

TOEPASSINGEN VAN MODELLERING IN KUSTZONE-ONDERZOEK

Tom De Mulder, Marc Willems en Youri Meersschaut

dr. ir. Tom De Mulder; ir. Marc Willems; ir. Youri Meersschaut. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek. Berchemlei 115, B-2140 Borgerhout. Tel. +32(0)3 224 60 35; Fax +32(0)3 224 60 36.

E-mail: tom.demulder@lin.vlaanderen.be; marc.willems@lin.vlaanderen.be; youri.meersschaut@lin.vlaanderen.be; Web: <http://watlab.lin.vlaanderen.be>

Inleiding

Het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout (WLB) – dat ondertussen de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch onderzoek (WLH) van de Administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ) is geworden - is in 1933 opgericht als afdeling van de toenmalige Antwerpse Zeediensten. De bedoeling was een studie- en kenniscentrum op te richten inzake de hydraulische en morfologische veranderingen aan het Schelde-estuarium tengevolge van menselijke ingrepen en natuurlijke processen.

De bij deze studies ontwikkelde kennis en onderzoeksvaardigheden met betrekking tot hydraulica, sedimenttransport en rivierwaterbouwkunde, werden na verloop van tijd ook toegepast buiten het strikte domein van rivieren (en kanalen). Zo werden er geleidelijk aan ook kustwaterbouwkundige studies uitgevoerd in opdracht van de Dienst der Kust – die ondertussen de afdeling Waterwegen Kust (WWK) van AWZ is geworden.

Met name de zeewaartse uitbouw van de haven van Zeebrugge in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw, heeft aanleiding gegeven tot jarenlang onderzoek op het WLB, maar ook elders. Voor alle betrokkenen kan deze 'case' dan ook beschouwd worden als een belangrijke katalysator voor onderzoek en kennisvergeving omtrent kustwaterbouwkunde.

Belangrijke onderzoeksvragen met het oog op het ontwerp en de bouw van de haven, waren de effecten van de omgeving (getijstroming, golven, zeebodemsedimenten) op de te bouwen structuren (havendammen, vaargeul, enz.). Andersom werden ook de effecten van de uitbouw op de omgeving intensief bestudeerd. Denken we maar aan het gewijzigd stromingspatroon (stromingscontractie) tengevolge van de zeewaartse uitbouw, wat belangrijke nautische (gewijzigde krachten op in- en uitvarende schepen) en morfologische (erosiekuilen) implicaties heeft. Andere belangrijke onderzoeksvragen betroffen de effecten van de havenuitbouw op de kustlijnevolutie en kustverdediging. Denken we maar aan de gevolgen van de havenuitbouw op het langtransport van sedimenten langsheen de kust, dat zich manifesteert in aanzanding resp. erosie.

De rol van het WLB in dit kustgebonden onderzoek situeerde zich aanvankelijk op het vlak van de fysische schaalmodellen - al dan niet met 'beweegbare' bodem (d.i. al dan niet voorzien van transporteerbare modelsedimenten op de bodem) - waarop de werkelijkheid op kleine schaal wordt nagebouwd en onderworpen wordt aan de effecten van getij, stroming en golven. Later kwamen er ook wiskundige modellen bij om de werkelijkheid via computersimulaties na te bootsen, en tenslotte zelfs een scheepsmanoeuvresimulator waarop loodsen en kapiteins in een virtuele omgeving een schip kunnen binnenvaren in reeds bestaande of nieuw ontworpen haveninfrastructuur. Met deze faciliteiten is dan ook geïntegreerd hydraulisch en nautisch onderzoek mogelijk ten behoeve van het ontwerp van haven- en kustverdedigingsinfrastructuur (ref. [1]).

Sinds de uitbouw van Zeebrugge heeft de afdeling WWK (en ook andere opdrachtgevers) nog kustgebonden onderzoeksopdrachten opgedragen aan de afdeling WLH. Denken we maar aan de studies in het kader van het ontwerp van een nieuwe strandsuppletie voor Knokke-Zoute en van het ontwerp van de nieuwe kustverdediging en haventoeegang te Oostende.

