

Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214.341
Title	Concept Koppeling TELEMAC-TOMAWAC Noordzee
Document nr.	214.341_R04_20161031
Auteur	Homayoon Komijani – KU Leuven Hana Ortega – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	15/09/2016 (draft) 31/10/2016 (final)

Inhoud

LIJST FIGUREN	3
1. INLEIDING	4
1.1. Opzet	4
1.2. Vastgestelde problemen bij de online koppeling.....	5
2. KOPPELING	6
2.1. Algemene achtergrond.....	6
2.1.1. Inleiding.....	6
2.2. Modelgebied en rekenrooster	6
2.2.1. Model gebied.....	6
2.3. Schema voor de koppeling	7
3. RESULTATEN EN DISCUSSIE	8
3.1. Boeilocaties	8
3.2. Resultaten gekoppelde simulatie	8
4. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN VERDERE STAPPEN	14
5. REFERENTIELIJST	15
REFERENCE TO THIS REPORT:	16

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..... 6
- Figuur 2. Schematische weergave werkwijze gekoppelde berekeningen Noordzee rekenrooster TELEMAC-2D en TOMAWAC. De uitvoerbestanden spectral_res_NOS.slf en tele_res_NOS.slf zullen gebruikt worden voor de simulaties van het kuststrookmodel (BCG: Belgain Coastal Grid). 7
- Figuur 3. Locatie van de Westhinder en de Trapegeer boei wordt aangeduid met een grijze driehoek. De locatie van de vijf boeien specifiek voor het 'Broersbank' project worden aangeduid met rode stippen. 8
- 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. De kleurencode is dezelfde voor de verschillende subplots. 11
- Figuur 5. Vergelijking gemeten windsnelheid en windrichting op locatie Wandelaar met die van ERA-Interim die gebruikt werd door de modellen. De windsnelheid gebruikt door SWAN-Coherens model suite is een beetje hoger alhoewel het wind source hetzelfde is. De reden daarvan is dat een coëfficiënt van 1.06 is gebruikt in SWAN maar niet in TOMAWAC. 12
- Figuur 6. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Trapegeer met die berekend door TELEMAC2D-TOMAWAC en SWAN-Coherens met settings CW50. De kleurencode is dezelfde voor de verschillende subplots. 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 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 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-2D (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.

In twee vorige rapporten met name de rapporten 214.341_R01 and 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 berekend met het hydrodynamisch model off-line ingelezen door het golfmodel. Er is geen terugkoppeling van het effect van de golven op de hydrodynamische modellering. In voorliggend rapport zal de dynamische koppeling (online koppeling) tussen het TELEMAC-2D en TOMAWAC besproken worden. Bij online koppeling wordt niet alleen informatie (waterstanden en stromingen) van het hydrodynamisch TELEMAC-2D uitgewisseld met het spectraal golfmodel TOWAWAC, maar wordt er ook informatie (golfgeïnduceerde krachten) van het golfmodel TOMAWAC uitgewisseld met het TELEMAC-2D model. De twee modellen lopen dus gelijktijdig en wisselen op geregelde tijdstippen informatie uit.

1.2. Vastgestelde problemen bij de online koppeling

Er zijn niettegenstaande de beschikbare ervaring, heel wat problemen geweest bij het opzetten en valideren van het TELEMAC-2D en TOMAWAC model, in het bijzonder met de dynamische (online) koppeling. Om die problemen wat te kunnen kaderen, lijkt het goed om even de verschillende modelversies van de TELEMAC-suite gebruikt in dit project kort toe te lichten. De eerste versie van TELEMAC-2D en TOMAWAC gebruikt binnen dit project was versie v6p3r2 (release rond mei 2014). Heel wat interne routines ontwikkeld door KU Leuven in het kader van het doctoraat van Giardino (2008) hadden een update nodig om compatibel te zijn met deze v6p3r2 versie. Nadat dit was gebeurd, werden bij het effectieve gebruik van deze versie 6p3r2 echter nog heel wat problemen vastgesteld meestal gerelateerd aan enerzijds de optie om in sferische of cartesische coördinaten te werken en anderzijds gerelateerd aan de offline en online koppeling van de twee modellen. Om deze problemen op te lossen was er regelmatig contact met de ontwikkelaars van het model via het professioneel forum van het TELEMAC-team (o.a. communicaties met kenmerk #19360, #19656, #19814, #22191 en #22216 kunnen hier vermeld worden). Ondertussen werden ook nieuwe versies van de TELEMAC software vrijgegeven. Version v7p0r0 werd vrijgegeven in maart 2015. In die versie was weliswaar het probleem met de sferische coördinaten opgelost, maar het probleem met de online koppeling was nog steeds aanwezig. Uiteindelijk werd dit probleem pas opgelost met de komst van versie v7p1r1 in mei 2016. Het is pas vanaf dan versie dat de optie voor online koppeling geen problemen meer leek op te leveren. De rekenresultaten worden verder in dit rapport toegelicht.

