

# GETIJVOORSPELLINGSMODELLEN : ONDERZOEK EN PRAKTIJK

Prof. Dr. Ir. J. BERLAMONT en I. HERMANS  
K.U. Leuven

## TIDAL PREDICTION MODELS: RESEARCH AND PRACTICE

The oceanic tides are caused by attraction and the motion of celestial bodies. The oceanic tides in their turn, cause the water level and flow velocity to vary regularly at any place in large bodies of water, like seas and estuaries.

The presence of tidal motion entails several problems, which require suitable models to handle them. A tidal model should be used as a management instrument for certain applications, such as: ship piloting, dredging schemes, conservation of coastal environment (tidal transport of pollutants!), shore protection and protection against storm surges.

Several types of tidal models are developed for specific applications.

The harmonic prediction method provides a model of water level variation at a particular place, depending only on time. Considering their easy operation, these models are suited for ship piloting,

mud dredging, immersion of tunnel segments, harbour construction, ship salvage and wreck evacuation, etc.

Hydrodynamic numerical (HN) models calculate water levels and flow velocities over an entire area of tidal water. More extensive input data and computing facilities are needed. Meteorologic effects however, can now be taken in account. HN-models are particularly useful in simulating storm surges and transport phenomena (bed material, mud, pollutants).

Correlation models only extreme storm surge water levels at a particular place, from the extreme waterlevels, observed a few hours earlier at well chosen stations. A practical instrument is thus developed to manage storm surge protection.

The benefits of an interactive development and study of different types of models are emphasized.

Op het colloquium 'Het Belgisch Continentaal Plat', dat eind vorig jaar werd gehouden te Brugge, werd meerdere malen de belangrijke rol vermeld van het getijdefenomeen voor allerlei processen en toepassingen in verband met de zee en de kust. Aan het laboratorium voor Hydraulica van de K.U. Leuven worden regelmatig studies verricht in verband met de zeegetijden.

In wat volgt zal een overzicht gegeven worden van enkele getijberekeningsmethodes, waarmee men reeds ervaring heeft opgedaan. Tevens zal het huidig onderzoek terzake belicht worden.

## 1. INLEIDING: HET GETIJDEFENOMEEN

Het fenomeen van de maritieme getijden bestaat uit een verandering, in de tijd, van het peil van de zee en de stroomsnelheidsvector op een bepaalde plaats. Deze verandering wordt veroorzaakt door de voortdurend veranderende aantrekkingskracht van de hemellichamen - voornamelijk de maan en de zon - vanwege hun beweging, relatief ten opzichte van de aarde. Theoretisch is een goede beschrijving mogelijk van het zogenoemd 'astronomisch getijde': het getijde rechtstreeks veroorzaakt door de maan en de zon, zoals men het aantreft in de oceanen. Het getijde in de Noordzee is evenwel een 'coöscillerend getijde', dat ontstaat doordat de getijgolven vanuit de oceaan de watermassa's in de Noordzee in beweging brengen. Deze beweging wordt ook nog eens vervormd ten opzichte van haar ontstaansgolven, vanwege het relatief ondiep zijn van de Noordzee. Bovendien wordt het getijde beïnvloed door de lokale geometrie en meteorologische parameters (wind, luchtdruk): zo spreekt men van 'ondiepwatergetijden' en 'stormtij'. Vermelden we hier ook de betekenis van enkele begrippen:

– een grafiek van het plaatselijk waterpeil,

in functie van de tijd, noemt men de plaatselijke 'getijkromme' (zie figuur 2a);

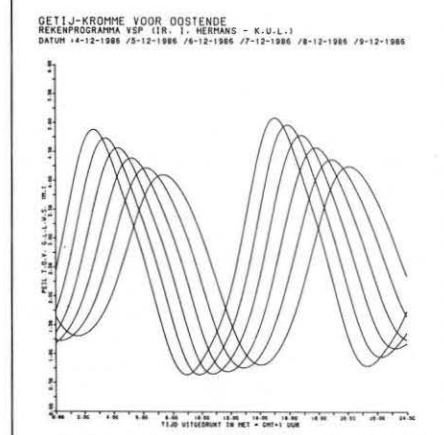
– de minima en de maxima van dergelijke getijkromme worden respectievelijk met 'laagwater (LW)' en 'hoogwater (HW)' aangeduid;

– op een zogenoemd 'getijblad' vindt men getijkrommen voor opeenvolgende dagen over elkaar heen, opschuivend van links naar rechts (zie figuur 1); het is overigens op deze manier dat continue getijregistraties aan de Belgische kust plaatsvinden met 'maregrafen': instrumenten die bestaan uit een door een klok gestuurde trommel waarrond het getijblad is gewikkeld, samen met een vlotter die een schrijpen aandrijft.

