 en 7 maart 1984 te Den Haag, tussen Barrick, Van Heteren (WW/KZS), Peters (TH Delft), Spanhoff (WW/FA) en van de Vlugt (WW/HI). In dit rapport wordt verslag gedaan van de informatie die uit dit gesprek verkregen is en die een belangrijke aanvulling vormt op datgene wat uit de literatuur reeds bekend was.

behoort bij: nota

nr. WWKZ - 84.5006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 4

2. CODAR SYSTEMS INC.

CODAR Systems Inc. bestaat eigenlijk uit 3 firma's:

Ocean Surface Research

CODAR Technology Inc.

CODAR Systems Inc.

waarvan CODAR Systems Inc. waarschijnlijk de belangrijkste is. De firma is opgezet door voormalige medewerkers van NOAA's Wave Propagation Laboratory: o.a. M. Evans welke NOAA zo'n 4 jaar geleden verliet. Hij houdt zich vooral bezig met de antennes en de hardware. Barrick verliet NOAA ca. 1 1/2 jaar geleden. Met B. Lipa organiseerde hij Ocean Surface Research welke werkt aan de fysische problemen van HF-radar t.b.v. zeevaarneming. Beiden zijn bekend door een groot aantal publicaties over de HF-radar techniek, met name over de theoretische beschrijving. De hele organisatie van CODAR Inc. bestaat uit ca. 15 personen.

Oorspronkelijk heeft men bij NOAA gewerkt met arrays van ontvang-antennes, waarmee relatief kleine stukken zee-oppervlak (ca. 10 x 10 km²) afzonderlijk bekeken kunnen worden. Dit principe wordt toegepast door BU en IFP/Syminx (zie refs. 1 en 2). Sedert 1975 werkt men aan de ontwikkeling van een compact, gemakkelijk transportabel systeem, CODAR (Coastal Ocean Dynamics Applications Radar) genaamd, met 4 ontvangantennes opgesteld volgens een vierkant met zijde ca. 10 m. In eerste instantie was dit systeem bedoeld voor het meten van (oppervlakte-) stromen. Uitbreiden van dit concept met het meten van golfvelden leidde tot een nieuwe, nog compactere antenne, ca. 2 m hoog en 0,6 m breed (zie foto 1).

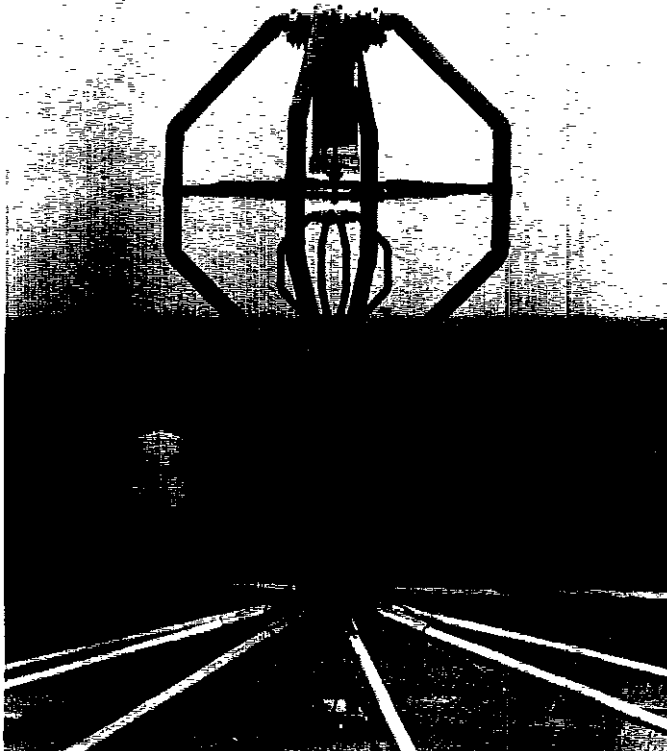


Foto 1
ontvangantenne CODAR-systeem

Deze compacte bouw maakt het systeem geschikt voor opstelling op olieplatforms. Kennelijk heeft men bewust gekozen voor een dergelijk afzetgebied. Overigens, men is op olieplatforms vooral geïnteresseerd in stroommetingen.

