

DEININGSPREDIKTIE AAN DE BELGISCHE KUST

*D. VAN DEN EYNDE, Assistent, Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, Beheers-eenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en het Schelde-estuarium (B.M.M.)
P. DE WOLF, eerste aanwezig ingenieur van Bruggen en Wegen, Diensten van de Vlaamse Executieve, Openbare Werken en Verkeer, Bestuur der Waterwegen en van het Zeewezen, Dienst der Kust (D.D.K.)*

1. INLEIDING

Wiskundige modellen kunnen een krachtig hulpmiddel zijn voor de meest verscheidene toepassingen. Ze worden zowel in economische als in ingenieurtoepassingen, evenals in vele andere gebieden, nuttig aangewend. Ook in de waterbouwkunde en in de zeehydraulika zijn ze stilaan gemeengoed geworden. Daar waar deze modellen echter vroeger vooral gebruikt werden voor gevalenstudies of bij 'hindcast'-berekeningen (naberekeningen van reeds verlopen situaties), worden deze modellen de laatste jaren meer en meer ook voor operationele doeleinden gebruikt.

Zo wordt op het ogenblik door de Beheers-eenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee (B.M.M.) in opdracht van de Dienst der Kust (D.D.K.) een operationeel deiningsprediktiemodel ontwikkeld, hetwelk binnenkort op D.D.K. zal geïnstalleerd worden. Het model zal als beheersinstrument gebruikt worden om, bij de vaart van grote zeeschepen naar Zeebrugge en de Westerschelde, rekening te kunnen houden met de te verwachten windgolven. Naast de laagfrequentie getijdgolven - periode van ongeveer twaalf uren -, die een hoogteverschil van vier à vijf meter veroorzaken, is immers ook het laagfrequentie deel van de windgolven - periode van meer dan tien seconden - zeer belangrijk voor de scheepsbeweging en dus voor de kielspelende onder de schepen (de vrije ruimte tussen het laagste punt van een zeeschip en de zeebodem). De significante golfhoogte van deze zeegolven (de golfhoogte die door een derde van de golven wordt overschreden) kan in de vaargeulen oplopen tot meerdere meters. Ze zijn dus zeker niet te verwaarlozen.

Het is dit ontwikkelde model en de toepassingen ervan die hier zullen worden toegelicht. In een eerste deel wordt bondig het deiningsprediktiemodel besproken. Verder zullen de toepassingen van het model en de installatie op D.D.K. aan bod komen. Tot slot zullen enkele resultaten worden voorgesteld.

2. HET DEININGSPREDIKTIEMODEL

2.1. Algemene structuur van het model

Bij het opstellen van een deiningsprediktiemodel voor de Belgische kust werd in een eerste fase uitgegaan van de bestaande, commercieel beschikbare golfmodellen. Er werd een grondige studie gemaakt van de op de markt beschikbare modellen (zie Philips, 1987, en Adam e.a., 1988). Uit deze modellen werd het voor deze toepassing meest geschikte model, nl. het Duitse 'Hypas'-model, geselecteerd.

Dit golfmodel berekent voor elk roosterpunt en voor elke tijdstap alle gewenste golfkarakteristieken, rekening houdende met golfgeneratie (door atmosferische energie-input), met energiedissipatie (door bodemwrijving, golfbreking, ...), met golfpropagatie en met niet-lineaire interacties tussen verschillende golfcomponenten (cfr. infra). Ondiep-water-effecten (verandering van golfkarakteristieken met de waterdiepte) worden in dit model in rekening gebracht. Dit model wordt dan toegepast op de gehele Noordzee en voorspelt er het golfklimaat. In de zuidelijke Noordzee, waar een grotere nauwkeurigheid gewenst is, wordt een hogere resolutie gebruikt, om rekening te houden met de complexe bathymetrie (waterdiepten) in dit gebied.

Het refraktieverschijnsel (het veranderen van de golfrichting onder invloed van diepte-gradiënten, vooral van laagfrequentie golven (cfr. infra) wordt echter door het golfmodel niet ingerekend. Aangezien refractie in het ondiepe water voor de Belgische kust significante effecten heeft op de golfkarakteristieken, werd het golfmodel gekoppeld met een refraktiemodel. Dit refraktiemodel wordt gebruikt als een postprocessor om, in voorafgekozen punten langsheen de vaarroute, de golfkarakteristieken, zoals berekend door het golfprediktiemodel, te corrigeren voor het refraktieverschijnsel.