Deze bijdrage wil vooral een overzicht geven van deze recente onderzoeksactiviteiten van WLH, zonder evenwel volledigheid en diepgang na te streven. Daarnaast ook een kort woordje over enkele onderzoeksactiviteiten met een meer fundamenteel-wetenschappelijk karakter. Er zal ook niet nagelaten worden te wijzen op andere betrokkenen (overheidsdiensten, studiebureaus, universiteiten e.d.) waar WLH mee samenwerkt in het kader van dergelijke studies.

Kustverdediging en verbeterde haventoeegang te Oostende

De afdeling WWK heeft sinds geruime tijd plannen voor ten eerste de verbetering van de kustveiligheid te Oostende-Centrum en ten tweede een verbeterde haventoeegang naar de haven van Oostende (ref. [2]).

De verbeterde kustveiligheid is nodig omdat de 130 jaar oude zeedijk veel te laag is om Oostende te beschermen tegen zeer zware stormen, en bovendien in slechte staat verkeert. Bij dergelijke stormen treden er grote golven op die met geweld breken op de zeedijk en de bekleding ervan regelmatig aantasten. Deze golven lopen ook gedeeltelijk de zeedijkhelling op (golfoploop) of slaan zelfs over de kruin van de zeedijk (golfoverslag). In dit laatste geval kan een groot overslagdebiet een ernstig overstromingsgevaar betekenen voor Oostende-Centrum.

De afdeling WWK wil daaraan verhelpen door een aantal werken uit te voeren. Zo zal ondermeer een nieuw strand worden aangelegd vóór de zeedijk tussen het Zeeheldenplein en het casino van Oostende (Figuur 1). Daartoe zal zand dat wordt gebaggerd in de vaargeulen naar de kusthavens en naar de Westerschelde, worden opgespoten. Deze techniek wordt de techniek van de zandsuppletie genoemd.



© Architectuur & Stedebouw E+W Eggermont - POLYGON Architectural Graphics

Figuur 1. Illustratie van ontwerp strand en aanzet westelijke havendam te Oostende

Door het aanbrengen van een strand vóór de zeedijk worden de grote golven bij storm reeds gebroken op het strand. Daardoor wordt het geweld van de golven die vanuit zee het land naderen opgevangen door het strand, zodat de zeedijk en het achterland beter beschermd worden tegen overstromingen.

Naast de werken ter verbetering van de kustveiligheid worden ook werken gepland ter verbetering van de haventoeegang naar de haven van Oostende. Momenteel wordt de haveningang afgeboord door twee staketsels. Op termijn zullen er echter twee havendammen worden gebouwd. De westelijke dam situeert zich aan de rand van bovengenoemde zandsuppletie ter hoogte van Oostende-Centrum, terwijl de oostelijke dam aan de andere oever van de havengeul wordt aangezet. Op deze wijze ontstaat een echte havenmond die enkele honderden meters in zee zal steken.

Doorheen de havenmond kunnen echter nog golven binnendringen en ondermeer het stuk zeedijk ter hoogte van het Zeeheldenplein bedreigen. Vermits men echter binnen de havenmond geen strand kan aanleggen om het overstromingsgevaar te verkleinen (zoals hierboven werd beschreven), is voor een andere oplossing gekozen. Ter hoogte van het Zeeheldenplein zal een nieuwe zeedijkvloeiing worden aangelegd onder de vorm van een plateauconstructie.

De afdeling WLH is sinds enkele jaren intensief betrokken bij de studies naar aanleiding van de geplande werken, die door de afdeling WWK werden opgedragen aan gespecialiseerde studie bureaus (Haecon, Technum). Zo zijn door WLH met wiskundige modellen reeds studies uitgevoerd omtrent de te verwachten wijzigingen in stromings- en golfcondities. Daarnaast zijn ook ontwerpen van de havendammen beproefd in schaalmodellen. Tenslotte hebben er ook reeds verschillende studies met de scheepssimulator plaatsgevonden. Deze studies hadden tot doel om zowel de bestaande als de toekomstige situatie te onderzoeken aan de hand van proefvaarten door ervaren loodsen.