Met een compacte antenne als deze ontvangt men signalen van een groot gebied tegelijkertijd, zodat men in de analyse aannames moet maken, b.v. dat het gebied homogeen is qua stroming en golfveld. Dit vormt op platforms op volle zee geen beperking, echter mogelijk wel bij het werken vanaf kusten. Tot op zekere hoogte zijn verfijningen, zoals een variabele bodemdiepte, mogelijk in de analyse, zoals tijdens de discussie bleek.

rijkswaterstaat

behoort bij: nota

nr. WWKZ - 84.5006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 6

Barrick claimde dat CODAR Inc. reeds zo'n 16 systemen verkocht heeft, b.v. 3 aan Gulf Oil, 3 aan de U.S. Navy en Army, 1 aan NOAA, 1 aan een Noorse Oliemaatschappij, 2 aan Hamburg (Max-Planck-Institut) en 2 aan het Rutherford-Appleton Laboratory. Waarschijnlijk zijn deze cijfers een beetje geflatteerd: bekend is dat Rutherford-Appleton enkel enige modules heeft aangeschaft (voor de verwerking?), daar zij richtinggevoelige detectie toepassen. Hamburg heeft zijn eigen antennes ontwikkeld.

3. DE METHODE VAN HF-RADAR (ALGEMEEN)

HF-radargolven (golflengte 10 tot 100 m) worden verstrooid aan zee-golven met een golflengte gelijk aan de helft van die van de radargolven. Deze interactie kan exact worden beschreven, voornamelijk doordat de verhouding golfhoogte-golflengte klein is voor deze zeegolven. Dit in tegenstelling tot het microgolfgebied (radargolflengte orde 1 cm), waaraan in Nederland veel aandacht wordt besteed. Microgolfradars hebben weer andere voordelen. Zo kunnen zij worden meegevoerd door vliegtuigen e.d. Voor een korte beschrijving van diverse radarprincipes voor het meten van golven zij verwezen naar ref. 3.

De golflengte van HF-radars is dermate groot dat de afmetingen van de antennes die de uitgezonden en/of ontvangen straling bundelen in een bepaalde richting noodzakelijkerwijze groot uitvallen, tot installaties van de orde van honderden meters. Bij het CODAR systeem heeft men gekozen voor een goeddeels rondom gevoelige antenne, omdat zo'n antenne eenvoudig verplaatsbaar is en weinig opstellingsruimte nodig heeft. Dit laatste is van groot belang als men metingen wil doen vanaf platforms in zee. Hierdoor is het niet mogelijk de straling te ontvangen uit één bepaalde richting.

Vanwege de propagatie via de grondgolf kan het afstandsbereik vooral in het laagfrequente deel van het HF-gebied rond 10 MHz zeer groot zijn (ongeveer 100 à 200 km). Het afstandsbereik wordt bij de HF-radar bepaald door o.a. atmosferische ruis, die minstens 10 dB boven het interne ruisniveau ligt, door storing t.g.v. interferentie door naburige zenders en het uitgezonden vermogen.

behoort bij: mota

nr. WWKZ - 84.5006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 8

4. SPECIFIEKE GEGEVENS VAN DE CODAR INSTALLATIE

De CODAR apparatuur bestaat uit een compacte pulsradar met een puls-herhalingsfrequentie van 2 kHz en een pulsduur van 8 s. De ontvangantenne is te zien op foto 1 en de elektrische zender/ontvanger en de verwerkingseenheid op foto 2.

