

Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214.341
Title	Concept golfmodel TOMAWAC
Document nr.	214341_R02_20160430_final
Auteur	Homayoon Komijani – KU Leuven Hana Ortega – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	14/04/2016 (draft) 30/04/2016 (finaal)

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
1. INLEIDING	4
1.2. GEBRUIKTE WINDVELDEN	5
2.1.1. <i>Spectrale golfmodellering met TOWAMAC</i>	6
2.2. MODELGEBIED EN REKENROOSTER	7
2.2.1. <i>Model gebied</i>	7
2.2.2. <i>Werken met sferische coördinaten in TOMAWAC – projectie</i>	8
2.2.3. <i>Open randvoorwaarden</i>	8
2.2.4. <i>Bathymetrie</i>	8
2.2.5. <i>Eindige elementenrooster</i>	9
3.1. GEBRUIKTE STATISTISCHE PARAMETERS VOOR DE VALIDATIE MODEL	10
3.2. GEBRUIKTE MEETGEGEVENS VOOR DE VALIDATIE VAN HET GOLFMODEL.	10
3.3. AANPASSINGEN AAN HET OORSPRONKELIJKE MODEL VAN GIARDINO (2008)	10
3.3.1. <i>Invoer van meteo</i>	10
3.4. RESULTATEN	10
REFERENCE TO THIS REPORT:.....	16

Lijst Figuren

Figuur 1. Het modelgebied voor het TOMAWAC model. De bathymetrie (in m MSL) is ingekleurd. Het eindige elementengrid is gesuperponeerd. Het eindige elementengrid heeft een fijnere ruimtelijke resolutie nabij de Belgische kust.....	8
Figuur 2. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} en golfperiode T_{m02} op locatie Westhinder met die berekend door TOMAWAC-2D en SWAN met settings CW50. In de onderste figuur worden ook de gemeten en gesimuleerde waterstand getoond op locatie Wandelaar.	11
Figuur 3. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} en golfperiode T_{m02} op locatie Trapegeer met die berekend door TOMAWAC-2D en SWAN met settings CW50. In de onderste figuur worden ook de gemeten en gesimuleerde waterstand getoond op locatie Wandelaar.	12
Figuur 4. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Weshinder op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)	13
Figuur 5. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Weshinder op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)	13

1. INLEIDING

1.1. Opzet

Het “Vlaamse Baaien” plan van de Vlaamse Overheid wil een kader bieden om onze kuststrook ook in de toekomst te beschermen en duurzaam te ontwikkelen. Het aanleggen van kunstmatige eilanden of het verhogen van bestaande zandbanken is een mogelijke manier om de energie van de golven te absorberen en dus om onze kust te beschermen. Het project 214.341 “Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank” is een vervolgproject op het project 212.276 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”. De doelstelling van het project “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” was om de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie die zich van offshore over een aantal zandbanken naar onze kust toe beweegt, te bestuderen enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van een spectraal golfmodel weliswaar gekoppeld aan een hydrodynamisch model om de veranderende waterstanden mee te kunnen nemen in de modellering. Voor dat project werd gebruik gemaakt van de modellen WAM, SWAN en Coherens.

Begrijpen waar er mogelijke tekortkomingen zijn in de modellering van de golfdissipatie over zandbanken en die trachten te verhelpen door verder onderzoek, zal hopelijk toelaten om de effecten van de natuurlijke evolutie of van mogelijke ingrepen beter in te schatten. Wat betreft de metingen werden eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet-directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken voor onze kust. Deze boeien zijn momenteel nog altijd operationeel. Uit het voorgaande project is ook gebleken dat er nog ruimte is voor verbetering van de modelresultaten. Eén van de pistes is het gebruik van een andere modellentrein, met name de combinatie van TELEMAC (model voor hydrodynamica) en TOMAWAC (spectraal golfmodel). Dit rapport heeft betrekking op het concept dat gebruikt wordt voor de modellering van de golven op basis van het spectraal golfmodel TOWAWAC.

Dit rapport beperkt zich tot de implementatie van het TOWAWAC-model dat zal worden gebruikt voor de simulatie van de voortplanting van golfenergie. Gezien de waterstanden en de stromingen reeds beschikbaar waren uit het TELEMAC-2D conceptmodel (zie “Rapport 214.341_R01_20150715_final”), werd besloten om deze al off-line in te lezen. Dit wil zeggen dat het golfmodel reeds de tijdsafhankelijke waterstanden en stromingen in rekening brengt, maar dat er geen uitwisseling is van gegevens tussen het golfmodel en het stromingsmodel. In een latere fase zullen beide modellen dynamisch gekoppeld worden (golven en stromingen worden gelijktijdig berekend en informatie wordt tijdens de run in twee richtingen uitgewisseld). In dit rapport wordt slechts beperkt ingegaan op de performantie van het model. Dit zal in meer detail gebeuren wanneer voor de kustzone met een hogere ruimtelijke resolutie wordt gewerkt.

