

Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214.341
Title	koppeling TELEMAC-TOMAWAC kust
Document nr.	214.341_R05_20161031
Auteur	Homayoon Komijani – KU Leuven Hana Ortega – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	16/09/2016 (draft) 31/10/2016 (final)

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
1. INLEIDING	4
2. ALGEMENE ACHTERGROND	6
2.1. INLEIDING	6
2.2. MODELGEBIED EN REKENROOSTER NOORDZEE MODEL (NSG) EN KUSTSTROOKMODEL (BCG)	6
2.3. DE DYNAMISCHE KOPPELING IN HET KUSTSTROOKMODEL	8
3. VALIDATIE.....	10
3.1. RESULTATEN	10
4. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN VERDERE STAPPEN	17
5. REFERENTIELIJST	18
REFERENCE TO THIS REPORT:.....	19

Lijst Figuren

- Figuur 1. Het Noordzee modelgebied. De bathymetrie (in m MSL) is ingekleurd. Het eindige elementengrid is gesuperponeerd. Het eindige elementgrid heeft een fijnere ruimtelijke resolutie nabij de Belgische kust. De horizontale assen zijn lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as)..... 7
- Figuur 2. Het modelgebied en rekenrooster voor het kuststrookmodel (BCG). De grootte van de elementen varieert tussen de 250m en de 1000m, met de fijnere elementen aan de westzijde van het model. Voor het kuststrookmodel worden sferische coördinaten gebruikt. De horizontale assen zijn daarom lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as)..... 8
- Figuur 3. Schematische weergave werkwijze gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC berekeningen op het rekenrooster van het Noordzeemodel en het rekenrooster van het kuststrookmodel..... 9
- Figuur 4. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Westhinder met die berekend door TELEMAC2D - TOMAWAC en SWAN-COHERENS met settings CW50. 12
- Figuur 5. Vergelijking gemeten windsnelheid en windrichting op locatie Wandelaar (gecorrigeerd met een factor 0.9 voor meethoogte) met die van ERA-Interim die gebruikt werd door de modellen. De windsnelheid gebruikt door SWAN-COHERENS model is een beetje hoger omwille van een windcalibratiefactor met waarde 1.06 gebruikt voor dit model. 13
- Figuur 6. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Trapegeer met die berekend door TELEMAC-2D - TOMAWAC en SWAN-COHERENS met settings CW50. 14
- Figuur 7. Energiespectra locatie Westhinder op 5, 6, 7 en 8 december 2013 (periode van de Sinterklaasstorm). Merk op dat de verticale schaal verschillend is in de verschillende plots. De getoonde simulaties zijn afkomstig van de online gekoppelde modellen TLEMAC-2D – TOMAWAC Noordzeemodel (NSG – blauwe lijn) en kuststrookmodel (BCG – rode lijn), het SWAN-COHERENS model met settings CW50 (groene lijn) en meetgegevens (zwarte lijn). 15
- Figuur 8. Energiespectra locatie Trapegeer op 5, 6, 7 en 8 december 2013 (periode van de Sinterklaasstorm). Merk op dat de verticale schaal verschillend is in de verschillende plots. De getoonde simulaties zijn afkomstig van de online gekoppelde modellen TLEMAC-2D – TOMAWAC Noordzeemodel (NSG – blauwe lijn) en kuststrookmodel (BCG – rode lijn), het SWAN-COHERENS model met settings CW50 (groene lijn) en meetgegevens (zwarte lijn). 16

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 kustmatige 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 dat 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 mogelijks verhelpen door verder onderzoek, zal toelaten om de effecten van de natuurlijke evolutie of van mogelijke ingrepen beter in te schatten. Wat betreft metingen zijn er 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 koppeling TELEMAC-TOMAWAC voor het kuststrookmodel.

In twee vorige rapporten met name de rapporten 214.341_R01 en 214.341_R02 werden respectievelijk de implementatie van het hydrodynamisch model TELEMAC-2D en van het spectraal golfmodel TOMAWAC op een grid voor de Noordzee beschreven. Voor de berekeningen van het spectraal golfmodel TOMAWAC werden de stromingen en de waterstanden offline ingelezen berekend met het hydrodynamisch model. Er is geen terugkoppeling van het effect van golven op de hydrodynamische modellering. Golfgeïnduceerde stromingen en opzet worden daarbij niet mee in rekening gebracht. In rapport 214.341_R03 werd de uitwerking van het kuststrookmodel (BCG - Belgian Coastal Grid) beschreven. Ook daar werkten het hydrodynamisch kuststrookmodel (TELEMAC-2D) en het spectraal golfkuststrookmodel (TOMAWAC) nog elk apart. Beide kuststrookmodellen worden aangedreven door randvoorwaarden bekomen uit de berekeningen met hun respectievelijke Noordzeemodellen.

In rapport 214.341_R04 tenslotte werd de dynamische (online) koppeling tussen TELEMAC-2D en TOMAWAC voor de Noordzee beschreven. Rekening houdend met de relatieve grove resolutie van dit model, lag het binnen de

verwachting dat het verschil in rekenresultaten tussen de offline en de online koppeling vrij beperkt zou blijven, wat ook effectief het geval was. Het onderliggend idee om te werken met een fijnmazig kuststrookmodel was om de complexe bathymetrie met de daarmee gepaard gaande complexere patronen in de stroming en in de golfvoortplanting en dissipatie van golfenergie beter te kunnen simuleren. Het wordt op die manier ook makkelijker om de vergelijking te maken met het SWAN-COHERENS kuststrookmodel.

In voorliggend rapport worden de resultaten besproken van de numerieke simulaties van het online gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC kuststrookmodel. Beide modellen zijn zoals aangehaald genest in een online gekoppeld groter model voor de Noordzee (NSG - North Sea Grid). Dit wil zeggen dat de randvoorwaarden voor het kuststrookmodel berekend worden in het Noordzee model. De resultaten die hier bekomen worden, worden ook vergeleken met de resultaten berekend met het SWAN-COHERENS kuststrookmodel (met settings CW50) in het kader van project 212.276 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank). Waar nuttig zullen ook de resultaten bekomen met het Noordzee model getoond worden. Naast de tijdreeksen van geïntegreerde parameters (zoals bijv. H_{m0} en T_{m02}) zullen ook een aantal golfspectra getoond worden. Voor de simulaties die besproken worden in dit rapport, beperken we ons tot de Sinterklaas storm rond 6 december 2013 in lijn met de vorige rapporten. Een meer uitgebreide vergelijkende studie tussen de twee modeltreinen TELEMAC-2D - TOMAWAC en SWAN-COHERENS wordt gerapporteerd in een volgend rapport.