Verder is het refraktiemodel gekoppeld met een getijdemodel om het effect van de varië-

rende waterdiepten in rekening te brengen bij het berekenen van de refractie van de golven. De amplitude van de getijden, 4 à 5 m, is immers van dezelfde grootte-orde als de waterdiepten voor de Belgische kust (10 à 20 m) en de getijden hebben een niet te verwaarlozen effect op de refractie van de golven.

Het uiteindelijke schema van het deiningsprediktiemodel, kan dan als in figuur 1 worden voorgesteld.

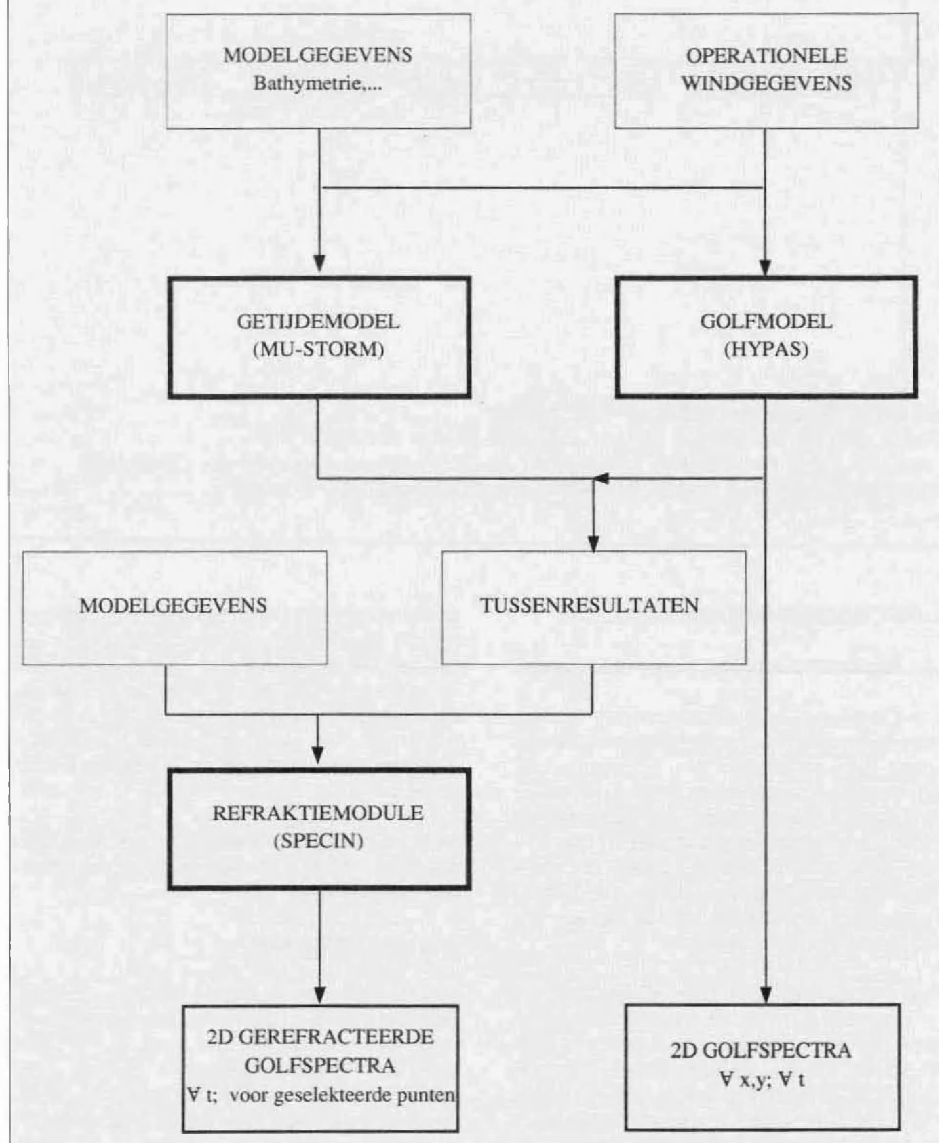
2.2. Het golfmodel

Het geselecteerde Hypas model - 'HYbrid PARametricaL Shallow water wave prediction model' - werd ontwikkeld door Dr. H. Günther en Dr. W. Rosenthal (GKSS Forschungszentrum GmbH, Geesthacht, West Germany). Uitgebreide informatie over het model kan gevonden worden in Günther e.a., 1979, of in Hermans, 1989.