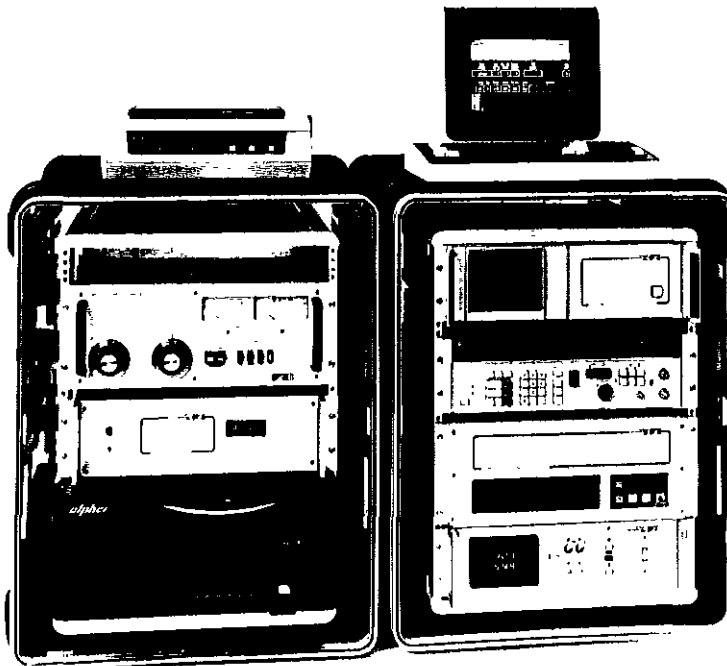
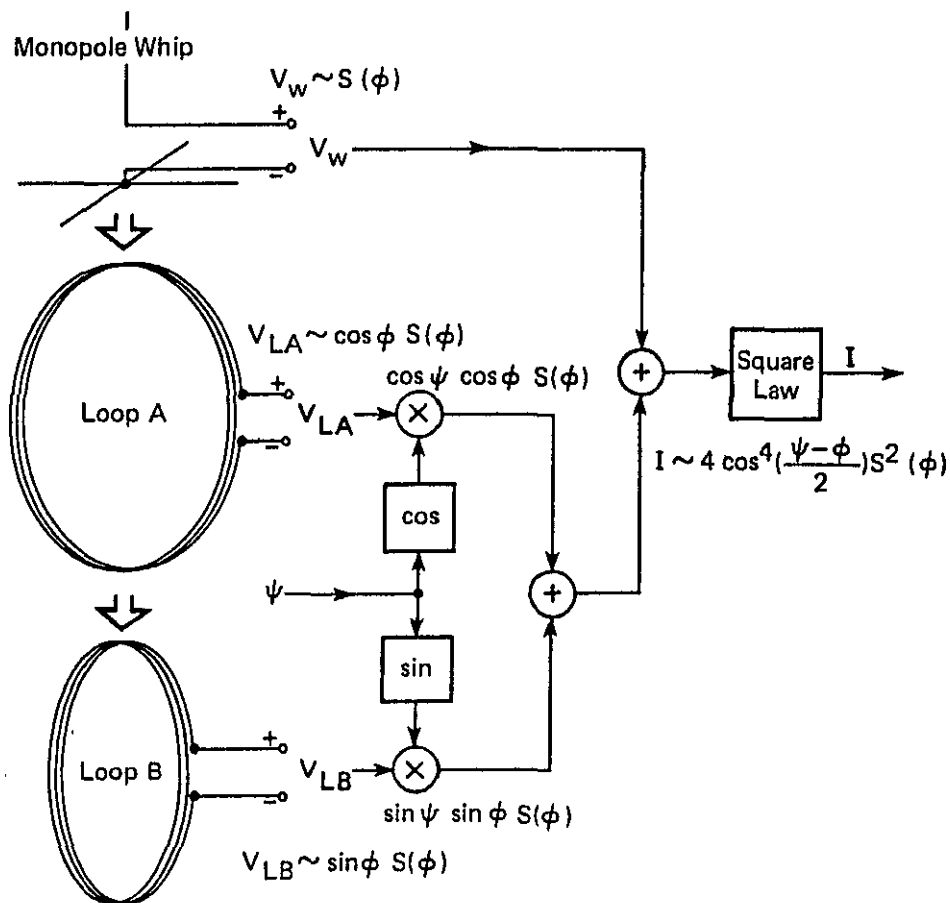


Foto 2
electrische zender/
ontvanger en ver-
werkingseenheid

Bij een zendfrequentie van 25,4 MHz gebruikt men een piekvermogen van 10 kW, hetgeen overeenkomt met een gemiddeld vermogen van 150 W en bij een frequentie van 6,8 MHz bedraagt het piekvermogen 500 W hetgeen overeenkomt met een gemiddeld vermogen van 8 W. Vanwege de gunstiger propagatie-eigenschappen van 6,8 MHz is het afstands bereik in beide gevallen gelijk en bedraagt ongeveer 40 km.

