

Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214.341
Title	Concept kustrookmodel: TELEMAC-2D-kust en TOMAWAC-kust
Document nr.	214341_R03_20160829_DRAFT
Auteur	Homayoon Komijani – KU Leuven Hana Ortega – KU Leuven Griet Decorte – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	21/04/2016 (internal draft) 29/08/2016 (draft) 31/08/2016 (final)

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
LIJST TABELLEN	4
1. INLEIDING	5
2. OPZET VAN HET KUSTSTROOKMODEL.....	7
2.1. MODELGEBIED EN REKENROOSTER	7
2.1.1. <i>Modelgebied</i>	7
2.1.2. <i>Het eindige elementen rekenrooster</i>	9
2.1.3. <i>Bathymetrie</i>	9
2.1.4. <i>Werken met geneste roosters in TELEMAC-2D en in TOMAWAC</i>	10
3.1. GEBRUIKTE STATISTISCHE PARAMETERS VOOR DE VALIDATIE VAN HET MODEL.....	12
3.2. RESULTATEN VOOR DE HYDRODYNAMISCHE MODELLERING.....	12
3.3. RESULTATEN VOOR DE GOLFMODELLERING	15
4. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN VERDERE STAPPEN	19
5. REFERENTIELIJST	20
REFERENCE TO THIS REPORT:.....	21

Lijst Figuren

Figuur 1. Domein en rekengrid 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 (zie ook Figuur 2). Voor het kuststrookmodel worden sferische coördinaten gebruikt. De horizontale assen zijn daarom lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as).....	7
Figuur 2. Grootte van de elementen (in meter) voor het BCG rekenrooster. De kleur geeft de elementgrootte aan: donkerrood ongeveer 1000m, donkerblauw ongeveer 250m. Merk op dat de coördinaatassen hier in meter zijn gegeven. De Gmesh software gebruikt voor de meshing van het rekengrid werkt enkel in Cartesiaanse coördinaten. Nadien worden de coördinaten van de rekenpunten omgezet naar sferische coördinaten voor gebruik in de TELEMAC-2D en TOMAWAC. (de aanduiding Field 100 wijst op een parameter gebruikt in de Gmesh software voor een filter die de grootte van het rekengrid bepaalt)	8
Figuur 3. De dikke zwarte lijn toont het gebied van het kuststrookmodel BCG binnen het grotere Noordzee-model. Merk op dat dezelfde kleuren worden gebruikt voor de diepteschaal als in Figuur 1.	9
Figuur 4. De golfrandvoorwaarden voor het geneste TOMAWAC kuststrookmodel (BCG) zijn afkomstig van het grotere Noordzee-model. In totaal worden er op 17 locaties dichtbij of op de rand golfspectra, berekend met het TOMAWAC Noordzee-model (NSG), weggeschreven. Deze punten, inclusief knoopnummer in het NSG-model, zijn aangeduid. Het getoonde rekenrooster en de bathymetrie is die van het NSG-model. De zwarte lijn in de figuur is de rand van het BCG kuststrookmodel.	11
Figuur 5. Gemeten (obs. WDL) en TELEMAC-2D berekende waterstanden op locatie Wandelaar (WDL) voor december 2013. Bovenste figuur geeft waterstand aan t.o.v. MSL. De onderstaande figuur de absolute waarde van de stroomsnelheid. De dieptes die worden meegegeven in de figuur, zijn de waterdieptes (t.o.v. MSL) ter plaatse van de rekenknoop in het Noordzee-model (NSG) en het kuststrookmodel (BCG). Voor de stroomsnelheden werden geen bias en geen rmse berekend, gezien er geen metingen beschikbaar waren.....	13
Figuur 6. Idem als in Figuur 5, maar ingezoomd op de Sinterklaasstorm.	13
Figuur 7. Idem als Figuur 5, maar voor locatie Nieuwpoort (NWP).	14
Figuur 8. Idem als in Figuur 7, maar ingezoomd op de Sinterklaasstorm.	14
Figuur 9. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} en golfperiode T_{m02} op locatie Westhinder met die berekend door TOMAWAC-2D. In de onderste figuur wordt ook de gesimuleerde waterstand getoond op locatie Westhinder. Zoals de onderste figuur aangeeft, blijft het waterniveau in het kuststrookmodel BCG constant (er wordt geen informatie uitgewisseld tussen het hydrodynamisch model en het golfmodel).	16

Figuur 10. Vergelijking gemeten significante golfhoogte H_{m0} en golfperiode T_{m02} op locatie Trapegeer met die berekend door TOMAWAC. In de onderste figuur wordt ook de gesimuleerde waterstand getoond op locatie Trapegeer. Zoals de onderste figuur aangeeft, blijft het waterniveau in het kuststrookmodel BCG constant (er wordt geen informatie uitgewisseld tussen het hydrodynamisch model en het golfmodel).....	17
Figuur 11. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Weshinder op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)	18
Figuur 12. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Trapegeer op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)	18

Lijst Tabellen

Tabel 1. Bron (leverancier gegevens) en grid producent van de onderdelen voor de samenstelling van de bathymetrie + aanduiding volgordes van samensmelten. Stappen 0-4 werden uitgevoerd in het project 212.176 en stap 5 in dit project.....	10
---	----

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 zijn mogelijke manieren 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 voorgaande 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. Dit gebeurde enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering door middel van een spectraal golfmodel, gekoppeld aan een hydrodynamisch model om de veranderende waterstanden te kunnen meenemen. Wat betreft de metingen werden eind november 2013 vijf golfboeien (twee directionele en drie niet-directionele) uitgelegd. Deze boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken voor onze kust en zijn momenteel nog steeds operationeel. Qua numerieke modellering werd gebruik gemaakt van de modellen WAM, SWAN en Coherens.

Uit dit voorgaande project is gebleken dat de modelresultaten nog verbeterd kunnen worden. Een goed begrip van de eventuele tekortkomingen in de modellering van de golfdissipatie over zandbanken en het verhelpen van deze lacunes tijdens dit vervolgproject, zullen toelaten om de effecten van de natuurlijke evolutie van mogelijke ingrepen beter in te schatten. Eén van de pistes is het gebruik van een andere modellentrein, namelijk 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 in het kustgebied op basis van het spectraal golfmodel TOMAWAC. Dit model krijgt als naam “TOMAWAC-kust”.

Gezien de waterstanden en de stromingen aan belang winnen naarmate de dieptes kleiner worden, werd er van meet af aan van uitgegaan dat een kuststrookimplementatie zowel voor het TELEMAC-2D hydrodynamisch model als voor het TOMAWAC golfmodel noodzakelijk is. Dit rapport beperkt zich tot het beschrijven van de keuzes die hiertoe gemaakt zijn. Met het oog op de latere dynamische koppelingen tussen het hydrodynamische model en het golfmodel is het noodzakelijk om in beide modellen hetzelfde rekenrooster te gebruiken. Voor het concept TOMAWAC kuststrookmodel werd daarom besloten om nog geen rekening te houden met de hydrodynamica. Dit wil zeggen dat in de golfmodellering voor dit rapport de waterstanden constant worden gehouden (op MSL) en er geen stroomsnelheden worden ingerekend. Wel worden de resultaten getoond voor de waterstanden en de stromingen in het TELEMAC-2D kuststrookmodel. In een latere fase zullen beide modellen wel gekoppeld worden.

De gebruikte windvelden zijn identiek aan deze die gebruikt werden voor het Noordzee-model. De ERA-Interim windvelden zijn gekend om hun hoge kwaliteit en zijn vrij beschikbaar via de ECMWF [website](#). In het project '212176 - Monitoring Broersbank' werd uitvoerig ingegaan op de kwaliteit van deze data, alsook het vrij beschikbaar zijn ervan. Voor de simulaties binnen dit project worden bijgevolg eveneens de atmosferische druk en de windvectoren op 10m hoogte uit de ERA-Interim data gebruikt.