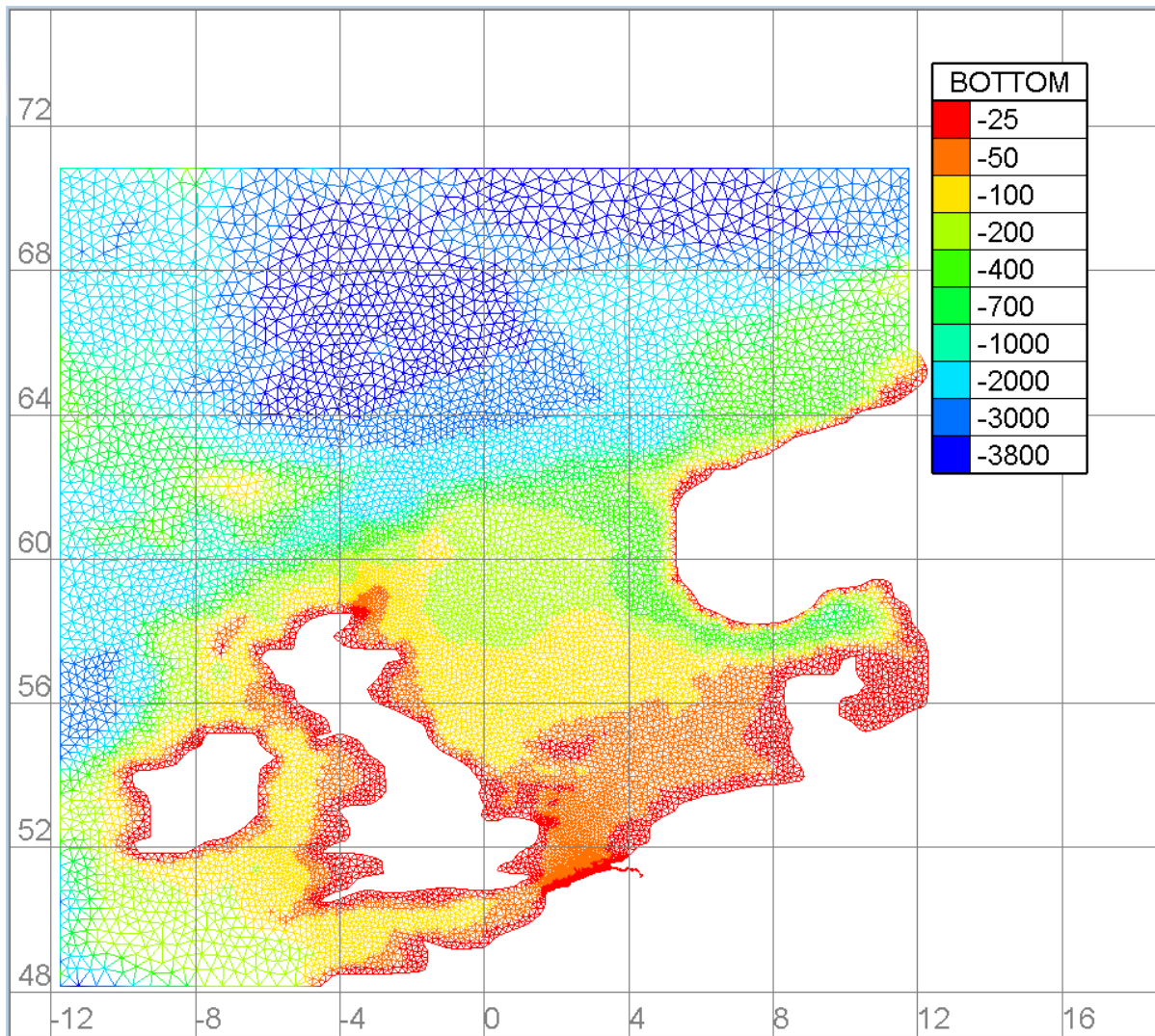
2. Algemene achtergrond

2.1. Inleiding

Ter herinnering worden hieronder kort de karakteristieken van het modelgebied en rekenrooster voor het Noordzee model en voor het kuststrookmodel samengevat. Voor meer details verwijzen we graag door naar de vroegere rapporten 214.341_R01, 214.341_R02, 214.341_R03. Ook de structuur van de online koppeling wordt kort beschreven. Voor meer details over de koppeling voor het gebied van de Noordzee, verwijzen we graag naar rapport 214.341_R04.

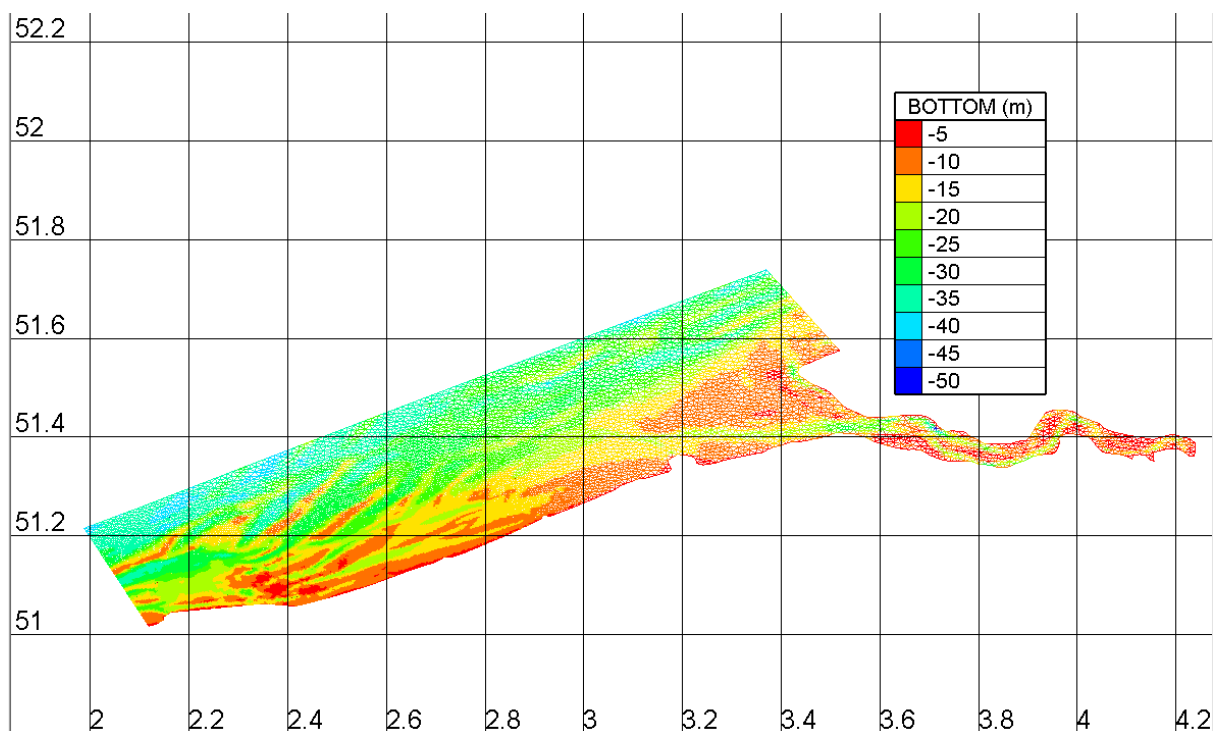
2.2. Modelgebied en rekenrooster Noordzee model (NSG) en kuststrookmodel (BCG)

