

Impact of new quay wall destined for the offshore industry on maritime calls of vessels in Port Oostende

The last 15 years, Port Oostende has had a strong focus on the offshore wind industry. It is now a leading wind energy hub for the installation and maintenance of offshore farms in the North Sea, supported by an offshore cluster with more than 80 enterprises. An extra 3.6 GW will be installed in front of the Belgian Coast with an energy island capturing the electricity produced by the new wind farms and a new transnational electricity grid with other countries around the North Sea. Windmills however become bigger. Therefore more space and capacity in ports is needed for the storage of all the components.

Work Package 2, activity 1 of the Diol Project is focusing on the preparation of Logistic Hubs' Spatial Planning/Adaptation to serve offshore renewable Energy Developments. Port Oostende is ready to play an important role in the assembling, construction and maintenance of the new 3.6 GW Prinses Elisabeth area in front of the Belgian Coast. However, a new offshore terminal with quay wall will need to be constructed in order to be able to meet the ambition of Port Oostende.

Therefore, a lot of studies and feasibility reports need to be executed, amongst others the impact of the new quay wall on the vessels sailing in and out the port. Underneath you can see on the drawing the new quay wall and offshore terminal situated on the port entrance.



The objective of the study is to investigate the impact of a new quay wall, at the eastern dam in the Port of Ostend, on sailing in and out of the port. For this purpose, current calculations were performed with a Delft3D model for the port with a bathymetry of 2023 and a new quay wall at depth -10.0 m TAW at the eastern dam (scenario 01).

These current calculations for the scenario were then used as input for the nautical simulation study in which two different ships, a cruise ship 'The World' and a RoRo ferry 'Pauline', sailed in and out with flood current and ebb current and wind conditions of 4 to 6 Bft (exceptionally also one at 8 Bft) and varying wind directions. On 22 January 2024, 16 simulations were carried out for the study with two pilots from the Flemish Region.

During flood currents, the variation in the moments of flood was greater than during ebb currents (only full ebb currents were examined at 4.2 hours after HW). As a result, simulations were not only carried out during full flood currents (1 hour before HW), but also before or after. If the pilots indicated that they would avoid arriving with these ships during full flood currents, this variation in the approach to the port was also permitted. In addition, during flood currents, the wind was mainly imposed from a westerly direction and during ebb currents, the wind was imposed from an easterly direction to create a situation in which current and wind reinforce each other and make the manoeuvre more difficult. All simulations performed in which sailing from the heads to the Halve Maan or vice versa, give a safe distance to moored ships at the new quay based on physical distance (at least 70 m between the ship sides at full ebb current). However, it is also important for the moored ships to know the speed of the passing ships in addition to the distance (and the other characteristics of the passing ships, for example the mass or the volume displacement).

The simulations performed in flood current showed that the smallest distance between the ship sides was approximately 100 m with a speed over the ground of the passing ship of at least 8 knots. Lower speeds were also used, but the pilots state that in stronger flood currents the speed to pass through the heads must still be at least 7 or 8 knots in order to accommodate the current seam.

The simulations performed in ebb current showed that the distance between the ship sides was smaller than in flood current and that only 70 m was available. When entering, the pilots tried to reduce the associated speed over the ground along the new quay to values around 6 knots, but when leaving, the speed after passing the Halve Maan had already increased to 8 knots, so that along the new quay the speed was 8 to 9 knots.

For a mooring study for the ships that will moor at the new quay, it is therefore advisable to assume boundary conditions in which the distance between the ship sides can decrease to 70 m (or less to provide a reserve) and in which the speed over the ground of the passing ship is 8 to 9 knots. In this, for a configuration of the Halve Maandijk that was eventually implemented in reality, it was decided that RoRo ferries could compensate for current speeds of up to 2 knots transversely at the heads if the speed could be 9 to 11 knots and cruise ships if the speed was 8 to 10 knots.

For the impact on the passing ships that were used as design ships, it is clear that the pilots will try to avoid sailing in or out at the moment with the strongest flood current if they would have to reduce the speed to 6 knots along the moored ships at the new quay as during various simulations. Additional attention must therefore be paid to guarantee safety for the passing ships (sufficient speed) and for the moored ships.

Impact nieuwe kaaimuur op in- en uitvaren haven Oostende

Deelrapport 1 – Hydrodynamische modellering en nautische simulatiestudie

Eloot, K.; Stark, J.; Vanlede, J.; Verwilligen, J.

DIOL

Interreg
North Sea



Co-funded by
the European Union

Waterbouwkundig
Laboratorium



Vlaanderen
in wetenschap

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2024
D/2024/3241/209

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Eloot, K.; Stark, J.; Vanlede, J.; Verwilligen, J. (2024). Impact nieuwe kaaimuur op in- en uitvaren haven Oostende: Deelrapport 1 – Hydrodynamische modellering en nautische simulatiestudie. Versie 0.1. WL Rapporten, 23_088_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Haven van Oostende	Ref.:	WL2024R23_088_1
Trefwoorden (3-5):	Hydrodynamica, Toegankelijkheid, Simulatoren, Oostende		
Kennisdomeinen:	Havens en vaarwegen > Manoeuvreegedrag > Oevers > Simulaties Hydraulica en sediment > Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen > Numerieke modelleringen		
Tekst (p.):	XX	Bijlagen (p.):	XX
Vertrouwelijk:	☒ Ja		

Auteur(s):	Eloot, K.; Stark, J.
------------	----------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vanlede, J.	
	Verwilligen, J.	
Projectleider:	Stark, J.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	
-----------------	---------------	--



Abstract

De doelstelling van de studie is de impact te onderzoeken van een nieuwe kaaimuur, ter hoogte van de oostelijke dam in de Haven van Oostende, op het in- en uitvaren van de haven voorbij de Halve Maan. Hiervoor werden met een Delft3D model stroomberekeningen uitgevoerd voor de haven met een bathymetrie anno 2023 en een nieuwe kaaimuur op diepte -10.0 m TAW aan de oostelijke dam (scenario 01).

Deze stroomberekeningen werden vervolgens gebruikt als input voor de nautische simulatiestudie waarbij met twee verschillende schepen, een cruiseschip The World en een RoRo-ferry Pauline, in- en uitgevaren werd bij vloedstroom en ebstroom en windcondities van 4 tot en met 6 Bft (uitzonderlijk ook één bij 8 Bft) en variërende windrichtingen.

De impact kan uitgedrukt worden in afstand tussen de scheepszijden van de passerende schepen met afgemeerde schepen langs de nieuwe kade. Voor afmeerstudies is het aangewezen om te rekenen met een minimale afstand van 70 m bij een snelheid over de grond van 8 à 9 knopen.

Er werden nog twee bijkomende simulaties uitgevoerd met een stopmanoeuvre in de voorhaven en een zwaaimanoeuvre langs de nieuwe kade.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Leeswijzer	1
2 Hydrodynamisch model.....	2
2.1 Modelbeschrijving	2
2.1.1 Modelrooster en nesting	2
2.1.2 Bathymetrie	4
2.1.3 Randvoorwaarden	5
2.1.4 Simulatieperiode	5
2.2 Implementatie modelscenario Nieuwe Kaaimuur.....	5
2.2.1 Implementatie kaaimuur	5
2.2.2 Aanpassing bodemligging	5
2.3 Postprocessing en analyse.....	6
2.3.1 Analyse stroompatronen	6
2.3.2 Verwerking stroomvelden voor input scheepssimulator	7
3 Resultaten stroomveldberekening	8
3.1 Referentiesituatie (REF00).....	8
3.2 Scenario Nieuwe Kaaimuur (SC01)	8
4 Nautische simulatiestudie	12
4.1 Aanpassing simulatieomgeving	12
4.1.1 Bathymetrie voor SC01	12
4.1.2 Tide/getij voor SC01	14
4.1.3 Stroomcondities voor SC01	15
4.1.4 Windcondities.....	16
4.1.5 Boeien en afgemeerde schepen	17
4.2 Simulatiecondities en programma	19
4.2.1 Simulatieschip.....	19
4.2.2 Simulatiecondities	21
4.2.3 Simulatieprogramma	22

4.3	Analyse vaarsimulaties	22
4.3.1	Simulaties bij vloedstroom	23
4.3.2	Simulaties bij ebstroom	39
5	Conclusies	51
6	Aanbevelingen	53
7	Referenties	54
	Bijlage 1: Simulatieschepen	55
	Bijlage 2: Evaluatieformulier	59
	Bijlage 3: Feedback loads – operator	60
	Bijlage 4: KMZ manual	62
	Bijlage 5: Tijdsgrafieken parameters per simulatie	68

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Lijst van gebruikte bathymetrie- en altimetrie-bestanden.....	4
Tabel 2 – Stroomprofielen conform een gemiddeld springtij geïmplementeerd in de simulatieomgeving 'Oostende_15_067' met aanduiding van de gemiddelde stroomsnelheid (V) in de zone tussen de havendammen en de boeien O3-O4.	16
Tabel 3 – Lambert coördinaten van Vidar boeien	17
Tabel 4 – Hoofdkarakteristieken van het cruiseschip en de RoRo-ferry.....	20
Tabel 5 – Overzicht van het uitgevoerde simulatieprogramma.....	22
Tabel 6 – Simulaties bij vloedstroom voor hoog water.....	23
Tabel 7 – Simulaties bij vloedstroom op of na hoog water	30
Tabel 8 – Simulaties bij ebstroom of 4.2 uur na hoog water	38
Tabel 9 – Colour scale for the thrust applied in KMZ-generation (linear interpolation).....	62

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzichtsschets Haven Oostende en locatie nieuwe kaaimuur	1
Figuur 2 – Aansluiting van het Oostende moedermodel (zwart) met de CSM – ZUNO – Kuststrook (blauw – groen – rood).....	3
Figuur 3 – Aansluiting van het Oostende dochtermodel (rood) aan het moedermodel (groen).....	3
Figuur 4 – Modelbathymetrie Referentiescenario.....	4
Figuur 5 – Modelbathymetrie in scenario SC01 met nieuwe kaaimuur.....	6
Figuur 6 – Verschilplot bathymetry modelscenario SC01 – referentierun REF00.....	6
Figuur 7 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens maximale vloed, in de referentierun REF00 (boven) en in run met nieuwe kaaimuur SC01 (onder).....	9
Figuur 8 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens maximale eb, in de referentierun REF00 (boven) en in run met nieuwe kaaimuur SC01 (onder).....	10
Figuur 9 – Verschil in stroomsnelheid tijdens vloed (boven) en tijdens eb (onder).	11
Figuur 10 – Basiscontour (gele contour links) en basismesh (rechts)	13
Figuur 11 – Dieptelijnen in TAW: -1 m (rood), -3 m (oranje), -5 m (geel), -7 m (groen), -8.9 m (blauw).....	14
Figuur 12 – Getijcyclus van 10/04/2013 18:30 (-21300 s tot HW) tot en met 11/04/2013 8:30 (29100 s na HW)	15
Figuur 13 – Verdeling van de gesimuleerde wind voor een specifieke Beaufortklasse (kolom links) over de verschillende Beaufortklassen voor Davenport ruwheidsklasse 3.....	17
Figuur 14 – Posities van pontons en de jack-up Vidar aan kaai 503 (witte contourlijnen en gele boeien)	18
Figuur 15 – Marinetrafic beeld op 2024/01/17	18
Figuur 16 – Boeien verwijderd ter plaatse van de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade	19
Figuur 17 – Simulator SIM360+ met cruiseschip The World bij een opvaart langs de nieuwe kade	20
Figuur 18 – Simulator SIM360+ met RoRo-ferry Pauline bij opvaart afwaarts de nieuwe kade.....	21
Figuur 19 – Invaart: run 1 met The World bij SW 4 Bft en 1 uur voor HW.....	24
Figuur 20 – Uitvaart: run 11 met The World bij W 5 Bft en 1 uur voor HW.....	25
Figuur 21 – Uitvaart: run 12 met Pauline bij W 5 Bft en 1 uur voor HW.....	26
Figuur 22 – Kleurschaal voor gebruik van controllable pitch propellers and boeg- en hekschroeven op de KMZ presentaties	27
Figuur 23 – Vergelijking van de tracks van run 11 met The World (blauw) en run 12 met Pauline (groen) bij volle vloed en W 5 Bft.....	28
Figuur 24 – Invaart: run 15 met Pauline bij W 6 Bft en 1.75 uur voor HW	29
Figuur 25 – Invaart: run 2 met The World bij SW 5 Bft en hoog water.....	31
Figuur 26 – Invaart: run 3 met The World bij SW 5 Bft en 1 uur na HW	33
Figuur 27 – Invaart: run 4 met The World bij N 5 Bft en 1 uur na HW	34

Figuur 28 – Invaart: run 8 met The World bij W 6 Bft en 1.5 uur na HW	35
Figuur 29 – Invaart: run 17 met Pauline bij NW 6 Bft en 1.5 uur na HW	36
Figuur 30 – Invaart: run 18 met Pauline bij SW 8 Bft en 1.5 uur na HW	38
Figuur 31 – Invaart: run 5 met The World bij N 5 Bft en 4.2 uur na HW	40
Figuur 32 – Invaart: run 6 met The World bij NE 5 Bft en 4.2 uur na HW	41
Figuur 33 – Invaart: run 7 met The World bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW	42
Figuur 34 – Vergelijking van de tracks van run 5 met N (blauw), 6 met NE (groen) en 7 met E 5 Bft (oranje)	43
Figuur 35 – Invaart: run 9 met The World bij E 6 Bft en 4.2 uur na HW	44
Figuur 36 – Uitvaart: run 10 met The World bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW	45
Figuur 37 – Uitvaart: run 13 met Pauline bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW	46
Figuur 38 – Uitvaart: run 14 met Pauline bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW	47
Figuur 39 – Vergelijking van de tracks van run 10 met The World (blauw) en run 14 met Pauline (groen) bij E 5 Bft	48
Figuur 40 – Invaart: run 16 met Pauline bij E 6 Bft en 4.2 uur na HW	49
Figuur 41 – Vergelijking van de tracks van run 9 met The World (blauw) en run 16 met Pauline (groen) bij E 6 Bft	50
Figuur 42 – Example of KMZ presentation for run 23_008_18	63
Figuur 43 – Presentation of simulation 01 with overlay graphs in KMZ-format	64
Figuur 44 – Time slider functionality KMZ	65
Figuur 45 – Pull-down menu Google Earth Explorer	66
Figuur 46 – PLAY functionality in KMZ that keeps the ship centered on the screen and to present a replay tour	67

1 Inleiding

1.1 Doelstelling

Ter voorbereiding van het ontwerp van een nieuwe kaaimuur in de oostelijke buitenhaven (Figuur 1) vraagt Haven Oostende om realtime vaarsimulaties uit te voeren. Het doel van de simulatiestudie is om de impact van deze nieuwe kaaimuur op het in- en uitvaren van de haven van Oostende voorbij de Halve Maandijk te bestuderen.

Het voorliggende rapport gaat in op deze vraag door middel van de berekening van nieuwe stroomvelden met het bestaand hydrodynamisch modelinstrumentarium, de aanpassing van de nautische simulatieomgeving en de uitvoering van scheepsmanoeuvresimulaties (i.s.m. DABL).



Figuur 1 – Overzichtsschets Haven Oostende en locatie nieuwe kaaimuur

1.2 Leeswijzer

Het rapport bestaat uit verschillende delen:

- in hoofdstuk 2 wordt het hydrodynamische model besproken voor het scenario met nieuwe kade;
- in hoofdstuk 3 worden de resultaten van de stroomveldberekeningen besproken voor de referentiesituatie (REF00) en voor het scenario met de nieuwe kaaimuur (SC01)
- in hoofdstuk 4 wordt de nautische simulatiestudie toegelicht met een analyse van de simulaties bij vloedstroom en ebstroom
- in hoofdstuk 5 worden de conclusies van de nautische simulatiestudie nog eens samengevat
- in hoofdstuk 6 volgen de aanbevelingen voor de hydrodynamische berekeningen.

2 Hydrodynamisch model

2.1 Modelbeschrijving

Voor de uitvoering van numerieke berekeningen van stroomvelden wordt de geometrie van de nieuwe kaaimuur ingebouwd in het beschikbare 2D modelinstrumentarium van de haven van Oostende (Dujardin *et al.*, 2017). Het bestaande 2D modelinstrumentarium voor Oostende werd medio 2004 ontwikkeld door het consortium *Technum – IMDC – Alkyon* en bestaat uit twee Delft3D modellen: een moedermodel, welke de ruimere kustzone rond Oostende bevat, en een dochtermodel waarmee de waterbeweging in en rond de haven van Oostende wordt gesimuleerd. Voor de huidige studie zijn enkel berekeningen gedaan met het lokale dochtermodel.

Uit de modelvalidatie door Dujardin *et al.* (2017) blijkt dat de waterstandsamplitude in dit model sterk wordt overschat, i.e., met afwijkingen tot > 1 m, als gevolg van de gekozen methode voor nesting van dochtermodel in moedermodel (i.e., de waterstanden worden aan de randen enkel impliciet opgelegd). De stroomsnelheden worden redelijk tot goed gesimuleerd, al is er sprake van een plaats- en tijdsafhankelijke onderschatting ten opzichte van de stroomatlas afhankelijk van welke metingen beschouwd worden. Wanneer de modelresultaten vergeleken worden met framemetingen uit 2006-2007 is er een veel betere overeenkomst tussen model en meting.

Voor een meer gedetailleerd overzicht van de modelinstellingen, modelkalibratie en van de modelvalidatie aan de hand van de stroomatlas voor Oostende (2013) wordt verwezen naar het rapport over de opmaak van het model door Dujardin *et al.* (2017).