1.2. Gebruikte windvelden

ERA-Interim windvelden zijn gekend om hun hoge kwaliteit en zijn vrij beschikbaar via de ECMWF [website](#). In het project '212176 - Monitoring Broersbank' werd reeds uitvoerig ingegaan op het gebruik van deze windvelden. Voor de simulaties met TELEMAC-2D en TOMAWAC binnen dit project worden dus eveneens uit de ERA-Interim data de atmosferische druk en de windvectoren op 10m hoogte gebruikt.

1.3. Kalibratie/Validatie

De kalibratie/validatie van het concept TOMAWAC golfmodel beperkt zich in deze fase van het opzetten van het model tot het berekenen van de klassieke parameters voor golfhoogte en periode op de locatie Westhinder en Trapegeer. Voor we aan de uitwerking van dit project begonnen, was de verwachting dat de waarden van deze statistische parameters vergelijkbaar zouden zijn met wat tot nu toe werd bekomen met het WAM-model in het project 212.276 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank". Grote verschillen op die locaties zouden eerder te wijten moeten zijn aan fouten bij de implementatie, dan aan de verschillen in de modelleringsaanpak. Voor de gedetailleerde modellering in de kustzone is de verwachting dat verschillen groter kunnen zijn.

2. Het TOMAWAC model

2.1. Algemene achtergrond

2.1.1. Spectrale golfmodellering met TOWAMAC

Het TOMAWAC spectraal golfmodel lost net als het SWAN-model de actiedensiteitsvergelijking op. Het TOMAWAC model berekent het energiespectrum van door wind opgewekte golven binnen het gekozen modeldomein. TOMAWAC laat toe om verschillende opties te kiezen voor de wiskundige beschrijving van de fysische processen die daarbij een rol spelen. Volgende (default) keuzes werden hier gemaakt:

- Wind input volgens Janssen (1991) samen met de compatibele formulering voor dissipatie door schuimkopjes van Komen et al. (1984). Dit zijn ook de formuleringen die gebruikt worden in het WAM-model voor het project '212.176 - Monitoring Broersbank'. Andere formuleringen zijn mogelijk in TOMAWAC voor de wind input bronterm zoals de formulering van Snyder et al. (1981) en Yan (1987), telkens in combinatie met een compatibele dissipatieterm door schuimkopjes zijnde respectievelijk Komen et al. (1984) en Van der Westhuysen et al. (2007).
- Bodemwrijving volgens het JONSWAP-model (Hasselmann et al., 1973), identiek aan de formulering gebruikt in de WAM Cycle 4 en SWAN modellering in het project '212.176 - Monitoring Broersbank'. De waarde van de wrijvingscoëfficiënt staat default op 0.038 m^2s^{-3} in TOMAWAC. Merk op dat in de SWAN modelering zowel met 0.034 m^2s^{-3} als met 0.067 m^2s^{-3} werd gerekend met een lichte voorkeur voor de . grotere waarde (0.067 m^2s^{-3}) bij de kuststrookmodellering waarbij het gemeten spectrum werd aangelegd.
- Diepte geïnduceerde breking volgens Battjes en Janssen (1978), identiek aan de formulering gebruikt in de WAM en SWAN modellering in het project '212.176 - Monitoring Broersbank' maar met licht andere default parameters (in SWAN the default waarde voor de max. golfhoogte t.o.v. de waterdiepte staat op 0.73; in TOMAWAC wordt een default waarde van 0.8 gebruikt.
- Niet lineaire interacties volgen de DIA methode van Hasselmann et al. (1985), op zich identiek aan de formulering gebruikt in de WAM en SWAN modellering in het project '212.176 - Monitoring Broersbank' maar met terug licht andere default parameter waardes (zie vgl. 2.72 in de Technische Manual van SWAN en vgl. 4.52 in de TOMAWAC_v6p3 manual). Deze parameters werden telkens via calibratie vastgelegd door de auteurs van de respectievelijke codes. Het ligt buiten de mogelijkheden van deze studie om dieper in te gaan op de parametersettings voor deze bronterm.

Zoals uit de verwijzingen duidelijk is, werden voor deze conceptfase van de modellering dezelfde formuleringen voor de brontermen gebruikt als voor de modellering in het project '212.176 - Monitoring Broersbank' doch met hier en daar licht andere parameterwaarden. In een latere fase van dit project zal ook met andere

parameterwaarden en met de alternatieve formuleringen voor de dissipatiebrontermen (termen die de dissipatie door bodemwrijving en door breking beschrijven) aan de slag worden gegaan.