Het golfmodel berekent voor elke tijdstap de golfkarakteristieken op de roosterpunten, uitgaande van de bathymetrie en van atmosferische gegevens (de windvelden over het gebied of gegevens waaruit deze kunnen berekend worden, zoals atmosferische luchtdrukken). Meer specifiek berekent het het volledige tweedimensionaal golfenergiespektrum, d.i. de verdeling van de totale golfenergie over de verschillende golfcomponenten. De golven kunnen immers worden voorgesteld als een superpositie van een groot aantal enkelvoudige golven, golfcomponenten genoemd, elk gekarakteriseerd door een golfrequentie of golflengte en een golfrichting. Uitgaande van het golfspektrum kunnen alle gewenste parameters berekend worden, zoals de significante golfhoogte, de gemiddelde periode of de laagfrequentie energie (de energie in het golfspektrum van de golfcomponenten, waarvan de frequentie lager is dan 0.1 Hz).

De evolutie van de golfspektra wordt door het model berekend, uitgaande van de zgn. energiebalans- of transportvergelijking. De-

Fig. 1: Algemeen schema van het deiningsprediktmodel.



ze kan, voor elke golfkomponent, als volgt geschreven worden:

$$dF(k, x, t)/dt = \delta F/\delta t + \sum_{i=1}^2 (\delta F/\delta x_i \cdot \delta x_i/\delta t) + \sum_{i=1}^2 (\delta F/\delta k_i \cdot \delta k_i/\delta t) = T$$

waarbij

$F(k, x, t)$: tweedimensionale golfspektrum in functie van de golfgetalvektor $k(k_1, k_2)$ op plaats $x(x_1, x_2)$ en tijdstip t

k : golfgetalvektor (k_1, k_2): de grootte van de vektor is gelijk aan het golfgetal ($= 2\pi/\text{golflengte}$); de richting ervan is parallel met de golfvoortplantingsrichting

T : term die alle processen beschrijft waarbij energie kan gewonnen of verloren worden

De eerste term ($\delta F/\delta t$) beschrijft hierbij de veranderingen van het golfspektrum in de

tijd op een bepaalde plaats. De tweede term ($\delta F/\delta x_i \cdot \delta x_i/\delta t$) beschrijft de golfpropagatie (golfvoortplanting) doorheen het opgestelde rooster. In de derde term ($\delta F/\delta k_i \cdot \delta k_i/\delta t$) worden de zgn. 'ondiep-water-effecten' gemodelleerd. Enkel in ondiep water is de golfgetalvektor immers veranderlijk en alleen dan draagt deze term bij in de vergelijking. De verandering van het golfgetal en van de golfsnelheid met de veranderlijke waterdiepte (in ondiep water) wordt in het model voorgesteld. De verandering van de golf-richting als gevolg van de dieptegradiënten (refractie) echter wordt als onbestaande verondersteld.

De bronterm T van zijn kant, kan worden opgesplitst in verschillende termen die respectievelijk de energie-input, de energiedissipatie en de niet-lineaire interacties tussen verschillende golfkomponenten beschrijven. De energie-inputterm beschrijft de golf-generatie: de energieoverdracht van wind naar golven wordt in deze term gemodelleerd. De windvectoren in elk roosterpunt en voor elke tijdstap moeten voor deze bereke-

ning voorhanden zijn en deze worden dan ook als invoergegevens voorzien.

De dissipatieterm beschrijft de verschillende fenomenen waarbij energie verloren gaat. Processen zoals golfbreking en schuimkopvorming ('white capping') worden in rekening gebracht. In ondiep water wordt ook het energieverlies, veroorzaakt door bodemwrijving, ingerekend.

De niet-lineaire interacties tussen verschillende golfkomponenten tenslotte worden in een laatste term voorgesteld. Het betreft hier een zeer complex resonantieverschijnsel, waarbij energie tussen verschillende golfkomponenten wordt uitgewisseld. Ze komen vooral voor tussen componenten met hogere frekwenties, waar de energie-input hoog is. Voor de zgn. 'hybride' golfmodellen - Hypas is zulk een hybride model - splitst men dan het golfspektrum (enigszins arbitrair) op in een zeegangs- en een deiningsgedeelte, waarbij men aanneemt dat de interacties enkel voorkomen in het zeegangsspektrum (de hogere frekwenties). Onder zeegang verstaat men die golven die nog onderhevig zijn aan de werking van in de omgeving heersende wind, terwijl deining de golven zijn die niet meer onder de invloed staan van de wind. Deiningskomponenten kunnen zich onafhankelijk van elkaar voortplanten.