## 2. GETIJVOORSPELLINGSMODELLEN ALS BEHEERSINSTRUMENT

De mogelijkheid om voor een bepaalde

Fig. 1: Simulatie van een getijblad voor Oostende. De getijkrommen voor de opeenvolgende dagen schuiven op van links naar rechts.



plaats of zone op voorhand het getijde te kunnen berekenen heeft voor verschillende toepassingen zijn belang.

Een eerste - evidente - toepassing voor getijberekeningsmodellen vormt de *scheepvaart-begeleiding*. Voor schepen met grote diepgang is het van belang om de waterdiepte op ieder moment op iedere plaats van de vaargeul te kennen. In het geval van vaargeulen met beperkte diepte - zoals het Scheur en de Westerschelde, wat de Belgische havens betreft - zal met de kennis van het getijde een uitspraak kunnen gedaan worden over de bevaarbaarheid van de vaarweg op een bepaald tijdstip van de dag. Aldus komen de zogenoemde 'vaarschema's' tot stand voor de schepen die moeten 'varen op het getij'. Voor de begeleiding van schepen met grote afmetingen in lengte en breedte dient men de met het getijde samenhangende stromingen te kunnen voorstellen. De mogelijkheid tot manoeuvreren wordt immers sterk beperkt door dwarsstroming op een vaarweg. Voor de scheepvaart op de Belgische havens blijken genoemde aspecten van het getijdefenomeen (veranderlijke waterdiepte en stroming) beperkingen op te leggen. Een nauwkeurige kennis van de grenzen van deze beperkingen is dan ook van groot belang voor een optimale exploitatie van havens aan getijwateren, die grote zeeschepen wensen te ontvangen. Aansluitend bij het voorgaande, zal de *programmatie van baggerwerken* (aanleg en onderhoud van vaargeulen) om een bepaald vaarschema mogelijk te maken, maar kunnen gebeuren aan de hand van de kennis van het getijde.

In de *hydrografie* dient men het getijde te kennen voor de op zee uitgevoerde *dieptemetingen*. Men dient op deze metingen immers een zogenoemde 'getijreductie' toe te passen, dat wil zeggen: de ogenblikkelijke waterpeilheffing door het getijde op de plaats in kwestie moet in mindering gebracht worden om de metingen een abso-

luut karakter te geven. Hiertoe worden 'reduktiekaarten' gebruikt waarop voor een bepaald gebied de nodige getijkarakteristieken staat ingetekend. Aldus kan de bathymetrie van getijwateren bepaald worden, nodig voor de vervaardiging van zeekaarten behoeve van de scheepvaart. Ook kan men zo baggerwerken opvolgen: door dieptemetingen gaat men na of een bepaald gewenst bodempeil bereikt is.

Voor diverse *transportfenomenen* is het getijde het belangrijkste aandrijvend mechanisme; we noemen bijvoorbeeld het transport van *bodem materiaal, slib in suspensie*, maar ook *verontreinigingen*. Een beheer in verband met deze elementen vereist in de eerste plaats een berekeningsmodel van het getijde voor de regio in kwestie.

Tenslotte vermelden we het belang van de getijberekening voor de *verdediging van de kusten en oevers*. In de eerste plaats denken we in dit verband aan de berekening van het getij in extreme weersomstandigheden: de kennis van een aangepaste (realistische) ontwerp-getijkromme is onontbeerlijk voor het ontwerp van dijken in dwarsprofiel (hoogte en breedte). Dergelijke berekeningsmodellen, die rekening houden met meteorologische gegevens, hebben overigens ook hun belang voor de scheepvaart, zeker als met 'afwaai' (verminderde waterpeilen door windeffekt) vreest. In de tweede plaats leidt de kennis van het getijde tot de kwantificering van de lange termijn evolutie (lees: stijging) van het gemiddeld zeeniveau.