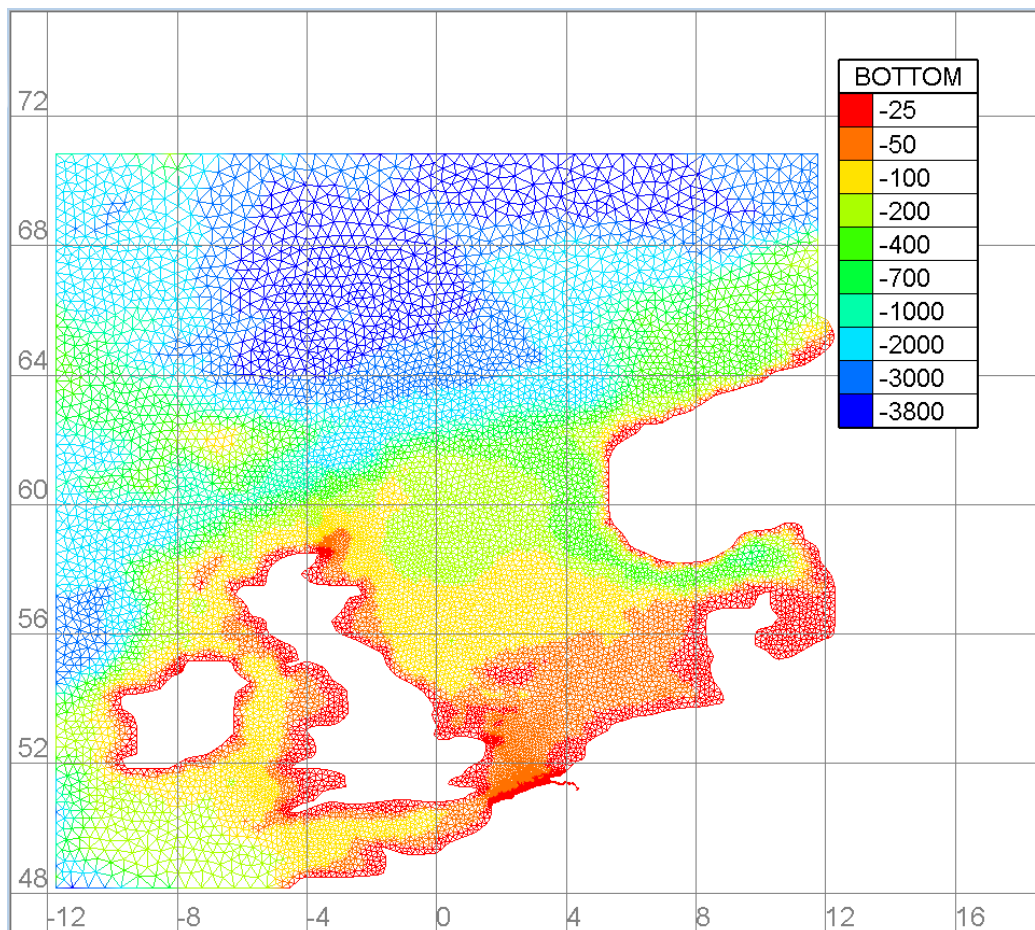
De details van deze vergelijkingen kan men vinden in de TOMAWAC handleiding (EDF R&E, 2011). De TOMAWAC software module is een onderdeel van een veel grotere geïntegreerde suite aan modellen binnen de open source TELEMAC-MASCARET aanbod (<http://www.opentelemac.org/>). Het open-source karakter van de software laat toe om (mits de nodige inspanningen) veranderingen aan te brengen in de broncode of om eigen subroutines toe te voegen. Dit opent perspectieven om bevindingen of ideeën te implementeren en uit te testen met behulp van deze software. Opzet van het model

Net als voor de eerste opzet van het stromingsmodel zijn we voor de eerste opzet van het golfmodel uitgegaan van het modelconcept dat ontwikkeld werd in het kader van het doctoraatsonderzoek van Alessio Giardino (Giardino, 2008). Giardino (2008) maakte toen gebruik van de versie 5.5. In het kader van dit onderzoeksrapport wordt versie 7.0 van de software gebruikt. Omwille van de verandering van versienummer was het niet mogelijk om het model zo maar over te zetten, maar wel om het concept van aanpak te gebruiken. Een aantal 'custom made' routines dienden dan ook aangepast te worden. In eerste instantie werd ook met een relatief grof rekenrooster gerekend om rekestijden in deze testfase te beperken.