In zo'n hybride model worden twee verschillende berekeningsmethoden aangewend voor zeegang en deining. Voor zeegang wordt een eindige differentiemethode gebruikt om de (geparametriseerde) transportvergelijking op te lossen. Voor de deining kan men elke energiehoeveelheid (elk energiepakketje) apart volgen doorheen het rooster ('straalmethode'). Bij zo'n opsplitsing moet er ook een energieoverdracht tussen zeegang en deining voorzien worden. Wanneer zeegang immers uit het windveld loopt of wanneer de wind gaat liggen, wordt zeegangsenergie naar deining overgedragen - alle deining ontstaat zo uit zeegang. Wanneer deining terug onder de invloed van wind komt, kan er deiningenergie door zeegang geabsorbeerd worden.

Voor de huidige toepassing voor de Belgische kust werd het model geïmplementeerd op een dubbel rooster. Een eerste rooster van $50 \times 50 \text{ km}^2$, toegepast voor de gehele Noordzee, is groot genoeg om de deining voor de Belgische kust, die ergens ver vandaan kan gegenereerd zijn, te onderscheppen. In de zuidelijke Noordzee is een grotere resolutie noodzakelijk om de complexe bathymetrie in rekening te brengen. Een 'fijn-rooster-model', met een roosterafstand van $10 \times 10 \text{ km}^2$, werd daarom voor dit gebied opgesteld. De twee modellen, het grof- en het fijn-rooster-model zijn gekoppeld via twee open randen, d.w.z. dat langs de randen van het fijne rooster resultaten van het grof-rooster-model gebruikt worden als randvoorwaarden.

2.3. De refraktiemodule

Het refraktieverschijnsel, d.i. het veranderen van de golfrichting en de hierbij horende

Fig. 2: De gerefrakteerde golfstralen in het refraktierooster voor 'Bol van Heist'.
+ : randpunt van het refraktierooster; : roosterpunt van het fijn Hypas rooster.

bathymetrie van de Vlaamse Banken

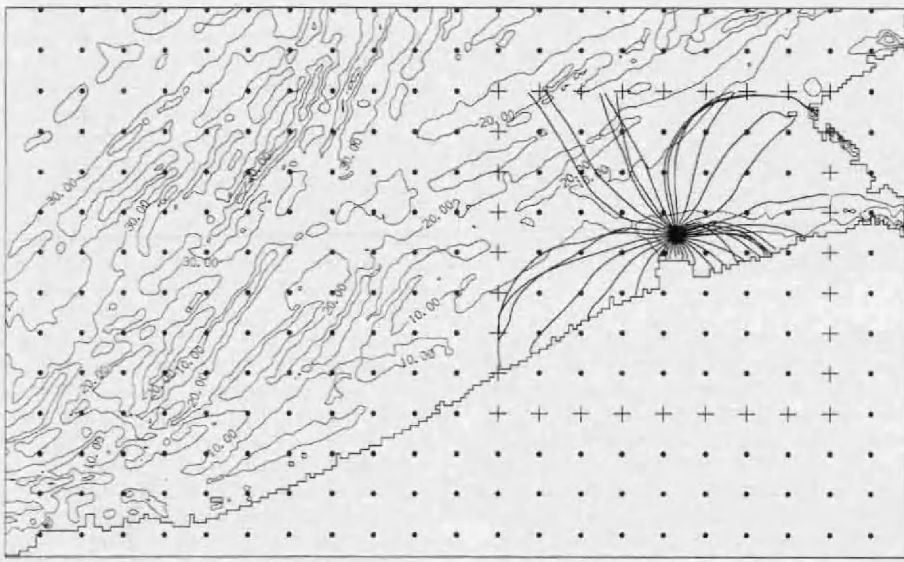
punt = Bol van Heist

stralen voor :

frequentie = 0.1 Hz

richting = $0 + n \cdot 10$ deg.

projekt D.D.K.-B.M.M.



roosterpunten van het fijn-rooster-golfmodel. Langsheen deze randen, die in dieper water liggen en waar refraktie dus ook minder belangrijk is, worden de resultaten van het fijn-rooster-model voldoende nauwkeurig verondersteld. De gekende energiespektra worden dan, langsheen de golfstralen, naar het punt in de vaargeul getransfereerd (zie figuur 2). Er wordt hierbij rekening gehouden met de tijd, die de golfenergie nodig heeft om zich vanaf de rand tot aan het ondiep-water-punt te begeben.