1.2. Kalibratie/Validatie

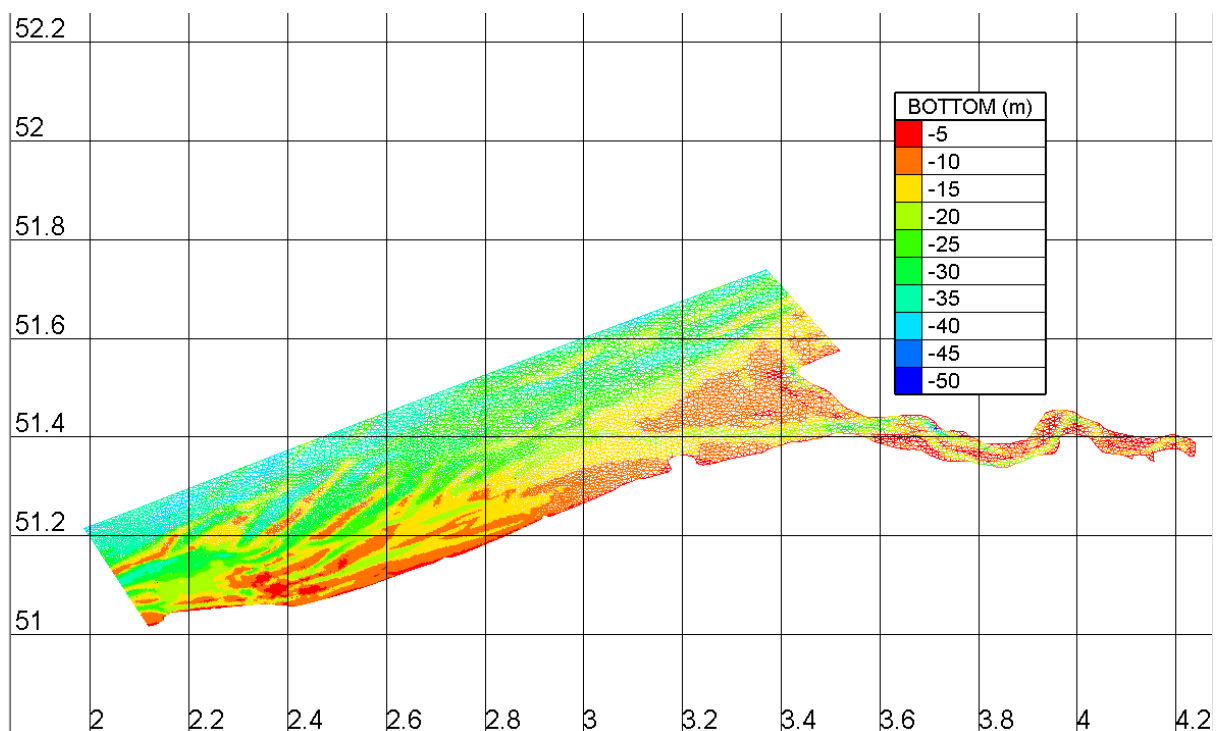
De kalibratie/validatie van het concept TELEMAC-2D-kust hydrodynamisch model en het TOMAWAC-kust golfmodel beperkt zich in deze fase van het opzetten van het model tot het berekenen van de klassieke parameters voor golfhoogte en periode op de locaties Westhinder en Trapegeer. Uiteraard verwachten we dat de waarden van deze statistische parameters vergelijkbaar zullen zijn met wat eerder werd bekomen uit het SWAN-model tijdens het project 212.276 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank". Verwacht wordt dat grote verschillen op deze locaties eerder te wijten zullen zijn aan fouten in de implementatie, dan aan verschillen in de modellering. Aangezien er tot nu toe geen ervaring is met het TOMAWAC model op fijne rekenroosters, is de uiteindelijke nauwkeurigheid van de TOMAWAC modellering met default parameterwaardes voor de verschillende gemodelleerde processen a priori moeilijk in te schatten.

2. Opzet van het kuststrookmodel

2.1. Modelgebied en rekenrooster

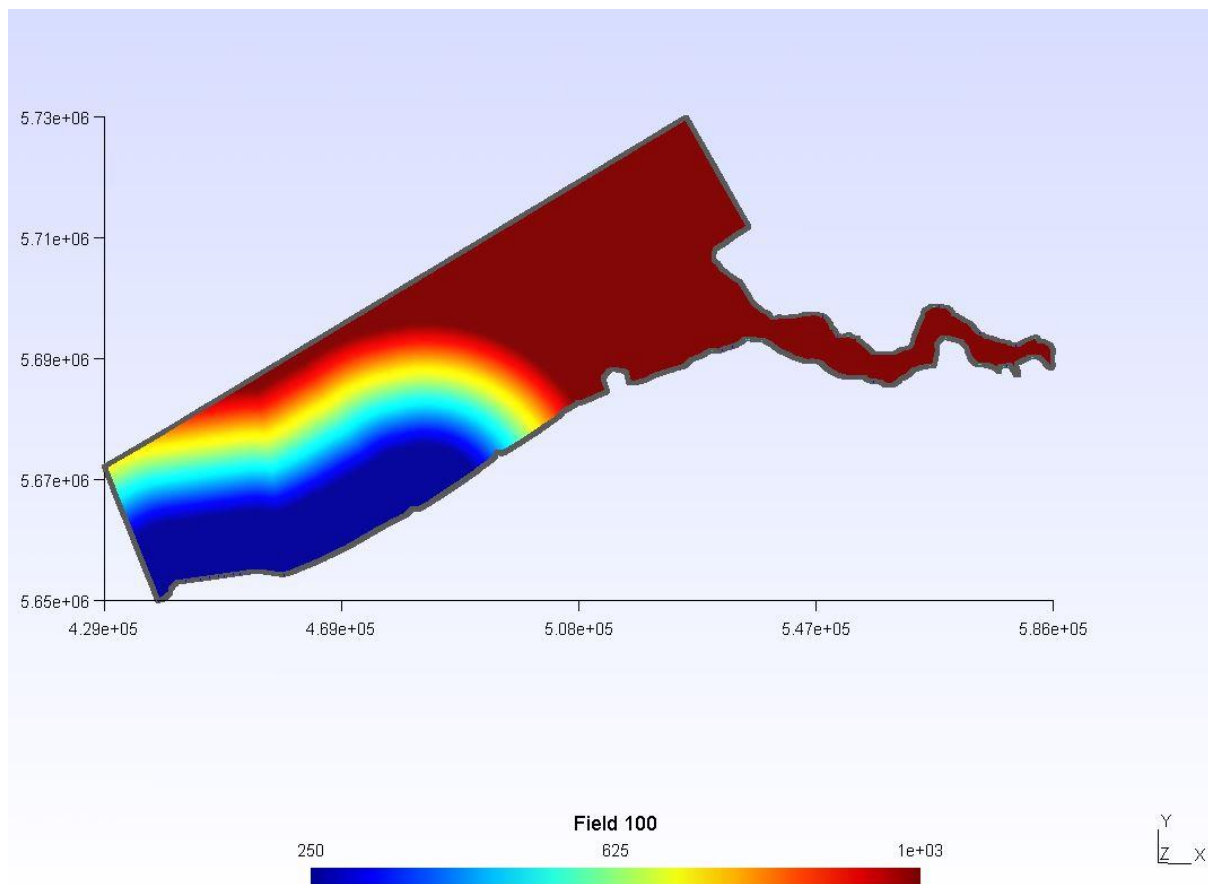
2.1.1. Modelgebied

Het modelgebied en rekenrooster in het geneste TELEMAC_2D kust hydrodynamisch model en TOMAWAC-kust golfmodel zijn identiek. Dit is, zoals eerder aangehaald, een vereiste voor de latere (dynamische) koppeling tussen het golfmodel en het stromingsmodel. Voor het kuststrookmodel werd in de eerste plaats uitgegaan van een gebied vergelijkbaar met dat van het kuststrookmodel in de SWAN modellering. In Figuur 1 worden het gebied en de bathymetrie van dit kuststrookmodel getoond. Het modelgebied bestrijkt zodoende in de langsrichting de volledige Belgische kust en een gedeelte van de Franse en Nederlandse kust (uitbreiding naar het westen en naar het oosten komt qua afstand ongeveer overeen met tweemaal de getij-exkursie) over een zone min of meer parallel met de kust. Daarbij wordt er, met het oog op het kunnen aanleggen van de gemeten golfrandvoorwaarden aan het kuststrookmodel, voor gezorgd dat locatie Westhinder op de noordrand van het model ligt. De uitgebreidheid van dit model werd vastgelegd in overleg met het Waterbouwkundig Laboratorium.