2.2. Modelgebied en rekenrooster

2.2.1. Model gebied

Het modelgebied en het rekenrooster zijn identiek aan deze gebruikt voor het TELEMAC_2D model. Voor de latere dynamische koppeling tussen het golfmodel en het stromingsmodel is dat namelijk een vereiste. Het modelgebied strekt zich dus uit van 47.8333 N tot 71.1667 N en van 12.25 W tot 12.25 E. Een uitbreiding naar het noorden toe is nodig voor het golfmodel TOMAWAC om de volledige fetch naar het noorden in het model te hebben en ook om de in het noorden gegenereerde golfenergie die zich dan voortplant naar onze kust als deining, te kunnen capteren. Deze uitbreiding naar het noorden was ook aanwezig in het WAM-model dat gebruikt werd in het project 212.276 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank" om de randvoorwaarden te genereren voor het daaropvolgend geneste SWAN kuststrookmodel.



Figuur 1. Het modelgebied voor het TOMAWAC model. De bathymetrie (in m MSL) is ingekleurd. Het eindige elementengrid is gesuperponeerd. Het eindige elementengrid heeft een fijnere ruimtelijke resolutie nabij de Belgische kust.

2.2.2. Werken met sferische coördinaten in TOMAWAC – projectie

Om te kunnen werken in uitgestrekte gebieden wordt gebruik gemaakt van sferische coördinaten. Werken met sferische coördinaten in TELEMAC gebeurt via een projectie op een Cartesisch rooster. Verdere details zijn terug te vinden in Giardino (2008) en in Komijani et al. (2016).

2.2.3. Open randvoorwaarden

Er worden geen golfrandvoorwaarden opgelegd aan het golfmodel voor dit modelgebied. Alle golfenergie wordt binnen het domein zelf gegenereerd. Zoals aangehaald, zorgt de uitgestrektheid naar het noorden ervoor dat zowel windgolven met lange fetch in de as van de Noordzee als deining uit noordelijke richting kunnen gemodelleerd worden.

2.2.4. Bathymetrie

Voor de bathymetrie werd in eerste instantie gebruik gemaakt van de Marebasse bathymetry Giardino (2008). Bij de verfijning van het model zal gebruik gemaakt worden van de bathymetrie die gebruikt werd voor de modellering met het SWAN-kuststrookmodel in het project '212.176 - Monitoring Broersbank'.

2.2.5. Eindige elementenrooster

Het rekenrooster

De TELEMAC-TOMAWAC suite maakt gebruik van de eindige elementenmethode met driehoekige elementen voor het oplossen van de vergelijkingen. Daardoor kan men werken op niet-gestructureerde roosters en kan gebruik gemaakt worden van een fijner rooster in gebieden van interesse waar vrij grote gradiënten zijn. In de andere gebieden wordt er met grotere elementen gewerkt met als doel de rekentijd binnen de perken te houden. In Figuur 1 is het gebruikte rekengrid aangegeven voor deze eerste validatie. Het bevat 12760 knopen en 24584 elementen. In het gebied van de Belgische kust wordt momenteel gewerkt met elementen met afmetingen in de grootteorde van 2km. Bij de golfmodellering zal er nog een verfijning van het rekenrooster moeten gebeuren in het gebied van de Broersbank om voldoende rekening te kunnen houden met de sterk veranderende waterdieptes door de aanwezigheid van de verschillende zandbanken. Voor de golfmodellering zal in een volgende fase dan ook gebruik gemaakt worden van dezelfde bathymetrie zoals die werd gebruikt in het kader van de studie 'Monitoring Broersbank', cf. hoger. Gezien de rekenroosters in het geval van een dynamische koppeling van het hydrodynamisch model en het golfmodel identiek moeten zijn, zal die aanpassing dus zowel in het golfmodel als in het hydrodynamisch model moeten gebeuren. De golfvoortplanting in ondiep water wordt sterk beïnvloed door de waterdiepte. Een verfijning van de bathymetrie zal dus ook een invloed hebben op de waardes van de gemodelleerde golfparameters. Daarom moeten de huidige resultaten met enige omzichtigheid bekeken worden. Noteer ook dat de benodigde rekentijd zal toenemen.

3. Validatie

3.1. Gebruikte statistische parameters voor de validatie model.

De volgende veel gebruikte statistische parameters werden voor deze conceptstudie weerhouden om modelresultaten en meetgegevens voor golven te vergelijken.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} ; \text{Root mean square error.}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i) ; \text{Bias}$$

Zoals in de inleiding is vermeld, wordt verwacht dat de afwijkingen van de resultaten verkregen uit deze implementatie van het spectraal golfmodel TOWAWAC van dezelfde grootteorde zijn als deze van de modellentrein die in de studie 'Monitoring Broersbank' gebruikt wordt.