In wat volgt zal dieper worden ingegaan op de 3 fysische modellen die de laatste jaren voor Oostende werden gebouwd.

Een eerste model betrof een zogenaamd "hangend strand". Het zand tegen de zeedijk van Oostende zou enkele meters verhoogd worden. Dergelijke zandsuppletie loopt natuurlijk een heel eind in zee om het te laten aansluiten op de bestaande zeebodem. Om het zandvolume te beperken, kan dan 2 m beneden laagwater een grindberm van ongeveer 3 m hoog voorzien worden die het nieuwe strand aan het zeewaartse uiteinde steun biedt (het strand "hangt" als het ware tegen de grindberm). Het ontwerp van dit hangend strand werd in het Waterbouwkundig Laboratorium beproefd in de grote golfgoot in 1998.

Het doel van dit model was de erosiebestendigheid van de zandsuppletie en de stabiliteit van de stortsteenberm in voorontwerp na te gaan. De proefresultaten toonden echter aan dat, ook bij relatief kleine golven, er een erosieput ontstond net achter de stortsteenberm (kustwaarts) en dat deze put groter en dieper werd naarmate grotere golven werden opgelegd. Bovendien bleek de stortsteenberm zich geleidelijk aan te zetten met een lagere kruinhoogte en een verbrede basis tot gevolg.

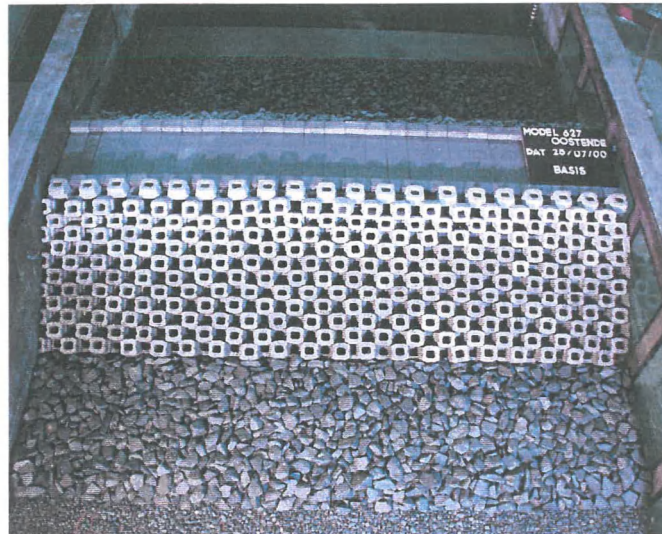
Ondertussen waren in Oostende de plannen gerezen om de haventoeegang uit te bouwen. Vermits beide projecten letterlijk naast elkaar liggen, is het natuurlijk veel beter om beide ontwerpen te integreren in 1 groot project. Dit heeft tot gevolg dat het nieuwe strand kan aansluiten op een nieuwe westelijke havendam zodat het strand langs de havenkant gesteund wordt door een grote en lange dam. Het idee is dat deze zandsuppletie verder zal "aangroeien" met zand dat gevangen wordt door de lange havendam, net zoals in Zeebrugge trouwens (hoewel de havendam in Oostende beduidend minder lang zal zijn dan deze te Zeebrugge). Vandaar dat nu gesproken wordt van het "groestrand" van Oostende.

Een tweede fysisch model kaderde in het onderzoek voor de vernieuwing van de haventoeegang. In 2000 werd een voorontwerp voor de nieuwe havendammen uitgetekend op basis van waterbouwkundige criteria. Dit voorontwerp was een stortsteendam met zogenaamde Haro-blokken als deklaagelementen. In het fysisch model diende de stabiliteit van deze havendam onder impact van golven nagekeken te worden (Figuur 2). Volgende waarnemingen werden verricht om eventuele schade te bepalen : verplaatsing van de borstwering- en wegdekelementen, verplaatsing van de Haro-blokken, verplaatsing van de stortsteen van de berm, verplaatsing van de nabestorting op de zinkstukken, overstortende golven. Foto's van de opeenvolgende proeven, genomen vanuit vaste posities, werden hiervoor op elkaar gelegd en vergeleken. De resultaten bevestigden dat aan de dam als geheel, en aan de deklaag in het bijzonder, geen zware schade optreedt onder impact van de ontwerpcondities.