Figuur 1. Domein en rekengrid 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 (zie ook Figuur 2). Voor het kuststrookmodel worden sferische coördinaten gebruikt. De horizontale assen zijn daarom lengtegraad (x-as) en breedtegraad (y-as).

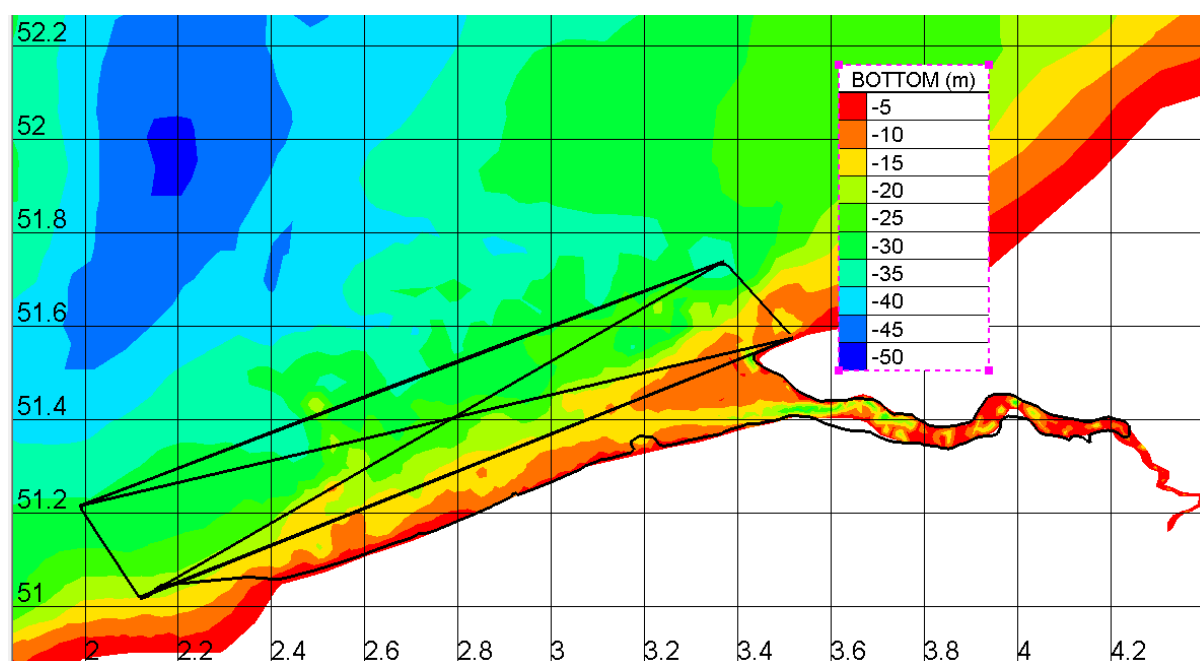
Het rekengrid voor TOMAWAC-kust wordt in de figuren aangeduid als “Belgian coastal grid” (BCG) en bevat 21957 knopen en 43239 elementen (allemaal driehoekige elementen). De resolutie van deze elementen varieert van ongeveer 250m in de zone waar de golfmeetboeien voor de Broersbank-campagne zijn uitgelegd (tussen Weshinder en de kust), tot 1000m op grotere afstand van de studiezone (noordelijke rand en het meer oostelijke deel van het kuststrookmodel). Deze geleidelijke transitie van de grootte van het mesh wordt schematisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2. Grootte van de elementen (in meter) voor het BCG rekenrooster. De kleur geeft de elementgrootte aan: donkerrood ongeveer 1000m, donkerblauw ongeveer 250m. Merk op dat de coördinaatassen hier in meter zijn gegeven. De Gmesh software gebruikt voor de meshing van het rekengrid werkt enkel in Cartesiaanse coördinaten. Nadien worden de coördinaten van de rekenpunten omgezet naar sferische coördinaten voor gebruik in de TELEMAC-2D en TOMAWAC. (de aanduiding Field 100 wijst op een parameter gebruikt in de Gmesh software voor een filter die de grootte van het rekengrid bepaalt)

De diepte op de roosterpunten varieert tussen de 47m en de 0m. Het rekengrid wordt getoond in Figuur 1. In Figuur 3 kan men zien hoe het kuststrookmodel geïntegreerd is in het Noordzee-model (NSG). Uiteraard is de detaillering van de bathymetrie veel uitgesprokener in het kuststrookmodel. Het meest opvallende is echter dat er aan de westzijde een mismatch is tussen het domein van het kuststrookmodel en van het Noordzee-model. De kustlijn in het kuststrookmodel werd afgeleid uit recente satellietfoto's (Google Earth, 2011) met behulp van "Google Earth"-software. De vrij grove resolutie van de kustlijn in het NSG-model (gebaseerd op het model van Giardino, 2008) zorgde ervoor dat het gebied rond het punt (51°N, 2.2°W) als nat werd beschouwd in het NSG. De

nieuwe kustlijn werd daarna nogmaals gecontroleerd om te vermijden dat er natte punten zouden bestaan in het kuststrookmodel (BCG) die in het NSG-model als droog beschouwd worden. Dit zou kunnen leiden tot grote gradiënten in het vrije wateroppervlak die zich dan vertalen in numerieke instabiliteiten in het kuststrookmodel. De noordelijke rand van het kuststrookmodel is 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. In dit station worden verschillende parameters gemeten o.a. golven met een directionele boei, en ook waterstanden en windsnelheden. Deze rand wordt zo gekozen om daar in een later stadium gemeten golfspectra te kunnen aanleggen. Op die manier kunnen de meest correcte golfcondities aangelegd worden voor golven die zich voortplanten van offshore naar onze kust toe.



Figuur 3. De dikke zwarte lijn toont het gebied van het kuststrookmodel BCG binnen het grotere Noordzee-model. Merk op dat dezelfde kleuren worden gebruikt voor de diepteschaal als in Figuur 1.

2.1.2. Het eindige elementen rekenrooster

2.1.3. Bathymetrie

Bij de verfijning van het model werd gebruik gemaakt van de bathymetrie die opgesteld werd voor de modellering met het SWAN-kuststrookmodel in het project '212.176 - Monitoring Broersbank' (zie Rapport 212176-R06-20150515 in Sectie 0: Referentielijst). Daarbij werden de peilingen van het gebied ZUYWE, uitgevoerd in juni 2013 en verwerkt door de dienst Vlaamse Hydrografie, samengevoegd met de bathymetrische gegevens, eveneens afkomstig van de dienst Vlaamse Hydrografie (aangeduid met VH), maar al verwerkt in het Marebasse project (Van Lancker et al., 2007) en later aangevuld in het QUEST4D project door het Waterbouwkundig Laboratorium (aangeduid met WL), zie (Van Lancker et al., 2012). De door de Vlaamse Hydrografie verwerkte 2013 ZUYWE peilingen werden door KU Leuven (aangeduid met KUL) geïmplementeerd op een rekengrid (stap 0-4 in Tabel 1

van 212.176 project). Voor het gedeelte van het grid dat zich op Franse bodem bevindt, werden gegevens van de EMODnet website gebruikt.

Bathymetrie Bron (leverancier) – Bathymetrie Grid (verwerking gegevens)	Datum	Stap	Naamgeving
Marebasse: Peilingen VH – Grid Marebasse	2007	0	Marebasse
Offshore: Peilingen VH – Grid WL	2007	1	Bathy WL 14
Vooroever: Peilingen VH – Grid WL	2009	2	
Koksijde: Peilingen VH – Grid WL	2009-2010	3	Bathy WL 14 KZ = (Bathy WL 14 + Koksijde + ZUYWE)
ZUYWE: Peilingen VH – Grid KUL	Juni 2013	4	
EMODnet website	unknown	5	emodnet

Tabel 1. Bron (leverancier gegevens) en grid producent van de onderdelen voor de samenstelling van de bathymetrie + aanduiding volgordes van samensmelten. Stappen 0-4 werden uitgevoerd in het project 212.176 en stap 5 in dit project.