2. Koppeling

2.1. Algemene achtergrond

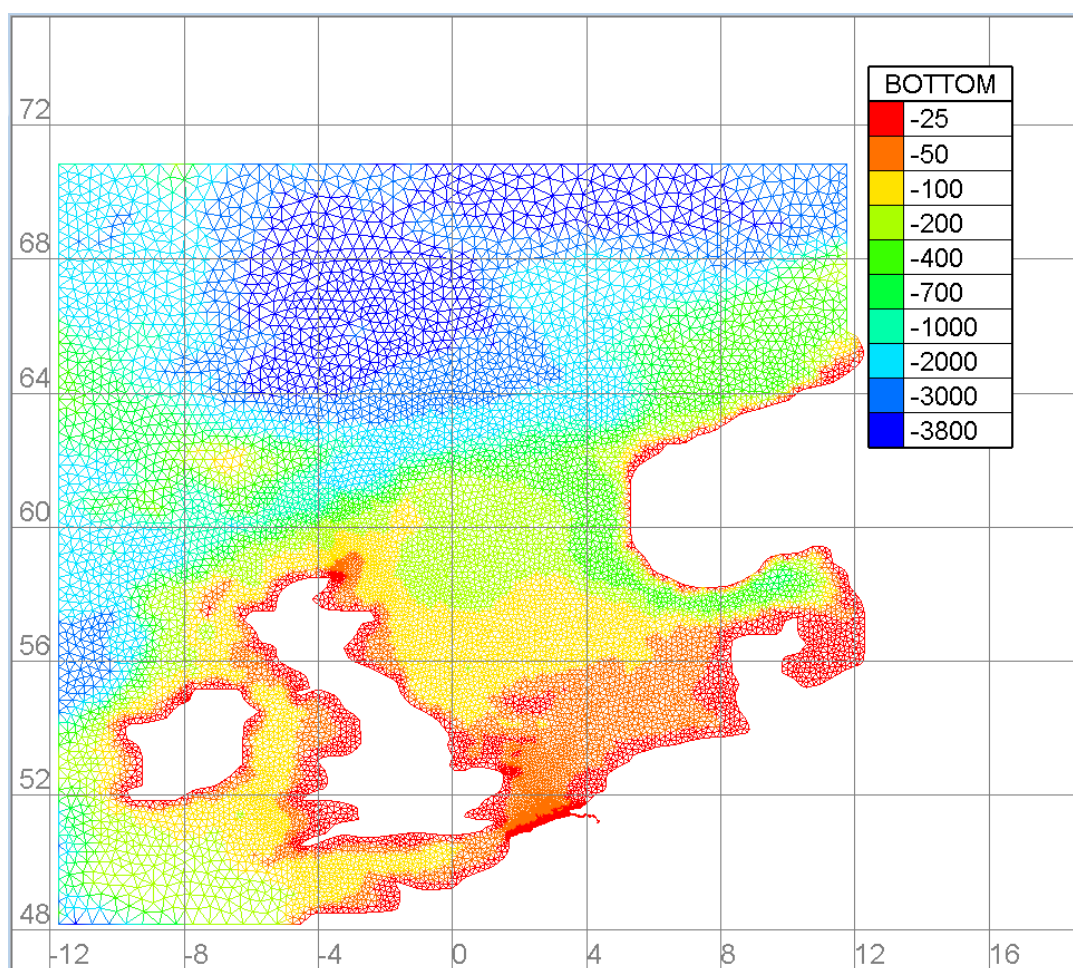
2.1.1. Inleiding

De opzet van het TELMAC-2D en het TOWAWAC model voor de Noordzee werd in vorige rapporten, rapport 214.341_R01 voor het TELMAC-2D model en rapport 214.341_R02 voor het TOMAWAC model, in meer detail beschreven en zal hier niet herhaald worden. Wel wordt hieronder ter herinnering het modelgebied en rekenrooster kort herhaald.