3.2. Gebruikte meetgegevens voor de validatie van het golfmodel.

Voor de validatie van het golfmodel worden de gegevens van de locaties Westhinder en Trapegeer van het meetnet Vlaamse Banken gebruikt. Als periode wordt de maand december 2013 gebruikt. Deze periode werd ook gebruikt voor een eerste validatie van het hydrodynamisch model TELEMAC_2D.

3.3. Aanpassingen aan het oorspronkelijke model van Giardino (2008)

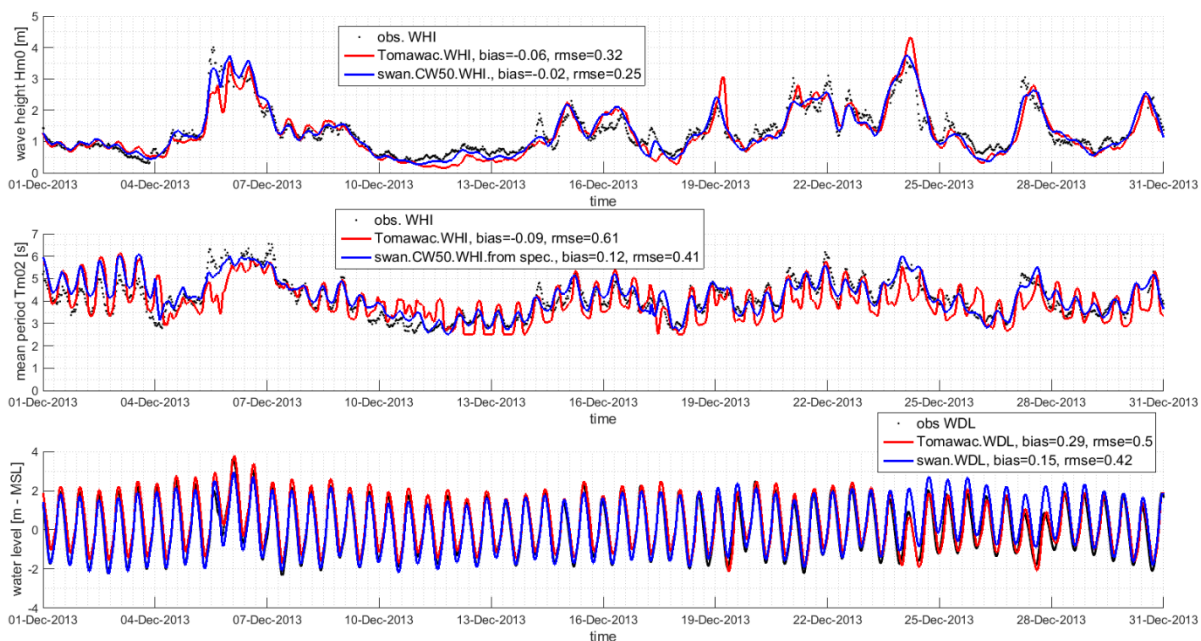
3.3.1. Invoer van meteo

De invoer van meteo-informatie volgt nu dezelfde weg als in het TELEMAC_2D model. Vooraleer de ERA-Interim windvelden kunnen gebruikt worden, worden ze eerst ingelezen en herschreven in een formaat dat niet alleen kan ingelezen worden door de zelfgeschreven meteo-module voor TOMAWAC (en TELEMAC_2D), maar ook door het COHERENS, WAM en SWAN model.