Achteraf werden vanuit architecturaal en stedenbouwkundig oogpunt enkele ingrijpende wijzigingen aangebracht, met name de keuze van andere deklaagelementen en het aanbrengen van een wandelpasserelle bovenop de kruin. Dit gewijzigd ontwerp zal later ongetwijfeld opnieuw beproefd moeten worden in de WLH-golfgoot.

Het derde fysisch model is het model van de zogenaamde havendijk. Hiermee wordt de zeedijkvlooiing aan het Zeeheldenplein bedoeld, net naast de huidige haventoeegang en binnen de toekomstige havendammen. Omdat deze dijk vlak tegen de toegangseul van de scheepvaart ligt, kan deze dijk niet beschermd worden door een zandsuppletie en moet de dijk zelf als "harde constructie" bestand worden gemaakt tegen de golfaanval.

Om het aantal overtoppende golven evenals het overtoppingsdebiet tijdens een zware storm op een hoge waterstand te beperken, werd een plateauconstructie uitgetekend met bovenaan een "stilling wave basin (SWB)". In dit ontwerp zullen de golven inbeuken op de zeewaartse muur van het SWB en doodvallen in het SWB zelf, waardoor de overtopping over de eigenlijke kruin van de zeedijk sterk gereduceerd wordt. Deze proeven zijn nog lopende in de grote golfgoot van WLH (Figuur 3). De voorlopige resultaten tonen aan dat de plateauconstructie zeer geschikt is om golven te laten breken. Dit wordt nog verder bestudeerd in nauw overleg met de afdeling WWK en de afdeling Weg- en Waterbouwkunde van de R.U.G.



Figuur 2. Proeven in WLH-golfgoot voor ontwerp havendam te Oostende



Figuur 3. Proeven in WLH-golfgoot voor ontwerp zeedijkvloeiing te Oostende



Figuur 4. Proeven in WLH-golftank voor ontwerp zandsuppletie te Knokke-Zoute

Zandsuppleties als kustverdediging te Knokke-Zoute

De Belgische oostkust heeft te lijden onder een structureel erosieprobleem. Met name te Knokke-Zoute denkt de afdeling WWK aan zandsuppleties als 'zachte' kustverdediging. Het ontwerp van deze suppleties werd opgedragen aan het studie bureau Haecon. In het kader van dit ontwerp werden - in nauwe samenwerking met het Laboratorium voor Hydraulica van de R.U.G. (ref. [3]) - verschillende suppletieprofielen beproefd in het WLB. Hierbij ging het zowel om 2D-proeven in een golfgoot (waarbij zowel de effecten van het verticaal getij als van de loodrechte golfinval in rekening werden gebracht) als om 3D-proeven in een golftank (waarbij naast de effecten van het verticaal getij en de golfinval ook de effecten van de horizontale getijstroming werden gesimuleerd ; zie Figuur 4).