2.2. Modelgebied en rekenrooster

2.2.1. Model gebied

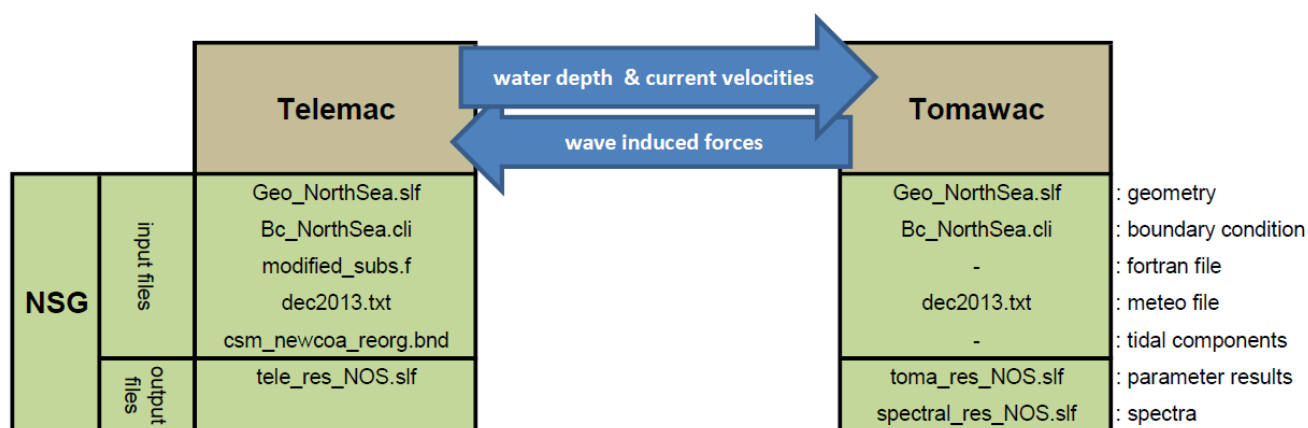
Het modelgebied en rekenrooster, zie Figuur 1, zijn identiek voor het TELMAC_2D model en het TOMAWAC model. Voor de dynamische koppeling tussen het golfmodel en het stromingsmodel is dat namelijk een vereiste. Het modelgebied strekt zich dus uit van 47.8333 N tot 71.1667 N en van 12.25 W tot 12.25 E.



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.

2.3. Schema voor de koppeling

In Figuur 2 wordt schematisch het werkschema gegeven voor de aanlevering van gekoppelde rekenresultaten op het rekenrooster van het Noordzee. Er wordt niet enkel informatie uitgewisseld van het hydrodynamisch model naar het golfmodel maar ook van het golfmodel naar het hydrodynamisch model. Bij elke koppelingstijdstap worden de waterstanden en stroomsnelheden van de TELEMAC-2D model naar de TOMAWAC model verstuurd en tegelijkertijd worden golf-geïnduceerde krachten van de TOMAWAC model naar de TELEMAC-2D verstuurd. Als voorbeeld wordt hier de simulatie voor de maand december 2013 genomen. In de file 'dec2013.txt' zit de ECMWF ERA-Interim meteorologische data voor december 2013. In de file Geo_Northsea.slf zit de Noordzee rekenrooster en bathymetrie. In de file modified_subs.f zitten een paar routines die voor dit specifiek geval werden aangepast in verband met rekenrooster, coördinatie, lezen en processen van meteorologische data. De output files van deze run worden dan gebruikt als inputfiles voor de geneste run van het kuststrook rekenrooster (zie vorig rapport 214.341_R03 voor een beschrijving van dat kuststrookmodel).