### 3. VERSCHILLENDE GETIJBEREKENINGSMETHODES

Er bestaan verschillende methodes om het getijde te berekenen voor een bepaalde plaats. Iedere methode heeft haar eigen specifiek toepassingsgebied. Hierna zullen we de volgende soorten getijberekeningsmodellen bespreken:

- de harmonische getijvoorspelling voor een bepaalde plaats;
- de hydrodynamische numerieke getijberekening voor een bepaalde regio;
- de correlatie van getijstanden.

#### a) De harmonische getijvoorspelling

De harmonische getijberekeningsmethode levert een model van het getijde op één welbepaalde plaats. De enige veranderlijke, waarvan het waterpeil en de stroomsnelheidscomponenten op een bepaalde plaats afhankelijk worden gesteld, is de tijd. Men beschouwt het tijdsverloop van de genoemde 'getijvariabelen' (meestal waterpeilen) als een superpositie van verschillende 'harmonische' of 'getijgolven', ieder met een bepaalde amplitude en fase, veranderlijk van plaats tot plaats, doch met een vooraf vastgelegde frequentie (uursnelheid).

Op voorhand moet een keuze gemaakt worden van de frequenties van de getijgolven waarmee men het plaatselijk waterpeil denkt op te bouwen. Zo zal men alleszins de frequenties van de belangrijkste getijgolven van het astronomisch getij weerhouden, vermits deze allicht nog een rol van betekenis spelen in het getij op de gewenste plaats (veelal een coöscillerend getijde). Door het bestaan van eigen-trillingsmodi van water-

massa's in een min of meer afgesloten bekken enerzijds, en anderzijds door het niet-lineair responsgedrag van een watermassa op een opgelegde golf zullen bepaalde frequenties belangrijk versterkt worden op de plaats in kwestie, ten opzichte van het astronomisch getijde. Het laatste fenomeen doet zich sterk gevoelen in relatief ondiep water waardoor verschillende frequenties met elkaar interfereren en nieuwe frequenties doen ontstaan. Zo ze niet reeds bestaan in het astronomisch getijde, betekenen deze frequenties een uitbreiding van het getijdespektrum. Afhankelijk van de plaats zal dus eventueel een aantal bijkomende frequenties beschouwd worden.

Eens een stel frequenties gekozen, kunnen de zogenoemde 'harmonische constanten' van de plaats in kwestie bepaald worden. Dit zijn de amplitude en de fase van de verschillende getijgolven met de eerder vastgelegde frequenties. Deze constanten bepaalt men door harmonische analyse van getijwaarnemingen.

Hoe meer frequenties men wenst te onderscheiden, hoe meer waarnemingen er nodig zijn. Men kan een harmonische analyse uitvoeren door numerieke filtering van de waargenomen getijsignalen, maar bijvoorbeeld ook door een kleinste-kwadratenberekening. In dit stadium is het belangrijk goede afspraken te maken over peilreferentie en tijdrekening (in verband met de fase van de getijgolven). Ook dient men er rekening mee te houden dat de geanalyseerde harmonische constanten maar geldig zijn voor een periode die niet te ver van die van de waarnemingen afgelegd is. Door langperiodieke variaties in de loop van de maan en de zon ten opzichte van de aarde, zijn de harmonische constanten immers onderhevig aan zogenoemde 'nodale modulatie'. Het opnemen van de zeer lage frequentie van dit fenomeen in het model zou een zeer lange reeks waarnemingen vergen voor de bepaling der harmonische constanten. Men zal de harmonische constanten onderwerpen aan zogenoemde 'nodale correctie'. Op basis van de geanalyseerde harmonische constanten kan dan in de eigenlijke voorspellingsfase het getij opnieuw samengesteld worden, en wel voor willekeurige tijdstippen. Zo wordt uiteindelijk de berekening van getijkrommen mogelijk voor periodes volgend op die van de waarnemingen waarop men zich baseerde.

Om de aldus ontstane modellen up to date te houden zal men van tijd tot tijd een analyse doen van recentere waarnemingen om aldus de harmonische constanten bij te stellen.