Het modelgebied en rekenrooster zijn identiek tussen het TELEMAC-2D model en het TOMAWAC-model. Voor de dynamische koppeling tussen het golfmodel en het stromingsmodel is dat namelijk een vereiste. Het modelgebied van Noordzee rekenrooster strekt zich dus uit van 47.8333 N tot 71.1667 N en van 12.25 W tot 12.25 E. Deze modelgebied is gegeven in Figuur 1.



Figuur 1. Het Noordzee modelgebied. De bathymetrie (in m MSL) is ingekleurd. Het eindige elementengrid is gesuperponeerd. Het eindige elementgrid heeft een fijnere ruimtelijke resolutie nabij de Belgische kust. De horizontale assen zijn lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as).

Rekenresultaten gehaald uit de gekoppelde simulaties voor dit modelgebied (NSG) worden als randvoorwaarde gebruikt voor de simulaties van het (gekoppelde) kuststrookmodel. Het modelgebied en rekenrooster van het kuststrook worden getoond in Figuur 2. Meer details zijn te vinden in rapport 214.341_R03. In dat rapport wordt ook de nesting procedure beschreven. Zoals men kan zien in Figuur 2, loopt de noordelijke rand van het kuststrookmodel min of meer parallel met de kustlijn en gaat ook door het meetpunt Westhinder (51.398°N, 2.465°W) op zo'n 35 km voor de kust. Dit modelgebied bevat 21957 knopen en 43239 elementen (allemaal driehoekige elementen). De resolutie van deze elementen varieert van ongeveer 250m in de zone waar de golfmeetboeien voor de Broersbank-campagne zijn uitgelegd (tussen Weshinder en de kust), tot 1000m op grotere afstand van de studiezone (noordelijke rand en het meer oostelijke deel van het kuststrookmodel). Op locatie Westhinder worden verschillende parameters gemeten o.a. golven met een directionele boei, maar ook waterstanden en windsnelheden.



Figuur 2. Het modelgebied en rekenrooster voor het kuststrookmodel (BCG). De grootte van de elementen varieert tussen de 250m en de 1000m, met de fijnere elementen aan de westzijde van het model. Voor het kuststrookmodel worden sferische coördinaten gebruikt. De horizontale assen zijn daarom lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as).

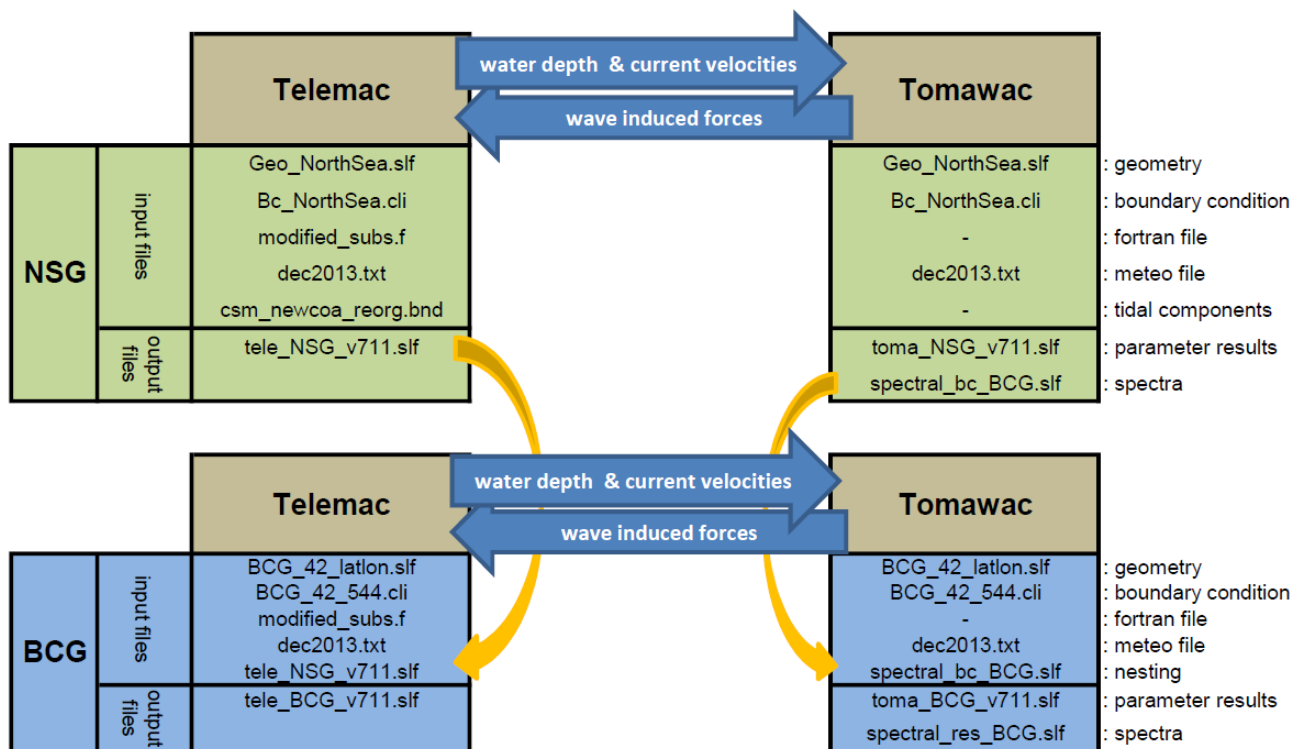
2.3. De dynamische koppeling in het kuststrookmodel