2.1.1 Modelrooster en nesting

Moedermodel

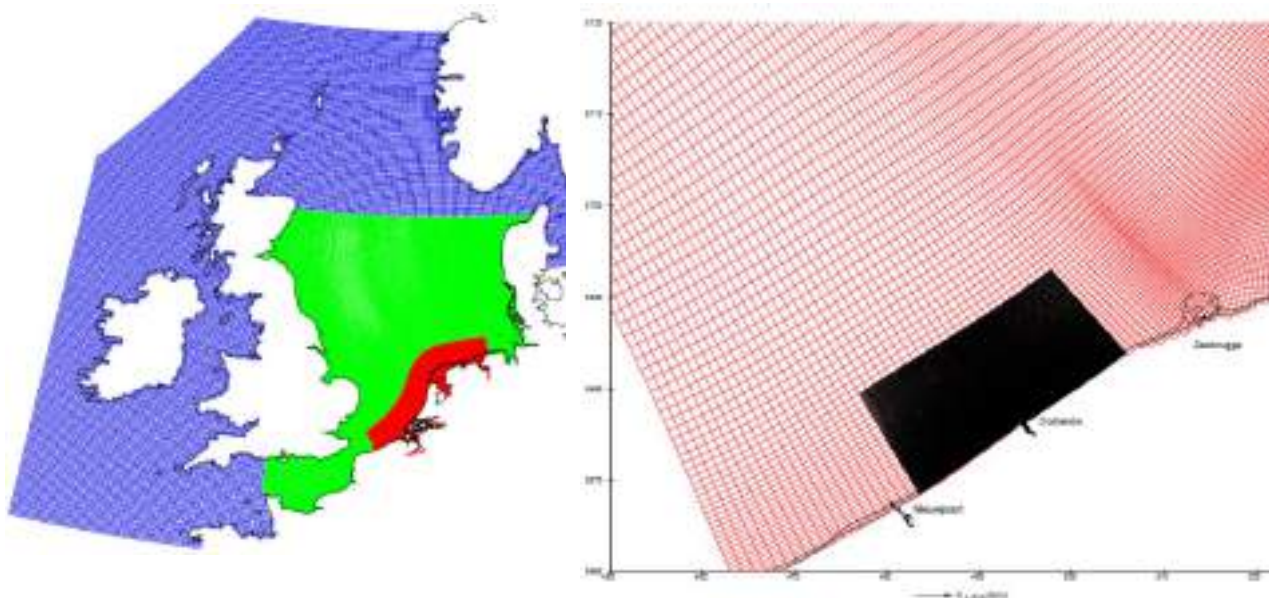
In het kader van het project “structureel herstel van de kustverdediging te Oostende en verbetering van de haventoeegang naar de haven van Oostende” werd in 2004 door het consortium *Technum – IMDC – Alkyon*, in opdracht van de Vlaamse Overheid, een numeriek hydraulisch model voor de haven van Oostende ontwikkeld (De Vleeschauwer, 2004).

Dit Oostende model is genest in de CSM – ZUNO – Kuststrook modellentrein van Rijkswaterstaat en heeft een 1:3 verfijning ten opzichte van het Kuststrook model (Figuur 2), waarmee de randvoorwaarden voor het Oostende model worden gegenereerd. Parallel met de kust reikt het modelrooster van Westende (3 km ten oosten van de IJzermonding) tot Wenduine (7,5 km ten westen van de westelijke havendam van Zeebrugge); zeewaarts tot aan de Oostendebank. Ter hoogte van enkele interessezones langs de kust (strand) en de vaargeul tot de haven is een verfijning van respectievelijk 1:8 en 1:20 toegepast. Hierdoor varieert de roosterresolutie van ca. 200 m langs de buitenrand van het zeegebied tot ca. 40 m in de haven van Oostende.

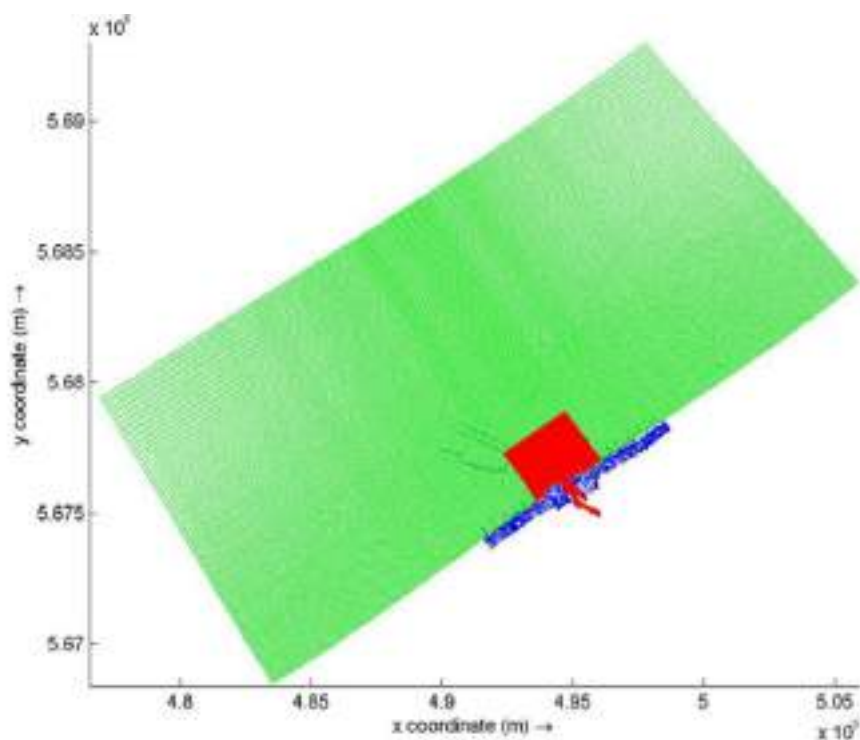
Dochtermodel

In de periode 2006 – 2009 werd binnen het Waterbouwkundig Laboratorium een slibmodel ontwikkeld voor Oostende (De Nooijer *et al.*, 2009). Om de morfologische evolutie van de vaargeul meer in detail te kunnen bestuderen werd in het model van De Vleeschauwer (2004) een fijner model genest. Het dochtermodel is een 1:3 verfijning van het moedermodel en reikt parallel aan de kust tot ca. 1,4 km ten oosten en ten westen van de havengeul. Zeewaarts reikt het model ca. 2,1 km vanuit de kust (Figuur 3). Ter hoogte van de havenmond bedraagt de roosterresolutie ca. 20 m.

Het lokale dochtermodel van Oostende werd door Dujardin *et al.* (2017) in het kader van een ontwerpstudie voor de Halve Maandijk uitgebreid en geüpdatet naar de toenmalige lay-out van de haven. De daadwerkelijk geconstrueerde geometrie van de Halve Maandijk wijkt evenwel af van de scenario's die in de toenmalige modelstudie werden geïmplementeerd. Voor het huidige modelonderzoek zal de geometrie van de Halve Maandijk dus correct moeten worden geïmplementeerd.



Figuur 2 – Aansluiting van het Oostende moedermodel (zwart) met de CSM – ZUNO – Kuststrook (blauw – groen – rood).



Figuur 3 – Aansluiting van het Oostende dochtermodel (rood) aan het moedermodel (groen).

2.1.2 Bathymetrie

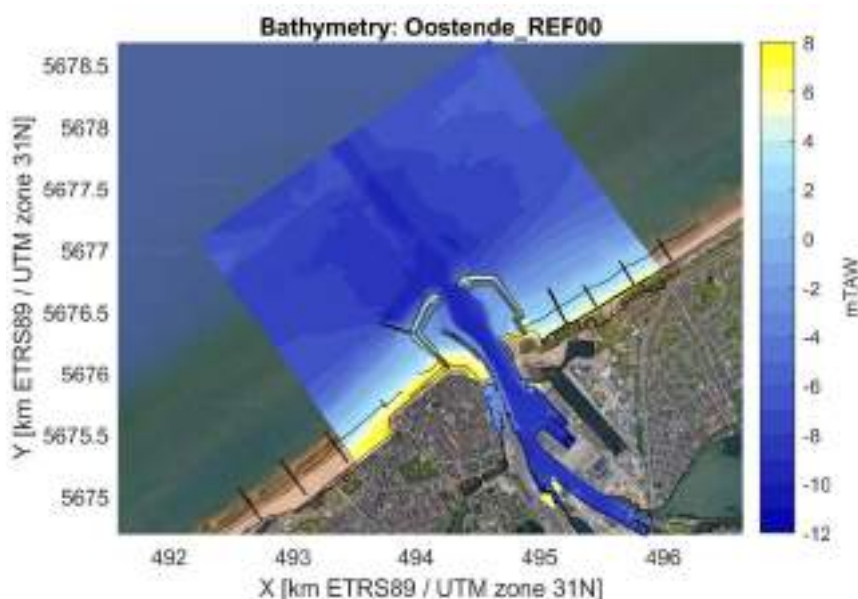
Voor de huidige modeloefening wordt in de basis gebruik gemaakt van de modelbathymetrie zoals die werd geïmplementeerd door Dujardin *et al.* (2017). In de haven van Oostende zelf en in de toegangsgeul naar de haven worden lokaal recentere bathymetrische gegevens geïmplementeerd. Tabel 1 geeft een overzicht van de bathymetrische datasets die zijn gebruikt bij de modelschematisering door Dujardin *et al.* (2017) en welke zijn toegevoegd binnen de huidige studie. De meest recente peiling krijgt uiteraard voorrang.

De geometrie van de Halve Maandijk is in de bathymetrie geïmplementeerd op basis van gegevens die in het kader van een eerdere modelstudie door afdeling Maritieme Toegang aan het Waterbouwkundig Laboratorium werden overgemaakt.

Figuur 4 toont de modelbathymetrie voor de referentiesituatie.

Tabel 1 – Lijst van gebruikte bathymetrie- en altimetrie-bestanden.

2023		
230816_281_OST_SB_33		
230714_280_PVS_SB_33		
2015	2014	2013, 2012, 2011
151006_OST_HAV_MB_300_R	140919_OST_AH_MB_400_D	131210_NaStorm_coast_area_C_LAT_D
150903_OST_MGD_MB_400_R	140915_MKOST_MB_400_R	131210_NaStorm_coast_area_D_LAT_D
150731_PVS_SB_210_R	140731_OST_WSTAK_SB_210_R	131210_NaStorm_coast_area_E_LAT_D
150630_RO_MB_300_R	140731_OST_HAV_SB_33_D	131210_NaStorm_coast_area_F_LAT_D
150630_OST_STRD_MB_300_R	140716_OST_STRD_LAS_250_1m	131210_NaStorm_coast_area_G_LAT_D
150612_OST_MGD_MB_400_R	140716_OST_HAV_LAS_250_1m	131210_NaStorm_coast_area_H_LAT_D
150605_OSTBRE_SB_200_R	140122_ZUYWE_SB_33_R	130000_WEDHA_SB_33_R
150605_DHAWD_SB_200_R		120800_haven_oostende_LAT_D
150604_MKOST_SB_200_R		120124_MKOST_NOS_SB_200_R
150604_BKBZB_SB_200_R		120000_WIESCH_SB_33_R
150522_ODKMK_SB_200_R		110000_KWIMID_SB_33_R
150316_OST_COMM_SB_200_R		



Figuur 4 – Modelbathymetrie Referentiescenario.

2.1.3 Randvoorwaarden

Voor de koppeling tussen het moeder- en het dochtermodel werden verschillende types randvoorwaarden uitgetest in de modelstudie door Dujardin *et al.* (2017). Na kalibratie is gekozen voor het toepassen van stroomsnelheden op de modelranden loodrecht op de kust en een Riemann invariant (combinatie van waterstand en stroomsnelheid) op de modelrand evenwijdig met de kust. Deze zgn. C – R – C rand is zowel toegepast voor het nesten van het moedermodel in ZUNO, als voor het nesten van het dochtermodel in het moedermodel.

2.1.4 Simulatieperiode

In deze studie worden dezelfde getijcondities als in Verwilligen *et al.*, (2016), Eloot *et al.*, (2016a) en Eloot *et al.*, (2016b) beschouwd.

De simulatieperiode van het hydrodynamische model duurt derhalve vijf dagen en loopt van 07/04/2013 tot 12/04/2013. Uiteindelijk worden de modelresultaten van één springtij (i.e., 10/4/2013 – 11/4/2013) gebruikt voor de scenario-analyse en input voor de nautische simulatiestudie en dient de voorgaande periode van de simulatie als hydrodynamische inspeelperiode.

2.2 Implementatie modelscenario Nieuwe Kaaimuur

2.2.1 Implementatie kaaimuur

De implementatie van de Nieuwe Kaaimuur in het model is gedaan door een aanpassing aan de bodemligging naar TAW +8,0 m (i.e., overeenkomstig de ontwerptekeningen die door de Haven van Oostende werden aangeleverd). Daarnaast werd langs de rand van de kaaimuur een verticale wand geïmplementeerd door middel van zogenaamde *thin dams* in Delft3D. Dit zijn oneindig dunne objecten in de modelschematisering die wateruitwisseling tussen de twee aangrenzende gridcellen niet toelaat en die het volume van de gridcel niet reduceren als gevolg van lineaire interpolatie van de aangrenzende roosterpunten.

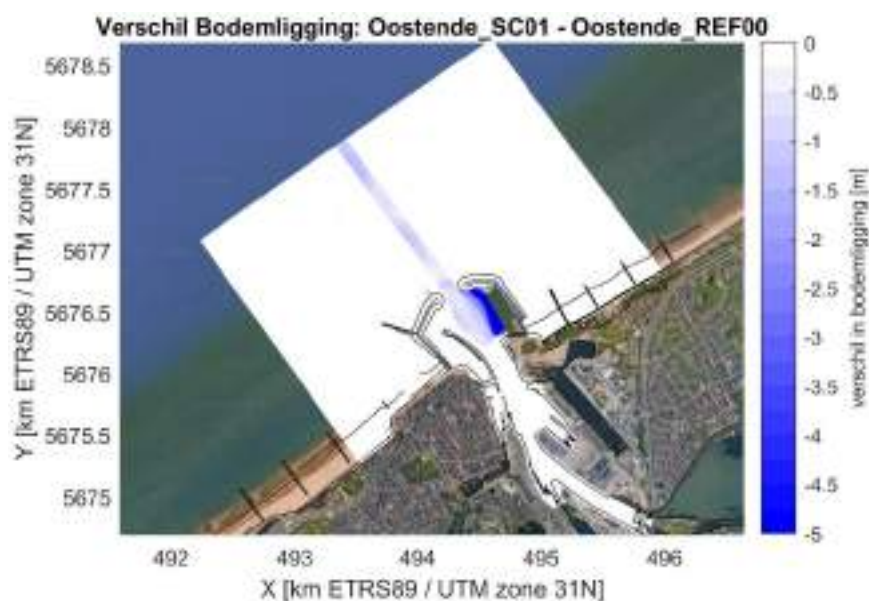
2.2.2 Aanpassing bodemligging

In het modelscenario wordt tevens een verruiming van de baggerzone naar TAW -10,0 m voorzien. Deze baggerdiepte wordt geïmplementeerd in de toegangsgeul en in het havengebied tot aan de Halve Maandijk.

Figuur 5 toont de bodemligging in modelscenario SC01 en de contour van de Nieuwe Kaaimuur in het modelscenario. Figuur 6 toont een verschilplot voor de bodemligging van het modelscenario (SC01) ten opzichte van de referentierun (REF00). Hierop is de zone waarbinnen de bodemligging is aangepast naar TAW -10,0 m duidelijk waarneembaar.



Figuur 5 – Modelbathymetrie in scenario SC01 met nieuwe kaaimuur.



Figuur 6 – Verschilplot bathymetry modelscenario SC01 – referentierun REF00.

2.3 Postprocessing en analyse

2.3.1 Analyse stroompatronen

De invloed van de nieuwe kaaimuur en het verdiepen van de baggerzone naar TAW -10,0 m op de stroomsnelheden wordt geanalyseerd aan de hand van illustratieve stroombeelden (i.e., stromingspatronen voor springtij tijdens vloed, hoogwater en eb) en aan de hand van de invloed op de maximum stroomsnelheden op basis van één getijcyclus.

2.3.2 Verwerking stroomvelden voor input scheepssimulator

De met het hydrodynamische model gemodelleerde getijbeweging (i.e., bodemligging, waterstanden en stromingscomponenten in x- en y-richting) wordt met behulp van de CUPID toolbox klaargemaakt als input voor de scheepssimulator. CUPID is een door het Waterbouwkundig Laboratorium ontwikkelde MATLAB-toolbox die modeloutput van Delft3D of openTELEMAC stromingsmodellen omzet in netcdf-bestanden die voor de scheepssimulator geschikt zijn.

In dit project gebruiken we v0.2 van de toolbox, terug te vinden op de repository op volgende URL:

<https://wl-subversion.vlaanderen.be/svn/repoSpNumMod/Matlab/CUPID/Tag/v0.2>

Het steering script dat alle instellingen klaarzet is terug te vinden op de projectfolder onder

P:\23_088-ImpctXtraKaaimOostende\3_Uitvoering\02_CUPID\CUPID_steering_delft2d2nc_23088

3 Resultaten stroomveldberekening

Hieronder wordt de invloed van de nieuwe kaaimuur en de naar TAW -10,0 m verdiepte baggerzone op de lokale stroompatronen besproken.