We wijzen erop dat de waarnemingen waarop men zich baseert een zekere invloed van het weer in zich dragen. Deze invloed zal dan ook doorwerken naar de harmonische constanten die men eruit berekent. De voorspelde getijkrommen dragen dus ook een gemiddelde invloed van het weer in zich mee. De grootse afwijkingen van deze voorspellingsmethode doen zich daardoor voor bij extreem kalme en extreem zware weersomstandigheden.

Het aan de K.U.Leuven ontwikkelde rekenprogramma VSP (zie ref. 1) berekent getijkrommen voor de Belgische kustplaatsen met een gemiddelde afwijking van de groot-

te-order van 10 cm in peil en 10 min. in tijdstip (zie figuur 2a). Het rekenprogramma is volledig operationeel beschikbaar voor de plaatsen Nieuwpoort, Oostende, Zeebrugge en Bulabemba (Zaire). In extreme weersomstandigheden zijn de afwijkingen beduidend groter en dringen aangepaste modellen zich op.

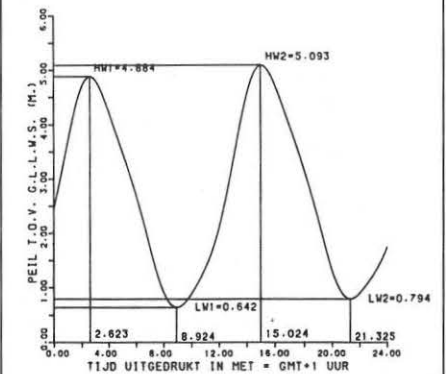
#### b) De hydrodynamische numerieke (HN) getijberekening

Principieel bestaat het fenomeen van de maritieme getijden uit de beweging van watermassa's binnen bepaalde begrenzings onder invloed van bepaalde krachten (zogenoemde 'getijde krachten').

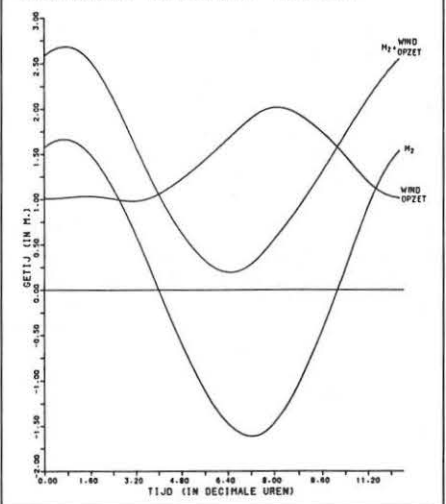
Het geheel kan dus gemodelleerd worden met behulp van de differentiaalvergelijkingen die in de hydraulica gangbaar zijn, namelijk de vergelijking van massabehoud (continuïteitsvergelijking), en de aangepaste formulering van de tweede wet van Newton (de 'Saint Venant' vergelijkingen) (zie ref. 2 en 3). De onbekenden zijn de waterhoogte en de componenten van de stroom-

**Fig. 2:** Simulatie van getijkrommen met de harmonische methode (fig. 2a) en met de HN-methode (fig. 2b). Voor de HN-simulatie werd in ieder punt een ZW wind van 20m/s aangelegd, en aan de rand louter de  $M_2$ -getijgolf.

GETIJ-KROMME VOOR OOSTENDE  
REKENPROGRAMMA VSP (I.R. I. HERMANS)  
DATUM : 4-12-1986



GETIJ TE OOSTENDE  
REKENPROGRAMMA I.R. D. MOELANS - K.U. LEUVEN



snelheidsvektor in ieder punt van het etijbekken dat men beschouwt. Deze onbekenden kan men éénduidig bekomen door (numerieke) integratie van de genoemde differentiaalvergelijkingen indien men begin- en randvoorwaarden oplegt. In principe is men aldus in staat om met een dergelijk model de getijvariabelen over een gans gebied te kennen, en wel op willekeurige tijdstippen. Bovendien kunnen meteorologische fenomenen zoals veranderlijke luchtdruk en windsnelheid in ieder punt in rekening gebracht worden, zodat deze modellen kunnen dienen voor stormtij-voorspellingen. In wat volgt worden enkele specifieke aspecten van dergelijke modellen toegelicht.