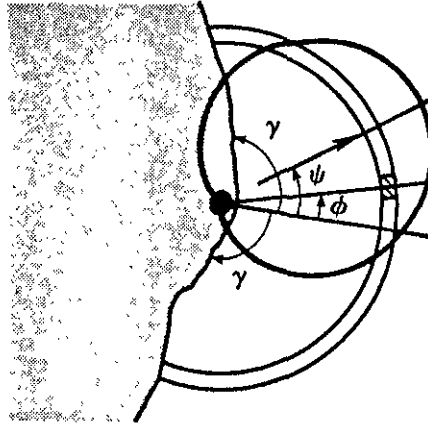
Bij de CODAR installatie maakt men gebruik van een richtingsongevoelige vertikaal gepolariseerde staafantenne als zendantenne en twee onderling loodrechte raamantennes gecombineerd met een staafantenne als ontvangantenne. Deze samengestelde ontvangantenne (zie foto 1) bezit in het horizontale vlak een antennebundel patroon volgens $\cos^4\left(\frac{\psi-\phi}{2}\right)$ waarin ψ de richting van de hoofdstraal is van de ontvangantenne en ϕ de azimuthrichting t.o.v. deze hoofdstraal.



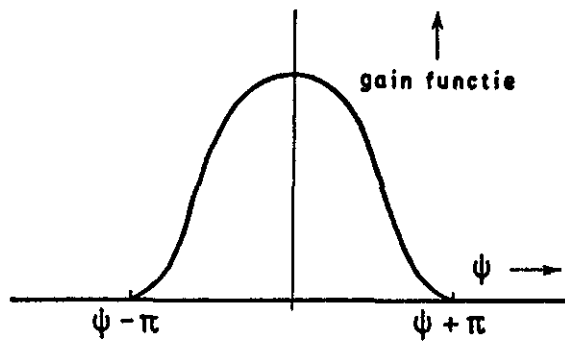
Figuur 1 geeft het blokdiagram van de ontvangantenne en fig. 2 geeft het antennediagram weer, γ is de richting t.o.v. de kust, en fig. 3 een schets van het antennediagram over het azimuth hoek bereik ($\psi - \pi < \phi < \psi + \pi$)

behoort bij: nota
 datum: juni 1984
 bladnr: 10

nr. WWKZ - 84.5006
 FA 8401



Figuur 2 Antennediagram (dikke lijn) voor de samengestelde ontvangantenne.



figuur 3 Gevoeligheid van de ontvangantenne als functie van de azimuthhoek (vgl. fig. 2).

Hieruit leidt men af dat de azimuthbundelbreedte (-3dB) gelijk is aan 130°. De ontvangantenne bestaat dus uit drie delen, waarvan de uitgangsspanningen apart worden geregistreerd. Door deze drie uitgangssignalen in de ontvanger met elkaar te combineren ontstaat een resulterend antennesignaal, dat de bovengenoemde richtingsgevoeligheid bezit.

Door de signalen van de twee raamantennes met een bepaalde instelbare weegfaktor bij elkaar te voegen kan het gehele antennediagram gedraaid worden rondom een verticale as, hetgeen vergelijkbaar is met de werkwijze bij radiopeilsystemen.

Met een dergelijke ontvangantenne is het mogelijk om, bij een invalend veld uit één bepaalde richting, die richting eenduidig vast te stellen.

Dit is niet langer mogelijk als er signalen uit een aantal richtingen komen. Om in dit geval die verschillende signalen te kunnen onderscheiden heeft men een antenne met een draaibare smalle azimuthbundel nodig hetgeen alleen mogelijk is met een uitgebreide antenne-array, zie § 3.

Een probleem bij het gebruik van raamantenne's is hun lage stralingsimpedantie, die sterk afwijkt van de kabelimpedantie en de impedantie van de zenderindtrap, zodat de vermogensoverdracht zeer inefficiënt geschiedt. Daarom waren vroeger bij de CODAR de raamantenne's 20 dB minder efficiënt dan de staafantenne. Tegenwoordig gebruikt men een betere constructie voor de ontvangantenne waarbij de raamantenne's langs inductieve weg gekoppeld zijn met veel kleinere ramen binnenin, die bekrachtigd worden vanuit de zender. Daarnaast heeft men de diameter van de holle koperen geleider van het buitenste raam vergroot, zodat de ohmse verliezen lager zijn. Door deze verbeteringen zijn nu de raamantenne's 2 dB efficiënter geworden dan de staafantenne en dit impliceert een vergroting van het afstandsbereik bij gelijkblijvend zendvermogen of een verlaging van het zendvermogen bij gelijkblijvend afstandsbereik.