Figuur 7 en Figuur 8 tonen de stroomsnelheden en stroomvelden tijdens maximale vloedstroming en maximale ebstroming voor de referentiesituatie (REF00) en het modelscenario met nieuwe kaaimuur en verdiepte baggerzone (SC01). Figuur 9 geeft een verschilplot van de gemodelleerde stroomsnelheden tijdens vloed en eb.

3.1 Referentiesituatie (REF00)

Binnen de havendammen blijft de getijstroming veelal beperkt tot maximaal 0,2 m/s. Enkel tussen 2 uur voor hoogwater en hoogwater, bij het binnenkomen van de vloedstroming treden er hogere snelheden op. Deze stroming wekt een neerpatroon op binnen de havendammen. Dit neerpatroon wordt kwalitatief goed gereproduceerd door het model, hoewel uit de modelvalidatie blijkt dat de gemodelleerde stroomsnelheden in de voorhaven iets worden overschat (Dujardin *et al.*, 2017). De maximale stroomsnelheden in de neer zijn tot ongeveer 0,8 m/s aan de oostelijke zijde van de vaargeul. Aan de westzijde is de maximale stroming in de neer tot ongeveer 0,5 m/s en dus minder sterk. De snelheidscomponent van de neer dwars op de vaargeul is nog minder sterk (tot 0,3 m/s). Ter hoogte van de Halve Maandijk blijven de stroomsnelheden tijdens zowel eb als vloed steeds lager dan 0,2 m/s.

Buitengaats is de getijstroming het sterkst direct buiten de havenmond vanwege de contractie van de stroomlijnen aldaar. Tijdens vloed zijn de gemodelleerde maximale stroomsnelheden hier tot ongeveer 1,1 m/s en tijdens eb tot 0,7 m/s. Verder zeewaarts zijn de stroomsnelheden lager.

3.2 Scenario Nieuwe Kaaimuur (SC01)

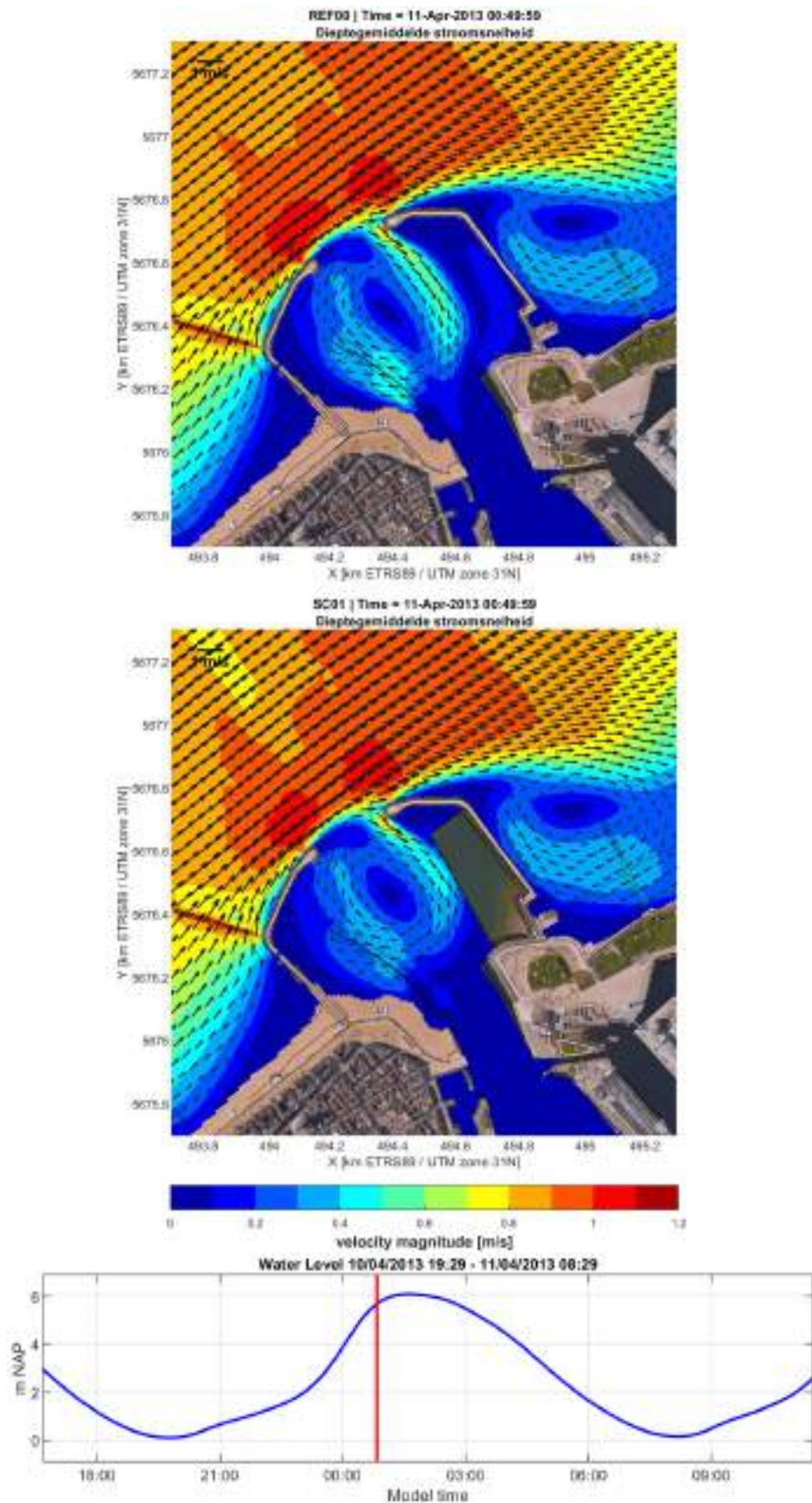
De implementatie van de nieuwe kaaimuur en de verdieping van de baggerzone hebben een beperkte invloed op de stroompatronen en stroomsnelheden in het studiegebied.

Tijdens de vloedfase neemt de omvang van de neer in de voorhaven enigszins af met als gevolg dat de maximale neerstroming in een groot deel van deze zone ook afneemt. Deze afname is het sterkst aan de zuidzijde van de neer (tot -0,25 m/s). De maximale stroming in de neer langs de oostelijke havendam blijft evenwel gelijk met ongeveer 0,8 m/s. Op basis van de uitgevoerde modelsimulatie kan niet worden geconcludeerd of de afname in sterkte van de neerstroming een gevolg is van de implementatie van de kaaimuur of van de verdieping van de baggerzone.

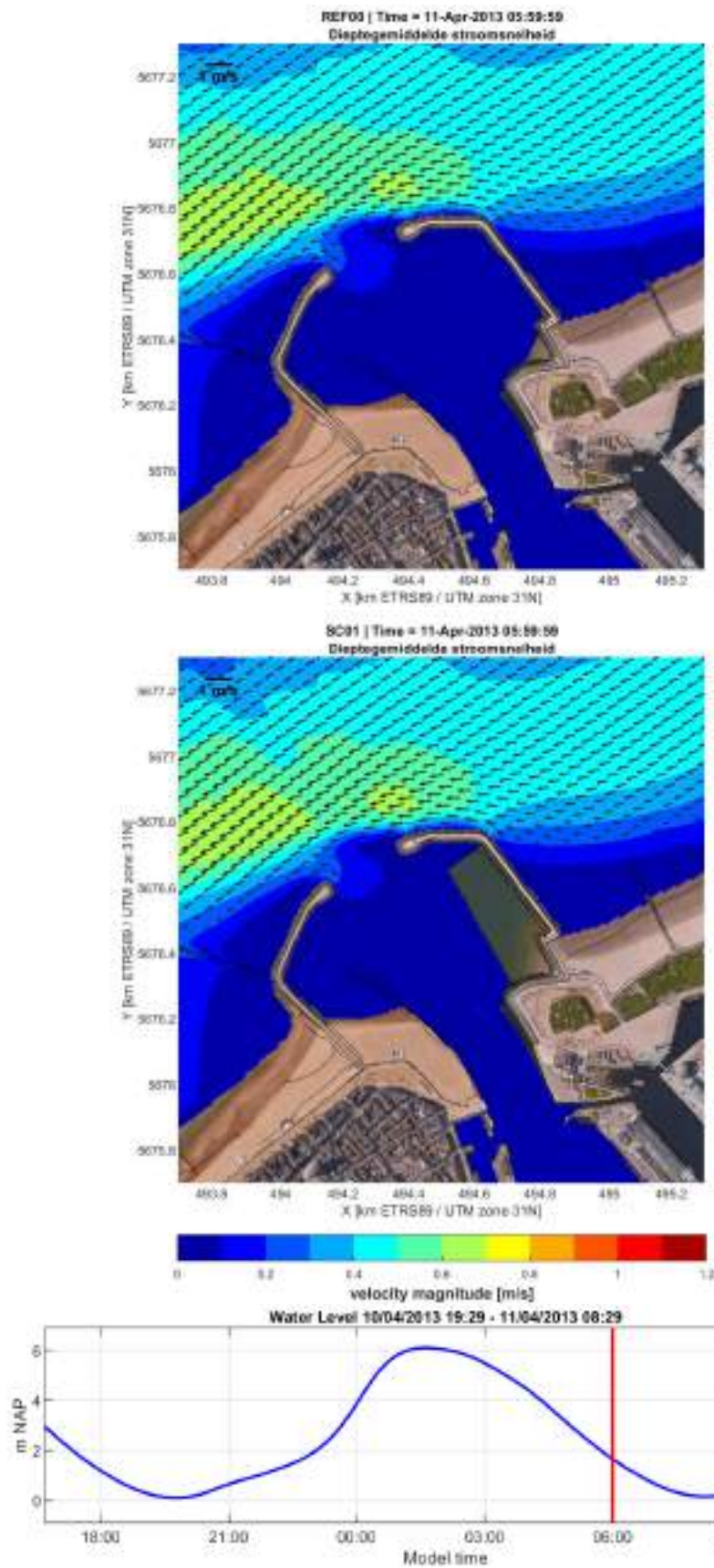
Als gevolg van de verdieping van de vaargeul naar TAW -10,0 m neemt de getijstroming, die buitengaats hoofdzakelijk loodrecht op de oriëntatie van de geul stroomt, tijdens zowel vloed als eb licht af met ongeveer -0,05 m/s. Tussen de havendammen is deze afname in maximale stroomsnelheid tijdens de vloedfase lokaal iets sterker met -0,10 m/s.

Tijdens eb is er verder nauwelijks een impact op de maximale stroomsnelheid in het studiegebied.

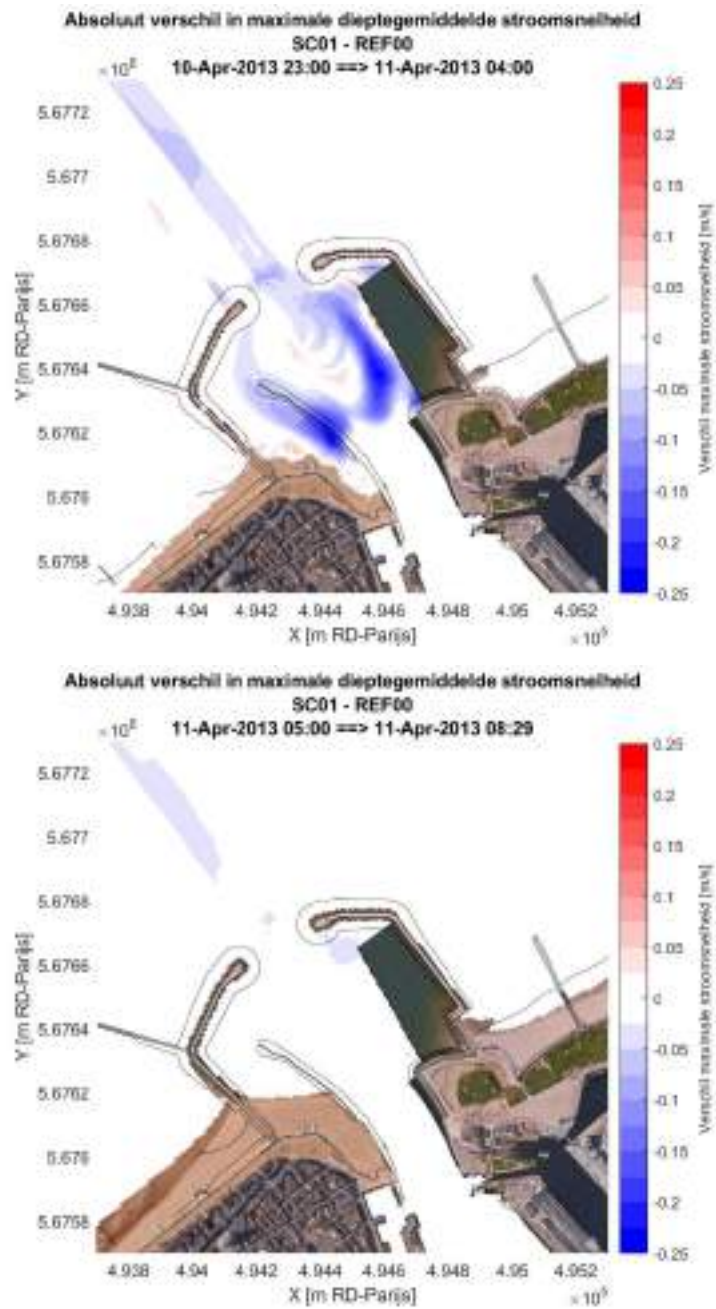
Concluderend kan dus gesteld worden dat er enkel sprake is van een beperkte lokale afname van de stroomsnelheden.



Figuur 7 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens maximale vloed, in de referentierun REF00 (boven) en in run met nieuwe kaaimuur SC01 (onder).



Figuur 8 – Gemodelleerde stroomvelden tijdens maximale eb, in de referentierun REF00 (boven) en in run met nieuwe kaaimuur SC01 (onder).



Figuur 9 – Verschil in stroomsnelheid tijdens vloed (boven) en tijdens eb (onder).

4 Nautische simulatiestudie

4.1 Aanpassing simulatieomgeving

De simulatieomgeving Oostende maakt deel uit van de huidige simulatordatabase. De laatste keer dat deze simulatieomgeving voor onderzoek werd gebruikt was met de voorstudie voor de verbrede Halve Maan (Verwilligen *et al.*, 2016). Basisbestanden die toen werden opgebouwd, worden gebruikt voor de ontwikkeling van:

1. de projectie van de (actuele) bathymetrie in het scenario met kaaimuur (SC01 in hoofdstuk 2 met verdiepte bathymetrie aan de kade);
2. het 3D-model (buitenbeeld) van de haven van Oostende dat geactualiseerd wordt met de nieuwe kaaimuur. As-built plannen (o.a van de Halve Maan) zijn aangevraagd bij Afdeling Maritieme Toegang voor wijzigingen in het buitenbeeld maar zullen voor deze studie nog niet geïmplementeerd worden. Palen werden wel verplaatst.

Voor het getij en de bijhorende stromingsvelden wordt gebruik gemaakt van de input en de output van het hydrodynamische model beschreven in hoofdstuk 2.

4.1.1 Bathymetrie voor SC01

Er werd een basiscontour (23_088_basiscontour.cnt, Figuur 10 links) opgesteld waarin de nieuwe kaaimuur werd toegevoegd en het onderzoeksgebied in deze contour werd gemeshed met een gridgrootte van 8 m in de haven en net buiten de havendammen (Figuur 10, rechts). Daarbuiten is de mesh grover opgedeeld. Op deze mesh werd eerst een actuele bathymetrie van 2023 geprojecteerd:

- basicMesh_SC01_update20231020_update20231208: waarin updates met lodingen van oktober en december 2023 werden opgenomen.



Figuur 10 – Basiscontour (gele contour links) en basismesh (rechts)

Vervolgens werd de bathymetrie die gebruikt werd in de hydrodynamische berekeningen in hoofdstuk 2 voor SC01 geprojecteerd op deze mesh. Deze bewerkingen geven ten slotte een bathymetrie waarin de dieptelijnen ten opzichte van TAW zoals voorgesteld in Figuur 11 worden bekomen. De verbrede Halve Maan is zichtbaar op basis van de dieptelijn bij -7 m TAW waarbij opvalt dat er een uitstulping bestaat ten zuiden van de terreinen van C-power. De maximale gegarandeerde diepte van -8.9 m TAW is ook voorgesteld met een dieptelijn. Deze dieptelijn ligt verspreid op de Halve Maan tot in de noordzijde van de zwaaizone zodat daar ook delen tot -8.9 m TAW en eventueel dieper beschikbaar zijn.