In Figuur 3 wordt schematisch de volledige workflow van de koppeling en nesting beschreven. Die workflow bevat zowel de online gekoppelde simulaties van hydrodynamica en golven op het Noordzee grid (NSG) als de online gekoppelde simulatie in het kuststrookmodel (BCG). In beide van deze simulaties, wordt niet enkel informatie uitgewisseld van het hydrodynamisch model naar het golfmodel maar ook van het golfmodel naar het hydrodynamisch model. In het begin van elk rekentijdstap worden de waterstanden en stroomsnelheden van de TELEMAC-2D hydrodynamisch model doorgegeven aan het TOMAWAC spectraal golfmodel alsook de golfgeïnduceerde krachten (gradienten in radiation stress) berekend in het TOMAWAC-model doorgegeven aan TELEMAC-2D.

Nadat de simulatie voor het Noordzee gebied is uitgevoerd kan gestart worden met de simulatie voor het kuststrookgebied. De nodige randvoorwaarden zijn dan berekend met het gekoppelde model voor de Noordzee en beschikbaar voor het kuststrookmodel (BCG). Deze overdracht van randvoorwaarden is in Figuur 3 aangeduid met de oranje pijlen.

In de bestanden Geo_Northsea.slf en BCG_42_latlon.slf zit het rekenrooster en de bathymetrie respectievelijk voor het Noordzeemodel en voor het kuststrookmodel. In de bestanden BC_BorthSea.cli en BCG_42_544.cli worden de randvoorwaarden voor TELEMAC-2D en TOMAWAC voor respectievelijk het Noordzeegrid (NSG) en het grid voor het kuststrookmodel (BCG) bewaard. In het bestand modified_subs.f zitten enkele routines die voor

dit specifiek geval werden aangepast in verband met rekenrooster, coördinatie, en het lezen en verwerken van de meteorologische data. In het bestand 'dec2013.txt' zit de ECMWF meteorologische data voor December 2013 (overeenkomstig met de simulatieperiode gebruikt in dit rapport). In het bestand csm_newcoa_reorg.bnd zijn de nodige parameters opgenomen om het astronomisch getij te berekenen dat opgelegd wordt op de rand van het Noorzeemodel (NSG).



Figuur 3. Schematische weergave werkwijze gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC berekeningen op het rekenrooster van het Noordzeemodel en het rekenrooster van het kuststrookmodel.

3. Validatie

3.1. Resultaten

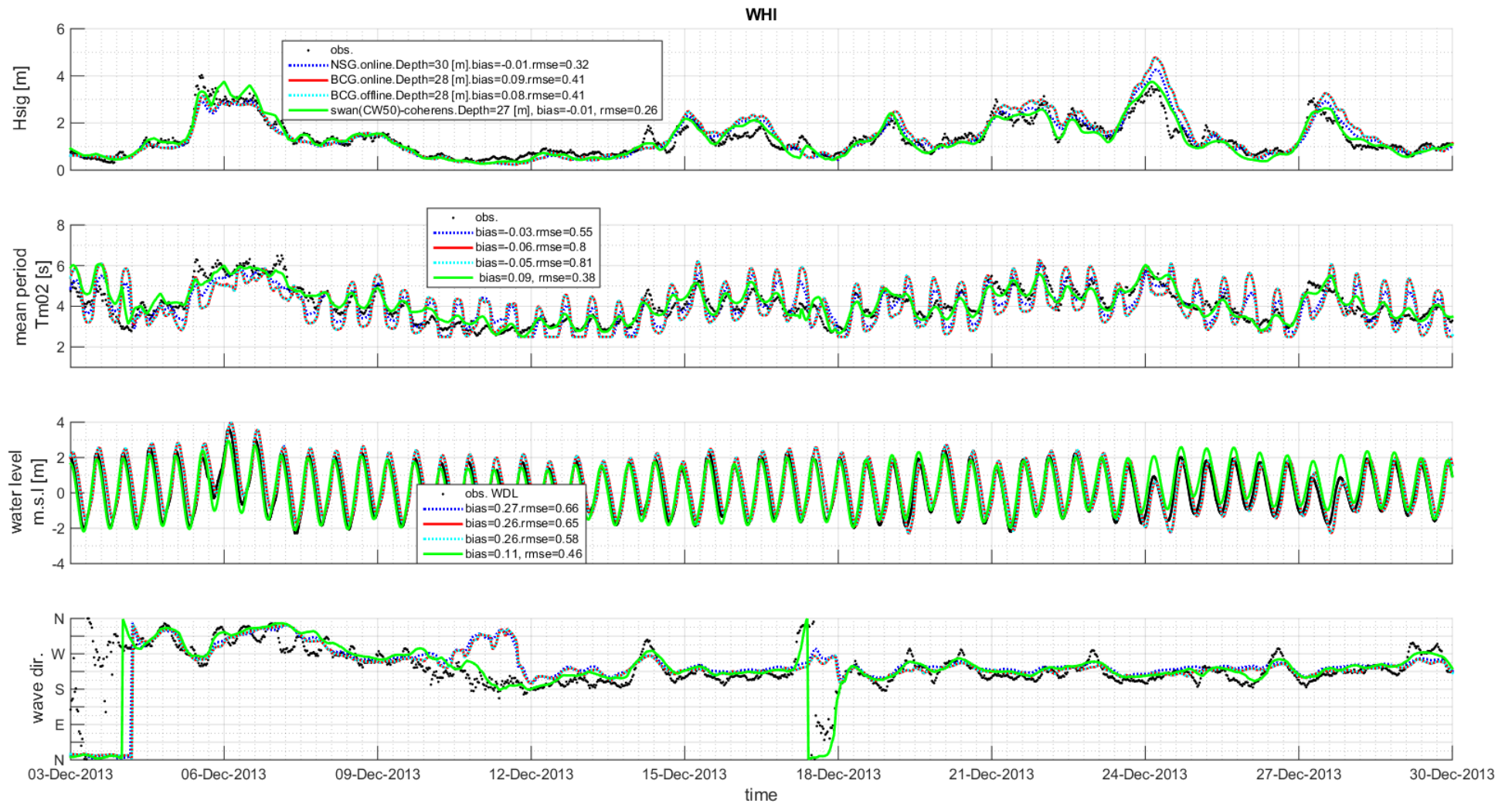
In Figuur 4, Figuur 5 en Figuur 6 kan men enkele resultaten zien van de simulaties van het online gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC kuststrookmodel (BCG). Bij de parameters die getoond worden in deze figuren vindt men de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde periode T_{m02} , de golfrichting en ter aanvulling ook de windsnelheid en -richting. Waar van toepassing, worden ook de resultaten van het SWAN-COHERENS model setup getoond ter vergelijking (groene curves). Ook de meetgegevens worden getoond in zwarte stippellijn. Voor wat betreft TELEMAC-2D en TOMAWAC worden drie verschillende simulaties getoond. De resultaten van de dynamische (online) gekoppelde versie van het kuststrookmodel wordt in het rood weergegeven. In cyaan worden de resultaten van de offline gekoppelde versie van het kuststrookmodel getoond (stromingen en waterstanden worden offline ingelezen door het TOMAWAC kuststrookmodel). En in het blauw worden eveneens ter vergelijking de resultaten getoond voor de online gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC getoond voor de Noordzee implementatie (NSG). Om het overzichtelijk te houden worden in de verschillende figuren dezelfde kleurcodes gebruikt. Merk op dat de kleurlegende enkel wordt meegegeven in de eerste figuur zodat de figuren niet overladen worden.