2.1.4. Werken met geneste roosters in TELEMAC-2D en in TOMAWAC

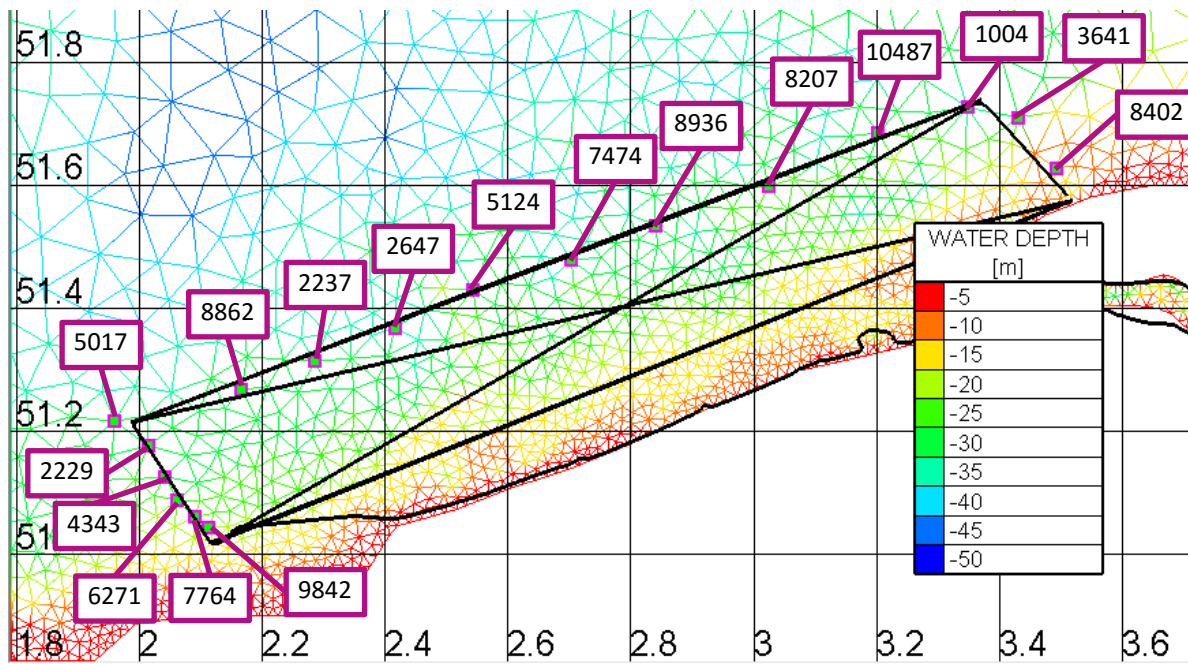
Voorafgaand aan de simulaties in het kuststrookmodel, dienen eerst simulaties op het Noordzee-grid te gebeuren, zodat de randvoorwaarden gekend zijn. Volgende output-files dienen minimaal te worden aangemaakt, zodat ze kunnen gebruikt worden als input voor de runs van het kuststrookmodel:

1. output TELEMAC-2D-NS: bestand (in Selafin-formaat; Selafin is een interne format van de TELEMAC-software) met de componenten van de stroomsnelheid, waterdiepte en positie van het vrij oppervlak (t.o.v. gemiddeld zeeniveau). De componenten van de windsnelheden worden eveneens bijgehouden (maar zijn strikt genomen niet nodig in het kuststrookmodel omdat daar ook de ECMWF windvelden expliciet opgelegd worden).

Bij berekeningen met het kuststrookmodel, leest TELEMAC-2D dit output-bestand en voor elk punt op de rand van het BCG-grid (dikke zwarte lijn in Figuur 3) vindt het programma de drie dichtstbijzijnde roosterpunten in het TELEMAC-2D Noordzee-model. De waterstand wordt zowel in tijd als in ruimte geïnterpoleerd op de randpunten van het BCG-grid. Stroomsnelheden berekend met het Noordzeemodel, worden niet opgelegd aan het kuststrookmodel.

2. output TOMAWAC-NS: bestand in Selafin-formaat met de golfspectra. Dit bestand bevat het volledige golfspectrum op een aantal geselecteerde uitvoerpunten. Het maximum aantal punten dat voorzien is in het programma, is twintig. Momenteel worden 17 randpunten van het kuststrookmodel gebruikt (zie Figuur 3 de knopen 9842 ; 7764 ; 6271 ; 343 ; 2229 ; 5017 ; 8862 ; 2237 ; 2647 ; 5124 ; 7474 ; 8936 ; 8207 ; 10487 ; 1004 ; 3641 ; 8402). Verder worden ook nog de spectra weggeschreven voor de boeilocaties TRG, BRB4GB en BRB5DB. Deze informatie wordt echter niet gebruikt in het kuststrookmodel. Bij de berekeningen met het TOMAWAC kuststrookmodel wordt dit bestand gelezen en aan elk randpunt (dikke

zwarte lijn in Figuur 4) wordt het spectrum van het dichtstbijzijnde output punt (één van de bovengenoemde 17 uitvoerpunten) opgelegd. Er wordt geen interpolatie uitgevoerd (noch in ruimte noch in tijd).



Figuur 4. De golfrandvoorwaarden voor het geneste TOMAWAC kuststrookmodel (BCG) zijn afkomstig van het grotere Noordzee-model. In totaal worden er op 17 locaties dichtbij of op de rand golfspectra, berekend met het TOMAWAC Noordzee-model (NSG), weggeschreven. Deze punten, inclusief knooppnummer in het NSG-model, zijn aangeduid. Het getoonde rekenrooster en de bathymetrie is die van het NSG-model. De zwarte lijn in de figuur is de rand van het BCG kuststrookmodel.

3. Resultaten

3.1. Gebruikte statistische parameters voor de validatie van het model.

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

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

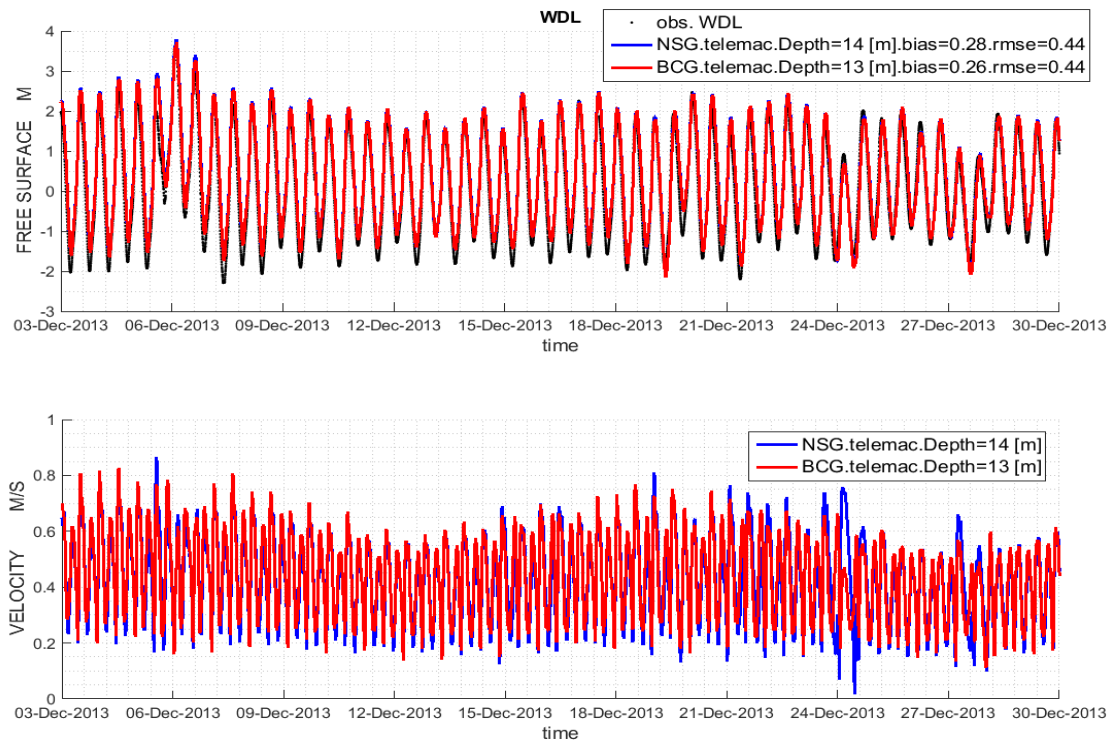
$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i) ; \text{Bias}$$