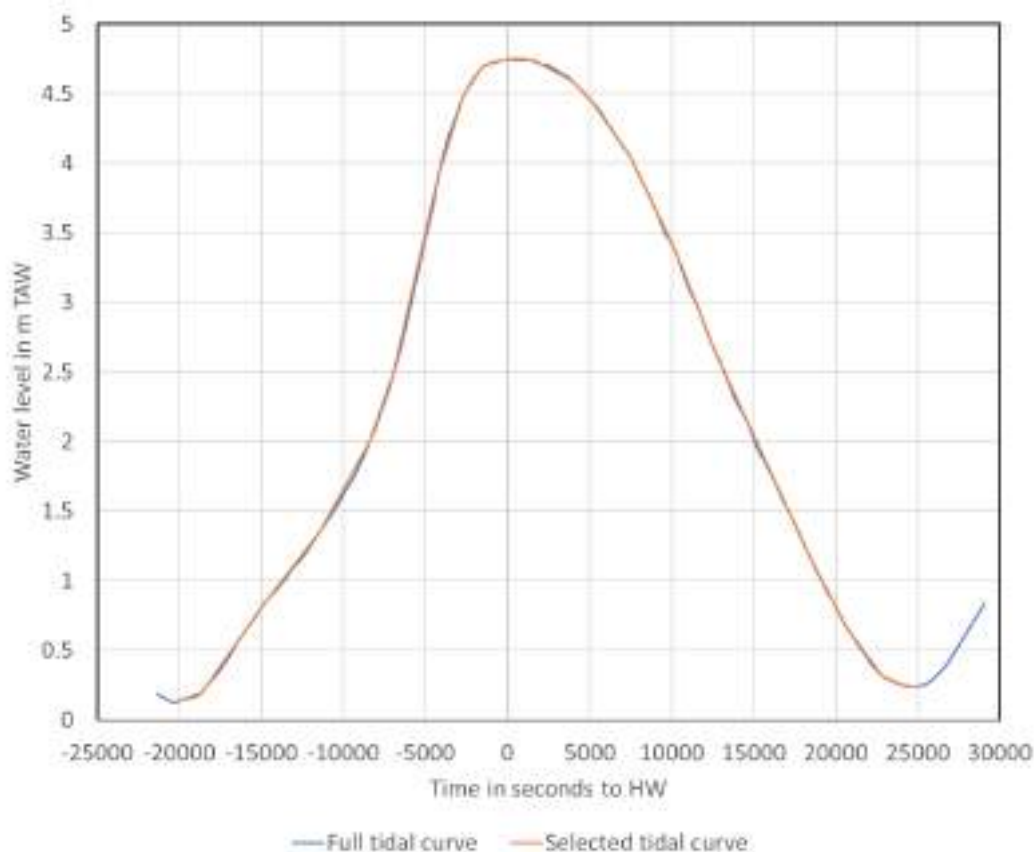
Figuur 11 – Dieptelijnen in TAW: -1 m (rood), -3 m (oranje), -5 m (geel), -7 m (groen), -8.9 m (blauw)

4.1.2 Tide/getij voor SC01

De hydrodynamische berekeningen werden uitgevoerd voor een gekozen getij dat beschreven werd in hoofdstuk 2. Zoals gerapporteerd, werd de waterstandsamplitude in het model sterk overschat, waardoor de resultaten voor de getijcurve die uit de hydrodynamische berekeningen komen niet rechtstreeks kunnen gebruikt worden. Daarom werd de reële getijcyclus gebruikt waarvoor de hydrodynamische berekeningen geselecteerd werden. Vervolgens werd het aantal datapunten dat deze getijcyclus bevat, gereduceerd tot een beperkt aantal punten dat toch een goede variatie van de getijcyclus gaf (Figuur 12).

Dankzij nieuwe ontwikkelingen kan tijdens nautische simulaties het getij ofwel statisch gekozen worden (zoals voorheen, één specifiek moment van de getijcyclus, zoals maximale vloedstroom) ofwel dynamisch waarbij de simulatie start en in realtime evolueert met de simulatietijd. Alle simulaties werden uitgevoerd bij een statisch getij:

- waterstand constant in de tijd, maar ook in de ruimte (dus geen variatie van de waterstand over het onderzoeksgebied);
- stroomsnelheden/vectoren constant in de tijd, maar tweedimensionaal variërend over het onderzoeksgebied.



Figuur 12 – Getijcyclus van 10/04/2013 18:30 (-21300 s tot HW) tot en met 11/04/2013 8:30 (29100 s na HW)

Hoog water treedt op 11/04/2013 tussen 1:25 (0 seconden in Figuur 12) en 1:45 (1200 s)¹.

4.1.3 Stroomcondities voor SC01²

De beschikbare stroomvelden voor de gekozen getijcyclus werden geïmplementeerd in de simulator en vervolgens werden tijdens de simulaties specifieke tijdstippen geselecteerd. Sterke vloedstroom werd gekozen 1 uur voor HW en sterke ebstroom 4.2 uur na HW. Omdat de sterke vloedstroom met de sterke windcondities als te streng werd beschouwd, werden ook tijdstippen van hoog water, 1 uur en anderhalf uur na HW en ook 1.75 uur voor HW geselecteerd.

Op basis van een vergelijkend onderzoek tussen de stroomatlas en de hydrodynamische berekeningen uitgevoerd in het kader van (Verwilligen *et al.*, 2016) werden multiplicatoren voorgesteld per getijtijdstip. Dit leidt bijvoorbeeld tot een factor 1.03 voor volle vloed en 1.42 voor volle eb.

¹ In de verwerking tot een SimEnv database werd hoog water ingesteld op 11/04/2013 om 1:37.

² In de definitieve versie van het rapport zullen figuren van de gekozen tijdstippen met de stroomvectoren opgenomen worden.

Tabel 2 – Stroomprofielen conform een gemiddeld springtij geïmplementeerd in de simulatieomgeving 'Oostende_15_067' met aanduiding van de gemiddelde stroomsnelheid (V) in de zone tussen de havendammen en de boeien O3-O4.

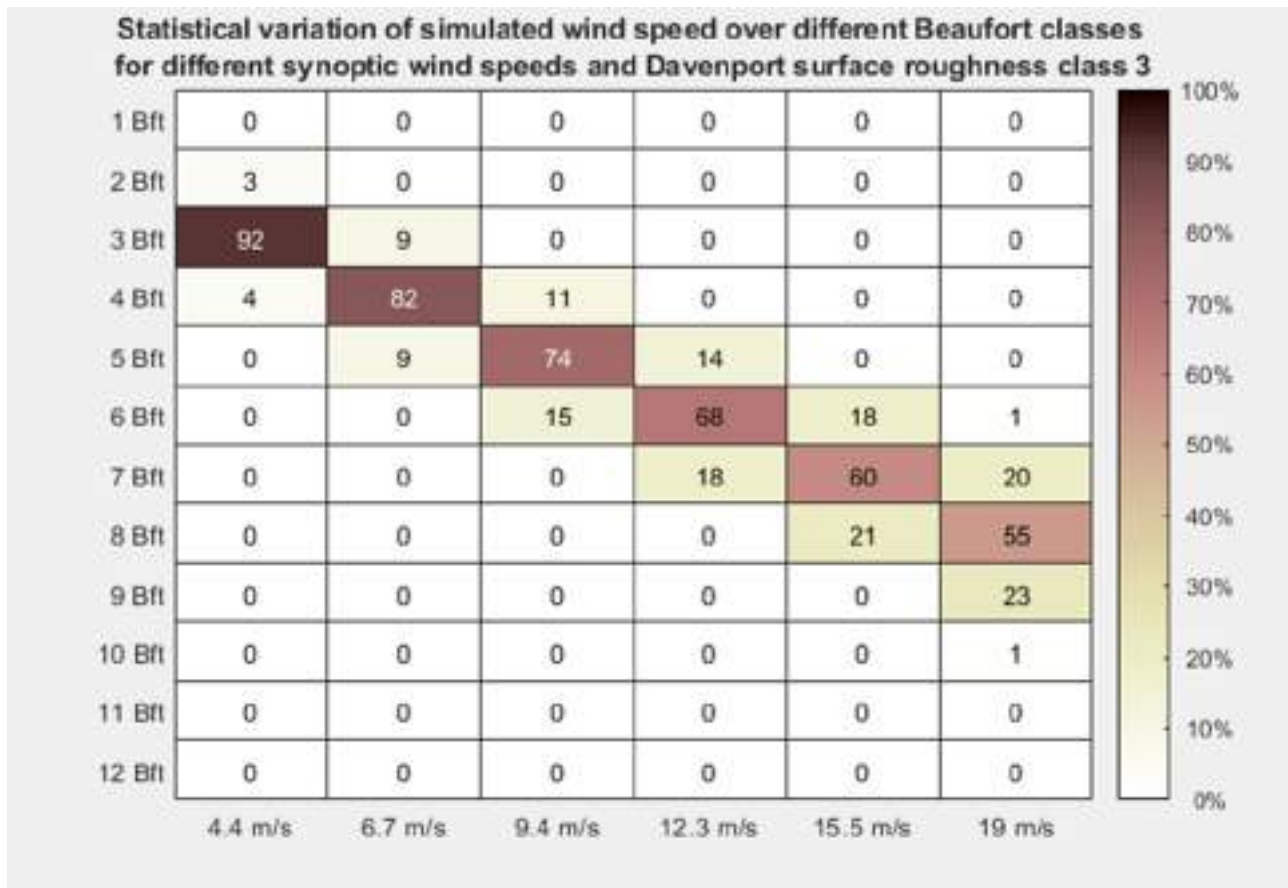
	Numeriek Model 2015		Stroomatlas 2013		Multiplicator Num. Model	Tij [m TAW]
	Tijdstip t.o.v. HW	V	Tijdstip t.o.v. HW	V		
	[min]	[kn]	[min]	[kn]		
Volle vloed	-50	1.79	-20	1.84	1.03	4.52
Volle Eb	-290	0.79	-260	1.12	1.42	0.62
Kentering_opgaand	-130	0.14	-100	0.13	0.94	2.96
HW	0	1.51	0	1.84	1.22	4.70
Matig Vloed	130	0.65	180	0.70	1.07	3.01
Kentering afgaand	180	0.23	240	0.29	1.24	1.99
LW	410	0.73	400	1.09	1.51	0.13
Neap Vloed	-80	1.37	-60	1.34	0.98	4.16

De multiplicator voor matige vloed (namelijk 1.07) werd toegepast voor alle stroomcondities tussen 1.75 uur voor HW en 1 uur na HW. De multiplicator voor volle eb werd toegepast voor de stroomconditie op 4.2 uur na HW.

4.1.4 Windcondities

Er werd geen reductie van de wind (windluwte) door de hoogbouw van de Oostendse binnenstad ter hoogte van de Halve Maandijk en de zwaaizone toegepast. De focus ligt immers op het passeren van de voorhaven en de Halve Maandijk waar ter hoogte van deze laatste de reductie nog beperkt is.

De wind wordt gesimuleerd als een variabele wind volgens het Von Karmanspectrum (sterkte en richting). De variatie van de wind voor een gekozen specifieke Beaufortklasse bij een Davenport ruwheidsklasse 3 is voorgesteld in Figuur 13. De gekozen Beaufortklassen waren 4, 5 en 6, met een uitzonderlijke 8 Bft (foutieve instelling).



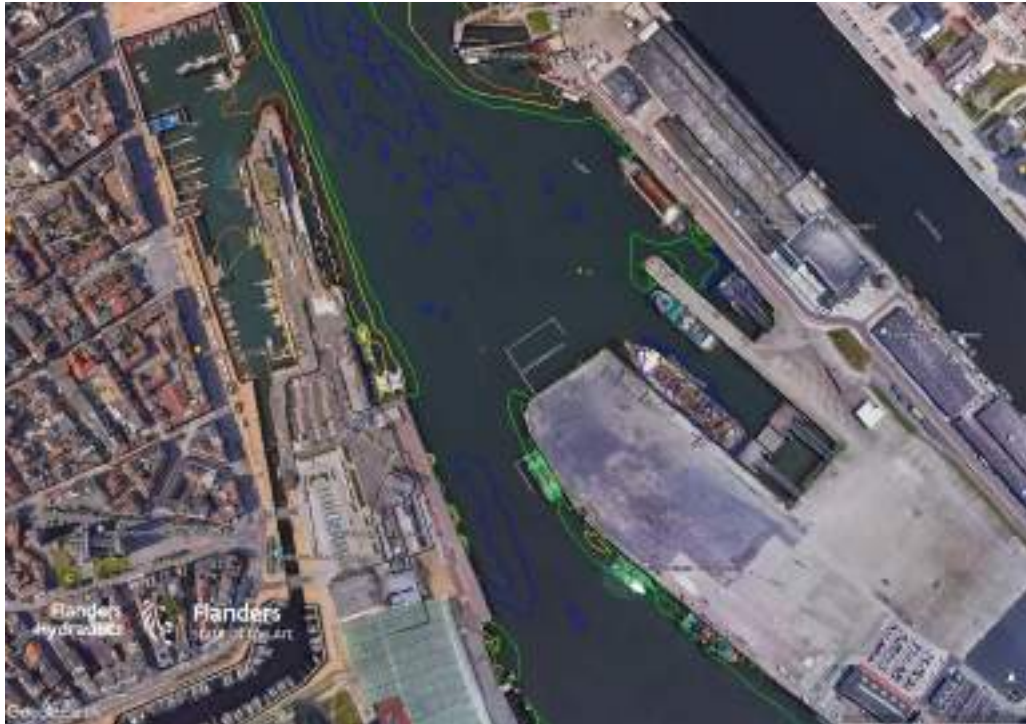
Figuur 13 – Verdeling van de gesimuleerde wind voor een specifieke Beaufortklasse (kolom links) over de verschillende Beaufortklassen voor Davenport ruwheidsklasse 3

4.1.5 Boeien en afgemeerde schepen

Tijdens de simulaties werden boeien en pontonkranen (Vidar jackup, Tabel 3, Figuur 14) aan kaai 503 en recht tegenover de cruiseterminal opgelegd om de ruimte rond en in de directe omgeving van de cruiseterminal te beperken.

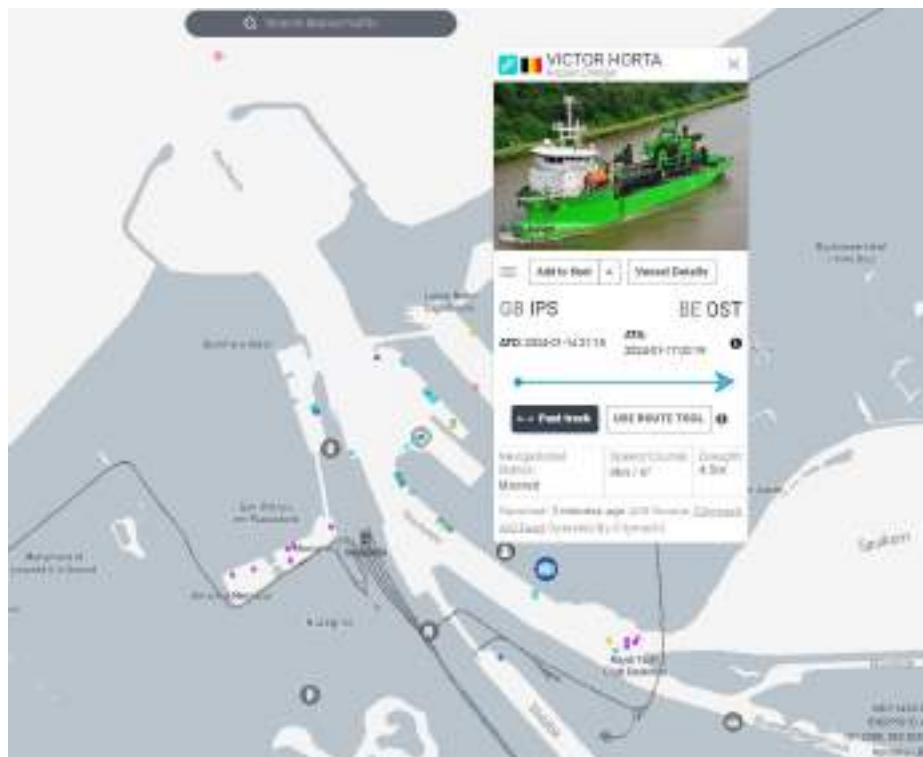
Tabel 3 – Lambert coördinaten van Vidar boeien

	x-coördinaat	y-coördinaat
Vidar1	49304.323	214479.836
Vidar2	49407.536	214559.537
Vidar3	49418.011	214557.365



Figuur 14 – Posities van pontons en de jack-up Vidar aan kaai 503 (witte contourlijnen en gele boeien)

De schepen in de haven van Oostende op 17 januari 2024 worden voorgesteld in Figuur 15. De dredger Victor Horta bevond zich ter hoogte van kaai 503.



Figuur 15 – Marinetraffic beeld op 2024/01/17

Verder werden boeien verwijderd die op de locatie van de nieuwe kade liggen. De keuze van afgemeerde schepen was gebaseerd op Figuur 1. Omdat geen offshoreschepen met een breedte van 60 m in de simulatordatabase aanwezig waren, werd er voor gekozen om twee Panamax brede schepen naast elkaar af te meren met de gewenste lengte van ongeveer 180 m.



Figuur 16 – Boeien verwijderd ter plaatse van de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade

4.2 Simulatiecondities en programma

4.2.1 Simulatieschip

Simulaties werden uitgevoerd met het cruiseschip beschouwd in Verwilligen *et al.* (2016), nl. het cruiseschip The World (196 m x 29.8 m x 6.9 m, ontkoppelde schroeven maar gekoppelde roeren) en met de RoRo-ferry Pauline (203 m x 31.0 m x 7.4 m) waarvoor een versie met ontkoppelde schroeven en roeren beschikbaar was (Tabel 4 en Figuur 17 en Figuur 18). Beide schepen hebben een vergelijkbare lengte en breedte maar de Pauline heeft een diepgang die 0.5 m groter is en de manoeuvreereigenschappen verschillen enigszins. De Pauline heeft met ontkoppelde schroeven en roeren een grotere verscheidenheid aan controle-eigenschappen.