behoort bij: nota

nr. WWKZ - 84.5006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 12

In de huidige constructie is het buitenste raam in twee gedeelten boven elkaar gesplitst: de onderste constructie is m.b.v. een condensator afgestemd op 25,4 MHz, terwijl de gehele constructie (onder + boven) is afgestemd op een frequentie van 6,8 MHz. Door middel van filters wordt ofwel de onderste lus ofwel de gehele constructie door de stroom doorlopen, afhankelijk van de zendfrequentie.

Er worden geen maatregelen genomen om de radarinstallatie aan de landzijde af te schermen, aangezien electromagnetische straling in het HF-gebied boven land sterk wordt gedempt. Bovendien kunnen dergelijke signalen eenvoudig in de ontvanger uitgefilterd worden omdat ze geen dopplerverschuiving bezitten. Het is mogelijk om de gehele antenneconstructie in te kapselen in een cilinder van fiberglas, die ondoorzichtig is voor licht, maar transparant voor de radargolven. Hierdoor wordt het geheel een tamelijk onopvallende compacte constructie in het kustlandschap.

Ondanks de grote zendvermogens en de daarmee gepaard gaande hoge piekspanningen is er bij de gebruikte frequenties geen stralingsgevaar en is er ook geen kans op dodelijke ongelukken door elektrische schokken bij aanraking van de antenne's.

Bij HF-radars wordt het radardopplerspectrum soms gestoord door de radarecho afkomstig van schepen. Bij de CODAR installatie was dit geen probleem vanwege het grote belichte gebied (900 km² bij een bundelbreedte van 130° en een afstand van 30 km) en de hierbij behorende radardoorsnede van ongeveer 9 km² is dus veel groter dan de radardoorsnede van schepen (ongeveer 100 m²).

5. SIGNAALBEWERKING EN SOFTWARE

De methode voor het bepalen van oppervlaktestroming en golfparameters uit de radarreflectie als gemeten door het CODAR-systeem is gebaseerd op de relaties die eerder door Barrick en Lipa zijn afgeleid voor de radardwarsdoorsnede van een radar met een nauwe antennebundel en het twee-dimensionaal golfspectrum zie o.a. lit 4, 5 en 6. Indien er geen stroming aanwezig is valt deze relatie uiteen in twee delen:

- twee scherpe pieken t.p.v. de Braggfrequentie, het eerste orde spectrum genoemd;
- continuum t.g.v. de tweede orde verstrooiing.

Is er wel stroming aanwezig in de richting van de antennebundel dan ontstaat een extra verschuiving van de beide Braggpieken naar links of naar rechts, afhankelijk van de stroomrichting.

T.g.v. het gebruik van een brede bundel antennesysteem, zoals bij het CODAR systeem, zie § 4 van deze nota, ontstaat een extra convolutie van het antenne bundel patroon (antenne diagram) met de radardwarsdoorsnede van een smalle bundel radar:

$$\tilde{\sigma}(\omega, \psi) = \frac{1}{2\gamma} \int_{-\gamma}^{\gamma} \cos^4 \left(\frac{\psi - \phi}{2} \right) \tilde{\sigma}(\omega, \phi) d\phi \quad (1)$$

waarin $\tilde{\sigma}(\omega, \phi)$ = radardwarsdoorsnede van de radar met smalle bundel

$\tilde{\sigma}(\omega, \psi)$ = radardwarsdoorsnede van de radar met brede bundel (CODAR)

$\cos^4 \left(\frac{\psi - \phi}{2} \right)$ = antenne bundel patroon

De radardwarsdoorsnede van het CODAR systeem is uit te drukken in een Fourierreeks met vijf coëfficiënten ongelijk aan nul, zie lit 7:

$$\tilde{\sigma}(\omega, \psi) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-2}^2 b_n(\omega) f_n(\psi) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{met } f_n(\psi) &= \cos(n\psi) \text{ voor } n \geq 0 \\ &= \sin(n\psi) \text{ voor } n < 0 \end{aligned}$$