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

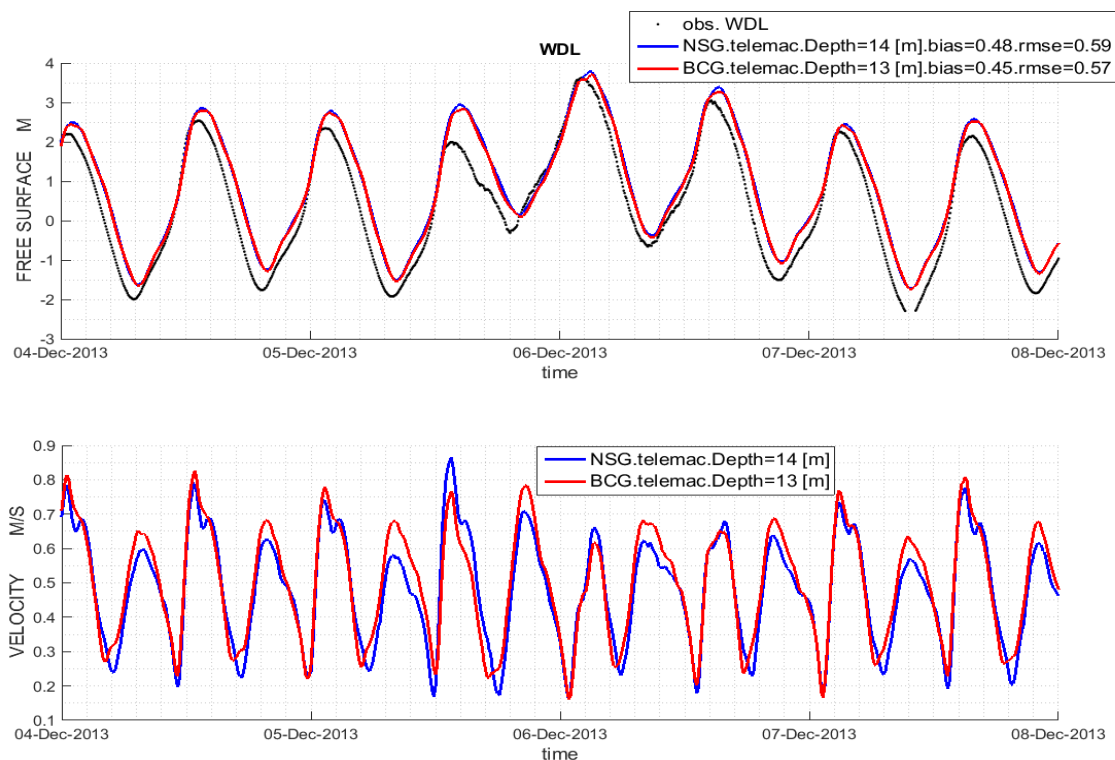
3.2. Resultaten voor de hydrodynamische modellering

Als validatie voor de nesting van het hydrodynamisch model moet in de eerste plaats aangegeven worden dat de waterstanden voor een punt in het projectgebied zowel in het grotere Noordzee-model als in het kleinere kuststrookmodel heel weinig van elkaar verschillen enerzijds, en anderzijds vrij goed de metingen benaderen. Aangezien er veel meer detaillering zit in de bathymetrie van het kuststrookmodel, is het echter te verwachten dat de stroomsnelheden en -richtingen wel heel wat van elkaar kunnen verschillen. Er zijn echter geen gedetailleerde stroommetingen beschikbaar in het projectgebied. Wel is geweten dat waarden tussen de 0 en 1m/s courante grootheden zijn in onze kustwateren.

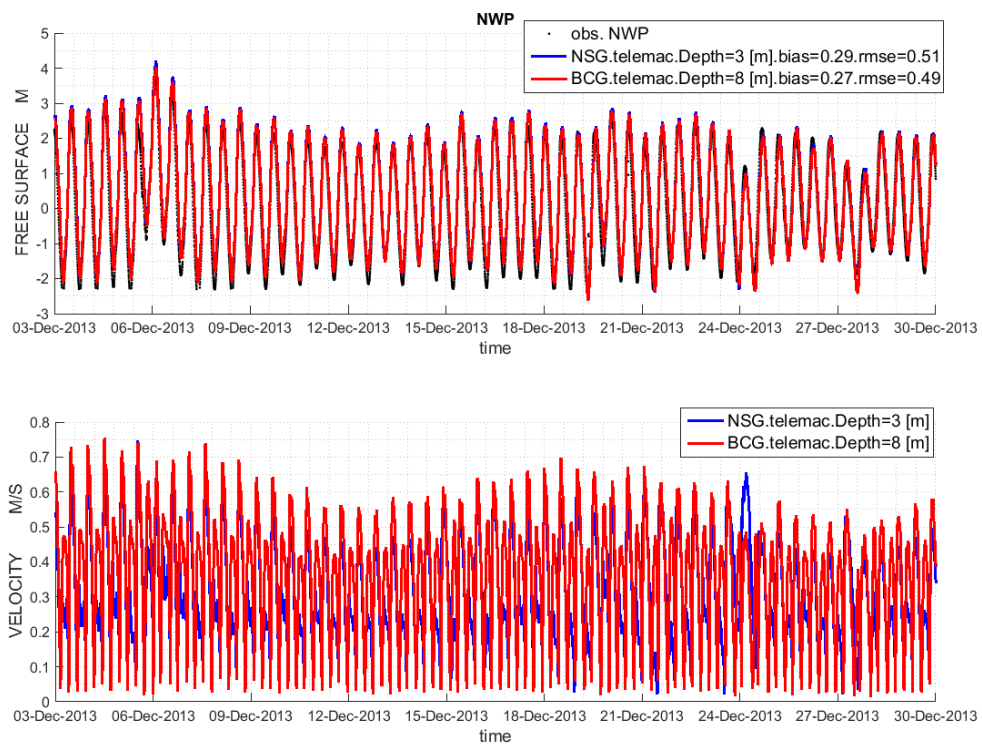
Zoals te verwachten, is er weinig verschil tussen de waterstanden in het Noordzee-model en in het kuststrookmodel, zie Figuur 5 (bovenste figuur). De verschillen in stroomsnelheden zijn iets groter, maar op locatie WDL blijven die nog beperkt, zie Figuur 5 (onderste figuur). In Figuur 6 wordt ingezoomd op de situatie gedurende de Sinterklaasstorm. Deze figuur toont iets grotere verschillen tussen de gemeten en gesimuleerde waterstand op locatie WDL, maar het verschil in waterstand tussen het kuststrookmodel en het Noordzee-model blijven erg klein. Ook naar stroomsnelheden toe blijven de verschillen relatief beperkt op deze locatie voor deze stormperiode. In Figuur 7 en Figuur 8 worden eveneens te resultaten ter hoogte van Nieuwpoort getoond. Ook hier zijn de resultaten voor beide rekengrids vergelijkbaar met minieme verschillen voor de berekende waterstanden en iets grotere verschillen voor de berekende stroomsnelheden. Hieruit kan besloten worden dat het TELEMAC-2D kustgridmodel aanvaardbare resultaten oplevert.