Tabel 4 – Hoofdkarakteristieken van het cruiseschip en de RoRo-ferry

Naam	Scheepstype	L _{OA}	B	T	Boeg- schroef	Hek- schroef	Voorbeeldschip
		[m]	[m]	[m]	[HP]	[HP]	
World	Cruiseschip	196	29.8	6.9	3220	940	The World
Pauline	RoRo-ferry	203	31	7.4	5362	-	Pauline (CLdN)



Figuur 17 – Simulator SIM360+ met cruiseschip The World bij een opvaart langs de nieuwe kade



Figuur 18 – Simulator SIM360+ met RoRo-ferry Pauline bij opvaart afwaarts de nieuwe kade

4.2.2 Simulatiecondities

De variatie van de simulatiecondities is gebaseerd op:

- het schip (World of RoRo-ferry Pauline)
- het invaren en het uitvaren van de haven: de focus lag op de passage van de nieuwe kade gevolgd of vooraf gegaan door een passage van de Halve Maan
- de gekozen waterstand en stroomsnelheden: -1.75, -1, 0, 1, 1.5 en 4.2h ten opzichte van HW
- de gekozen windconditie: 4, 5 en 6 Beaufort met richtingen SW, W, NW, N, NE en E waarbij tijdens de laatste simulatie 18 de Beaufortklasse verkeerd werd ingesteld op 8 Bft, een waarde waarbij een schip niet zou invaren en afmeren aan de nieuwe kade
- gebruik van een sleepboot: gezien de grote manoeuvreerbaarheid van de toegepaste schepen werd slechts uitzonderlijk één sleepboot van 30 ton toegepast (enkel in simulatie 9 en 18)

Tabel 5 – Overzicht van het uitgevoerde simulatieprogramma

Nr.	Schip	In/Uit	Tijd tot HW	Wind Bft	Wind richting	Afstand tot afgemeerde schepen kade	Sleper 30 ton
1	World	In	-1h	4	SW	100 m	geen
2	World	In	0h	5	SW	160 m	geen
3	World	In	1h	5	SW	125 m	geen
4	World	In	1h	5	N	100 m	geen
5	World	In	4.2h	5	N	100 m	geen
6	World	In	4.2h	5	NE	120 m	geen
7	World	In	4.2h	5	E	70 m	geen
8	World	In	1.5h	6	W	100 m	geen
9	World	In	4.2h	6	E	85 m	Voor
10	World	Uit	4.2h	5	E	70 m	geen
11	World	Uit	-1h	5	W	100 m	geen
12	Pauline	Uit	-1h	5	W	100 m	geen
13	Pauline	Uit	4.2h	5	E	Niet van toepassing	geen
14	Pauline	Uit	4.2h	5	E	70 m	geen
15	Pauline	In	-1.75h	6	W	110 m	geen
16	Pauline	In	4.2h	6	E	90 m	geen
17	Pauline	In	1.5h	6	NW	110 m	geen
18	Pauline	In	1.5h	8	SW	Niet van toepassing	Achter

4.2.3 Simulatieprogramma

Er werd voor de studie één simulatiedag uitgevoerd op scheepsmanoeuvresimulator SIM360+ van het Waterbouwkundig Laboratorium. Voor de uitvoering van de simulaties werd een beroep gedaan op twee kustloodsen (DAB Loodswezen). Er werden op 22/01/2024 uiteindelijk 18 simulaties uitgevoerd. Een overzicht van de ingestelde condities is samengevat in Tabel 5.

4.3 Analyse vaarsimulaties

De analyse van de vaarsimulaties wordt gebaseerd op:

1. de gesimuleerde trajecten van de schepen The World en Pauline ten opzichte van de nieuwe kade en de Halve Maan; de afstand tussen de scheepszijden ter hoogte van de nieuwe kade worden benaderd gemeten om de grootteorde te kennen voor verdere afmeerstudies; er wordt voor elke

simulatie een KMZ gemaakt waarmee de simulatie volledig kan bekeken worden; een manual voor het gebruik van een KMZ file is te vinden in Bijlage 4; de KMZ files³ voor alle simulaties worden digitaal toegevoegd tot het rapport;

2. het gebruik van stuurmiddelen zoals schroeven en roeren, boeg- of hekschroeven en sleepboten;
3. de feedback van de loodsen over het uitgevoerde manoeuvre volgens het standaard evaluatieformulier zoals in Bijlage 2 en de nabespreking na de uitgevoerde simulatie in Bijlage 3.

Deze analyse moet de conclusies met betrekking tot de impact van de nieuwe kade met afgemeerde schepen op de passerende vaart (met grootste schepen voor de Haven van Oostende) kunnen geven.

De simulaties worden besproken volgens de toegepaste stroomconditie met een onderverdeling tussen vloedstroom en ebstroom en vervolgens de toegepaste windrichtingen. Een combinatie van stroom en wind zal immers het manoeuvreergedrag van het schip bepalen en beide kunnen elkaar tegenwerken of versterken. Er wordt op hoger niveau nog een onderscheid gemaakt tussen het cruiseschip en de RoRo-ferry.

4.3.1 Simulaties bij vloedstroom

Er werden op één uur voor HW (volle vloed) twee simulaties uitgevoerd met het cruiseschip The World, één bij invaart run 1 (gewenningsvaart voor de eerste loods) en één bij uitvaart (run 11). Met de RoRo-ferry werd bij volle vloed enkel een uitvaart uitgevoerd (run 12). Er komen slechts drie simulaties voor bij deze conditie. De loodsen zullen trachten te vermijden om bij volle vloedstroom in te varen. Bij uitvaren werd dit met elk schip onderzocht samen met een westelijke 5 Bft wind. De simulaties bij volle vloedstroom worden respectievelijk voorgesteld in Figuur 19, Figuur 20 en Figuur 21.

Tabel 6 – Simulaties bij vloedstroom voor hoog water

Nr.	Schip	In/Uit	Tijd tot HW	Wind Bft	Wind richting	Reserve	Moeilijkheid
1	World	In	-1h	4	SW	2	4
11	World	Uit	-1h	5	W	3	4
12	Pauline	Uit	-1h	5	W	3	4
15	Pauline	In	-1.75h	6	W	3	3

³ In de KMZ files wordt ongeacht voor The World (cruiseschip) of Pauline (RoRo-ferry) verwezen naar een Car carrier met de juiste afmetingen. Het type car carrier is niet correct maar zal niet aangepast worden in alle figuren.



Figuur 19 – Invaart: run 1 met The World bij SW 4 Bft en 1 uur voor HW



Figuur 20 – Uitvaart: run 11 met The World bij W 5 Bft en 1 uur voor HW



Figuur 21 – Uitvaart: run 12 met Pauline bij W 5 Bft en 1 uur voor HW

De presentaties in Figuur 19 en volgende figuren worden opgesplitst naar de zone van op zee gaande door de koppen tot voorbij de nieuwe kade enerzijds en langsheen de Halve Maan tot in de zwaaizone anderzijds. In uitvaart is de volgorde eerst van de zwaaizone tot voorbij de Halve Maan en dan van de nieuwe kade tot op zee.

De loodsen anticiperen met de volle vloedstroom door de koppen bij invaart tegen de groene boei te naderen. Op die manier kan de stroomnaad veilig doorvaren worden. In Figuur 19 vaart het schip hierdoor centraal en op ongeveer 100 m van de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade. De snelheid over de grond bedroeg voor het passerende schip aan de koppen ongeveer 8 knopen wat verminderde tot 6 knopen bij het naderen van de Halve Maan. Er werd uitdrukkelijk gevraagd aan de loodsen om de snelheid te reduceren zodat de impact op de afgemeerde schepen minder is. In principe is de snelheid door het water (rekening houdend met de stroomsnelheid) bepalend voor de interactie tussen schepen, maar in de voorhaven treedt een neer op zodat de stroomsnelheid varieert (langs naar dwars gericht) naar gelang de positie van het passerende schip in de voorhaven (hoe hoger de snelheid door het water, hoe groter de interactiekrachten tussen de schepen).

Het gebruik van de Controllable Pitch Propellers en de boeg- en hekschroeven is op de KMZ representaties voorgesteld met pijlen die de richting aangeven (bijvoorbeeld vooruit of achteruit thrust voor de propellers) en een kleurschaal die het percentage van thrust weergeeft zoals opgenomen in Figuur 22. Hieruit blijkt dat in Figuur 19 de toegepaste thrust voor de propellers beperkt is en slechts groter wordt dan 50% bij het afremmen met gesplitste schroeven op het einde van de Halve Maan. Indien aan de boeg of de propellers geen pijl wordt getekend dan betekent dit dat de propellers of boeg- of hekschroeven niet gebruikt worden.

The World gaat goed door de Halve Maan bij SW 4 Bft maar het positieve van de verruiming van de Halve Maan is zeker zichtbaar aangezien het schip van de westelijke naar de oostelijke zijde drift bij de passage van de Halve Maan.

Thrust	Colour
0%	
11%	
22%	
33%	
44%	
56%	
67%	
78%	
89%	
100%	

Figuur 22 – Kleurschaal voor gebruik van controllable pitch propellers and boeg- en hekschroeven op de KMZ presentaties

Voor de uitvaarten met de World in Figuur 20 en met de Pauline in Figuur 21, beide bij W 5 Bft en head out vanaf de ligplaats aan de cruiseterminal, werd de ingezette thrust van de propellers in de Halve Maan beperkt en was het traject van de terminal tot aan de Halve Maan verschillend (onder andere door misverstand in run 12). Dit verschil in manoeuvres is minder belangrijk voor het doel van de huidige studie. De snelheid in run 11 (Figuur 20) op het einde van de Halve Maan was ongeveer 6 knopen terwijl deze snelheid was opgelopen tot 8 knopen voor de Pauline in run 12 (Figuur 21). In run 11 met The World hield de loods de snelheid aan tot 6 knopen langs de nieuwe kade en versnelde pas eens tussen de koppen. De afstand tot de afgemeerde schepen was ongeveer 100 m zoals bij de invaart. In run 12 werd de snelheid langs de nieuwe kade eerst op 8 knopen gehouden maar werd de thrust van de propellers vroeger verhoogd dan in run 11 zodat van zodra het schip een halve scheepslengte voorbij de afgemeerde schepen was de snelheid werd verhoogd. Een vergelijking van de tracks van beide schepen is voorgesteld in Figuur 23. Hieruit blijkt dat de tracks zeer gelijkaardig zijn over de Halve Maan en tot voorbij de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade maar dat The World met de laagste snelheid van 6 knopen inderdaad meer drift bij het doorvaren van de koppen en de stroomnaad. Toch is in de toegangsgeul Oostende voldoende diepte aanwezig om deze grotere

drift op te vangen. De loodsen adviseren wel om met een snelheid van 7 à 8 knopen door de koppen te gaan (en dus niet met 6 knopen zoals in run 11).



Figuur 23 – Vergelijking van de tracks van run 11 met The World (blauw) en run 12 met Pauline (groen) bij volle vloed en W 5 Bft

Vervolgens werd ook nog bij een zwakkere vloedstroom op 1.75 uur voor HW met de Pauline een simulatie uitgevoerd bij een sterkere westelijke 6 Bft wind (run 15, Figuur 24). Opnieuw werd op voldoende afstand van de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade gevaren (110 m) na het doorvaren van de koppen. Ook de Halve Maan werd met voldoende reserve tot beide oevers bevaren. De ingezette thrust was op dit traject beperkt en onder de 50%. Enkel bij het afremmen op het einde van de Halve Maan en in de aanloop naar de terminal wordt meer thrust gevraagd. Bij het binnenvaren werd de snelheid over de grond teruggebracht van 8 (koppen) naar 6 knopen (opwaartse zijde nieuwe kade).

De conclusie is dus dat beide schepen bij sterke vloedstroom en dwarse wind van 4 tot en met 6 Bft op een afstand van minimaal 100 m en maximale snelheid van 8 knopen de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade kunnen passeren. Voor afmeerstudies voor deze afgemeerde schepen aan de nieuwe kade kunnen deze waarden richtinggevend zijn.

Indien de evaluaties van de simulaties worden bekeken in Tabel 6 dan werden deze beoordeeld met voldoende (2) of weinig reserve (3) en meer dan normale moeilijkheid (3) of moeilijk (4). Deze beoordelingen gelden voor de volledige simulatie en dus niet alleen voor de passage van de nieuwe kade. De toegankelijkheid van schepen rond 200 m lengte vereist inderdaad voor de haven van Oostende onder strengere omgevingscondities (sterke vloedstroom en krachtige wind) grote aandacht (moeilijk) en beperktere reserve op de stuurmiddelen (schroeven, roeren en boegschroeven). Ook in inname van ruimte moet er aandachtiger geanticipeerd worden met stroom en wind. Voor de loodsen was de neer in de voorhaven ter hoogte van het Westerstaketsel duidelijk voelbaar.



Figuur 24 – Invaart: run 15 met Pauline bij W 6 Bft en 1.75 uur voor HW

Vervolgens werden er zes simulaties uitgevoerd op en na HW (Tabel 7). De verminderde vloedstroom geeft afhankelijk ook van de windkracht en windrichting een vergelijkbare of positievere beoordeling van de uitgevoerde simulaties in vergelijking met deze besproken op basis van Tabel 6 voor run 2 tot en met 8. In run 8 werden twee beoordelingen opgenomen met voldoende reserve en normaal uitgevoerd voor de passage van de nieuwe kade, en incident voor reserve op het einde van de Halve Maan, gaande naar de zwaazone, en moeilijk voor het uitvoeren van dat manoeuvre.

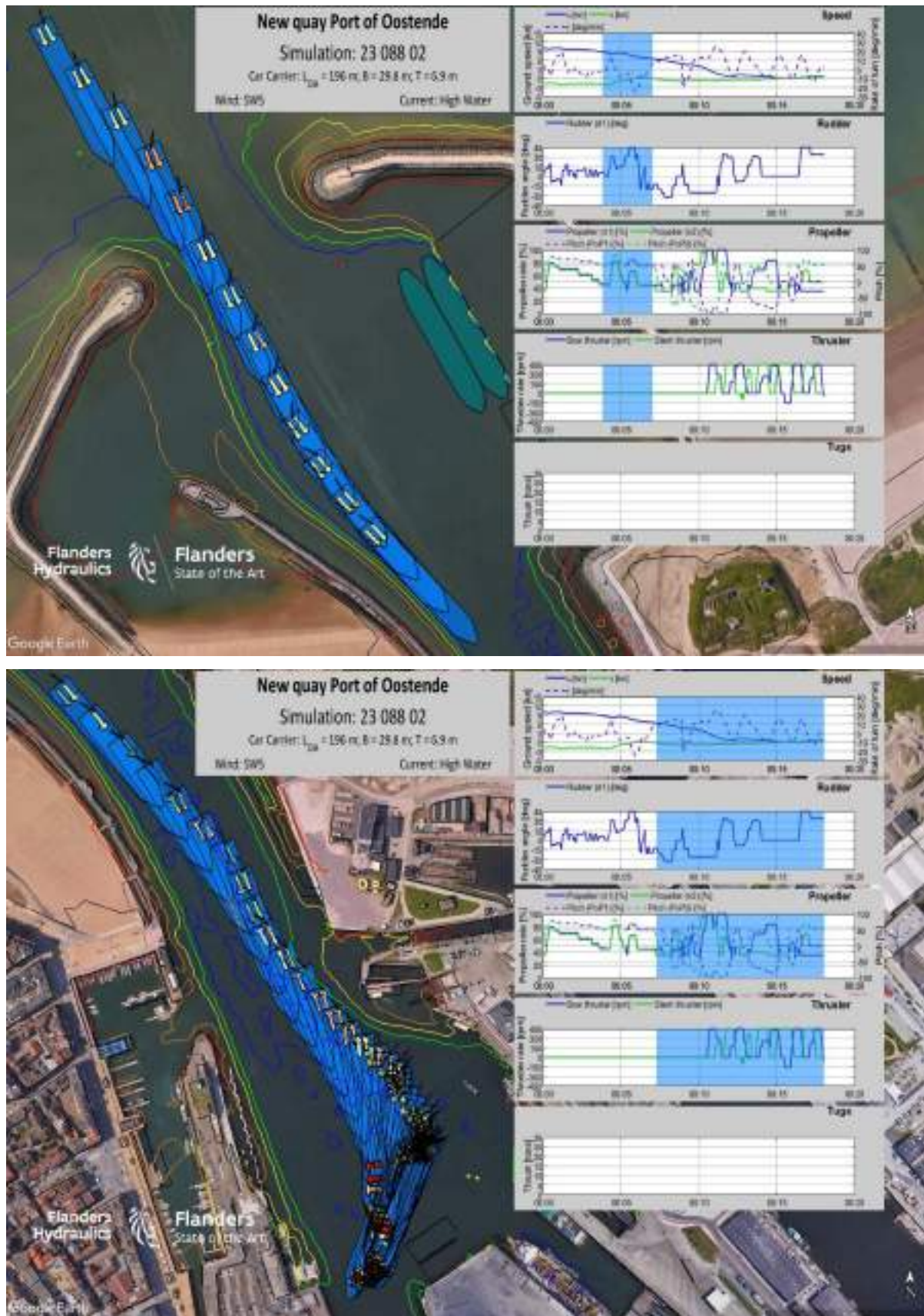
Run 17 bij NW 6 Bft met de Pauline is een afwijkend manoeuvre waarbij de opdracht gegeven werd om de koppen door te varen en het schip zo snel mogelijk afgestopt te krijgen in de voorhaven tussen het Westerstaketsel en de nieuwe kade. Deze informatie kan enigszins gebruikt worden om de stopafstand van de Pauline te beoordelen bij een configuratie waarbij koppen met stroom moeten doorgevaren worden. Omdat de vloedstroom zeer beperkt was (anderhalf uur na hoog water) en de wind volledig achter het schip zat (eventueel langere afremafstand maar dus geen dwarswind), werd het manoeuvre zeer positief beoordeeld met vlot uitgevoerd en veel reserve.