Ingevuld in (1) ontstaan de volgende relaties tussen deze Fourier coëfficiënten en de radardwarsdoorsnede van een radar met smalle antennebundel:

$$b_n(\omega) = \frac{a_n \cdot \pi}{\gamma} \int_{-\gamma}^{\gamma} \tilde{\sigma}(\omega, \phi) f_n(\phi) d\phi \quad (3)$$

met $a_{-2} = a_2 = 1/8$; $a_{-1} = a_1 = 1/2$; $a_0 = 3/8$

Ook het twee-dimensionale golfspectrum is uit te drukken in Fourier coëfficiënten:

$$S(k, \theta) = S(k) \cdot D(\theta; k) \text{ met } \int_{-\pi}^{\pi} D(\theta; k) d\theta = 1 \quad (4)$$

$$S(k, \theta) = S(k) \cdot \sum_{n=-2}^2 c_n(k) f_n(\theta)$$

Ingevuld in de oorspronkelijke relatie tussen het twee-dimensionale golfspectrum en de radardwarsdoorsnede van een radar met smalle bundel levert dit een stelsel vergelijkingen op tussen $b_n(\omega)$ en $c_n(k)$, terwijl k en ω aan elkaar gerelateerd zijn via de dispersierelatie. Het resterend probleem is de inversie van de aldus ontstane niet-lineaire integraal vergelijking.

Voorheen werd deze inversie uitgevoerd door het lineairiseren van de vergelijking. Dit is echter alleen mogelijk voor een beperkt frequentiegebied van het golfspectrum. De grootte van dit frequentiegebied hangt af van de gebruikte radarfrequentie. Door de radarfrequentie te verhogen kan het gebied waar met linearisatie wordt gewerkt worden vergroot. Een hogere radarfrequentie impliceert echter ook een kleiner bereik in rangerichting. In het huidige systeem wordt linearisatie toegepast voor componenten van het golfspectrum met een periode groter dan 8 s. Voor perioden tussen de 4 in 8 s wordt een maximum likelihood methode toegepast, waarmee de parameters van het golfspectrum zo goed mogelijk worden geschat.

Voor de bepaling van de oppervlaktestroming via de eerste orde Braggpieken wordt een kleinste kwadraten methode toegepast, zie lit. 8. Bij het bepalen van de stroomsnelheid zijn twee zaken van groot belang: ten eerste het feit dat alleen de stroomsnelheidscomponent kan worden gemeten in de range richting en ten tweede dat, vanwege de brede bundel van de ontvangantenne van het CODAR-systeem, het stromingsveld homogeen dient te zijn over een tamelijk groot gebied, zie het antennediagram in figuur 2. Moet de stroomsnelheid worden bepaald vanaf de kust dan kan worden verondersteld dat de stroming evenwijdig is aan de kust. Door in verschillende richtingen van de hoofdrichting van de ontvangantenne te meten en gebruik te maken van de continuïteitsvergelijking kan het stromingsveld worden bepaald. Ditzelfde geldt bij het meten vanaf een platform, zij het dat het aantal richtingen waarin men meten kan groter is. Een verfijning kan worden verkregen door de rangerichting te verdelen in rangeringen bijvoorbeeld 15 stuks van 2,4 km breedte hetgeen mogelijk is doordat de pulsbreedte slechts 8 μ s is. Door nu in vele azimuthrichtingen te meten kan een goed beeld worden verkregen van het stromingsveld.

behoort bij: nota

nr. WWKZ - 84.5006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 16

Zoals boven beschreven kan met het CODAR-systeem voor iedere frequentieband de vijf Fourier coëfficiënten van de golfrichtingsspreidingsfunctie worden bepaald. Dit betekent dat dezelfde informatie kan worden verkregen als m.b.v. een golfrichtingsboei of een drie-dimensionale stroomsnelheidsmeter. Wel geldt ook hier dat, t.g.v. de brede bundel, het golfveld homogeen dient te zijn over een groot gebied. Evenals bij de genoemde in-situ meetinstrumenten duurt de meting, vanwege middeling t.b.v. een statistisch betrouwbaar resultaat, ca. een 1/2 uur. Dezelfde tijd is nodig voor de processing van de gegevens.