Bij het berekenen van de golfstralen wordt in het deiningsprediktiemodel rekening gehouden met de, onder invloed van de getijden en/of van de stormopzet, variërende waterdiepten. Deze variatie kan immers 4 à 5 meter bedragen (t.o.v. een waterdiepte van 10 à 20 meter voor de Belgische kust) en de aktuele waterdiepte kan een effect hebben op de golfstralen. Het 'Mustorm' model, een tweedimensionaal, vertikaal geïntegreerd hydrodynamisch model (zie Adam, 1979, of Adam en Sterling, 1984) wordt voor de berekening van de waterstand gebruikt.

3. TOEPASSINGEN EN INSTALLATIE VAN HET DEININGSPREDIKTIEMODEL

Vooreerst zal het ontwikkelde mathematische model gebruikt worden als beheersinstrument voor de begeleiding van grote zeeschepen langs de ondiepe nautische routes naar Zeebrugge en de Westerschelde. De manoeuvreerbaarheid en de beweging van

veranderingen van golflengte en golfhoogte als gevolg van dieptegradiënten, heeft in het ondiepe water voor de Belgische kust een significante invloed op de golfspektra. Aangezien in het geselecteerde Hypas-golfmodel deze refraktie niet in rekening wordt gebracht, werd beslist een aparte refraktiemodule met het golfmodel te koppelen om de resultaten van dit golfmodel voor het refraktie-effect te corrigeren.

Er werd uitgegaan van een spectraal refraktiemodel, nl. het 'Specin'-model (zie Van den Eynde, 1988, of Van den Eynde e.a., 1990), gebaseerd op de methode van Abernethy en Gilbert (1975). Voor een specifiek punt in ondiep water stelt men eerst een refraktierooster op, waarbij langs de randen de golfspektra als gekend verondersteld worden. De golfstralen - de banen langs dewelke de golfenergie (met een bepaalde frekwentie) zich voortplant - worden vanuit het punt in omgekeerde richting tot aan de rand berekend. Vanaf de randen kan dan de golfenergie langsheen de berekende stralen naar het bewuste punt worden getransfereerd. Op die manier verzamelt men in het ondiep-water-punt het gehele golfspectrum, dus de energie voor elk van de golfcomponenten (met een bepaalde frekwentie en richting).

In de toepassing wordt dan voor een aantal punten langsheen de vaargeul een refraktierooster opgesteld, waarbij de randen van elk van de roosters gevormd worden door

Fig. 3: Veld van de significante golfhoogte in het grof Hypas rooster.