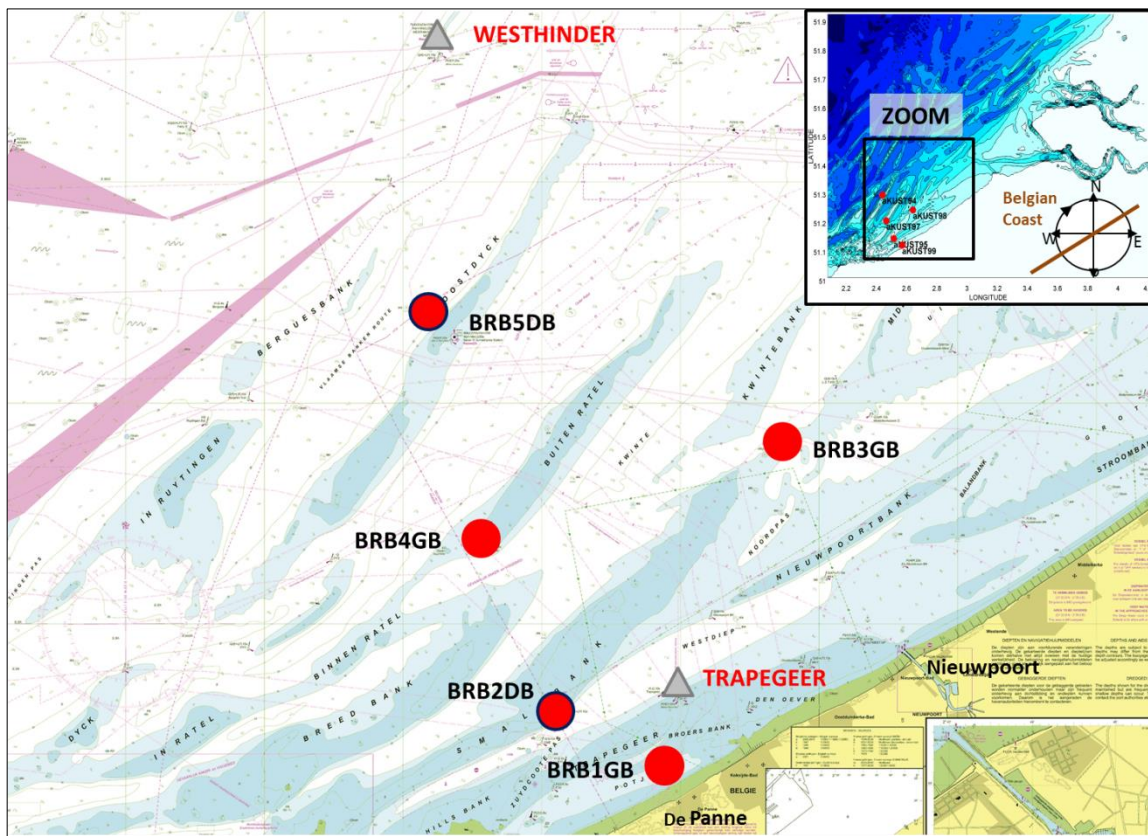


Figuur 2. Schematische weergave werkwijze gekoppelde berekeningen Noordzee rekenrooster TELEMAC-2D en TOMAWAC. De uitvoerbestanden spectral_res_NOS.slf en tele_res_NOS.slf zullen gebruikt worden voor de simulaties van het kuststrookmodel (BCG: Belgain Coastal Grid).

3. Resultaten en discussie

3.1. Boeilocaties

De resultaten van de simulaties voor het online gekoppelde model voor de Noordzee zullen hier getoond worden op twee locaties, Westhinder en Trapegeer, zie Figuur 3. Naast de simulaties van het gekoppelde model worden ook de golfmeetgegevens en de simulaties met het SWAN-golfmodel getoond. De simulatieresultaten voor de vijf boeien specifiek uitgelegd voor het Broersbank project, worden hier niet besproken maar zullen aan bod komen in een volgend rapport waarin de resultaten van de berekeningen met het online gekoppelde kuststrookmodel voor een langere simulatieperiode worden besproken.



Figuur 3. Locatie van de Westhinder en de Trapegeer boei wordt aangeduid met een grijze driehoek. De locatie van de vijf boeien specifiek voor het 'Broersbank' project worden aangeduid met rode stippen.

3.2. Resultaten gekoppelde simulatie

In Figuur 4 en Figuur 6 worden simulatieresultaten afkomstig van het gekoppelde TELEMAC-2D en-TOMAWAC Noordzeemodel (NSG) getoond voor enkele golfparameters (significante golfhoogte H_{m0} , gemiddelde golfperiode T_{m02} en golfrichting). In Figuur 5 wordt ook de gemeten en in het model gebruikte windsnelheid en windrichting getoond. Ter vergelijking worden ook simulatieresultaten verkregen met het SWAN-Coherens (CW50 model settings) model getoond, alsook de gemeten waarden. Om het overzichtelijk te houden werden

dezelfde kleuren gebruikt in deze drie figuren. Om de figuren niet te overladen werd de kleurenlegende voor de verschillende simulaties slechts 1 maal getoond. In de cyaankleur worden de resultaten bekomen met het dynamisch gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC model versie 7p0r0 getoond. In rood worden de resultaten getoond met TELEMAC-2D en TOMAWAC versie v7p1r1 getoond. Dit keer is de koppeling echter offline (de waterdieptes en stromingssnelheden worden vooraf berekend met TELEMAC-2D en daarna ingelezen door TOMAWAC). Tenslotte wordt ook in blauw de berekeningsresultaten getoond met de online gekoppelde versie 7p1r1. Door de resultaten van de twee online gekoppelde versies van TELEMAC-2D en TOMAWAC te tonen, willen we meegeven dat er problemen waren met alle versies tot en met versie v7p1r0. De problemen bevonden zich in de online koppelingmodule en zijn met de komst van versie v7p1r1 opgelost.

Ter vergelijking worden ook de SWAN-Coherens (settings CW50) kuststrookmodelresultaten getoond in het groen. Merk hierbij op dat de koppeling tussen SWAN en Coherens offline is. Settings CW50 wijst op het feit dat WAM berekende golfspectra als randvoorwaarden werden gebruikt voor het SWAN model. De details hiervan zijn terug te vinden in Rapport 212.176-R06-20150515.

In de twee bovenste panelen van Figuur 4, kan men de significante golfhoogte H_{m0} en de golfperiode T_{m02} bekijken voor de locatie Westhinder. Dit punt ligt in relatief diep water en wordt gebruikt als randpunt voor het kuststrookmodel (BCG). Op dit punt krijgen we een idee omtrent de kwaliteit van de berekende golf randvoorwaarden voor het kuststrookmodel (zie ook volgend rapport 214.341_R05). Het is duidelijk dat de getoonde resultaten voor de dynamisch gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC versie 7p0r0 (cyaankleurige lijn) wijzen op een overschatting van de berekende golfhoogte H_{m0} voor de stormperiode van 25th of December 2013. In tegenstelling daarmee is er weinig verschil in de berekende golfparameters voor de offline gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC run met versie 7p1r1 (de rode lijn) en de online gekoppelde versie 7p1r1 (de blauwe lijn). Dit is in lijn met wat verwacht wordt en we kunnen dan ook stellen dat vanaf versie 7p1r1 de online koppeling module van TELEMAC-2D en TOMAWAC (eindelijk) naar behoren werkt.