Bij de in lit. 4, 5 en 6 afgeleide relatie tussen de radardwarsdoorsnede en het golfspectrum is er steeds van uitgegaan dat de stroomsnelheid gelijk is aan nul. In werkelijkheid is dit niet het geval zodat de daarvoor gebruikte dispersierelatie een correctie behoeft. Doordat met het CODAR-systeem ook stroominformatie wordt verkregen kan deze gebruikt worden om de betreffende correctie aan te brengen. Hierbij is het voldoende de component in de rangerichting te kennen.

De methode is afgeleid voor diep water. Wil men golfinformatie verkrijgen op ondiep water, $d < 1/2 L_w$ waarin L_w de golflengte van de water golf is, dan moeten de volgende aanpassingen worden verricht: aanpassing dispersierelatie, invloed golfrefractie en correctie hydrodynamische koppelingscoëfficiënt die in de relatie tussen radardwarsdoorsnede en twee dimensionaal golfspectrum te vinden is. De refractie wordt bepaald via de lokale dieptecontouren welke in tabelvorm moeten worden ingevoerd. Op deze manier kan het golfspectrum worden teruggerekend naar diep water. De genoemde aanpassingen zijn zonder al te veel problemen in de software van het CODAR-systeem in te bouwen. Voor gebieden waarvan de dieptecontouren niet evenwijdig lopen is deze methode niet nauwkeurig, daar naast refractie-effecten, ook diffractie een rol gaat spelen.

Ook voor het bepalen van het golfspectrum kan de verfijning d.m.v. het meten in diverse rangeringen worden toegepast. Ook deze aanpassing is eenvoudig te verwezenlijken.

6. AANPASSING AAN HET EISENPAKKET VAN RIJKSWATERSTAAT

Het is gebleken dat het CODAR-systeem op de volgende punten aangepast zou moeten worden aan de eisen die door Rijkswaterstaat zijn geformuleerd t.b.v. golfwaarneming op de Noordzee:

a. Het bereik van 40 km is te gering gezien het gewenste bereik van ongeveer 150 km. Aangezien de huidige CODAR apparatuur zonder erg ingrijpende wijzigingen een 10 dB hoger vermogen kan uitzenden is het relatief eenvoudig om het afstandsbereik te vergroten tot 70 km. Een verdere afstandsvergroting is echter moeilijk te verwezenlijken met alleen modificaties van de huidige apparatuur. Boven de 75 km is het noodzakelijk de pulsherhalingsfrequentie te verlagen om dubbelzinnigheid te voorkomen en bovendien worden de benodigde hoge zendvermogens moeilijk hanteerbaar i.v.m. corona-ontladingen bij de antenne en overspraak van de zender naar de ontvanger.

b. Bij de CODAR heeft de ontvangantenne een grote azimuthopeningshoek van 130°. Dit betekent dat een analyse van het 2^e orde dopplerspectrum alleen informatie over het golfrichtingsspectrum levert als het golfveld homogeen is of als het verloop van de ruimtelijke inhomogeniteit bekend is, bijvoorbeeld uit refractieberekeningen aan de hand van een gegeven bodemprofiel.

Aangezien men op de Noordzee een golfveld verwacht dat over afstanden van tientallen kilometers sterk inhomogeen zal zijn, zou men eigenlijk moeten werken met een HF-radar, met een draaibare smalle azimuthbundel, die in een aantal resolutiecellen met beperkte afmetingen (bijvoorbeeld 5 x 5 km²) het golfrichtingsspectrum kan meten.

Een dergelijke eis leidt tot een uitgebreide ontvangantenne-array hetgeen sterk afwijkt van de compacte CODAR antenne.

Een geringe verbetering kan nog bereikt worden door de samengestelde antenne (twee onderling orthogonale ramen met een staafantenne) zowel voor zenden als ontvangen te gebruiken. Het stralingsdiagram verloopt dan volgens $\cos^2\left(\frac{\psi}{2}\right)$ hetgeen overeenkomt met een -3 dB bundelbreedte van 90° (zie foto 3).



Foto 3

samengestelde antenne:
zend- en ontvangantenne

c. Momenteel wordt bij de CODAR in de analyse van het golfveld geen onderscheid gemaakt tussen verschillende rangecellen. Op grond van de pulsbreedte van $8 \mu s$ zou een rangeresolutie van 1,2 km gehaald kunnen worden.