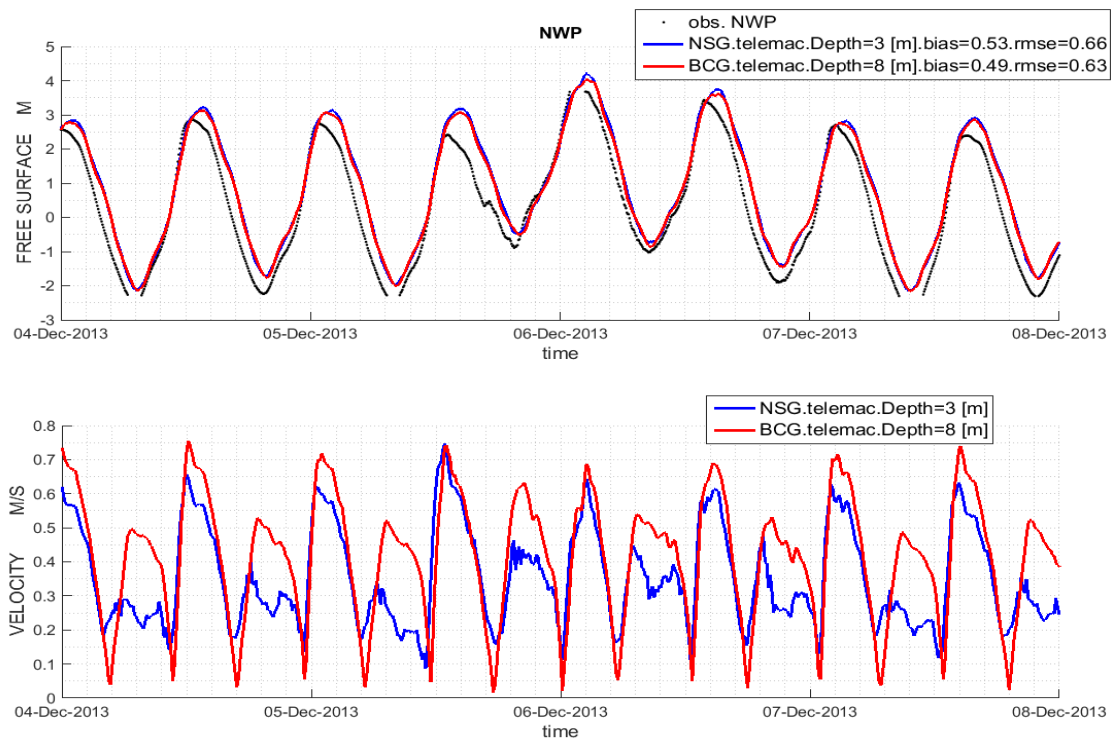
Figuur 5. Gemeten (obs. WDL) en TELEMAC-2D berekende waterstanden op locatie Wandelaar (WDL) voor december 2013. Bovenste figuur geeft waterstand aan t.o.v. MSL. De onderstaande figuur de absolute waarde van de stroomsnelheid. De dieptes die worden meegegeven in de figuur, zijn de waterdieptes (t.o.v. MSL) ter plaatse van de rekenknoop in het Noordzee-model (NSG) en het kuststrookmodel (BCG). Voor de stroomsnelheden werden geen bias en geen rmse berekend, gezien er geen metingen beschikbaar waren.



Figuur 6. Idem als in Figuur 5, maar ingezoomd op de Sinterklaasstorm.



Figuur 7. Idem als Figuur 5, maar voor locatie Nieuwpoort (NWP).

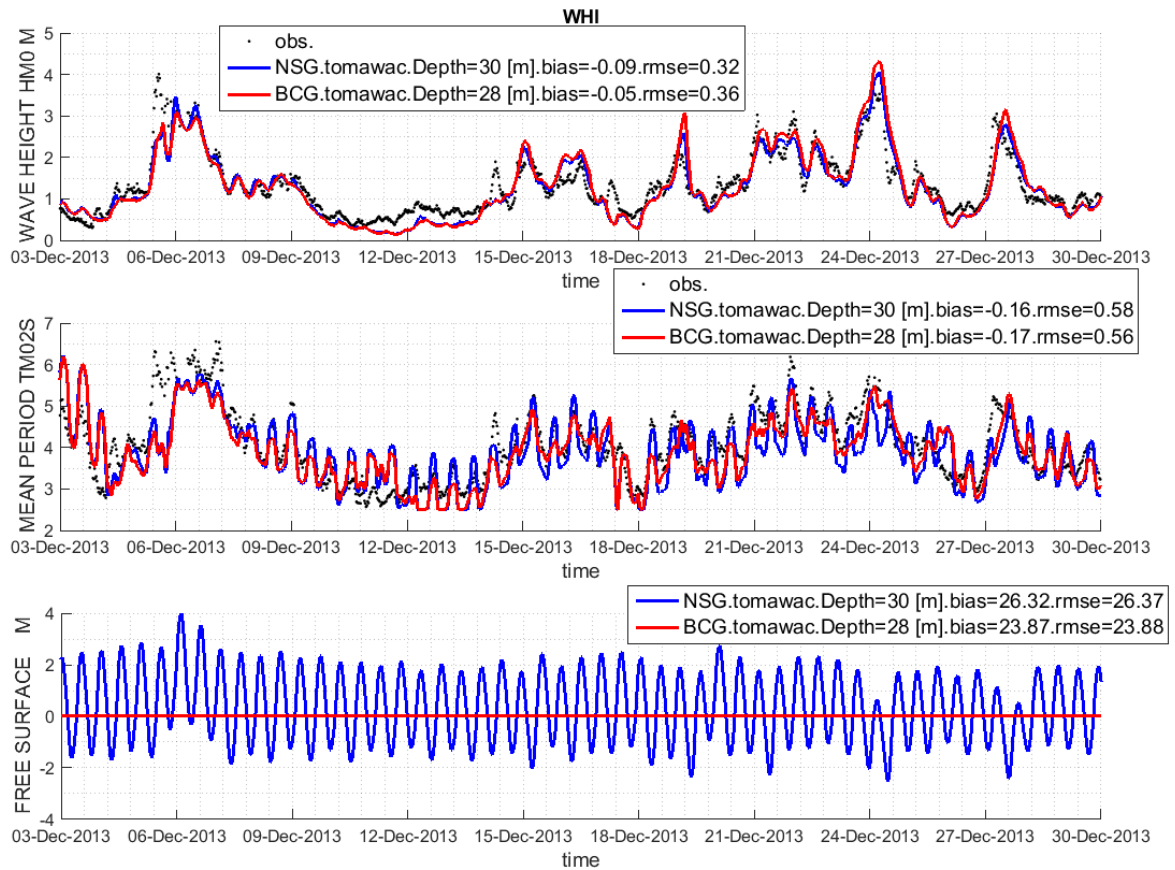


Figuur 8. Idem als in Figuur 7, maar ingezoomd op de Sinterklaasstorm.