Deze vaststellingen worden ook bevestigd door de waardes van de bias en rmse statistische parameters. Met de online koppeling versie 7p0r0 (cyaankleur) krijgen we waarden van 43cm voor de bias en 70cm voor de rmse, beduidend slechter dan met de twee andere runs. De online gekoppelde run met versie 7p1r1 (blauwe lijn) resulteert in een iets kleinere bias dan de dynamisch gekoppelde run. De rmse waardes zijn echter vrijwel gelijk. Het is voorbarig om op basis van berekeningen voor 1 maand te stellen dat de online koppeling effectief betere resultaten oplevert dan de offline gekoppelde versie, maar het is wel een aanwijzing dat de online koppeling module nu naar behoren werkt. In vergelijking met de SWAN berekeningen, zien we hier gelijke waarden voor de bias, maar toch licht hogere waarden voor de rmse.

Wanneer gekeken wordt naar de berekende T_{m02} golfperiodes, zien we een aanzienlijke verbetering met de laatste versie 7p1r1 van TELEMAC-2D en TOMAWAC gekoppelde model t.o.v. de oudere dynamische gekoppelde versie 7p0r0. De SWAN-Coherens resultaten hebben ongeveer dezelfde bias maar een iets kleinere rmse. De

TELEMAC-2D – TOMAWAC simulaties vertonen een iets sterkere modulatie van de gemiddelde periode door de getijdenwerking.

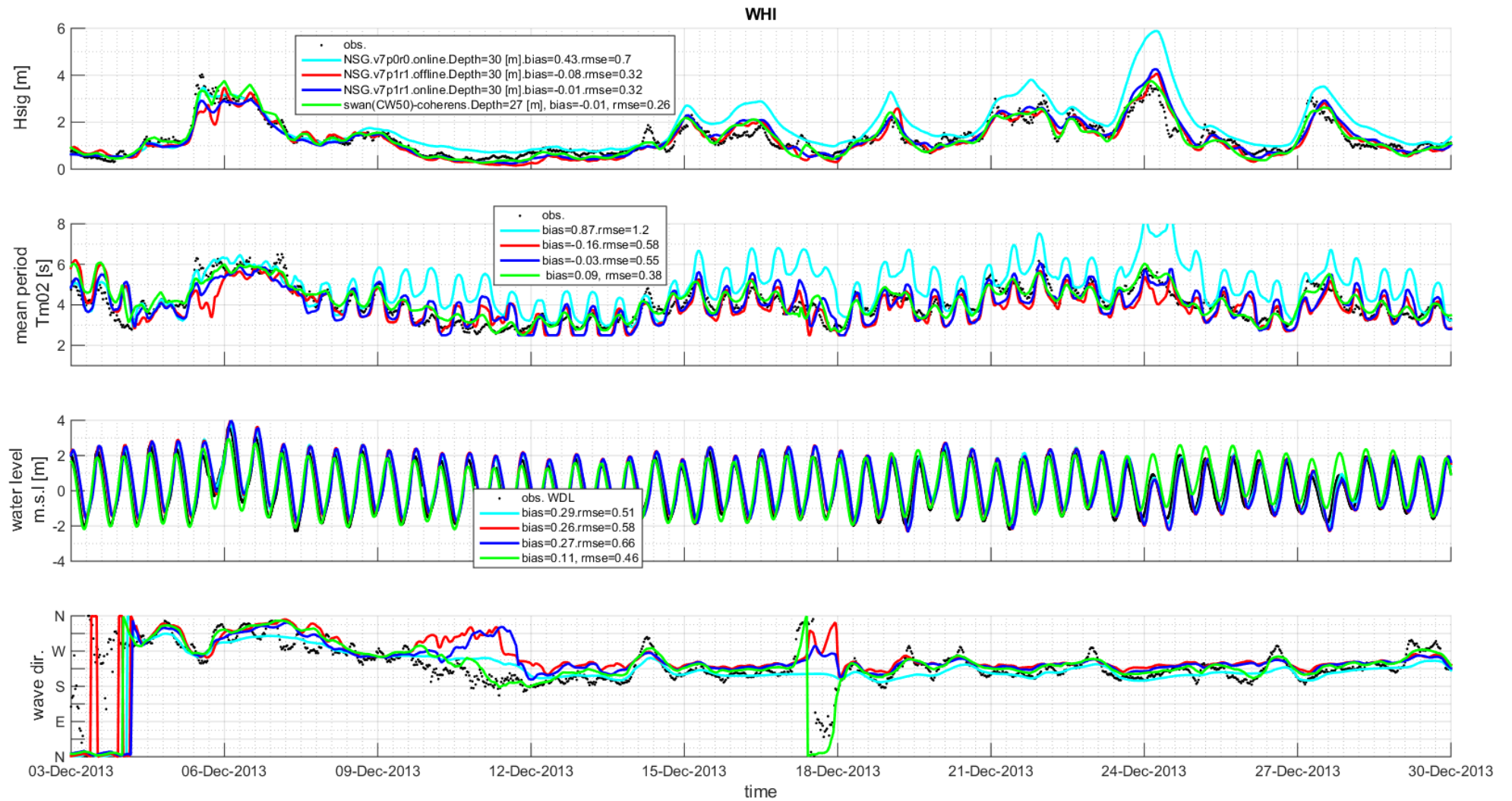
Ook de golfrichting wordt vrij goed gesimuleerd. Toch merken we daar wat afwijking (vooral rond 10-12 december 2015 en bij relatief kleine golfhoogtes) t.o.v. de meetwaarden en de SWAN berekeningen. Dit moet met aandacht opgevolgd worden.