Het is mogelijk om dit in te bouwen in de huidige CODAR installatie, hoewel dan de grootte van het belichte gebied sterk afneemt, hetgeen het bereik verlaagt en de invloed van schepen op het radardopplerspectrum vergroot.

. 7. CONCLUSIES

Het CODAR-systeem dat in de huidige vorm wordt aangeboden is niet zonder meer geschikt voor gebruik vanaf de Nederlandse kust, ten gevolge van het inhomogene karakter van de Noordzee. Eén of twee stations kunnen worden aangeschaft voor een redelijk bedrag, ca. f 700.000,= per systeem. De hardware zou voor een deel in bovengenoemde zin (bereik) moeten worden aangepast. Argumentatie voor aanschaf zou moeten zijn dat de systemen al waardevolle informatie leveren welke op zich de kosten gedeels rechtvaardigen. Geleidelijk zouden, in samenwerking met CODAR Inc., de software en hardware moeten worden verfijnd (rangeresolutie voor golfwaarneming). Te denken valt aan een periode van ca. 4 jaar en kosten ca. f 2.000.000,=. Men kan zich afvragen of op deze wijze niet meer van het systeem wordt geëist dan het kan leveren. Een richtinggevoelige HF-radar, met een ontvangantenne-array, lijkt meer voor de hand te liggen. Met CODAR Inc. zou deze, in het verleden verlaten, richting grote ontwikkelingskosten met zich meebrengen; dit werd door Barrick niet als realistisch ervaren. Samenwerking met Birmingham University ligt, mede gezien de geografische afstand, meer voor de hand. Het is niet onmogelijk dat één van de (oud-)medewerkers van Shearmen (BU) een commercieel initiatief ontplooit. Voordeel van CODAR Inc. blijft dat deze reeds een product op de markt heeft en over ruime ervaring in dit veld beschikt, terwijl nog niet duidelijk is welk een periode gemoeid zal zijn met het verkrijgen van een systeem via BU.

In het bovenstaande hebben we ons voornamelijk geconcentreerd op golfwaarneming. Voor stroommetingen komt het CODAR-systeem wellicht eerder in aanmerking voor toepassing vanaf de Nederlandse kust. Op het gebied van stroommeting is het Rutherford-Appleton Laboratory actief met een richtinggevoelig HF-radarsysteem (zie ref. 1). Voor stroommetingen moeten deze twee systemen afzonderlijk vergeleken worden, waarbij CODAR weer in het voordeel is wat betreft beschikbaarheid en ervaring.

L I T E R A T U U R

1. J. van Heteren
H.C. Peters
R. Spanhoff
Beschrijving van de (ground-wave)
HF-radartechniek ontwikkeld door
de Birmingham University.
Nota WWKZ - 83.S004
FA 8302*
2. R. Spanhoff
Een experimentele HF-radar opstelling
van het IFP. Rapport 07 79-FA
Stroomsnelheidsmetingen met HF-radar
in de Oosterschelde.
Notitie 82-FA-585
3. R. Spanhoff
Golfrichtingsbepaling met radar-
technieken.
Nota FA 8301
4. D.E. Barrick (1972a)
First order theory and analysis
of MF/HF/VHF/ scatter from the sea.
ICCE-Trans-Antennas Propagat,
AP-20, 2-10
5. D.E. Barrick (1972b)
Remote Sensing of sea state by radar.
Remote Sensing of Throposphere, ed.
V.E. Derr, U.S. Government Printing
Office, Washington, D.C.
6. B.J. Lipa
D.E. Barrick
J.W. Maresca, jr. (1981)
HF-radar measurements of long ocean
waves
J. Geophys., 86, 4089-4102

* Alleen voor Rijkswaterstaat beschikbaar.

behoort bij: nota

nr. WWKZ - 84.5006

datum: juni 1984

FA 8401

bladnr: 21

7. D.E. Barrick

A compact transportable HF-radar system for directional coastal wave-field measurements, in Ocean Wave climate, e.d. M.D. Earle and A. Malahoff (Plenum, New York) 153-201

8. B.J. Lipa

D.E. Barrick (1983)

Least-squares method for the extraction of surface currents from CODAR crossed loop data: application at ARSLOE. IEEE J. Oceanic Eng. Vol OE-8 no 4 Oct. 1983