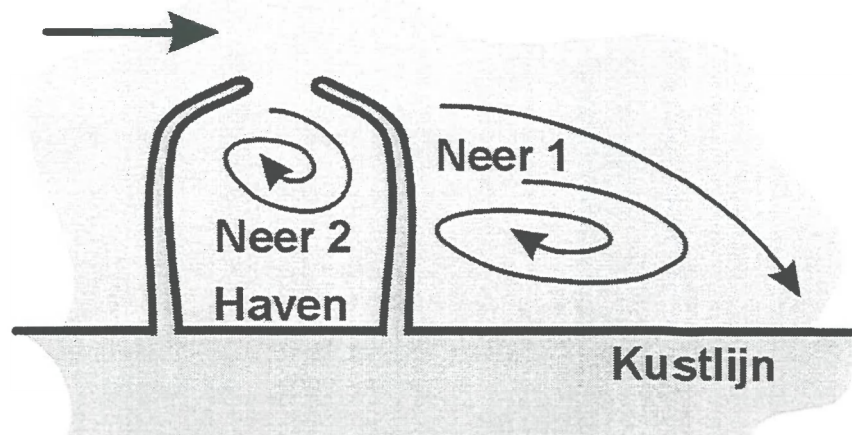
Golfoploop en golfoverslag op stortsteengolfbrekers

WLH heeft de voorbije jaren ook geparticipeerd aan het Europees onderzoeksproject OPTICREST ('The optimisation of crest level design of sloping coastal structures through prototype monitoring and modelling' – MAS3-CT97-0116), dat als bedoeling had de golfoploop te bestuderen op stortsteengolfbrekers (zie ref. [4]). De bijdrage van WLH bestond uit modelproeven op de stortsteengolfbreker te Zeebrugge. WLH zal ook deelnemen aan het vervolgproject CLASH ('Crest level assessment of coastal structures by full scale monitoring, neural network prediction and hazard analysis on permissible wave overtopping' – EVK3-2001-00064). Dit project concentreert zich vooral op golfoverslag en de impact ervan.

Neervorming in havens en turbulentiemodellering

Turbulente stromingen met vrij oppervlak in ondiep water, zoals in zeeën en rivieren, worden ondermeer gekarakteriseerd door zogenaamde 3D turbulentie tengevolge van bodemwrijving. Dit soort turbulentie en de ermee geassocieerde lengte- en tijdschalen is vrij goed gekend en de wiskundige vertaling ervan in turbulentiemodellen is relatief betrouwbaar.

Naast de 3D turbulentie bestaat er echter een zogenaamde quasi-2D turbulentie die zich manifesteert in horizontale wervels of neren (Eng. eddies) met random karakter. Vooral in de buurt van 'harde' infrastructuur (havendammen, strandhoofden, kribben e.d.) kunnen deze dermate grote afwijkingen (zowel in ruimte als tijd) qua bodemschuifspanning veroorzaken dat er bijvoorbeeld aanzienlijke erosiekuilen ontstaan of dat het sedimenttransport beduidend toeneemt. Ook binnenin een havenmond kunnen deze grootschalige horizontale neren problemen veroorzaken voor nautici omdat ze moeilijk te anticiperen zijn bij het in- of uitvaren gezien hun random karakter. Daarnaast kunnen deze neren ook een significante bijdrage leveren tot het binnenbrengen van sedimenten in de havengeul- of havenmond.



Figuur 5. Neervorming in en rond een havenmond

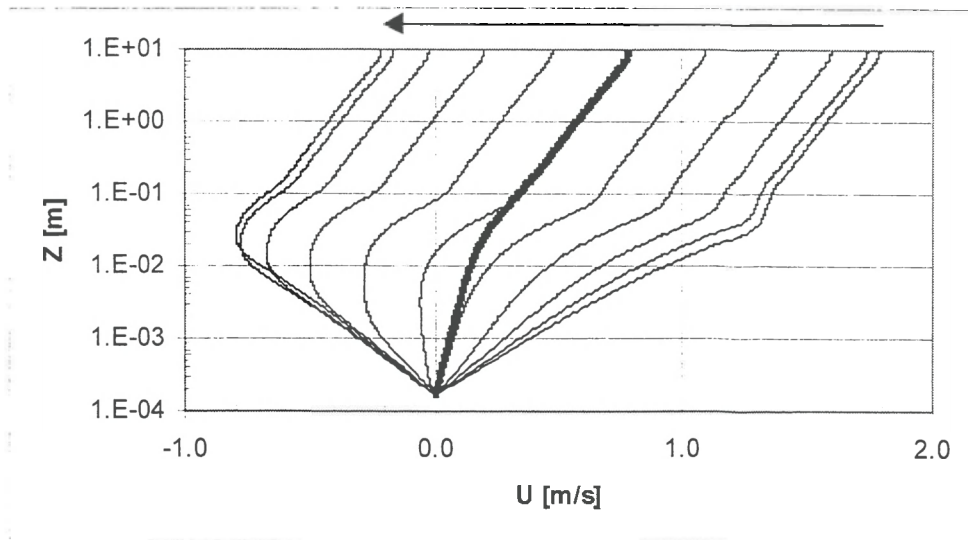
De gebruikelijke aanpak in de wiskundige modellen om rekening te houden met de quasi-2D turbulentie, is echter vrij rudimentair. Recent zijn evenwel meer geavanceerde modellen beschikbaar gekomen, met name de zogenaamde 'Horizontal Large Eddy Simulation' (HLES).