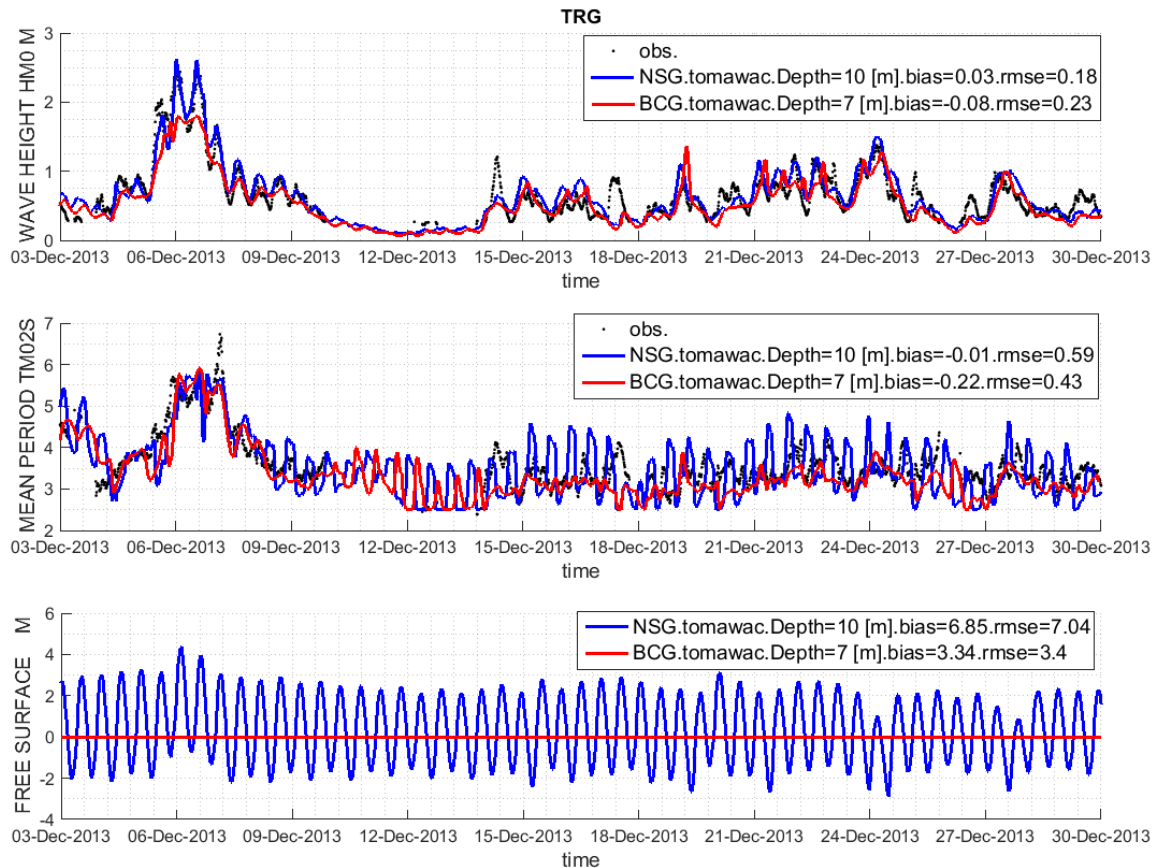
3.3. Resultaten voor de golfmodellering

Voor de validatie van het golfmodel worden de meetgegevens beperkt tot de locatie Westhinder en Trapegeer van het meetnet Vlaamse Banken. Bij de bekomen resultaten is er ook nog geen uitwisseling van hydrodynamische gegevens (waterdiepte en stromingen) tussen het TELEMAC-2D model BCG en het TOMAWAC BCG model en wordt dus een constante waterdiepte (niveau vrij oppervlak of MSL) aangenomen. De koppeling tussen de twee modellen zal worden besproken in een volgend rapport. Als periode wordt december 2013 gebruikt. Deze periode werd ook gebruikt voor een eerste validatie van het Noordzee-model.

In Figuur 9 en Figuur 10 worden de significante golfhoogte op locaties Westhinder en Trapegeer getoond. Aanvullend wordt in deze twee figuren ook nog de waterstand op locatie Wandelaar meegegeven zoals gebruikt in het golfmodel (veranderend voor het Noordzee-model, constant op MSL voor het kuststrookmodel). Samengevat kan men stellen dat voor de maand december 2013 de berekende golfhoogtes van vergelijkbare kwaliteit zijn 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 kuststrookmodel met randvoorwaarden berekend door het WAM-model en default JONSWAP bodemwrijving). Het is echter te vroeg om op basis van deze eerste tests met berekeningen voor één maand conclusies te trekken. Schommelingen in de berekende Tm02 gemiddelde periodes zijn nog steeds zichtbaar. Deze zijn te wijten aan de schommelingen in de periodes van de opgelegde spectra. De schommelingen in de periodes zijn echter iets kleiner en niet noodzakelijk in fase met die uit het gekoppelde Noordzee-model. Gezien bij de golfmodellering in het kuststrookmodel geen rekening wordt gehouden met de hydrodynamica, is het niet mogelijk om een gefundeerde uitspraak te doen over de modulatie van de Tm02 gemiddelde periode en is het dus te vroeg om verregaande conclusies te trekken. Het is wel een aandachtspunt dat moet meegenomen worden, wanneer de eerste resultaten van de dynamische koppeling tussen TELEMAC_2D en TOMAWAC verwerkt worden.

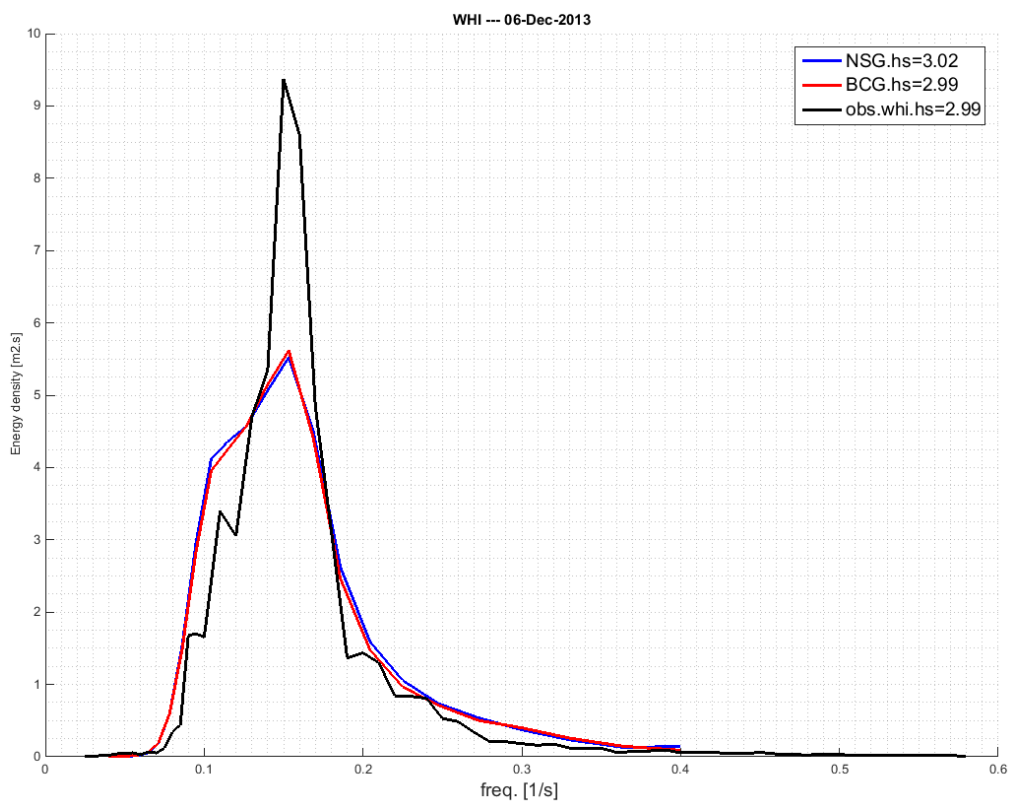


Figuur 9. Vergelijking gemeten significante golfhoogte Hm0 en golfperiode Tm02 op locatie Westhinder met die berekend door TOMAWAC-2D. In de onderste figuur wordt ook de gesimuleerde waterstand getoond op locatie Westhinder. Zoals de onderste figuur aangeeft, blijft het waterniveau in het kuststrookmodel BCG constant (er wordt geen informatie uitgewisseld tussen het hydrodynamisch model en het golfmodel).