In de twee bovenste panelen van Figuur 4, worden de significante golfhoogte H_{m0} en de gemiddelde periode T_{m02} getoond voor de locatie Westhinder. Deze locatie ligt in relatief diep water en op de rand van het kuststrookmodel (BCG). De bekomen rekenresultaten op dit punt zijn dus een maat voor de kwaliteit van de berekende randvoorwaarden die opgelegd kunnen worden aan het kuststrookmodel. Hier worden er ook geen beduidende verschillen verwacht tussen wat er wordt berekend met het online gekoppeld kuststrookmodel en het online gekoppelde Noordzeemodel (rode en blauwe lijn op de figuur). De cyaan en rode lijn in Figuur 4 en Figuur 6, overlappen elkaar bijna volledig zodat het verschil moeilijk tot niet zichtbaar is.

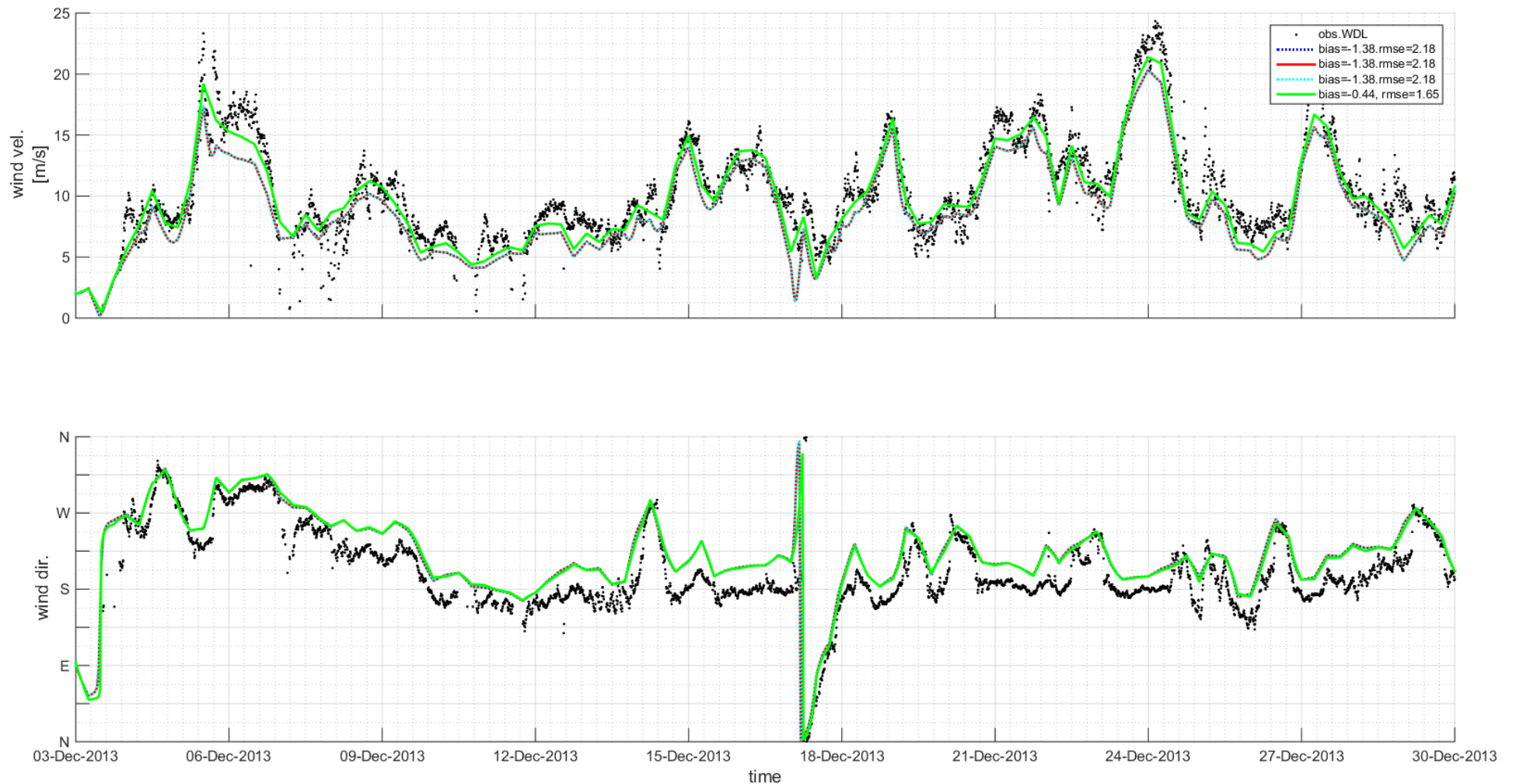
In Figuur 5 worden de ERA-Interim wind data op locatie Wandelaar getoond zoals ze gebruikt worden door de TELEMAC2D-TOMAWAC en SWAN-COHERENS model. Zoals in vorige rapporten al aangehaald, kan men zien dat de ERA-Interim windvelden vrij goed overeenkomen met de gemeten Wandelaar. Noteer dat de waargenomen winden gecorrigeerd werden met een factor 0.9 voor meethoogte t.o.v. 10m windvelden in ERA-Interim. Deze calibratiefactor is iets kleiner dan de factor die gehanteerd wordt op de website van het meetnet Vlaamse banken (ratio tussen de Gemiddelde Windsnelheid op 10 m en de Gemiddelde Windsnelheid op Wandelaar ligt daar rond de 0.92 à 0.93). Het verschil tussen de windsnelheid gebruikt in SWAN-COHERENS en TELEMAC2D-TOMAWAC zit in een calibratiefactor met waarde 1.06 die werd gebruikt in de COHERENS-WAM-SWAN modellentrein in project 212.276. Op de windrichting werd geen correctie toegepast en die is dus voor beide modellen identiek. Voor de verschillende simulaties met TELEMAC-2D - TOMAWAC zijn de windsnelheden uiteraard identiek en kunnen die drie lijnen in Figuur 5 niet onderscheiden worden.