Om deze veelbelovende aanpak te toetsen in een realistische situatie is door WLH (in samenwerking met de afdeling Maritieme Schelde, DEC en WL Delft) een dertien-uurs-meetcampagne georganiseerd in de haven van Zeebrugge. Deze meetcampagne werd uitgevoerd met drie meetschepen die elk voorzien waren van akoestische snelheidsmeters aangevuld met een buitengaats liggende bodem-ADCP-meter.

In een volgende stap zal met een tweedimensionaal wiskundig model dat voorzien is van het HLES concept, de periode van de meetcampagne gesimuleerd worden en zullen de numerieke resultaten vergeleken worden met de tijdens de meetcampagne geobserveerde snelheden.

Hydrodynamica en sedimenttransport onder golven en stroming

De afdeling WLH participeert ook aan het F.W.O. project 'Hydrodynamica en sedimenttransport – Fundamentele aspecten voor het beheer van zandige kusten' (2001-2004) van de Laboratoria voor Hydraulica van de K.U.Leuven (promotor) en van de R.U.G. Dit onderzoeksproject beoogt ondermeer de studie op kleine lengte- en tijdschalen van waterbeweging en sedimenttransport onder invloed van golven en (getij)stroming. Meer bepaald zal getracht worden de invloed van complexe golfspectra beter in rekening te brengen, en dit niet alleen op het niveau van de kleine schalen maar ook geïntegreerd naar een groter gebied en naar grotere tijdschalen. Daartoe zal experimenteel onderzoek gebeuren in een golfgoet (met superponeerbare stroming) van WLH evenals onderzoek met wiskundige modellen (Figuur 6).



Figuur 6. Numerieke simulatie van grenslaag onder stroming en golven

Opmaak golfdatabank

In nauwe samenwerking met het Laboratorium voor Hydraulica van de K.U.Leuven, wordt op de afdeling WLH gewerkt aan de opmaak van een zogenaamde golfdatabank. De bedoeling is met behulp van numerieke golfvoortplantingsmodellen, die gecalibreerd worden aan de hand van beschikbare meetgegevens in de hydro-meteo-database van de afdeling WWK, maatgevende golfcondities te berekenen langsheen de Belgische kust. Deze golfvoorwaarden kunnen dan gebruikt worden bij het toetsen van het veiligheidsniveau van de kustverdediging.

Referenties

- [1] Mostaert F., Laforce E., Meersschant Y., De Mulder T., Willems M., Geïntegreerd hydraulisch en nautisch onderzoek voor het ontwerpen van haven- en kustverdedigingsinfrastructuur, VLIZ Special Publication 4, p. 32-37, 2001.
- [2] AWZ, Oostende veilig voor overstromingen, Waterspiegel n° 1, januari 2001.
- [3] Huygens M., Een geïntegreerd onderzoek van zandsuppleties als kustverdediging – Toepassing voor de Belgisch Oostkust, doctoraatsthesis Toegepaste Wetenschappen, Universiteit Gent, 2001.
- [4] De Rouck J. en Van de Walle B., Golfoploop op gehele en open zeeveringen, VLIZ Special Publication 4, p. 43-47, 2001.