Om tot een (numerieke) integratie van de modelvergelijkingen te komen moeten deze differentiaalvergelijkingen gediscretiseerd worden zodat men komt tot een eindig aantal onbekenden. Men zal de getijvariabelen slechts op een discreet stel roosterpunten berekenen voor een stel discrete tijdstippen, veelvoud van een bepaalde 'tijdstap'. Het rooster van (integratie-)punten wordt gekenmerkt door de kortste onderlinge afstand tussen twee punten ervan: de 'roosterparameter'.

De methodes der 'eindige differenties' en der 'eindige elementen' zijn de meest gangbare discretisatie technieken, en leiden ieder tot een geëigend stel vergelijkingen tussen de verschillende onbekenden.

Gezien de diversiteit en het grote aantal van de onbekenden bestaan er verschillende werkwijzen om de vergelijkingen op te lossen (i.e.: het uitvoeren van de numerieke integratie), rekening houdend met de randvoorwaarden op ieder tijdstip, en vertrekkend van een vooraf vastgelegde beginsituatie in ieder (rooster-)punt. Men spreekt in dit verband van 'expliciete-' en 'impliciete-' rekenschema's, en ook van 'alternating direction implicit' (ADI)-methodes, die gepaard gaan met een 'gesplitste' (vaak ook 'vervalste') continuïteitsvergelijking. (Voor meer bijzonderheden hieromtrent verwijzen we naar ref. 3). Het onderscheid tussen deze rekenschema's situeert zich op het vlak van de nodige (computer-) rekentijd, de bereikte nauwkeurigheid, het al dan niet bereiken van een goede oplossing onafhankelijk van de vastgelegde roosterparameter, tijdstap en beginvoorwaarden.

De keuze van het rekenschema bepaalt in grote mate de kwaliteit en vooral de operationele geschiktheid van een HN-model; deze keuze moet dan ook zorgvuldig gebeuren.

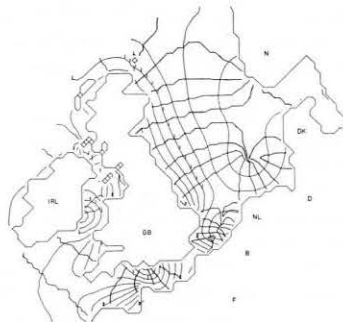
In het geval van een coëscillerend getijde (zoals voor de Noordzee) is de belangrijkste aandrijvende faktor de beweging van de omgevende watermassa's, veel meer dan de getijkracht zelf. Deze beweging wordt het model meegedeeld via de randvoorwaarden: opgelegde waterhoogten of stroomsnelheden op ieder tijdstip in de randpunten. Vermits de stroomsnelheden in de oceanen belangrijk kleiner zijn dan die op een relatief ondiep continentaal plat, zal men de randpunten bij voorkeur op de scheiding tussen beide kiezen. Het opleggen van waterhoogten in ieder randpunt levert dan een natuurgetrouwe modellering van de aandrijvende beweging, zonder dat voorwaarden aan de stroomsnelheden worden opgelegd.

Bij andere keuzes van de ligging der randpunten zal dit allicht niet meer het geval zijn. Om de geometrie van het etijbekken min of meer nauwkeurig te kunnen inrekenen zal men de roosterparameter niet te groot mogen kiezen. Zowel de begrenzing in planzicht als in de diepte (bathymetrie) is van belang.

Tenslotte zal een HN-model een 'calibratie' of 'ijking' moeten ondergaan. Men zal tastenderwijze waarden bepalen van de modelparameters die toelaten de schuifkrachten ten gevolge van de bodemwrijving ('ruwheidscoëfficiënten') en de wind ('windschuifspanningscoëfficiënten') uit te drukken. In dit geval streeft men naar een kwantitatieve overeenkomst tussen berekende en waargenomen getijkrommen voor bepaalde plaatsen.