In het derde paneel van Figuur 4 worden de waterstanden getoond voor de vier simulaties samen met de metingen op Wandelaar (op locatie Westhinder ontbraken metingen voor een deel van de getoonde periode). De waterstanden met het COHERENS model zijn volgens de statistische parameters iets beter. Toch kunnen we stellen dat ook de waterstanden berekend met het TELEMAC-2D model vrij goed zijn en dit voor elk van de verschillende versies. De afwijkende waarden voor de golfhoogtes bij de oudere online gekoppelde modelversies zijn dus niet direct te wijten aan afwijkende waterstanden, noch aan het TOMAWAC programma zelf, maar aan problemen binnen de koppelingsmodule.

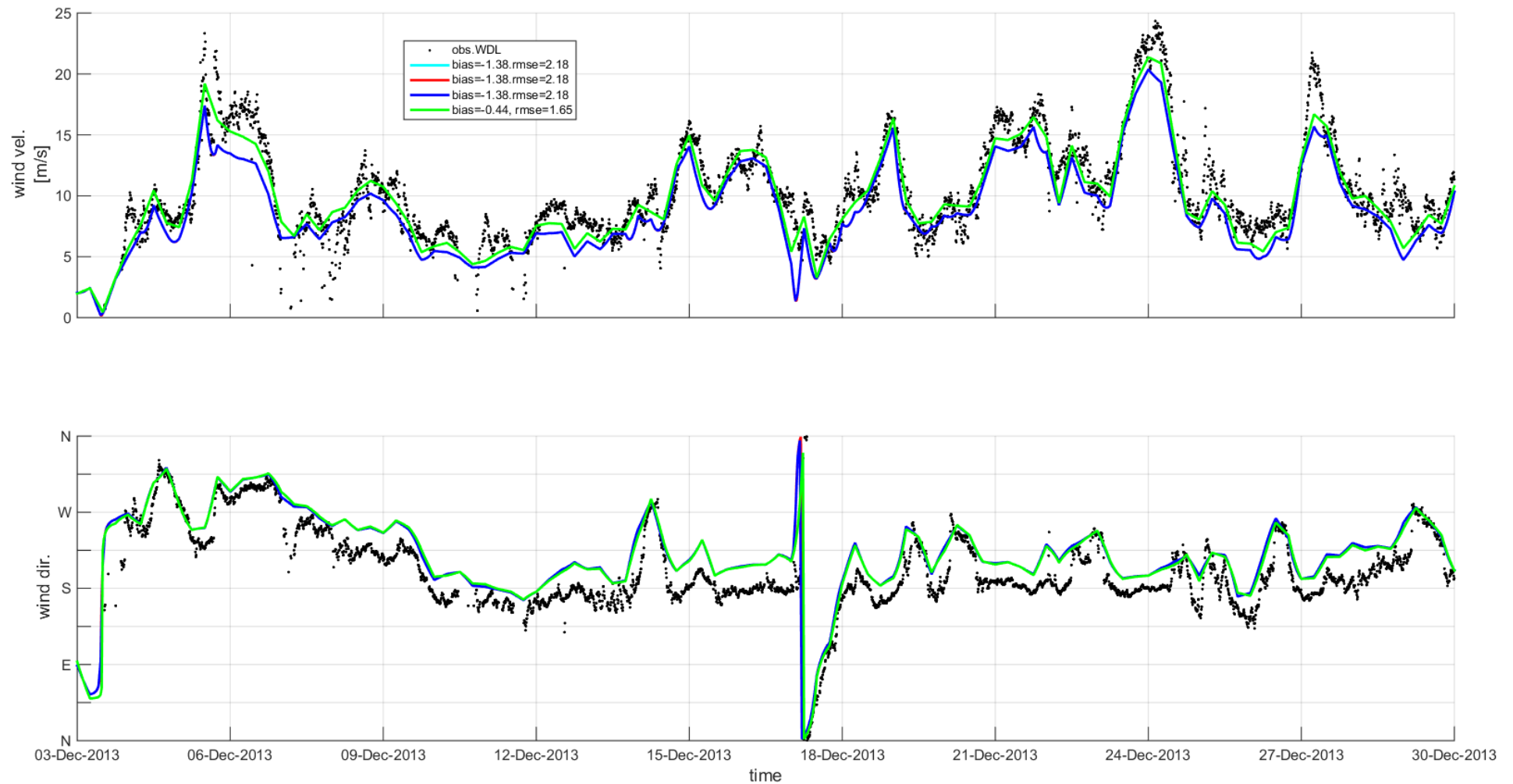
In Figuur 5 kan men een vergelijking vinden tussen de gebruikte ERA-Interim wind data en de metingen op Wandelaar. Het is zoals vroeger al aangehaald duidelijk dat globaal gezien de ERA-Interim wind data kwalitatief zeer goed zijn. Alhoewel SWAN-Coherens en TELEMAC-2D en TOMAWAC dezelfde ERA-Interim informatiebron voor de windvelden gebruiken, kan men toch een verschil opmerken tussen de gebruikte windvelden voor de twee modellen. Het verschil zit in een calibratiefactor met waarde 1.06 die gebruikt wordt op basis van de calibratie voor het WAM spectraal golfmodel dat de randvoorwaarden aanlevert voor het SWAN model (zie Rapport 212.176-R06-20150515 van project 212.276). Dit verschil is merkbaar tussen de groene (SWAN) en blauwe lijn (TELEMAC-2D en TOMAWAC).