Run 18, de laatste simulatie van de dag, moet beschouwd worden als een tweede extra simulatie, afwijkend van het oorspronkelijke doel van de studie, waarbij met de Pauline een zwaaimanoeuvre ter plaatse van de nieuwe kade werd uitgevoerd. In principe had deze simulatie moeten optreden bij windkracht SW 5 Bft maar door een fout tijdens de instelling van de simulatie werd windkracht 8 Bft geselecteerd. Niemand, ook de loods niet, had deze foutieve instelling in de gaten tijdens het uitvoeren van de simulatie. In de analyse is dit later gebleken en deze instelling verklaart ook bevindingen voor deze run die verderop worden besproken (en ook de beoordeling 'extreem moeilijk').

Tabel 7 – Simulaties bij vloedstroom op of na hoog water

Nr.	Schip	In/Uit	Tijd tot HW	Wind Bft	Wind richting	Reserve	Moeilijkheid
2	World	In	0h	5	SW	3	4
3	World	In	1h	5	SW	3	4
4	World	In	1h	5	N	2	3
8	World	In	1.5h	6	W	2/4	2/4
17	Pauline	In	1.5h	6	NW	1	1
18	Pauline	In	1.5h	8	SW	3	5

Run 2 werd uitgevoerd als gewenningsvaart voor de tweede loods (Figuur 25). De koppen werden dicht bij de groene boeienlijn aangevaren en door de verminderde vloedstroom in vergelijking met de stroomconditie bij run 1 verzette het schip minder naar bakboord. Vervolgens kwam het schip terecht in de neer die aan deze zijde in de voorhaven het schip naar stuurboord verzette (naast oevereffecten). Hierdoor bleef het schip ook in de voorhaven dicht bij de oever hangen en voer het ongunstig de Halve Maan in. De afstand tot de afgemeerde schepen is de grootste van alle uitgevoerde simulaties (160 m) en de snelheid over de grond varieerde tussen 8 (koppen) en 6 knopen (Halve Maan). In de Halve Maan moest het schip afgeremd worden en verzette het meer dan verwacht in oostelijke richting met een minder gunstige aanloop van de zwaazone. De loods raadde aan om niet op hoog water de haven aan te lopen met deze schepen en dus nog een lagere vloedstroom na te streven. Daarom werden de twee volgende runs 3 en 4 bij één uur na hoog water uitgevoerd.



Figuur 25 – Invaart: run 2 met The World bij SW 5 Bft en hoog water

Om het effect van de stroom te kennen werd run 3 uitgevoerd met dezelfde windconditie als run 2 maar de getij en stroom werden op één uur na hoog water gekozen. Hierdoor kon de loods centraler de koppen aanvaren (Figuur 26) zonder door de stroomnaad aanzienlijk verzet te worden naar de afgemeerde schepen toe (minimale afstand benaderd 125 m). Tegelijkertijd was de snelheid over de grond ook lager met 7 knopen ter hoogte van de koppen en 5 knopen bij de ingang van de Halve Maan. Van zodra in de haven werden de schroeven door gesplitst gebruik ook ingezet om te sturen (samen met de roeren). In de Halve Maan werd de volledige breedte gebruikt waarbij het schip zich van de westelijke naar de oostelijke zijde verzet wordt (door de lagere scheepssnelheid en de dwarse wind). Eens in de zwaaizone werd het schip afgeremd.

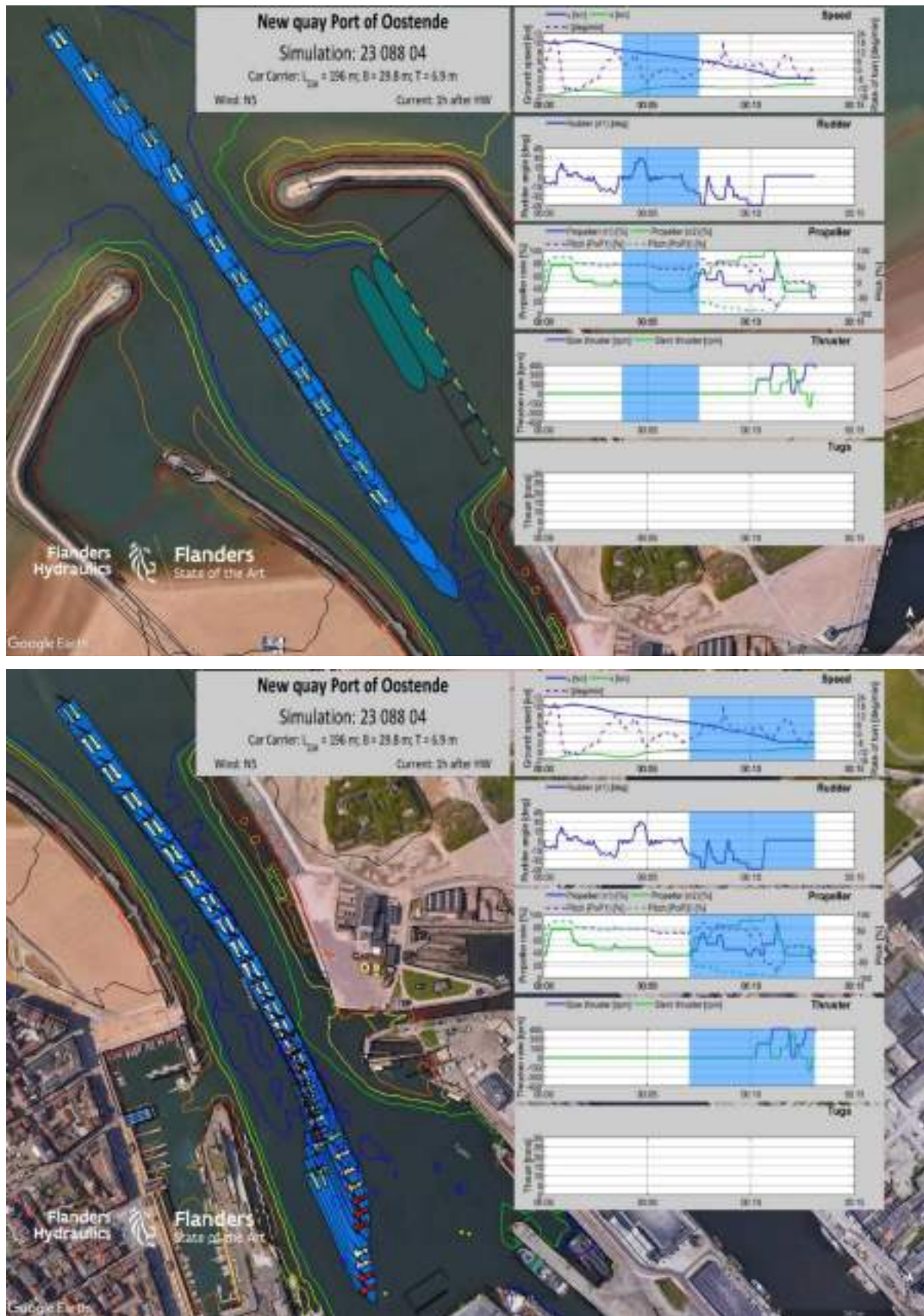
In run 4 werd dezelfde getij/stroomconditie gebruikt als in run 3 maar werd de wind gewijzigd naar N 5 Bft wat betekent dat deze bij het aanlopen van de haven bakboord achter schuin invalt (Figuur 27). Hierdoor had het schip enigszins de neiging om bakboord uit te draaien en kwam het dichterbij de afgemeerde schepen aan de nieuwe kaai met een benaderde afstand van 100 m tussen de scheepszijden. Deze afstand is nog steeds vergelijkbaar met de afstanden die bij de simulaties met sterke vloedstroom werden opgemeten. De snelheid nam af van 8 knopen ter plaatse van de koppen tot 6 knopen bij de ingang van de Halve Maan. De snelheid was wat hoger dan in run 3 ter plaatse van de koppen door de achter invallende wind.

In run 8 werd de stroomconditie nog verminderd tot anderhalf uur na hoog water maar werd de dwarse wind opgedreven naar W 6 Bft (Figuur 28). Door de sterkere dwarse wind was de snelheid bij het doorgaan van de koppen 9 knopen en werd deze snel afgebouwd tot 6 knopen aan de ingang van de Halve Maan. Hierdoor kwam het schip terug op 100 m dwarse afstand van de afgemeerde schepen. Ter hoogte van de nieuwe kade moesten de schroeven tegengesteld gebruikt worden (één vooruit andere achteruit) om het schip af te remmen en tegelijkertijd tegen de wind in te sturen. In de Halve Maan zelf is het met een afnemende snelheid van 6 naar 3 knopen niet mogelijk om het schip op koers en centraal in de vaargeul te houden (te zwakke hekschroef) en drift het schip helemaal weg naar de ondiepte aan de oostelijke zijde. Dit is geen gewenste situatie en betekent dat er een snelheid van 5 knopen minstens had moeten aangehouden worden. Van zodra de snelheid lager wordt is een sleepboot nodig om het achterschip tegen de wind in te bewegen. Het manoeuvre in de noordzijde van de zwaaizone was dus niet wenselijk. De Haven van Oostende heeft in het verleden gevraagd om de vaargeul tussen Halve Maan en zwaaizone aan oostelijke zijde te verruimen, maar de ondiepte en uitstulping aan de opwaartse zijde in de Halve Maan bestaat tot op vandaag.

De conclusie op basis van de vier simulaties op en na hoog water is dat, net zoals voor sterke vloedstroom, met een minimale snelheid van 8 knopen en een minimale afstand van 100 m tussen de scheepszijden van het passerende en de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade moet rekening gehouden worden.



Figuur 26 – Invaart: run 3 met The World bij SW 5 Bft en 1 uur na HW

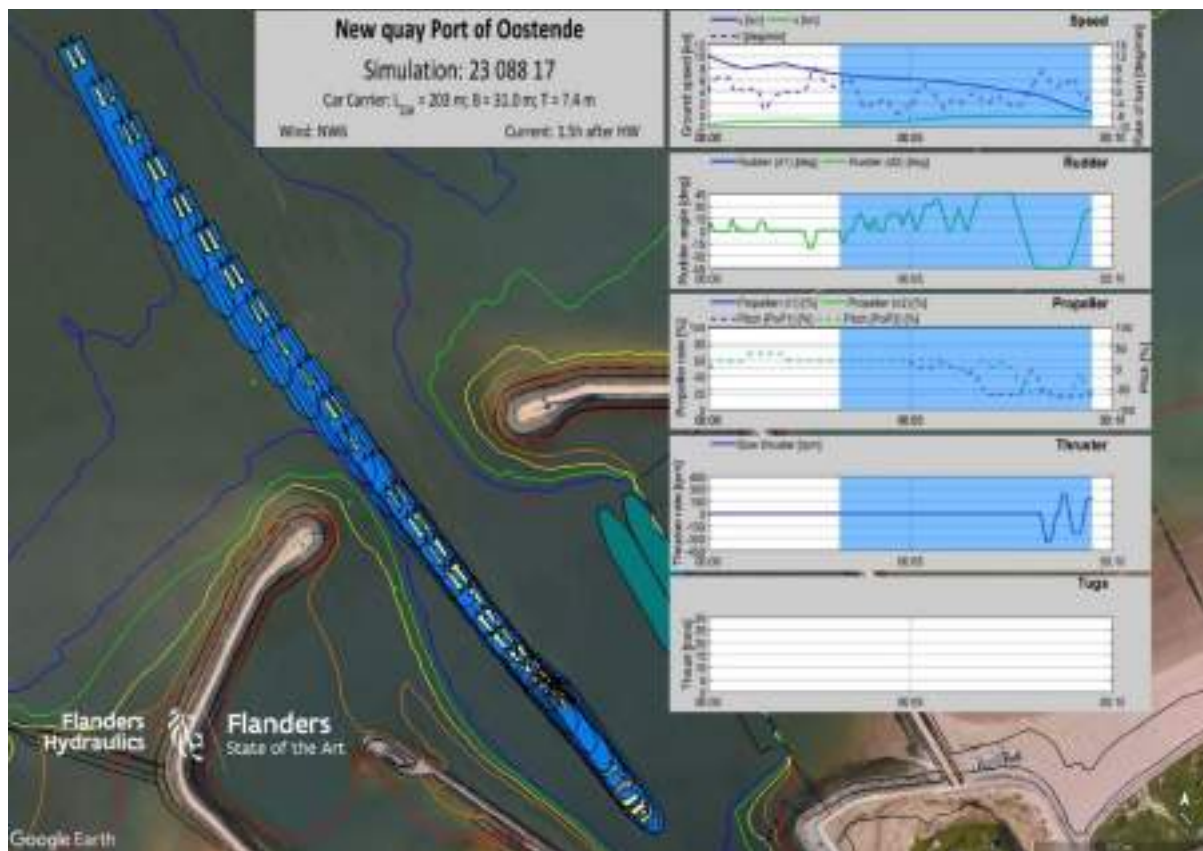


Figuur 27 – Invaart: run 4 met The World bij N 5 Bft en 1 uur na HW



Figuur 28 – Invaart: run 8 met The World bij W 6 Bft en 1.5 uur na HW

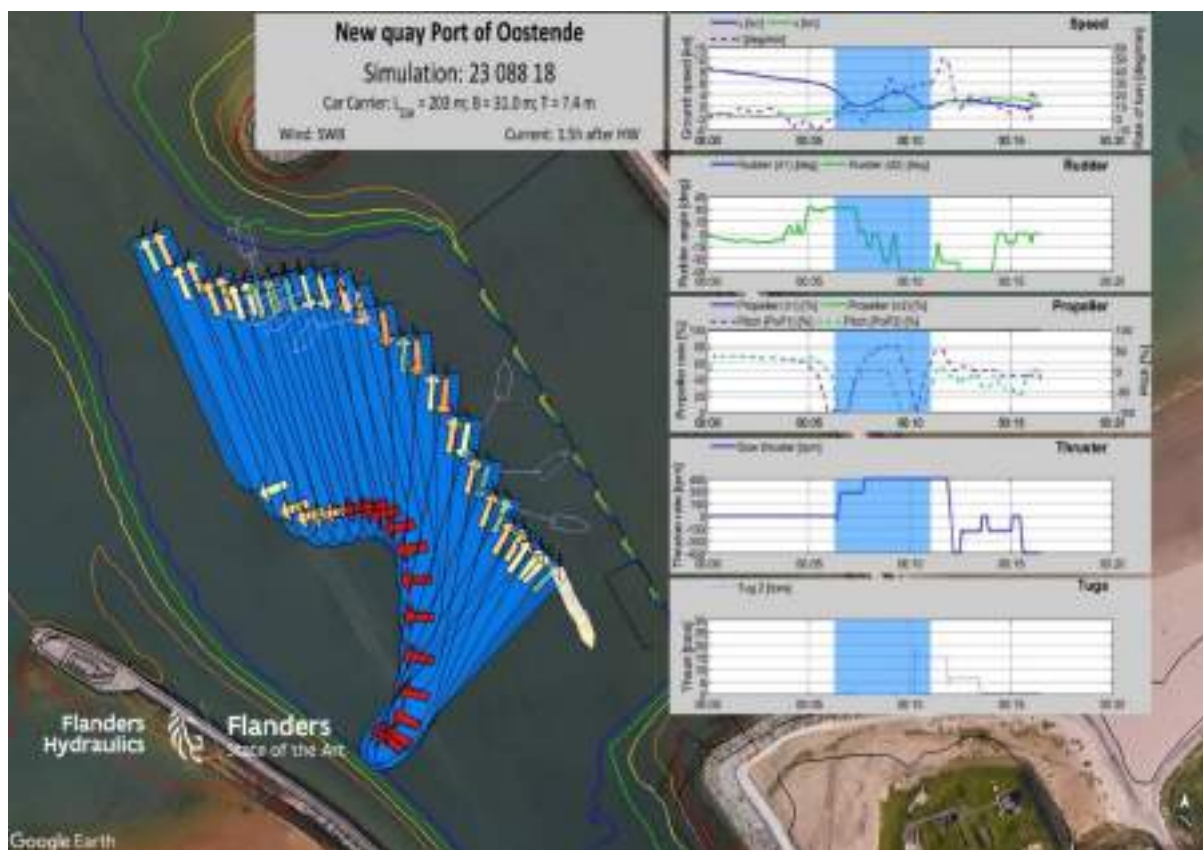
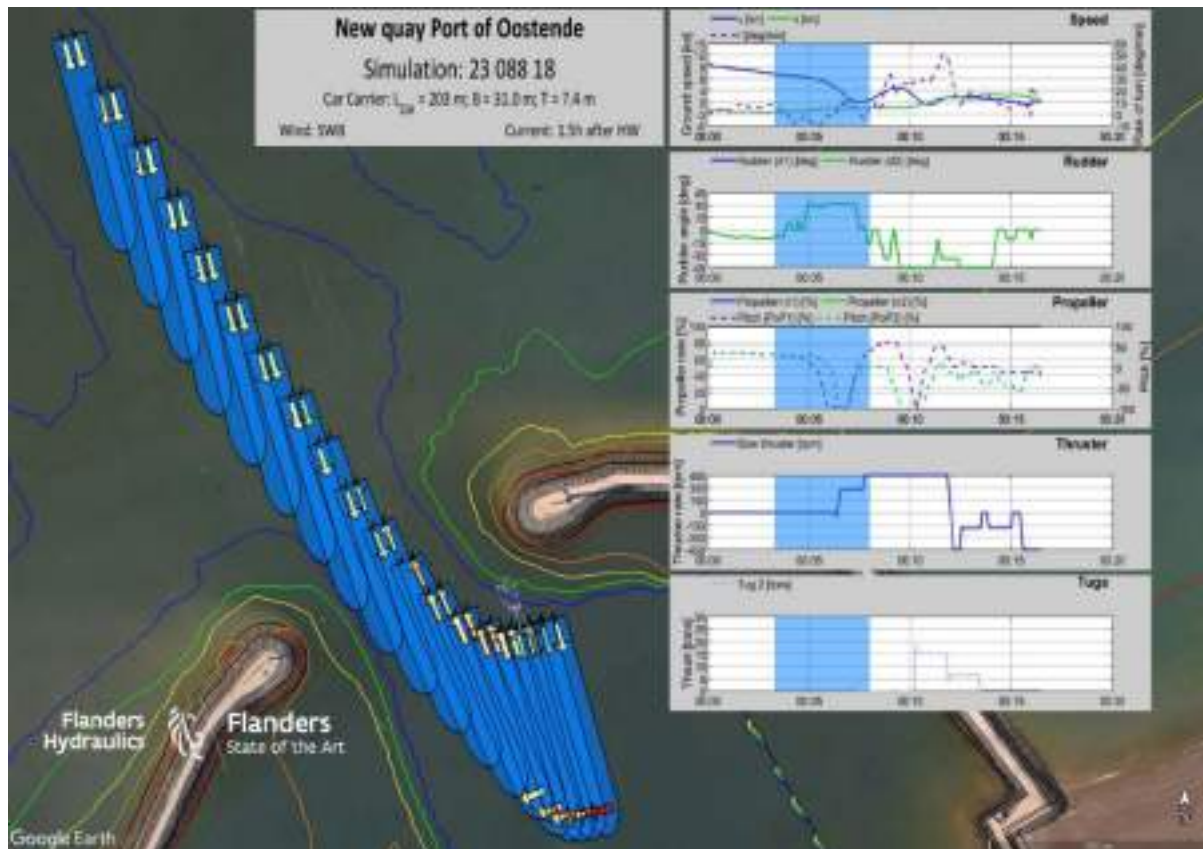
In het kader van Kustvisie worden verschillende kustverdedigingen voorgesteld voor de Haven van Oostende. Deze zullen impact hebben op de toegankelijkheid van de haven. Om een idee te hebben over de stopafstand van een RoRo-ferry zoals de Pauline bij een meer gunstige stroomconditie (lichte vloed) en een sterke NW 6 Bft wind (achteraan invallend) werd run 17 uitgevoerd (Figuur 29). Dankzij deze condities kon het schip goed op de heading van de voorhaven blijven en werd het schip afgestopt op een afstand van 540 m na het doorgaan van de koppen met een snelheid van net minder dan 6 knopen. Bij condities van sterke dwarse stroom en dwarse wind zal het schip zeker aan een snelheid van 8 knopen en meer de koppen moeten doorvaren en daardoor een veel langere remafstand nodig hebben. De uitgevoerde simulatie doet echter vermoeden dat een goed manoeuvreerbaar schip (dus ook offshore schepen met multi-propellersystemen) bij gunstig gekozen omgevingscondities kunnen gestopt worden ter plaatse van de kade indien de aanloopsnelheid door de koppen niet meer is dan 6 knopen.