In 1979 realiseerde Ir. D. Moelans aan de K.U. Leuven de eerste ontwikkelingsfasen van een HN-model voor de Noordzee (zie ref. 4). Het betreft een eindig-differentie model met een semi-impliciet-ADI-rekenschema waarbij de continuïteitsvergelijking opgesplitst werd. Hierdoor ontstond een model dat onvoorwaardelijk tot een goede oplossing leidt, onafhankelijk van de grootte van de tijdstap, en dat bovendien aanleiding geeft tot een zeer efficiënte implementatie op computer (geheugenverbruik, rekentijd). De begrenzing van het model werd gevormd door het nauw van Calais, de oostkust van Engeland, het Europese vasteland en een noordelijke rand ter hoogte van Schotland. Het betrof dus een beperkt Noordzee-model dat bovendien (nog) niet geijkt werd. Later werd dit model ook aangepast en uitgebreid naar de Westerschelde (zie ref. 5). Het model werd voorzien van de mogelijkheid om een deelzone van het rooster in detail te berekenen ('in zoomen'). Onlangs werd het

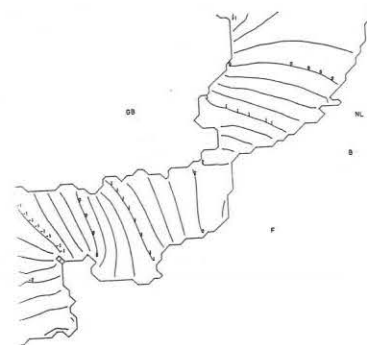
**Fig. 3:** Cotidale- en corange-lijnen berekend met het Moelans-model. In de punten van een cotidale lijn treeds het hoogwater op hetzelfde tijdstip op; in punten van een corange lijn is er steeds eenzelfde verschil tussen het peil van hoog- en laagwater. Punten waar dit verschil nul wordt zijn 'amfidromische punten'. De cotidale lijnen komen er samen. De voorgeselde berekeningen betreffen het getijde, voortkomend van enkel de  $M_2$ -getijgolf als randvoorwaarde.



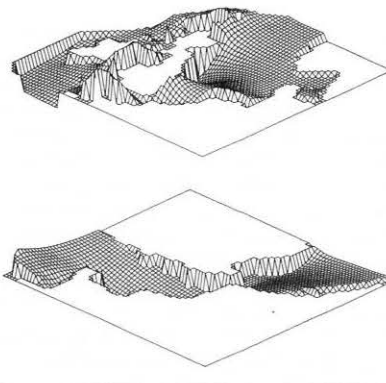
model wederom operationeel gemaakt op de inmiddels gewijzigde computerinfrastructuur van de K.U. Leuven. Bovendien werd het integratiestrooster uitgebreid naar

het volledig continentaal plat toe, en werd het model voorzien van nieuwe bijbehorende randvoorwaarden. Ook werd het reken-schema enigszins verfijnd door het wegne-

**Fig. 4:** Ogenblikkelijke lijnen van gelijke waterpeilverheffing (Fig. 4a) en ogenblikkelijk stromingsveld (Fig. 4b) berekend met het Moelansmodel, met enkel een  $M_2$ -randvoorwaarde.



**Fig. 5:** Ogenblikkelijke waterpeilverheffingen voor het globaal rooster (fig. 5a) en het detailrooster (Fig. 5b) berekend met het Moelansmodel, met enkel een  $M_2$ -randvoorwaarde.



men van de 'vervalsing' van de continuïteitsvergelijking, doch met het behoud van de 'opsplitsing' (zie ref. 6), die het ADI-schema mogelijk maakt met zijn relatief beperkte rekentijd. Het model werd nog niet geijkt maar kan reeds kwalitatief een goed beeld geven van een stormopzet (figuur 2b) en het globale getijbeeld in de Noordzee middels

een plot van zogenoemde 'cotidale-' en 'co-range-lijnen' (zie figuur 3). Men bemerkt de reeds behoorlijke simulatie van de zogenoemde 'amfidromische stelsels' van de Noordzee. Het model levert bovendien als resultaten op iedere tijdstap: het verloop van de waterverheffing op iedere plaats, weergegeven door hetzij een iso-lijnen plot (zie figuur 4a), hetzij een axonometrische voorstelling (figuren 5a en 5b) steeds voor het globale en/of het detailrooster, en ook het verloop van de stroomsnelheid op iedere plaats (figuur 4b). De huidige toepassing van het model zal onder de paragraaf 'onderzoek' uiteengezet worden.