Figuur 6 geeft dezelfde informatie weer als Figuur 4 maar dit keer voor de boeilocatie Trapegeer. In het bovenste paneel van Figuur 6, waar de significante golfhoogte H_{m0} wordt getoond voor de vier simulaties, merkt men direct op dat er problemen zijn met de online gekoppelde versie 7p0r0 (cyaankleur) van TELEMAC-2D en TOMAWAC. De eerste storm van 6 december wordt grotendeels gemist. De berekende golfhoogtes voor de storm van 24-25 december daarentegen zijn aanzienlijk hoger dan de gemeten waardes. Het bevestigt de problemen met de online koppeling in deze versie van het TELEMAC-2D en TOMAWAC model. De berekeningresultaten met de correct werkende versie van de dynamisch (=online) koppeling (blauwe lijn, versie 7p1r1) en de offline koppeling (rode lijn, versie 7p1r1) toont daarentegen weer meer realistische waardes. De statistische parameters bias en rmse zijn zelfs iets beter dan deze bekomen met het SWAN-Coherens model. Hetzelfde kunnen we vaststellen voor de T_{m02} gemiddelde periode. Het is niet verstandig om hieruit te besluiten dat de nieuwste versie van TELEMAC-2D en TOMAWAC beter presteert dan het SWAN-Coherens model, maar het geeft wel een indicatie dat de huidige implementatie van het gekoppelde Noordzeemodel verder kan gebruikt worden.

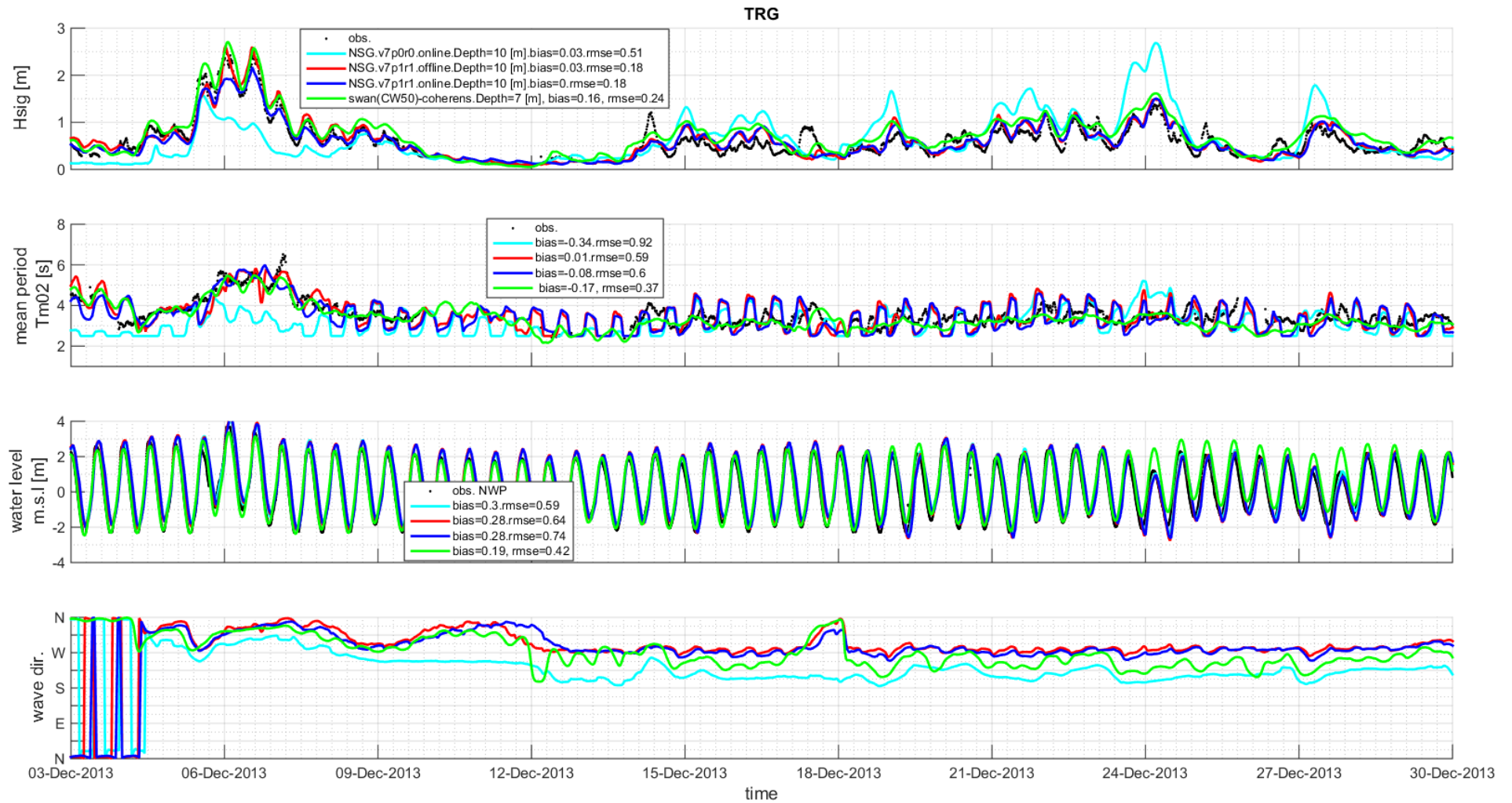
Het derde paneel in Figuur 6 toont gemeten en gesimuleerde waterstanden ter hoogte van Nieuwpoort. Zoals te verwachten uit de vergelijking van de gemeten en gesimuleerde waterstanden op Wandelaar, presteert ook hier Coherens iets beter dan TELEMAC2D.