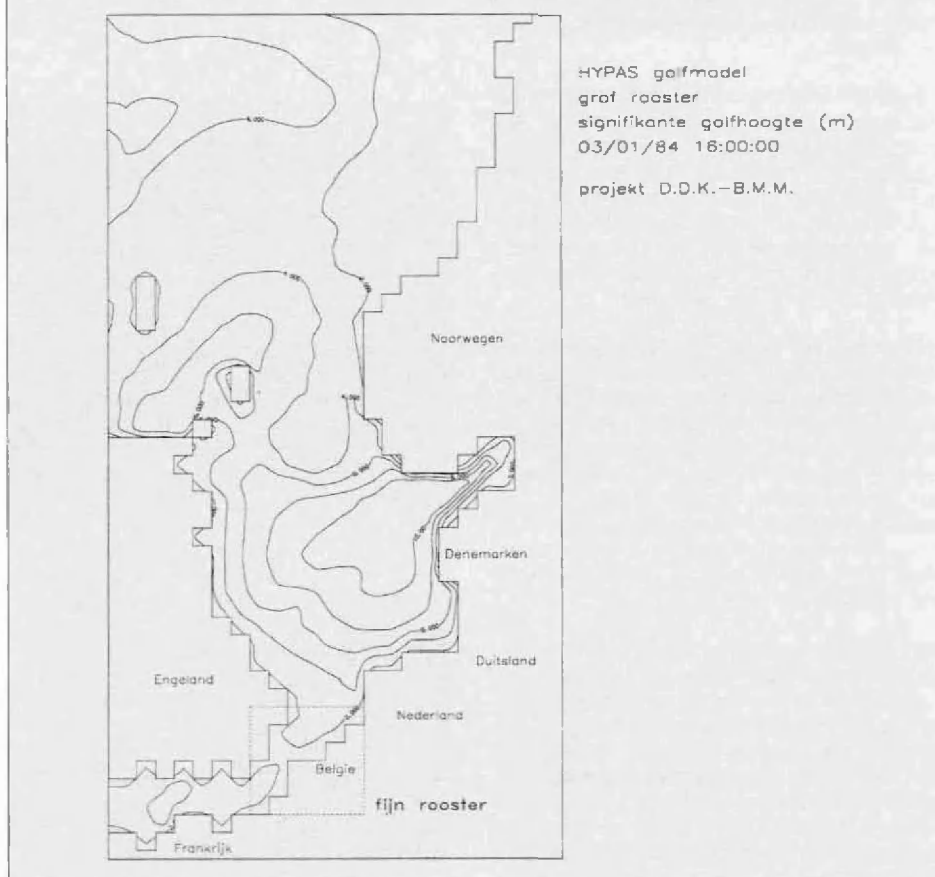
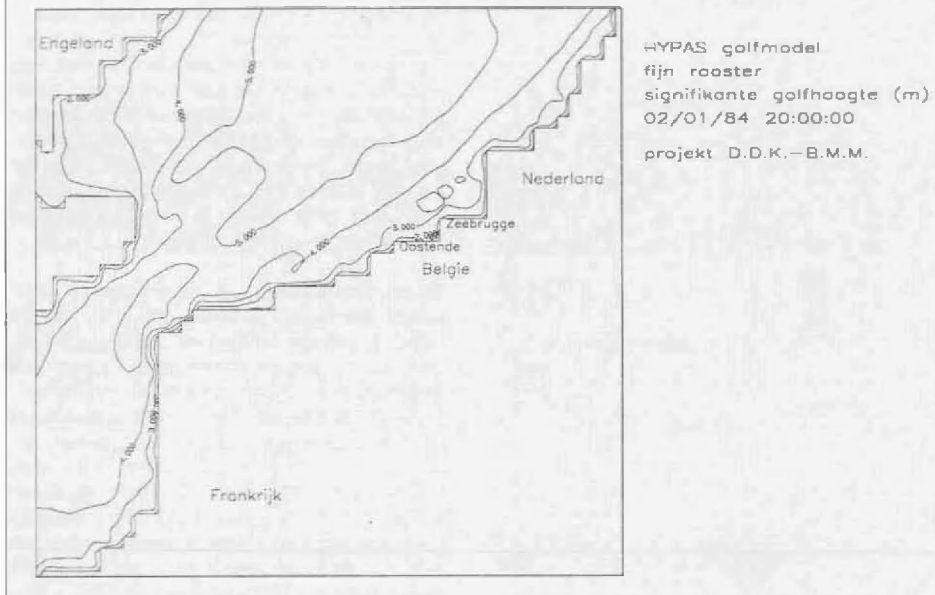


Fig. 4: Veld van de significante golfhoogte in het fijn Hypas rooster.



de schepen (zoals stampen) hangen immers niet alleen af van de getijdegolven, maar ook van het laagfrequentie deel van de windgolven (de deining). Men kan dan, door voorspelling van de waterstand en van de te verwachten zeegolven, vooral deining, er voor zorgen dat het risico van bodemberoering door een groot zeeschip, met alle mogelijke economische en ekologische gevolgen, geminimaliseerd wordt. Op die manier kan tevens de tijdsduur, gedurende dewelke de schepen veilig van de vaargeulen kunnen gebruik maken, geoptimaliseerd worden, wat natuurlijk economische voordelen inhoudt.

Verder is het model ook een hulpmiddel bij het optimaliseren van de verdiepings- en onderhoudsbaggerwerken in de vaargeulen voor de Belgische kust. Aangezien men met het ontwikkeld model de toestand van de zee beter kan voorspellen en aldus het risico van bodemberoering kan verminderen, wordt het mogelijk om de beschikbare waterdiepte optimaal te gebruiken.

Het model zal worden geïntegreerd in het Hydro-Meteo-Systeem (HMS) van de Dienst van Openbare Werken en Verkeer, die het gehele Belgische zeeklimaat beschrijft. In dit operationeel meetsysteem zijn verschillende modellen opgenomen, waaronder een getijdemodel. Op die manier is het steeds mogelijk de voorspellingen van het model met waarnemingen te vergelijken om aldus een voortdurende validatie/afijking van het model mogelijk te maken.

De installatie van het model op D.D.K. en de operationele indienstneming is voorzien voor eind juni 1990. De verschillende modellen en de postprocessors, die zorgen voor de visualisatie van de resultaten, zullen worden geïmplementeerd op twee werkstations (een Hewlett-Packard 9000/835 CH en een Cyber 910B/430). Een ééndags-voorspelling van het golfklimaat zal op deze computers minder dan één uur in beslag nemen.