### c) Korrelatie van getijstanden

Tenslotte vermelden we een getijberekeningsmethode die voor stormtijvoorspellingen haar praktisch nut heeft bewezen. Deze methode legt een korrelatie tussen waargenomen hoogwaterstanden op de plaats van berekening en op plaatsen waar het hoogwater vroeger optreedt dan op de plaats in kwestie. Men beschouwt alleen gevallen met een bepaalde minimale waarde van stormopzet. Aldus kan men, in geval van storm, het plaatselijk hoogwaterpeil schatten uitgaande van de eerder waargenomen hoogwaterstand(en) op de afgelegen plaats(en). Indien het tijdsverschil tussen de hoogwaterstanden groot genoeg wordt genomen, ontstaat een praktisch instrument dat voldoende lang op voorhand eventueel een alarmprocedure in werking kan stellen. Aan de Hydrografische Dienst der Kust te Oostende van het Ministerie van Openbare Werken werd door ing. C. Van Cauwenberghe een korrelatiemodel uitgewerkt voor de hoogwaterstand te Oostende bij stormtij, uitgaande van waargenomen hoogwaterstanden te Imingham en Lowestoft (Engeland), respectievelijk ca. 6 en ca. 3 uur op voorhand (zie ook ref. 7a en 7b).

## 4. ONDERZOEK

Aan het Laboratorium voor Hydraulica van de K.U. Leuven wordt momenteel onderzoek gedaan op twee soorten getijberekening, te weten:

- de berekening van het getijde over een tweedimensionaal gebied met hydrodynamische numerieke modellen.
- de berekening van het getijde over een tweedimensionaal gebied met hydrodynamische numerieke modellen.

In het eerste geval werkt men voornamelijk naar toepassing voor de Belgische kustplaatsen, terwijl voor het tweede geval een algemene toepasbaarheid wordt beoogd. Nu heeft men reeds toepassingen voor de Noordzee en de Straat van Taiwan uitgewerkt. In de nabije toekomst zal het model toegepast worden voor de Zuidelijke IJszee en meer in het bijzonder voor de Weddellzee in het kade van het onderzoeksproject 'ANTAR 02' dat deel uitmaakt van het Belgisch 'Wetenschappelijk onderzoeksprogramma betreffende het Zuidpoolgebied' (Diensten van de Eerste Minister -Programmatie van het Wetenschapsbeleid).

Wat het onderzoek betreft, blijken beide getijdeberekeningsmethodes elkaar te kunnen aanvullen.

Bij het onderzoek op hydrodynamische numerieke modellen heeft de getijdeberekening-in-één-punt haar waarde voor het genereren van nauwkeurige randvoorwaarden, waarin meerdere getijgolven in opgenomen dienen te worden. Bovendien zal men tijdens de ijking en verifikatie van het HN-model gebruik kunnen maken van voorspelde getijkrommen op basis van gekende harmonische constanten. Dit maakt het beschikken over waarnemingen op verschillende plaatsen en het digitiseren ervan, overbodig. Aldus zal het omvangrijk ijkingswerk van een HN-model efficiënter kunnen verlopen. In dit verband wees Dr. H. Gerritsen (WI Delft) onlangs nog op zijn ervaringen met het afijken van het WAQUA-model voor de Noordzee.

Eens men over een afgeijkt HN-model beschikt dat het getij kan berekenen op een gewenste plaats, zal dit vanzelfsprekend interessant zijn voor het onderzoek naar modellen die louter getijkrommen voor deze plaats berekenen.

In de eerste plaats zal men voor het getijde zoals het zich voordoet bij niet-extreme weersomstandigheden, aan de hand van het HN-model, een inzicht kunnen krijgen in de niet-lineaire interactie tussen de verschillende getijgolven. Hiertoe zal men verschillende getijgolven van de randvoorwaarden afzonderlijk en in verschillende combinaties opleggen aan het HN-model en het responsgedrag in het beschouwde punt bestuderen. Bovendien kan men op dezelfde wijze nagaan hoe een opgedrongen modulatie op de amplitude en fase van de getijgolven van de randvoorwaarde doorwerkt in het (coëscillerend) getijde op de plaats in kwestie. Aldus zal men wellicht tot nadere inzichten in het fenomeen 'nodale modulatie' kunnen komen.