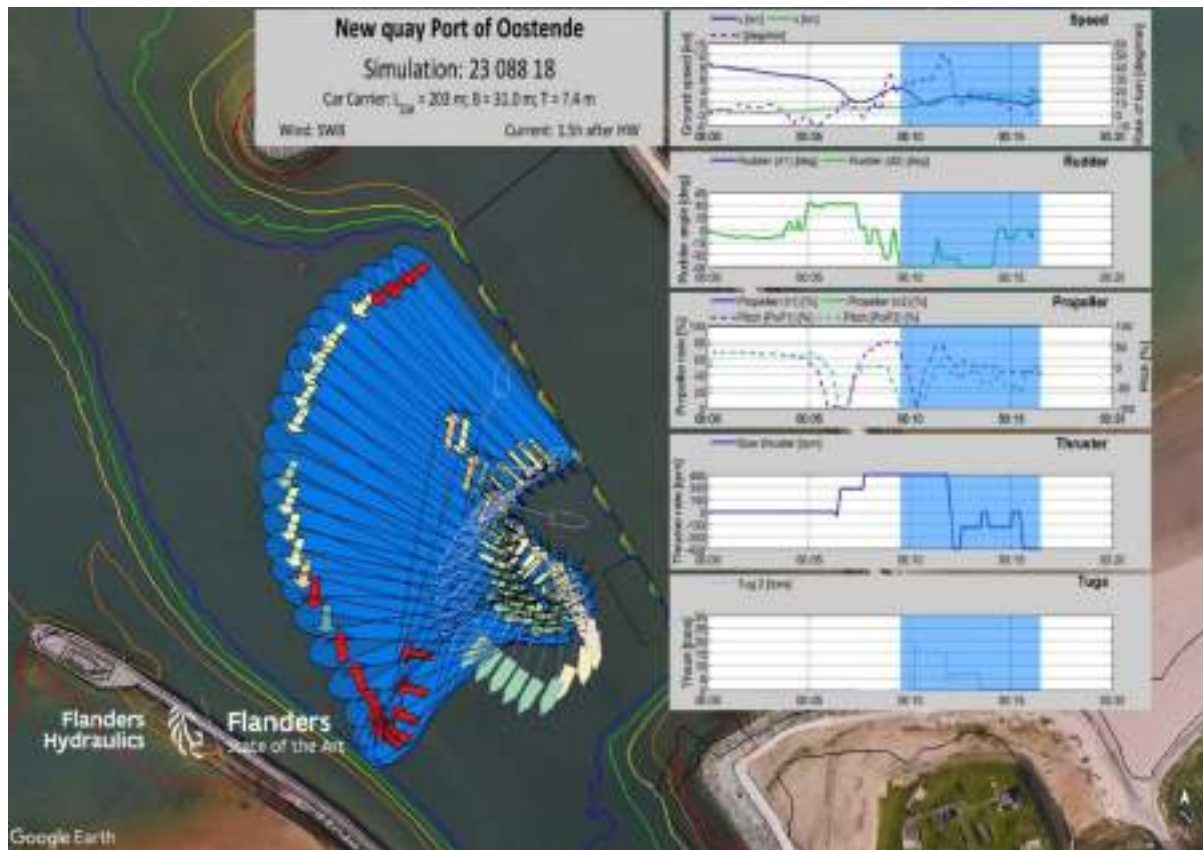


Figuur 29 – Invaart: run 17 met Pauline bij NW 6 Bft en 1.5 uur na HW

In run 18 werd aan de loodsen gevraagd om een zwaaimanoeuvre uit te voeren ter plaatse van de kade met de RoRo-ferry. De getijconditie werd opnieuw gunstig gekozen omdat het manoeuvre direct tussen de koppen en de Halve Maan anders niet realistisch zou zijn. De zeer grote drifthoek die optrad en zichtbaar is op Figuur 30, is te wijten aan de zeer grote dwarse windkracht bij SW 8 Bft. Normaal zou een schip bij deze condities de haven niet aanlopen, maar de foutieve instelling werd dus niet opgemerkt. De snelheid was opnieuw afgebouwd door de loodsen voor het schip door de koppen ging tot een waarde onder 6 knopen. De SW zijdelingse tegenwind en het achteruitslaan met de schroeven zorgde er voor dat het schip snel werd afgestopt. Een achtersleepboot werd vastgemaakt om naast de boegschroef te kunnen gebruikmaken van extra kracht tijdens het zwaaimanoeuvre. Het schip kon wel gezwaaid worden maar kwam met de boeg dichtbij het Westerstaketsel. Wanneer het schip tenslotte langs de kade kwam, was het niet mogelijk om het in de wind te houden. Dit was uiteraard te wijten aan de SW 8 Bft wind die dwars op het schip stond.

Voor- en achtersleepboten zouden dan nodig zijn om het schip met een aanvaardbare dwarsrsnelheid tegen de fendering van de kade te laten komen om geen schade te veroorzaken.





Figuur 30 – Invaart: run 18 met Pauline bij SW 8 Bft en 1.5 uur na HW

Aan de noordzijde van de nieuwe kade is de afstand tot de -8.9 m TAW lijn aan de linkeroever (zijde Westerstaketsel) ongeveer 280 m terwijl aan de zuidzijde van deze kade deze afstand slechts 220 m is. Voor schepen van 180 m lengte die centraal tegenover de nieuwe kade zwaaien, zou het moeten mogelijk zijn om dit veilig uit te voeren onder gunstige omstandigheden. Dit moet onderzocht worden voor de ontwerpschepen van deze nieuwe kade om de operationele limieten in stroom en wind vast te leggen.

Tabel 8 – Simulaties bij ebstroom of 4.2 uur na hoog water

Nr.	Schip	In/Uit	Tijd tot HW	Wind Bft	Wind richting	Reserve	Moeilijkheid
5	World	In	4.2h	5	N	2	2
6	World	In	4.2h	5	NE	2	2
7	World	In	4.2h	5	E	2	2
9	World	In	4.2h	6	E	3	3
10	World	Uit	4.2h	5	E	2	2
13	Pauline	Uit	4.2h	5	E	6	
14	Pauline	Uit	4.2h	5	E	2	3
16	Pauline	In	4.2h	6	E	3	3

4.3.2 Simulaties bij ebstroom

Er werden op volle eb (4.2 uur na HW) vijf simulaties uitgevoerd met het cruiseschip The World, vier bij invaart en één in uitvaart (Tabel 8). Alle simulaties bij windkracht 5 Bft werden beoordeeld als normaal uitgevoerd met voldoende reserve. Bij run 9 bij 6 Bft is de beoordeling uitgevoerd met meer dan normale moeilijkheid en weinig reserve.

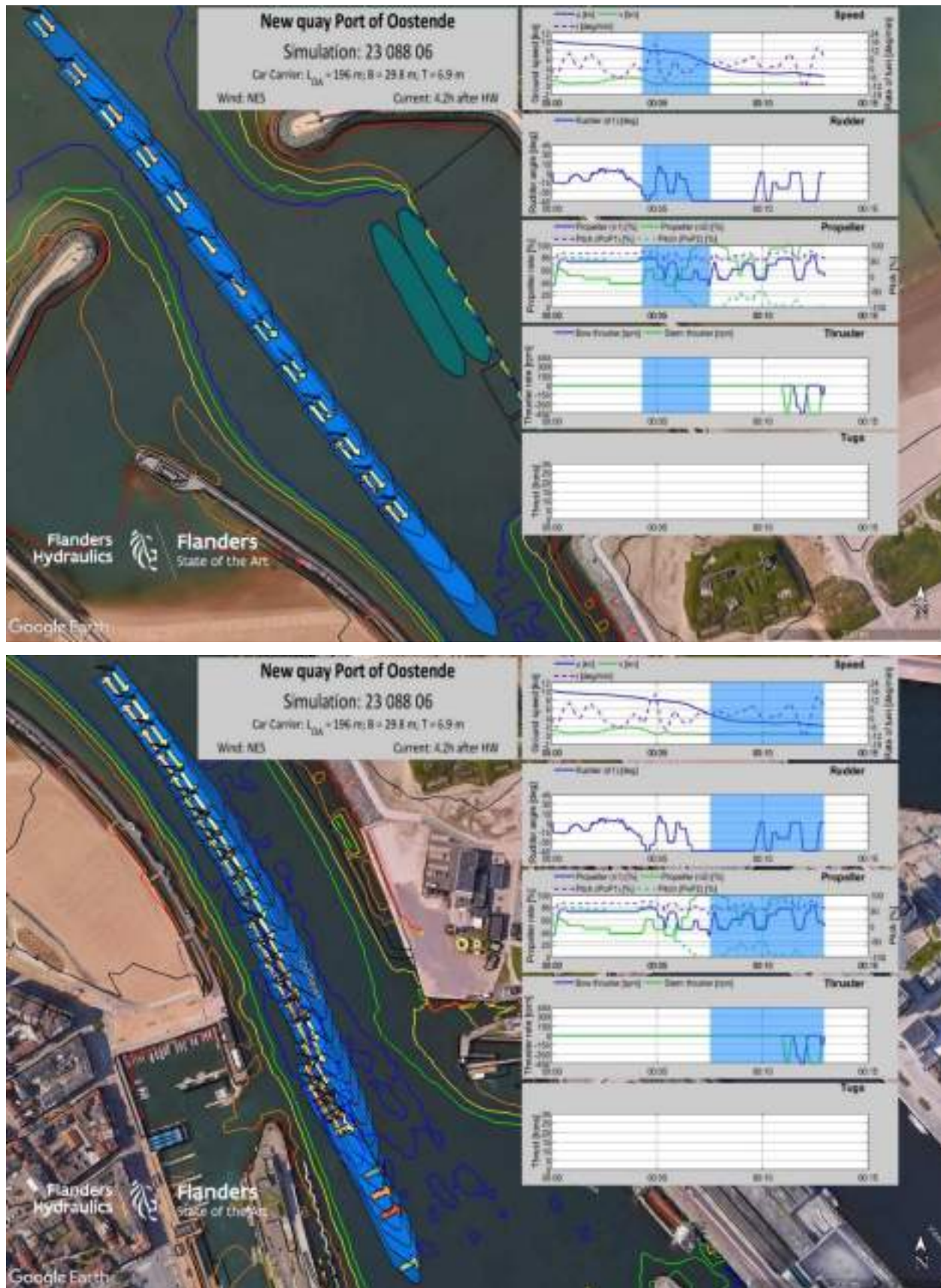
Met de RoRo-ferry Pauline werden drie simulaties uitgevoerd, twee bij uitvaart en één bij invaart. Run 13 werd afgebroken en herhaald in run 14. De beoordeling door de loods is vergelijkbaar als voor het cruiseschip.

Bij ebstroom werden noordelijke tot oostelijke windrichtingen gekozen omdat de stroom en wind elkaar versterken. In run 5 werd N 5 Bft opgelegd waarbij de wind bakboord achteraan invalt (Figuur 31). De snelheid over de grond was bij het door de koppen gaan verminderd tot 6 knopen. Het schip naderde de koppen dichter bij de groene boeien maar onder invloed van de wind werd het dichter bij de afgemeerde schepen aan de kade verzet. De afstand was nog steeds 100 m zoals bij vloedstroom. Er was nog reserve op de stuurmiddelen en ook ter plaatse van de Halve Maan voer het schip centraal in de geul. Vervolgens werd in run 6 NE 5 Bft gekozen en moest hierop geanticipeerd worden (Figuur 32). De snelheid ter hoogte van de koppen was groter en 8 knopen en werd verminderd tot 5 knopen bij de ingang van de Halve Maan. De afstand tot de afgemeerde schepen (tussen de scheepszijden) kon groter gehouden worden op 120 m. De meer dwarse windrichting vroeg grotere roerhoeken. Ter hoogte van de Halve Maan werd er dichter tegen het Westerstaketsel gevaren en moeten de schroeven gesplitst gebruikt worden om het schip verder af te remmen tot uiteindelijk 2 knopen. De boegschroef werd meermaals ingezet om het schip tegen de wind in te houden. Ebstroom en E 5 Bft gaven in run 7 een nog ongunstigere aanloop van de voorhaven waardoor de kortste afstand tussen de scheepszijden tot nu toe werd gemeten met 70 m (Figuur 33). Het schip ging met een gereduceerde snelheid van 6 knopen door de koppen waarna de snelheid werd afgebouwd naar 5 knopen. Hierdoor was de drifthoek groter en kwam het schip dus dichter uit bij de nieuwe kade. Ook aan de Halve Maan naderde het schip aan de oostelijke zijde waarna voldoende afstand kon behouden blijven over de volledige lengte van de Halve Maan. De loods besloot een zwaaimanoeuvre over bakboord uit te voeren en gezien er geen sleepboot voorzien was, werd het anker gebruikt om het schip af te remmen en de boeg onder controle te houden. Dit manoeuvre was echter niet de doelstelling van de studie.

Een vergelijking van de tracks van de drie besproken runs 5, 6 en 7 wordt voorgesteld in Figuur 34. Doel van deze voorstelling is een vergelijking te kunnen maken van de tracks onder invloed van de ingestelde windrichting bij windkracht 5 Bft en volle ebstroom. Runs 5 en 6 liggen dicht bij elkaar ter hoogte van de koppen terwijl in run 7 meer geanticipeerd wordt op stroom en wind. Ter hoogte van de Halve Maan wordt de gezamenlijke breedte van de tracks terug kleiner.