Figuur 6 toont dezelfde golfparameters als Figuur 4 maar dit keer voor op de veel ondiepere locatie Trapegeer. In het bovenste paneel van Figuur 6, wordt de significante golfhoogte met de vier modelconfiguraties getoond. Voor de periode van de Sinterklaasstorm zien we dat de pieken van de golfhoogtes overschat worden door de simulaties met TELEMAC-2D - TOMAWAC, zowel voor de dynamisch gekoppelde als de offline gekoppelde versie. Over het algemeen is er wel nauwelijks verschil tussen de online and offline gekoppelde versie van het kuststrookmodel. In het kuststrookmodel worden ook de andere pieken in de golfhoogte wat overschat. Het valt op dat de overschatting van de golfhoogte gepaard gaat met een onderschatting van de gemiddelde periode T_{m02} (tweede paneel in Figuur 6). Bijvoorbeeld tijdens de Sinterklaasstorm (rond 6 december) wordt de gemiddelde periode T_{m02} onderschat door de berekeningen met het kuststrookmodel. Eigenaardig genoeg zijn de berekende gemiddelde periodes van het online gekoppelde Noordzeemodel wel vrij goed.

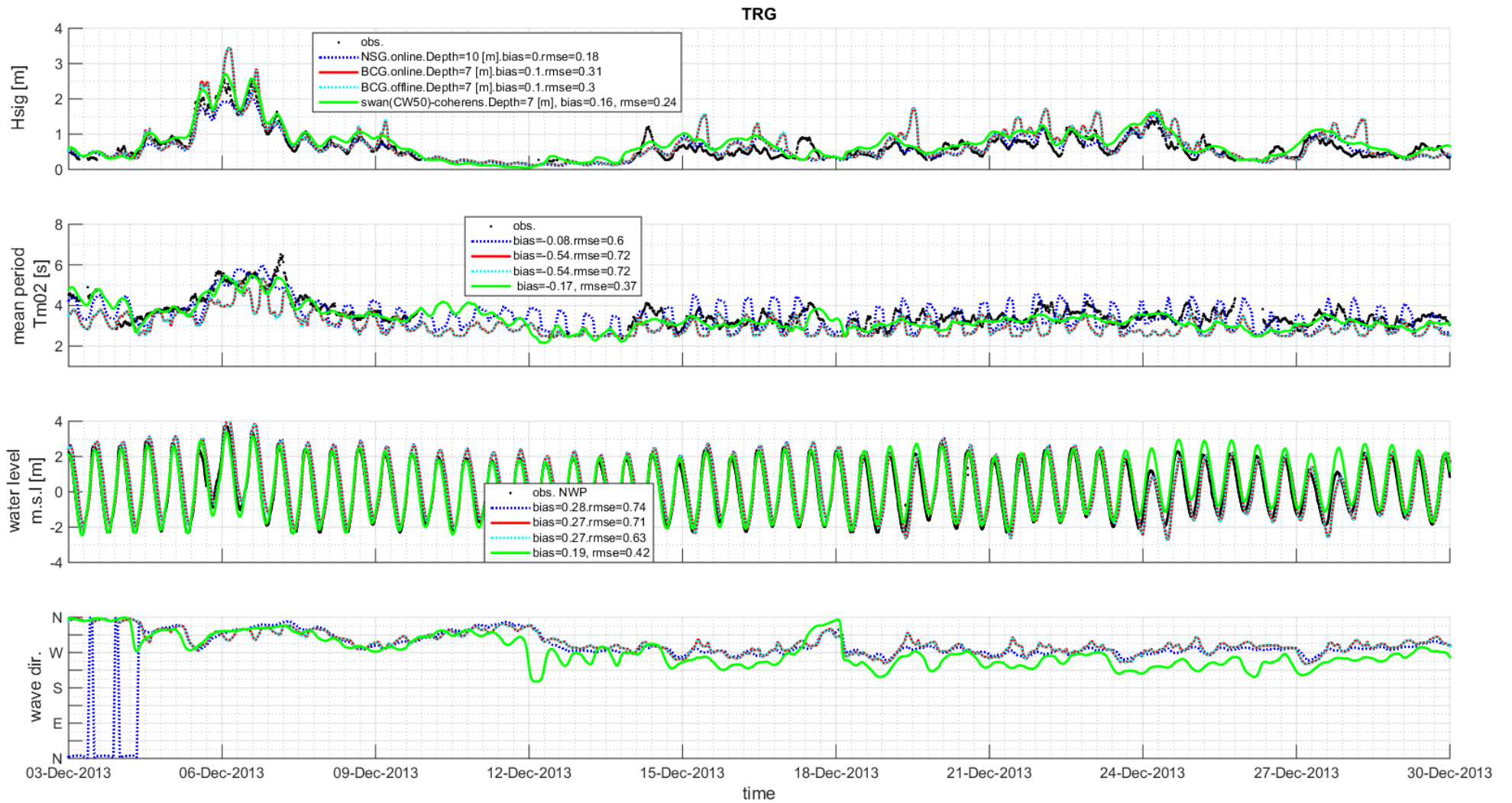
Ter illustratie worden in Figuur 7 en Figuur 8 enkele energiespectra op Westhinder en Trapegeer getoond om middernacht op 5, 6, 7 en 8 december (periode Sinterklaasstorm). In elk van deze figuren worden ook de gemeten spectra en de spectra verkregen met de SWAN-COHERENS simulatie getoond. Afhankelijk van het moment doet het ene model het beter dan het andere. Dit zal in het volgend rapport in meer detail worden uitgewerkt wanneer de resultaten voor een langere periode met elkaar zullen vergeleken worden.