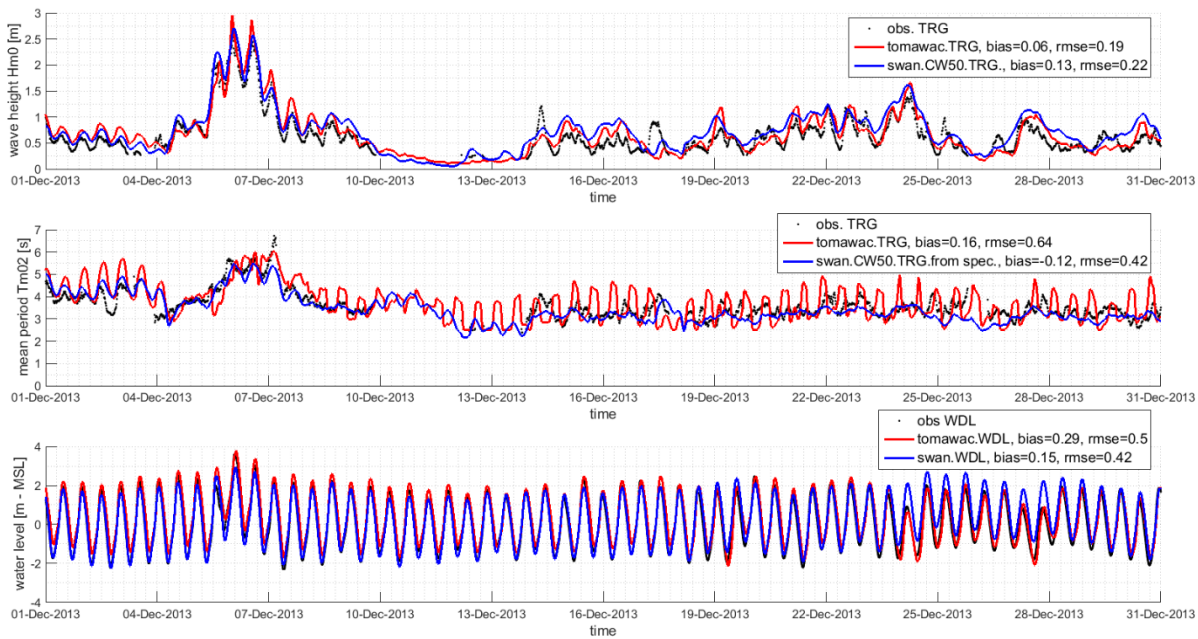
3.4. Resultaten

In Figuur 2 en Figuur 3 worden de significante golfhoogtes op locaties Westhinder en Trapegeer getoond. Aanvullend wordt ook nog de waterstand op locatie Wandelaar meegegeven in deze twee figuren. De waterstanden en stromingen, zoals berekend door TELEMAC_2D, worden, zoals eerder aangehaald, off-line ingelezen en gebruikt door het golfmodel. Voor de maand december 2013 zijn de berekende golfhoogtes van vergelijkbare kwaliteit als diegene die berekend worden met de modellentrein Coherens-WAM-SWAN. De resultaten op locatie Westhinder lijken statistisch gezien iets minder goed, terwijl die op Trapegeer iets beter lijken dan deze berekend door het SWAN model met settings CW50 (zijnde het kuststrookmodel met randvoorwaarden berekend door het WAM-model en default JONSWAP bodemwrijving). Het is te vroeg om op

basis van deze eerste tests met berekeningen voor één maand conclusies te trekken. Voor de berekende golfperiodes T_{m02} valt het op dat de RMSE, zowel op Westhinder als op Trapegeer, hoger is dan deze verkregen met het SWAN-model. Dit is volledig te wijten aan de grotere schommelingen in de berekende periode. Deze schommelingen worden veroorzaakt door de interactie met het getij via de off-line koppeling en zijn groter dan de schommelingen in de metingen en ook groter dan deze die berekend werden met het SWAN model. Het is te vroeg om hieruit verregaande conclusies te trekken, maar deze amplificatie van de schommelingen in periode is wel een aandachtspunt dat verder onderzocht dient te worden, zowel bij de off-line koppeling als bij de later geplande dynamische koppeling tussen TOMAWAC en TELEMAC_2D.

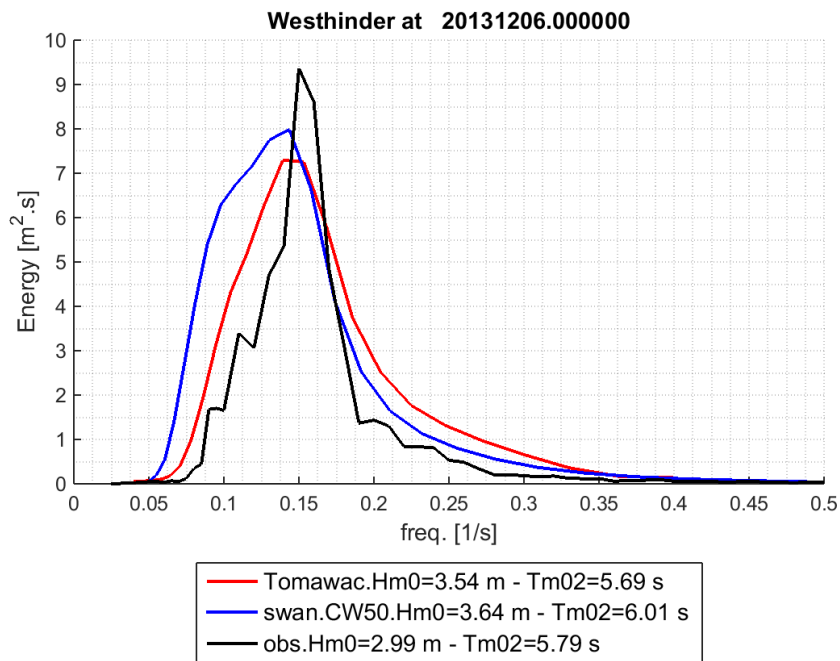


Figuur 2. Vergelijking gemeten significante golfhogte H_{m0} en golfperiode T_{m02} op locatie Westhinder met die berekend door TOMAWAC-2D en SWAN met settings CW50. In de onderste figuur worden ook de gemeten en gesimuleerde waterstand getoond op locatie Wandelaar.