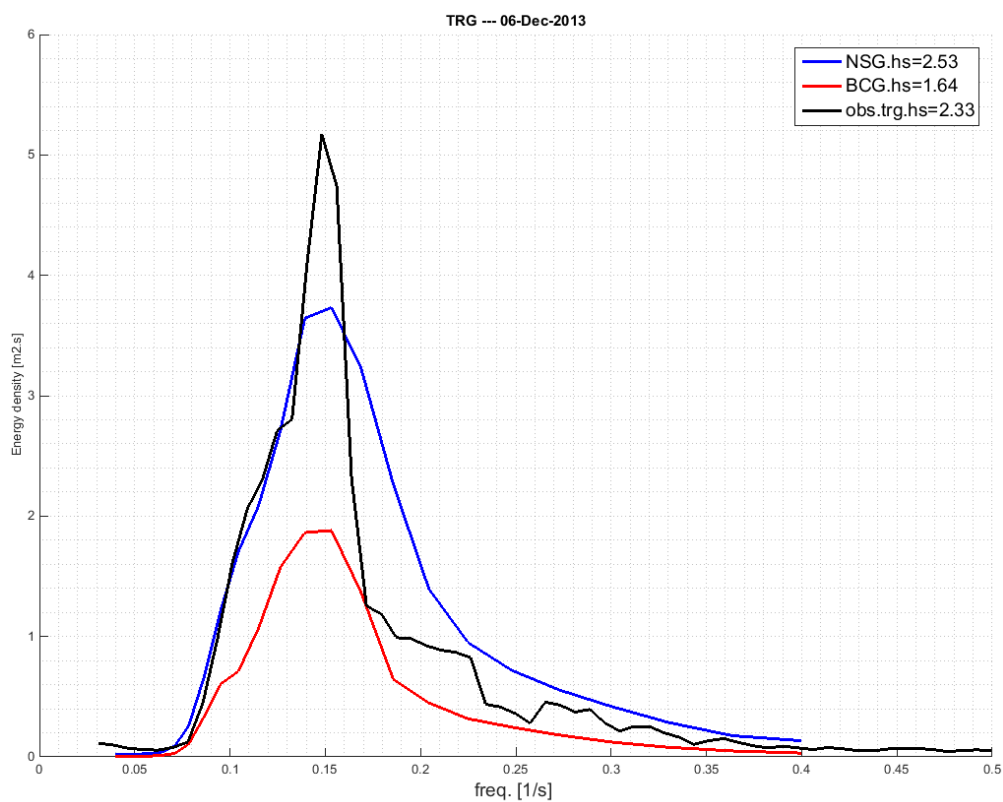


Figuur 10. Vergelijking gemeten significante golfhoogte Hm0 en golfperiode Tm02 op locatie Trapegeer met die berekend door TOMAWAC. In de onderste figuur wordt ook de gesimuleerde waterstand getoond op locatie Trapegeer. Zoals de onderste figuur aangeeft, blijft het waterniveau in het kuststrookmodel BCG constant (er wordt geen informatie uitgewisseld tussen het hydrodynamisch model en het golfmodel).

In Figuur 11 wordt een voorbeeld getoond van energiefrequentiespectrum zoals gemeten en zoals gesimuleerd met TOMAWAC Noordzee-model (NSG) en TOMAWAC kuststrookmodel (BCG) op locatie Westhinder. Zoals te verwachten is het verschil tussen de twee gesimuleerde spectra erg klein, gezien dit punt heel dicht bij de rand van het model ligt en het NSG-spectrum daar wordt opgelegd aan het BCG-model. Figuur 12 toont hetzelfde, maar dan op locatie Trapegeer. De vorm van het spectrum blijft grotendeels bewaard, maar de energie-inhoud van het spectrum berekend in het kuststrookmodel is aanzienlijk kleiner. Dit is consistent met het feit dat de waterstand in het Noordzee-model aanzienlijk hoger is dan de aangenomen constante waterstand (MSL) in het kuststrookmodel.



Figuur 11. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Weshinder op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)



Figuur 12. Gemeten en gesimuleerd energiespectrum op locatie Trapegeer op 6 december 2013 (middernacht van 5 op 6 december)

4. Samenvatting, conclusies en verdere stappen

De implementatie voor een kuststrookmodel, zowel een TELEMAC-2D hydrodynamisch als een TOWAMAC spectraal golfmodel, werden kort toegelicht met aandacht voor de keuze van het domein, de aanpassing van de bathymetrie op Frans grondgebied en de opbouw van het gebruikte rekenrooster. Het gebruikte eindige elementen rekenrooster is identiek voor beide modellen, omdat dit een vereiste is voor de latere dynamische koppeling tussen deze twee modellen.

De berekende waterstanden in het TELEMAC-2D kuststrookmodel komen goed overeen met de berekende waterstanden in het TELEMAC-2D Noordzee-model wat er op wijst dat de randvoorwaarden goed worden doorgegeven aan het kuststrookmodel. De berekende waterstanden zijn ook van een vergelijkbare kwaliteit als deze bekomen met het Coherens model. De berekende stroomsnelheden in het kuststrookmodel zijn van dezelfde grootteorde als die in het Noordzee-model, maar er zijn uiteraard ook wat verschillen, aangezien de detaillering van de bathymetrie in het kuststrookmodel veel fijner is.

Voor de golfmodellering werd nog geen rekening gehouden met de hydrodynamica in het gebied. Dit wil zeggen dat de waterstand constant werd gehouden op gemiddeld zeeniveau (MSL). De berekende golfparameters werden vergeleken met de metingen op Westhinder en Trapegeer. Vergelijking van de spectra op een bepaald tijdstip toonde aan dat de randvoorwaarden correct werden geïmplementeerd (zoals verwacht, is het berekende spectrum op Westhinder nagenoeg identiek in het kuststrookmodel en in het berekende spectrum uit het Noordzee-model, conform de aangelegde randvoorwaarde). Op Trapegeer zijn de verschillen tussen het spectrum berekend met het TOMAWAC Noordzee en berekend met het TOMAWAC kuststrookmodel groter, maar consistent met de aanname van constante waterdiepte.

Deze resultaten geven vertrouwen dat de implementatie van een kuststrookmodel correct is uitgevoerd en dat in een volgende stap de koppeling tussen de twee kuststrookmodellen kan uitgevoerd worden.

Daarna kan een meer gedetailleerde analyse gemaakt worden van een langere simulatieperiode enerzijds en een aantal specifieke stormen anderzijds, waarin ook de resultaten van deze modellentrein vergeleken zal worden met die van SWAN-Coherens.

5. Referentielijst

- EDF R&D TOMAWAC 2011. Software for sea state modelling on unstructured grids over oceans and coastal seas. Release 6.1.
- EMODnet: The EMODnet Bathymetry portal - <http://www.emodnet-bathymetry.eu>.
- 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.
- Google earth V 7.1.5.1557. (Dec 14, 2015). Southern North Sea. 51°N, 3° E, Eye alt 238 km. SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO. Landsat 2015. <http://www.earth.google.com> [January 20, 2016].
- Rapport 214.341_R01_20150715_final. *"Vlaamse Baaien – Monitoring "Broersbank" – Conceptmodel Telemac 2D"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2015.
- Rapport 212176-R06-20150515 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelling December 2013 - Februari 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Van Lancker, V.; Du Four, I.; Verfaillie, E.; Deleu, S.; Schelfaut, K.; Fettweis, M.; Van den Eynde, D.; Francken, F.; Monbaliu, J.; Giardino, A.; Portilla, J.; Lanckneus, J.; Moerkerke, G.; Degraer, S. (2007). Management, research and budgetting of aggregates in shelf seas related to end-users (Marebasse). Belgian Science Policy: Brussel. 139 pp.
- Van Lancker, V., Baeye, M., Du Four, I., Janssens, R., Degraer, S., Fettweis, M., Francken, F., Houziaux, J.S., Luyten, P., Van den Eynde, D., Devolder, M., De Cauwer, K., Monbaliu, J., Toorman, E., Portilla, J., Ullman, A., Liste Muñoz, M., Fernandez, L., Komijani, H., Verwaest, T., Delgado, R., De Schutter, J., Janssens, J., Levy, Y., Vanlede, J., Vincx, M., Rabaut, M., Vandenberghe H, Zeelmaekers, E, and Goffin, A. (2012). QUantification of Erosion/Sedimentation patterns to Trace the natural versus anthropogenic sediment dynamics (QUEST4D). Final Report. Science for Sustainable Development. Brussels: Belgian Science Policy, 97 pp. + Annexes.

Reference to this report:

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, G. Decorte, J. Monbaliu, 2016. *Concept kustrookmodel: TELEMAC-2D-kust en 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, 31-08-2016.