Voor de berekening van het getijde met een belangrijke invloed van weereffekten ('stormtij') zal men studies maken van het verschilsignaal 'HN-berekening stormtij' minus '(HN-)berekening astronomisch getij', voor verschillende meteorologische randvoorwaarden. Hierdoor zal men een inzicht kunnen verwerven in het effect van bepaalde meteorologische omstandigheden op het getij: de zogenoemde 'stormopzet'. Het is de bedoeling deze stormopzet te kunnen modelleren door correlatie met representatieve meteorologische parameters. Aan de hand van de HN-berekeningen zal onderzocht worden wele parameters men hiertoe best weerhoudt. De voorkeur gaat hierbij uit naar parameters waarvan men de waarde lang genoeg op voorhand kan kennen, zodanig dat men uiteindelijk tot een operationeel beheersmodel komt voor stormtijvoorspelling in een bepaald punt.

## CONCLUSIES

In het voorgaande werd het belang aangetoond van getijvoorspellingsmodellen als beheersinstrument. Ieder getijvoorspellingsmodel heeft echter zijn eigen toepassingen, en omgekeerd.

- De harmonische getijberekening, voor een bepaald punt, is uiterst praktisch in gebruik, en nuttig voor de scheepvaartbegeleiding bij vaarwegen met beperkte diepte. Dergelijke methode berekent

evenwel slechts het getijde, zoals het zich voordoet bij gemiddelde weersomstandigheden. Onderzoek wordt gedaan naar modellen die hieraan verhelpen.

Gezien de praktische hanteerbaarheid (implementeerbaar op microcomputers, kleine rekentijd, géén uitgebreide input) zijn deze modellen bruikbaar voor toepassingen die getijsturing behoeven (slibbagging, afzinken tunnelementen, havenwerken, bergingswerken, enz.).

- De hydrodynamische numerieke getijberekening vereist grotere computers, meer rekentijd, en vrij uitgebreide meteorologische input. Daarom zijn dergelijke modellen minder praktisch dan harmonische getijberekeningsmodellen. Hun toepassingsgebied situeert zich dan ook op een ander vlak. HN-modellen zullen aangewend kunnen worden voor stormtijvoorspellingen in verschillende punten, maar ook voor het beheer in verband met transportfenomenen (bodem materiaal, slib, verontreinigingen). In dit laatste geval kan een HN-model werkelijk een beleidsinstrument worden.

- Korrelatie-modellen voor getijstanden leveren geen volledige getijkrommen, doch enkel een extreme waterstand. Gezien hun eenvoud kunnen ze in geval van stormtij een praktisch beheersmodel vormen in handen van de instanties belast met de bescherming tegen overstromingen.

Op onderzoeksniveau is het nuttig de verschillende getijberekeningsmodellen actief te ontwikkelen en te bestuderen.

## LITERATUURVERWIJZING

1. Hermans, I.: 'Voorspelling van maritieme getijden', Afstudeerwerk K.U. Leuven, Departement Bouwkunde, 1985.
2. Berlamont J.: 'Hydraulica', cursustekst K.U. Leuven, L. Wouters, 1982.
3. Smets, E.: 'Aanvullingen van Hydraulica (deel 2): Niet permanente Beweging', cursustekst K.U. Leuven, Departement Bouwkunde.
4. Moelans, D.: 'Tweedimensionaal Numeriek Model van de Noordzee (m.i.v. het windeffekt)', Inwendig rapport K.U. Leuven, Laboratorium voor Hydraulica 04-HY-4, 1979.
5. Bols, L. en Bernaers, G.: 'Getij en stormgolven op de Schelde', Afstudeerwerk K.U. Leuven, Departement Bouwkunde, 1980.
6. Moelans, D. en De Bruyn, R.: 'Tweedimensionaal Numeriek Stromingsmodel van het Continentaal Plat van de Noordzee', Inwendig rapport K.U. Leuven, Laboratorium voor Hydraulica 28-HY-10, november 1986.
- 7a. Van Cauwenberghe, C.: 'Getijvoorspelling bij stormtij langs de Belgische kust', Rapport nr. 17 van de Hydrografische Dienst der Kust, Oostende, februari 1977.
- 7b. Van Cauwenberghe, C.: 'Getijvoorspelling bij stormtij langs de Belgische kust', Rapport nr. 17bis van de Hydrografische Dienst der Kust, Oostende, oktober 1986.