Operationeel zal het golfklimaat steeds drie dagen vooruit berekend worden. Als invoergegevens voor het model zullen windgegevens, voorspeld door het European Centre for Medium range Weather Forecasting, Reading (ECMWF) of van het United Kingdom Meteorological Office, Bracknell (UKMO), gebruikt worden. Testen dienaangaande worden op het ogenblik nog uitgevoerd.

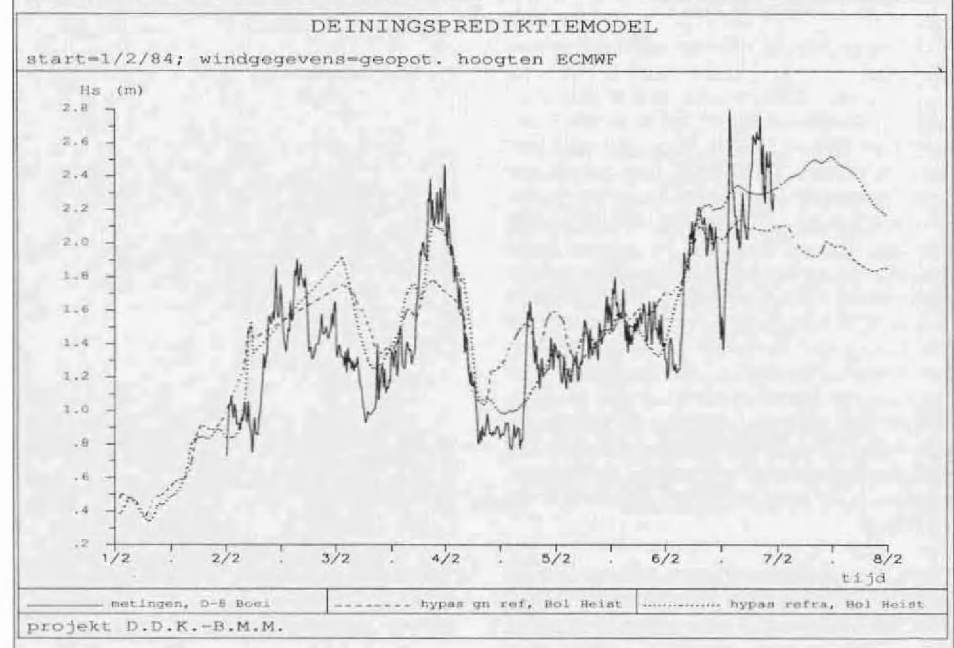
4. RESULTATEN

Een aantal resultaten worden hier voorgesteld.

In figuren 3 en 4 worden, voor een gegeven tijdstip, het berekende veld van de significante golfhoogte weergegeven, zoals respectievelijk berekend door het grof-rooster en door het fijn-rooster-model. Als invoergegevens werden door ECMWF voorspelde windvelden gebruikt. Op deze figuren kan men ook de uitgebreidheid en de ligging van de beide roosters noteren.

In figuren 5 en 6 tot slot werden voor een bepaalde periode berekende en waargenomen golfhoogten in het golfstation 'Bol van Heist' voorgesteld. Zowel de resultaten, berekend door het golfmodel als dusdanig, als de door de refraktiemodule gekorrigeerde resultaten worden vergeleken met de waarnemingen, door meetinstrumenten van D.D.K. opgenomen. Voor figuur 5 werden als invoergegevens windvelden gebruikt, die werden berekend aan de hand van door ECMWF voorspelde velden van geopotentiële hoogten. Voor figuur 6 werden door GKSS Forschungszentrum berekende en geanalyseerde windvelden gebruikt. Er werd hierbij uitgegaan van voorspellingen door UKMO. In beide figuren kan men merken dat het refraktieverschijnsel inderdaad een niet te verwaarlozen effect heeft op de golfhoogten en dat de implementatie van de refraktiemodule als postprocessor op de resultaten van het golfmodel nuttig is. De uiteindelijke resultaten zijn bevredigend te noemen.

Fig. 5: Gemeten en berekende tijdreeksen van de significante golfhoogte in 'Bol van Heist' van 2/2/84 tot 7/2/84 - bij gebrek aan metingen in 'Bol van Heist' worden de metingen aan de dichtbijzijnde 'D8-boei' voorgesteld. Zowel de resultaten zoals berekend door het Hypas fijn rooster model ('hypas gn ref') als de door de refraktiemodule gekorrigeerde resultaten ('hypas refra') worden voorgesteld.