Figuur 4. Vergelijking gemeten significante golfhogte H_{m0} , golfteriode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Westhinder met die berekend door TELEMAC2D-TOMAWAC en SWAN-Coherens met settings CW50. De kleurencode is dezelfde voor de verschillende subplots.



Figuur 5. Vergelijking gemeten windsnelheid en windrichting op locatie Wandelaar met die van ERA-Interim die gebruikt werd door de modellen. De windsnelheid gebruikt door SWAN-Coherens model suite is een beetje hoger alhoewel het wind source hetzelfde is. De reden daarvan is dat een coëfficiënt van 1.06 is gebruikt in SWAN maar niet in TOMAWAC.



Figuur 6. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} , golfperiode T_{m02} , waterstanden en golfrichting op locatie Trappegeer met die berekend door TELEMAC2D-TOMAWAC en SWAN-Coherens met settings CW50. De kleurencode is dezelfde voor de verschillende subplots.

4. Samenvatting, conclusies en verdere stappen

In voorliggend rapport werd de online koppeling van het TELEMAC2D hydrodynamisch model en het TOMAWAC golfmodel beschreven. Daarbij werden een aantal problemen specifiek voor de koppeling aangehaald bij vroegere versies van deze modelsuite en wordt aangetoond dat bij de laatste versie 7p1r1 de problemen opgelost zijn. De afzonderlijke modellen TELEMAC2D en TOMAWAC werden reeds beschreven in de vroegere rapporten 214.341_R01 en 214.341_R02. Nieuw hier is de online koppeling tussen TELEMAC2D en TOMAWAC. Het hydrodynamisch model en het golfmodel wisselen op geregelde tijdstippen (gemeenschappelijk veelvoud van de integratiestap in het golfmodel en in het stromingsmodel) informatie met elkaar uit. Het hydrodynamisch model levert waterstanden en stromingen aan het golfmodel, en het golfmodel golf-geïnduceerde krachten (gradiënten van de radiation stresses) aan het hydrodynamisch model. Op deze manier kan in het golfmodel rekening gehouden worden met stromingsrefractie en met veranderende waterstand. Op haar beurt kan het hydrodynamisch model rekening houden met golf-geïnduceerde stroming en opzet. Dit laatste is niet het geval bij offline koppeling. Daar wordt meestal enkel in het golfmodel rekening gehouden met informatie afkomstig van het hydrodynamisch model.

De modelgesimuleerde waarden voor de significante golfhoogte H_{m0} en gemiddelde periode T_{m02} bekomen met het dynamisch gekoppelde TELEMAC2D-TOMAWAC model voor de Noordzee zijn vergelijkbaar met die bekomen met het SWAN-Coherens model. Op basis van deze resultaten kunnen we besluiten dat de koppeling werkt voor het Noordzee model en dat dit model bruikbaar is om betrouwbare randvoorwaarden aan te leveren voor een meer gedetailleerd gekoppeld kuststrookmodel. De dynamische koppeling van het kuststrookmodel BCG wordt besproken in het volgend rapport 214.341_R05.

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 Modelleren 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_R05_20160907_DRAFT. *"Vlaamse Baaien – Monitoring "Broersbank" – Conceptmodel koppeling TELEMAT-TOMAWAC kust"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, in voorbereiding.

Reference to this report:

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, J. Monbaliu, 2016. *Concept Koppeling TELEMAC-TOMAWAC Noordzee*. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R04 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 31-10-2016.