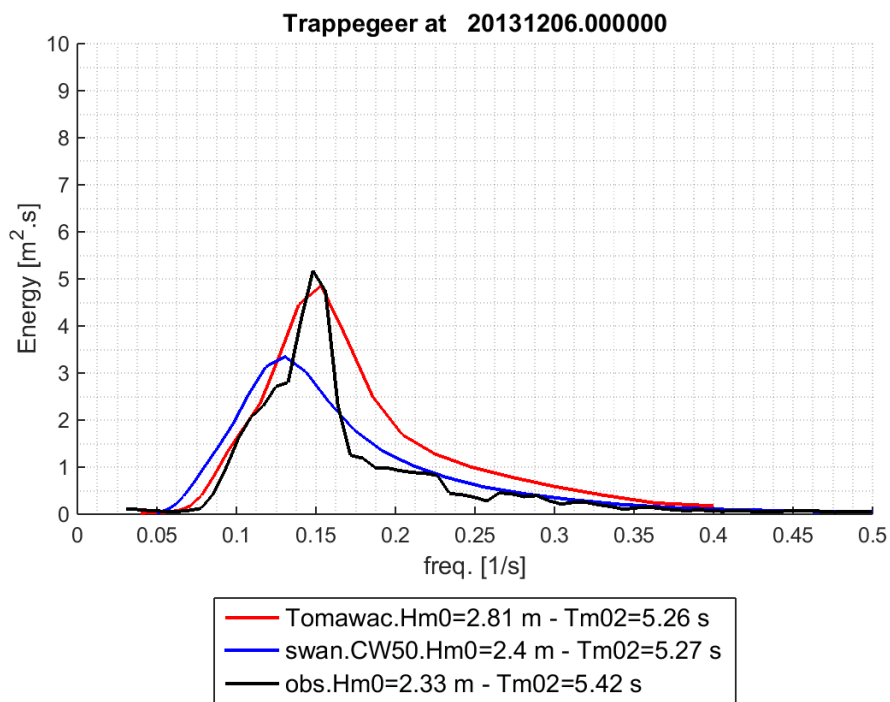


Figuur 3. Vergelijking gemeten significante golfhoogte Hm0 en golfperiode Tm02 op locatie Trapegeer met die berekend door TOMAWAC-2D en SWAN met settings CW50. In de onderste figuur worden ook de gemeten en gesimuleerde waterstand getoond op locatie Wandelaar.

In **Figuur 4** wordt een voorbeeld getoond van een energie-frequentie spectrum zoals gemeten en zoals gesimuleerd met het TOMAWAC en met het SWAN model op locatie Westhinder. **Error! Reference source not found.** toont hetzelfde maar dan op locatie Trapegeer. Alhoewel de spectra op elkaar lijken, zijn er toch verschillen tussen de gesimuleerde spectra en het gemeten spectrum enerzijds en tussen de gesimuleerde spectra anderzijds.



Figuur 4. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Weshinder op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)



Figuur 5. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Weshinder op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)

4. Samenvatting, conclusies en verdere stappen

De achtergrondinformatie voor de implementatie van het spectraal golfmodel TOMAWAC werd kort toegelicht. Dit model zal gebruikt worden als een alternatief om de golfvoortplanting te berekenen voor onze kust. Dit golfmodel maakt reeds gebruik van waterstanden en stromingen gesimuleerd met het hydrodynamisch model TELEMAC_2D via een off-line koppeling. Het gebruikte rekenrooster is identiek aan het rekenrooster voor het TELEMAC_2D hydrodynamisch model, wat een vereiste is om in een volgende stap een dynamische koppeling mogelijk te maken. Het TOMAWAC model maakt eveneens gebruik van de ERA Interim windvelden.