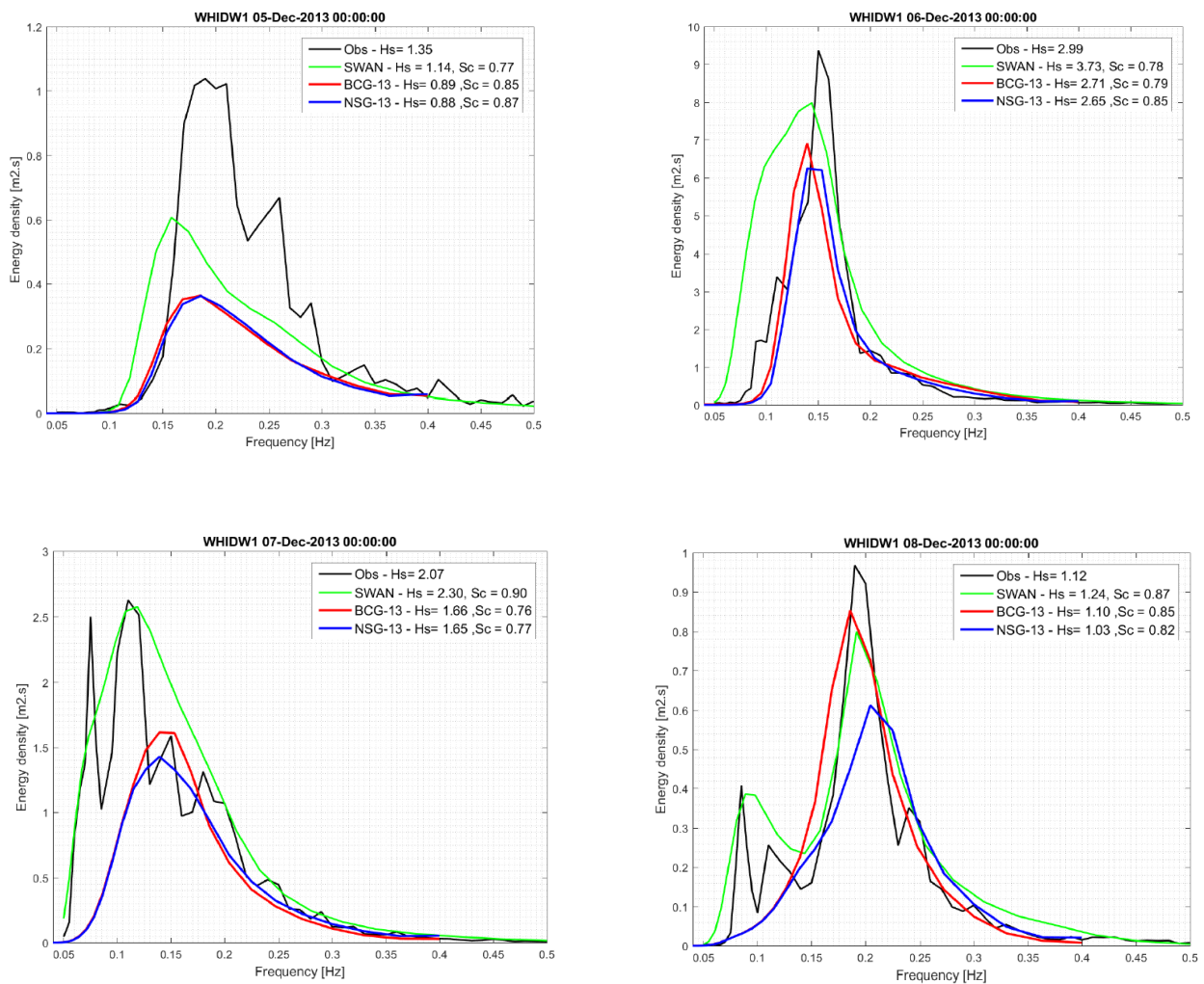
Figuur 4. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Westhinder met die berekend door TELEMAC2D - TOMAWAC en SWAN-COHERENS met settings CW50.