5. DANKWOORD

In het kader van het project moeten zeer veel mensen bedankt worden, te veel mensen om op te noemen. Daarom willen we hier enkel, zonder iemand expliciet te vernoemen, een zeer algemeen, maar daarom niet minder gemeend dankwoord richten aan ieder die in minder of in meerdere mate aan het project zijn medewerking heeft verleend.

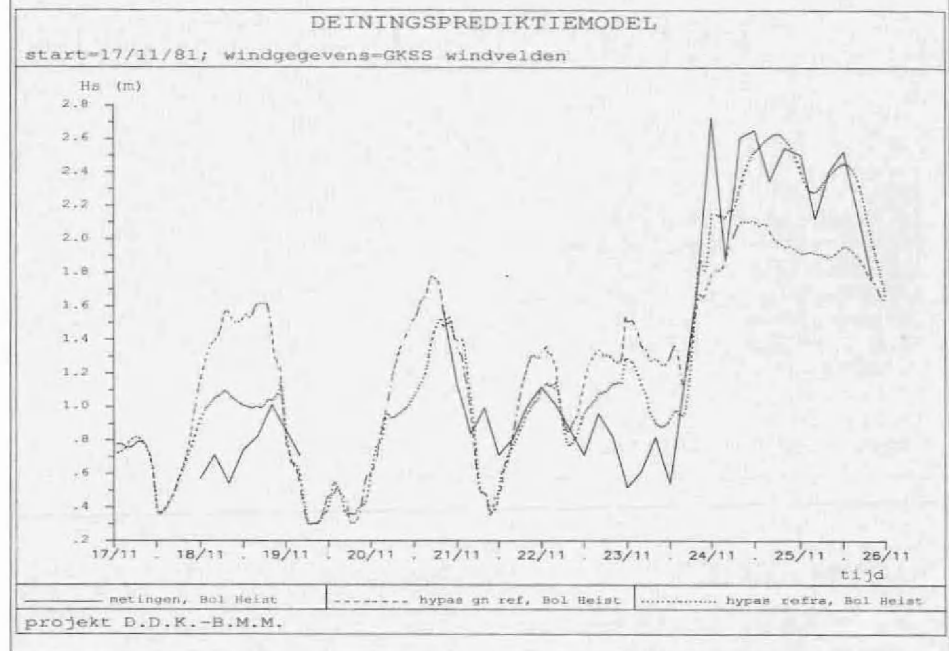
D. VAN DEN EYNDE

Ministerie van Volksgezondheid en
Leefmilieu Beheersing Mathema-
tisch Model Noordzee en Schelde-estua-
rium (BMM)
Gulledelle 100
1200 Brussel

P. DE WOLF

Ministerie Openbare Werken Dienst der
Kust (D.D.K.)
Vrijhavenstraat 3
8400 Oostende

Fig. 6: Gemeten en berekende tijdreeksen van de significante golfhoogte in 'Bol van Heist' van 18/11/81 tot 26/11/81. Zowel de resultaten zoals berekend door het Hypas fijn rooster model ('hypas gn ref') als de door de refraktiemodule gekorrigeerde resultaten ('hypas refra') worden voorgesteld.



ACTUEEL BEHEER VAN HET LEEFMILIEU

De v.z.w. WEL organiseert deze postscolaire lessencyclus, in samenwerking met de Administratie voor Ruimtelijke Ordening en Leefmilieu (AROL) van de Vlaamse Gemeenschap, onder de bescherming van de Gemeenschapsminister van Leefmilieu, Natuurbehoud en Landinrichting.

Deze cursus gaat door te Gent van 18 oktober 1990 tot 21 februari 1991 gedurende 15 donderdagen, telkens van 13h30 tot 17h20, en richt zich tot milieuverantwoordelijken op gemeentelijk niveau (mandatarissen, milieu-ambtenaren) en milieu-managers uit de industrie.

Volgende onderwerpen worden behandeld:

- * milieurecht
- * grondwater
- * waterverontreiniging en -zuiveringsinfrastructuur
- * lucht
- * geluid
- * stralingen
- * afval, bodem
- * modern milieubedrijfsbeleid
- * operationeel leefmilieubeheer

De folder, met gedetailleerde inhoudsopgave en alle praktische inlichtingen kan op eenvoudige aanvraag gratis bekomen worden op het secretariaat van de v.z.w. WEL, Kipdorp 11, 2000 Antwerpen, tel.: 03/231.64.48 toestel 56.