De berekende golfhoogtes en golfperiodes werden vergeleken met de metingen op de locaties Westhinder en Trapegeer. De afwijkingen van de berekende en gemeten golfhoogtes zijn van dezelfde grootteorde als de afwijkingen die werden verkregen met de Coherens-WAM-SWAN model dat gebruikt werd/wordt in het kader van het project 'Monitoring Broersbank'. De met TOMAWAC gesimuleerde golfperiodes vertonen een sterkere modulatie door het getij. Het is nog te vroeg om op basis van deze eerste bevindingen verregaande conclusies te trekken, aangezien de vergelijkingen gebaseerd zijn op simulaties voor slechts 1 maand en het rekenrooster in de Belgische kustzone nog aanzienlijk grover is dan in de SWAN-simulatie. Voor de golfberekeningen spelen de details van de bathymetrie een grotere rol dan bij de waterstandsberekeningen.

In het verdere verloop van deze studie zullen nog een aantal bijkomende verfijningen gebeuren:

- Verfijning van het rekenrooster in het kustgebied alsook gebruik van de bathymetrie die gebruikt werd/wordt in het kader van de studie 'Monitoring Broersbank'. Deze verfijning van het rekenrooster is nodig voor het TOMAWAC golfmodel (net als bij SWAN) om voldoende nauwkeurig te kunnen inspelen op de veranderende bathymetrie. Gezien een latere dynamische koppeling met het stromingsmodel TELEMAC_2D enkel mogelijk is als de twee modellen een identiek rekenrooster gebruiken, zal de verfijning van het rekenrooster ook gebeuren in het stromingsmodel.
- Gebruik van alternatieve formuleringen voor de brontermen in het golfmodel na verfijning van het rekenrooster.
- Opstellen van een kuststrookmodel zodat ook de op Westhinder gemeten spectra kunnen opgelegd worden aan de rand van dit kuststrookmodel. Voor stormcondities uit noordnoordwestelijke richting (golven die min of meer loodrecht op onze kust toekomen), kunnen op die manier de best mogelijke randvoorwaarden voor het golfmodel aangelegd worden en bijgevolg ook de golfdissipatieprocessen het best ingeschat worden.
- Verdere continue afstemming met de ontwikkelingen door het Waterbouwkundig Laboratorium. De praktische uitwerking gebeurt via een technische werkgroep die ongeveer maandelijks bijeenkomt.

De bekomen resultaten geven vertrouwen dat de nodige aanpassingen voor de migratie en implementatie naar het TELEMAC v7.0 platform van zowel het TELEMAC_2D hydrodynamisch model als het TOMAWAC golfmodel voor de Noordzee, vroeger uitgewerkt door Giardino (2008) op het Telemac v5.5 platform, correct is verlopen.

Anderzijds zien we ook al een aantal verschillen in de modelresultaten tussen de twee modellentreinen (Coherens-WAM-SWAN en TELEMAC_2D – TOMAWAC).

5. Referentielijst

- BATTJES J.A., JANSSEN J.P.F.M. (1978): Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Proc. 16th Int. Conf. on Coastal Eng., pp 569-587.
- EDF R&D TOMAWAC 2011. Software for sea state modelling on unstructured grids over oceans and coastal seas. Release 6.1.
- HASSELMANN K., BARNETT T.P., BOUWS E., CARLSON H., CARTWRIGHT D.E., ENKE K., EWING J.A., GIENAPP H., HASSELMANN D.E., KRUSEMAN P., MEERBURG A., MULLER P., OLBERS D.J., RICHTER K., SELL W., WALDEN H. (1973): Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A (8°), N° 12.
- HASSELMANN S., HASSELMANN K. (1985): Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in gravity-wave spectrum. Part I: a new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral. J. Phys. Oceanogr., vol. 15, pp 1369-1377.
- HASSELMANN S., HASSELMANN K., ALLENDER J.H., BARNETT T.P. (1985): Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in gravity-wave spectrum. Part II: Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave models. J. Phys. Oceanogr., vol. 15, pp 1378-1391.
- GIARDINO, A., 2008. Numerical Modelling of Sediment Transport in Shelf Seas and Estuaries. Case Studies: the Kwinte Bank and the IJzermonding, Doctoraatsthesis KU Leuven, Faculteit Ingenieurswetenschappen.
- JANSSEN P.A.E.M. (1991): Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting. J. Phys. Oceanogr., vol. 21, pp 1631-1642.
- KOMEN G.J., HASSELMANN S., HASSELMANN K. (1984): On the existence of a fully developed wind-sea spectrum. J. Phys. Oceanogr., vol. 14, pp 1271-1285.
- Rapport 214.341_R01_20150715_final. "Vlaamse Baaien – Monitoring "Broersbank" – Conceptmodel Telemac 2D". Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2015.
- Komijani, H., Gourgue O., Ortega, H., J. Vanlede, J. and Monbaliu, J. 2016. Code adaptation TELEMAC-2D and TOMAWAC North Sea – Technical Documentation. (in preparation)

Reference to this report:

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. *Concept golfmodel TOMAWAC*. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R02 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 30-04-2016.