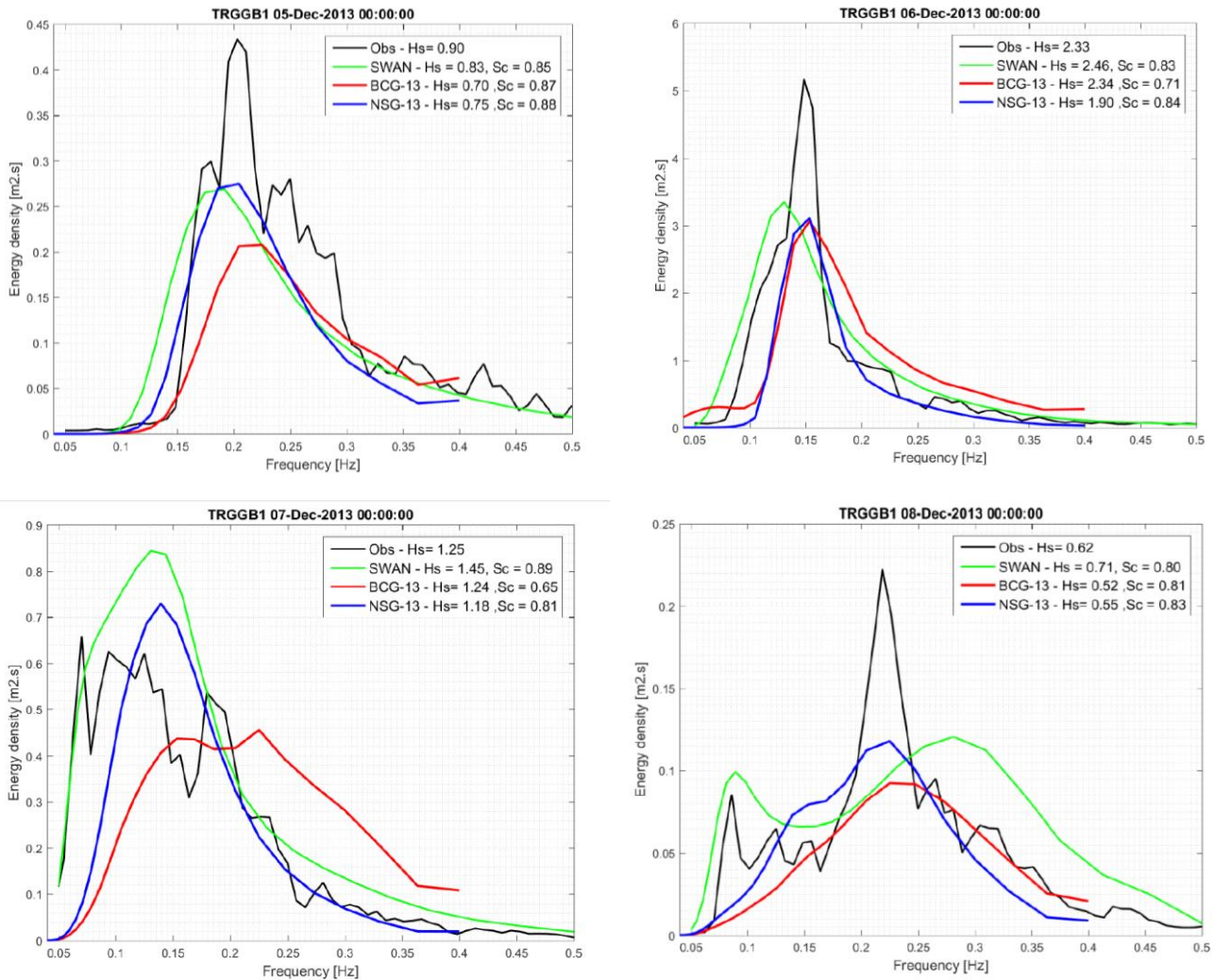
Figuur 5. Vergelijking gemeten windsnelheid en windrichting op locatie Wandelaar (gecorrigeerd met een factor 0.9 voor meethoogte) met die van ERA-Interim die gebruikt werd door de modellen. De windsnelheid gebruikt door SWAN-COHERENS model is een beetje hoger omwille van een windcalibratiefactor met waarde 1.06 gebruikt voor dit model.



Figuur 6. Vergelijking gemeten significante golfoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Trapegeer met die berekend door TELEMAC-2D - TOMAWAC en SWAN-COHERENS met settings CW50.



Figuur 7. Energiespectra locatie Westhinder op 5, 6, 7 en 8 december 2013 (periode van de Sinterklaasstorm). Merk op dat de verticale schaal verschillend is in de verschillende plots. De getoonde simulaties zijn afkomstig van de online gekoppelde modellen TLEMAC-2D – TOMAWAC Noordzeemodel (NSG – blauwe lijn) en kuststrookmodel (BCG – rode lijn), het SWAN-COHERENS model met settings CW50 (groene lijn) en meetgegevens (zwarte lijn).



Figuur 8. Energiespectra locatie Trapegeer op 5, 6, 7 en 8 december 2013 (periode van de Sinterklaasstorm). Merk op dat de verticale schaal verschillend is in de verschillende plots. De getoonde simulaties zijn afkomstig van de online gekoppelde modellen TLEMAC-2D – TOMAWAC Noordzeemodel (NSG – blauwe lijn) en kuststrookmodel (BCG – rode lijn), het SWAN-COHERENS model met settings CW50 (groene lijn) en meetgegevens (zwarte lijn).

4. Samenvatting, conclusies en verdere stappen

De implementatie van het TELEMAC-2D en TOMAWAC kuststrookmodel werd beschreven in een vroeger rapport 214.341_R03. In dit rapport werd dit uitgebreid door de twee modellen zowel offline als dynamisch (online) te koppelen. Bij offline koppeling wordt de informatie met betrekking tot waterstanden en stromingen eerst berekend met het TELEMAC-2D model. Pas daarna wordt het TOMAWAC model opgestart en wordt die informatie offline ingelezen. Bij een dynamische koppeling lopen de twee modellen gelijktijdig en wordt er op geregelde tijdstippen informatie uitgewisseld tussen het stromingsmodel en het golfmodel maar ook tussen het golfmodel en het stromingsmodel. Hierbij is het noodzakelijk dat het TELEMAC-2D en het TOMAWAC model gebruik maken van hetzelfde rekenrooster. Door de uitwisseling van waterstanden en stromingsvectoren uit het stromingsmodel wordt in het golfmodel rekening gehouden met de modulatie door getij en meteo. Door de uitwisseling van golfgeïnduceerde krachten (gradiënten in radiation stress) bij de online koppeling worden golfgeïnduceerde opzet en golfgeïnduceerde stromingen mee in rekening gebracht in het hydrodynamisch model.

De bekomen resultaten werden enerzijds onderling vergeleken en anderzijds ook vergeleken met de resultaten van het dynamisch gekoppelde TELEMAC-2D - TOMAWAC Noordzeemodel beschreven in rapport 214.341_R04 en het SWAN-COHERENS model. De resultaten voor de gekozen maand december 2013 zijn wel vergelijkbaar maar op het eerste zicht ook niet echt beter dan die verkregen met het Noordzeemodel en ook niet beter dan met het SWAN-COHERENS kuststrookmodel. De bekomen resultaten geven echter wel vertrouwen dat de implementatie gebruik makend van de TELEMAC suite versie v7p1r1 correct is verlopen en dat het aangewezen is om eerst een langere periode te simuleren om verdere conclusies te kunnen trekken. In een volgend rapport (214.341_R06), zal de hierboven beschreven werkwijze gevolgd worden om een simulatie te doen van drie opeenvolgende maanden met daarin enkele specifieke stormen die in meer detail gaan beschreven worden. In dat rapport zullen ook de rekenresultaten op de locaties van de 5 boeien die specifiek voor het Broersbank project werden uitgelegd beschreven worden.

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.
- Rapport 212.176-R06-20150515 *“Monitoring Broersbank - Resultaten Modelling December 2013 - Februari 2015”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 214341_R02_20160430_final. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel golfmodel TOMAWAC”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, April 2016.
- Rapport 214341_R03_20160829_DRAFT. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel Concept kustrookmodel”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, April 2016.
- Rapport 214.341_R04_20160915_DRAFT. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel koppeling TELEMAT-TOMAWAC Noordzee”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, in voorbereiding.

Reference to this report:

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. *Koppeling TELEMAC-TOMAWAC kust. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R03* in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-10-2016.