Figuur 31 – Invaart: run 5 met The World bij N 5 Bft en 4.2 uur na HW



Figuur 32 – Invaart: run 6 met The World bij NE 5 Bft en 4.2 uur na HW



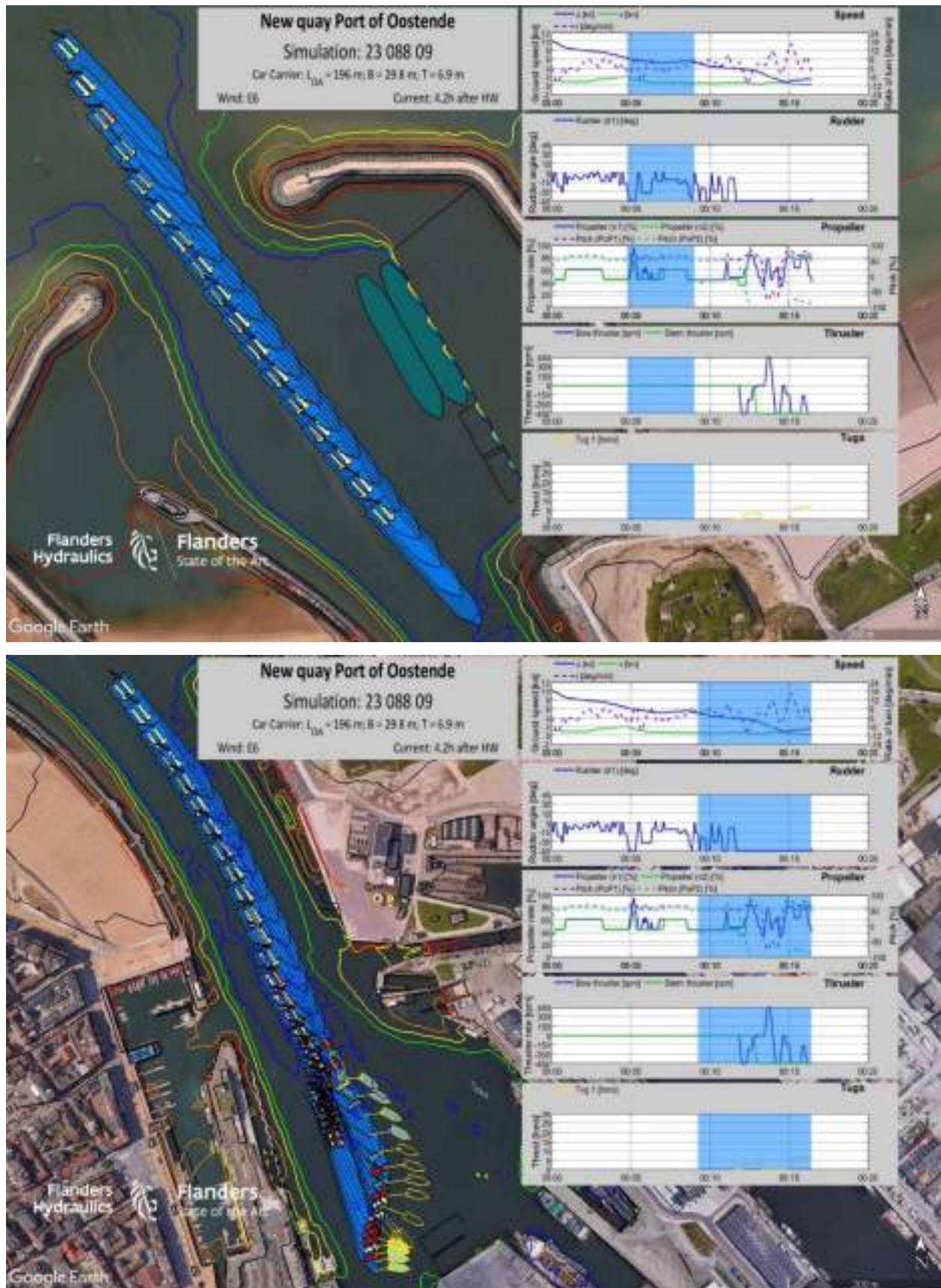
Figuur 33 – Invaart: run 7 met The World bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW



Figuur 34 – Vergelijking van de tracks van run 5 met N (blauw), 6 met NE (groen) en 7 met E 5 Bft (oranje)

In run 9 werd de simulatie uitgevoerd bij E 6 Bft (Figuur 35) waardoor een vergelijkbare aanloop werd bekomen als in run 7 met een snelheid over de grond ter hoogte van de koppen van 6 knopen. Deze snelheid werd dan aangehouden langsheen de nieuwe kade onder invloed van de sterkere windkracht en pas vanaf de Halve Maan afgebouwd. De kleinste afstand tussen de scheepszijden was benaderd 85 m. Ter hoogte van de Halve Maan werd een drifthoek toegepast en moest vaak hardover stuurboord roer gegeven worden om het achterschip in de wind te houden. Het schip kwam centraal in de zwaaizone terecht maar een voorsleepboot werd vastgemaakt om samen met de boegschroef de boeg te controleren.

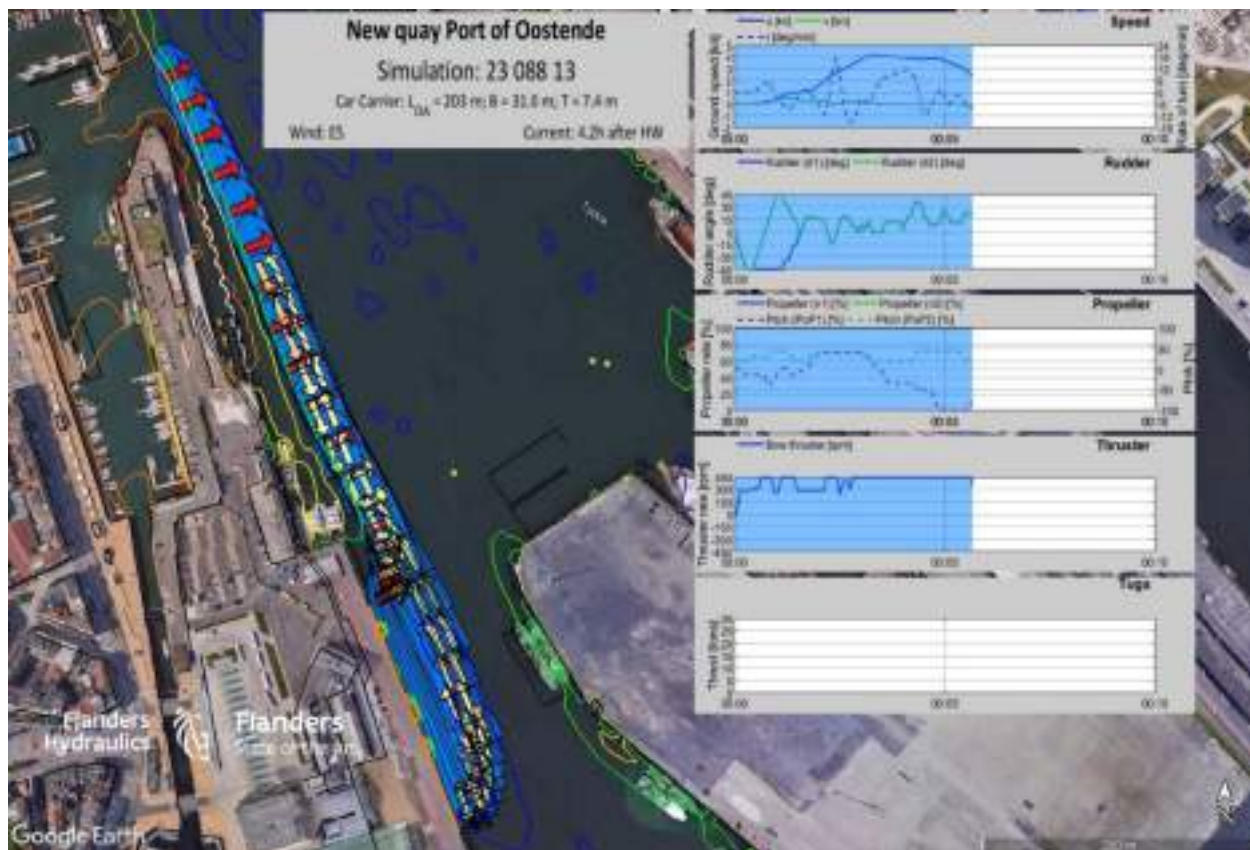
In run 10 werd een uitvaart gesimuleerd met het cruiseschip bij E 5 Bft (Figuur 36). Het schip werd versneld weg van de kade en vervolgens, tegen de wind in, door de zwaaizone gebracht. Op het einde van de Halve Maan bedroeg de snelheid over de grond al 8 knopen. Langs de nieuwe kade hield de loods de snelheid onder controle tot 9 knopen maar was de afstand tussen de scheepszijden wel beperkt tot 70 m. Er moet met deze combinatie van afstand en snelheid rekening gehouden worden voor een afmeerstudie aan de nieuwe kade. Eens het schip voorbij de kade was, werden de schroeven op maximum vermogen gezet om de volle ebstroom te kunnen doorvaren en op koers te blijven.



Figuur 35 – Invaart: run 9 met The World bij E 6 Bft en 4.2 uur na HW



Figuur 36 – Uitvaart: run 10 met The World bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW



Figuur 37 – Uitvaart: run 13 met Pauline bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW

In run 13 was het de bedoeling om onder dezelfde omgevingsomstandigheden met de RoRo-ferry Pauline uit te varen (Figuur 37). Echter slaagde de loods er niet in om het schip voldoende dwars te verplaatsen tegen de wind in en werd ten slotte de simulatie stop gezet toen het schip strandde aan de linkeroever. De simulatie werd herhaald met dezelfde condities in run 14 (Figuur 38). Door de schroeven en roeren gesplitst te gebruiken bij vertrek aan de terminal kon de loods samen met het gebruik van de boegschroef op volle vermogen het schip tegen de wind in verplaatsen en zo in een gecontroleerde beweging (centraal in de Halve Maan) tot bij de nieuwe kade brengen. De snelheid over de grond bedroeg toen iets meer dan 6 knopen. Deze snelheid werd dan verder aangehouden en de afstand tussen de scheepszijden was terug slechts 70 m. De snelheid was nu wel aanzienlijk lager dan in run 10. De pitch van de schroeven werd maar geleidelijk opgedreven om slechts buiten de koppen naar bijna 100% pitch te gaan.

Een vergelijking van track 10 voor The World en 14 voor Pauline bij E 5 Bft en volle eb wordt gegeven in Figuur 39. De track langs de nieuwe kade is voor beide schepen heel gelijkaardig, hoewel de snelheid verschillend was. Niet tegenstaande deze verschillende snelheid kan de stroomnaad bij het uit de koppen varen in beide tracks gecompenseerd worden en komen beide schepen op koers in de toegangsgoel Oostende.



Figuur 38 – Uitvaart: run 14 met Pauline bij E 5 Bft en 4.2 uur na HW



Figuur 39 – Vergelijking van de tracks van run 10 met The World (blauw) en run 14 met Pauline (groen) bij E 5 Bft

In run 16 wordt een invaart met de Pauline voorgesteld bij volle eb en E 6 Bft (Figuur 40). De snelheid was bij het door de koppen varen nog ongeveer 8 knopen en werd daarna afgebouwd langs de nieuwe kade tot 6 knopen bij de ingang van de Halve Maan. De afstand tussen de scheepszijden was de grootste voor de uitgevoerde invaart bij oostelijke wind (en ebstroom) en bedroeg 90 m. In de Halve Maan werd de snelheid verder afgebouwd tot 4 knopen door gesplitste schroeven toe te passen. Hierdoor verzette het schip bij deze 6 Bft naar de westelijke oever en kon slechts met maximale boegschroef van de oever weggehouden worden.

In Figuur 41 worden de tracks van run 9 met The World en run 16 met de Pauline bij E 6 Bft en volle eb vergeleken. Ook al liep The World meer oostelijk (tegen de wind in) de koppen aan toch is de track ter hoogte van de nieuwe kade nagenoeg gelijk (afstand tussen scheepszijden 85 m run 9 en 90 m run 16) en was de snelheid bij The World al 6 knopen bij het door de koppen gaan terwijl die bij de Pauline maar afgebouwd werd tot deze waarde langs de nieuwe kade. In de Halve Maan bleef The World meer aan de oostelijke zijde terwijl de Pauline werd verzet naar de westelijke zijde. Dit uitte zich in een andere positie van de schepen in de zwaaizone, onder meer ook door het gebruik van een voorsleepboot in run 9. Het is duidelijk dat voor beide schepen vanaf windkracht 6 Bft bij dwarse richting een 30 ton sleepboot standby zou moeten zijn zodat die dus kan ingezet worden.

Voor alle simulaties die bij volle eb werden uitgevoerd blijkt de afstand tussen de scheepszijden van het passerende en de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade kleiner te zijn dan bij vloedstroom. De kleinste afstanden bij uitvaart zijn 70 m en de snelheid met The World liep langs de nieuwe kade op van 8 tot 9 knopen over de grond. Voor de invaart met beide schepen bij volle eb waren de condities bij passage van de nieuwe kade gunstiger met grotere afstanden tussen de scheepszijden en lagere snelheden.



Figuur 40 – Invaart: run 16 met Pauline bij E 6 Bft en 4.2 uur na HW



Figuur 41 – Vergelijking van de tracks van run 9 met The World (blauw) en run 16 met Pauline (groen) bij E 6 Bft

5 Conclusies

De doelstelling van studie is de impact te onderzoeken van een nieuwe kaaimuur, ter hoogte van de oostelijke dam in de Haven van Oostende, op het in- en uitvaren van de haven voorbij de Halve Maan. Hiervoor werden met een Delft3D model stroomberekeningen uitgevoerd voor de haven met een bathymetrie anno 2023 en een nieuwe kaaimuur op diepte -10.0 m TAW aan de oostelijke dam (scenario 01).

Deze stroomberekeningen voor het scenario werden vervolgens gebruikt als input voor de nautische simulatiestudie waarbij met twee verschillende schepen, een cruiseschip The World en een RoRo-ferry Pauline, in- en uitgevaren werd bij vloedstroom en ebstroom en windcondities van 4 tot en met 6 Bft (uitzonderlijk ook één bij 8 Bft) en variërende windrichtingen.

Er werden op 22 januari 2024 met twee loodsen van DAB Loodswezen 16 simulaties uitgevoerd voor de studie en vervolgens werden nog twee simulaties uitgevoerd om aanvullende informatie te verstrekken naar aanleiding van onderzoek in het kader van Kustvisie.

Bij vloedstroom was de variatie in de momenten van vloed groter dan bij ebstroom (enkel volle ebstroom onderzocht op 4.2 uur na HW). Hierdoor werd niet alleen bij volle vloedstroom (1 uur voor HW) maar ook voordien of nadien gesimuleerd. Indien de loodsen aangaven dat ze zouden vermijden om met deze schepen op volle vloedstroom aan te komen, dan werd deze variatie in het aanlopen van de haven ook toegestaan. Bijkomend werd bij vloedstroom de wind in hoofdzaak uit westelijke richting en bij ebstroom de wind uit oostelijke richting opgelegd om een situatie te creëren waarbij stroming en wind elkaar versterken en het manoeuvre bemoeilijken.

Alle uitgevoerde simulaties waarbij van de koppen tot de Halve Maan of omgekeerd wordt gevaren, geven een veilige afstand tot afgemeerde schepen aan de nieuwe kade op basis van fysische afstand (minimaal 70 m tussen de scheepszijden bij volle ebstroom). Het is echter voor de afgemeerde schepen ook belangrijk om naast de afstand ook de snelheid van de passerende schepen te kennen (en de andere karakteristieken van de passerende schepen bijvoorbeeld de massa of het volumedeplacement).

Uit de uitgevoerde simulaties bij vloedstroom bleek dat de kleinste afstand tussen de scheepszijden ongeveer 100 m was met een snelheid over de grond van het passerende schip van minimaal 8 knopen. Lagere snelheden werden ook toegepast maar de loodsen stellen dat bij sterkere vloedstroom de snelheid om door de koppen te gaan toch minstens 7 of 8 knopen moet zijn om de stroomnaad op te vangen.

Uit de uitgevoerde simulaties bij ebstroom bleek dat de afstand tussen de scheepszijden kleiner was dan bij vloedstroom en dat slechts 70 m beschikbaar was. Bij invaren probeerden de loodsen om de bijhorende snelheid over de grond te verminderen langs de nieuwe kade tot waarden rond 6 knopen maar bij het uitvaren bleek de snelheid na passage van de Halve Maan al opgelopen te zijn tot 8 knopen zodat langs de nieuwe kade de snelheid 8 tot 9 knopen bedroeg.

Voor een afmeerstudie voor de schepen die zullen afmeren aan de nieuwe kade, is het dus aangewezen om randvoorwaarden aan te nemen waarbij de afstand tussen de scheepszijden kan afnemen tot 70 m (of minder om een reserve te voorzien) en waarbij de snelheid over de grond van het passerende schip 8 tot 9 knopen is. Deze aanbevelingen voor de afmeerstudie hangen samen met de conclusies in Verwilligen *et al.* (2016), Eloot *et al.*, (2016a) en Eloot *et al.*, (2016b). Daarin werd er voor een configuratie van de Halve Maandijk die uiteindelijk werd uitgevoerd in realiteit, besloten dat RoRo-ferries stroomsnelheden tot 2 knopen dwars aan de koppen konden compenseren indien de snelheid 9 tot 11 knopen kon zijn en cruiseschepen indien de snelheid 8 tot 10 knopen was.

Voor de impact op de passerende schepen die als ontwerpschepen voor de Halve Maan en zwaaizone werden gebruikt, is het duidelijk dat de loodsen gaan trachten te vermijden om op het moment met sterkste vloedstroom in- of uit te varen als ze de snelheid zouden moeten afbouwen tot 6 knopen langs de afgemeerde schepen aan de nieuwe kade zoals tijdens verschillende simulaties. Er moet dus bijkomende

aandacht zijn om de veiligheid te garanderen voor de passerende schepen (voldoende snelheid) en voor de afgemeerde schepen.

De twee aanvullende simulaties die werden uitgevoerd hadden betrekking op:

1. run 17 (lichte vloed nabij kentering, NW 6 Bft) met het afstoppen van de RoRo-ferry Pauline zo snel als mogelijk na passage van de koppen. Het stroommoment werd gekozen met een verminderde vloedstroom zodat de snelheid over de grond bij de passage van de koppen al tot 6 knopen kon gereduceerd worden. In deze gunstige omstandigheden bedroef de stopafstand dan 540 m. Deze afstand komt ongeveer overeen met de afstand van de groene boei ter hoogte van de westelijke dam tot de ingang van de Halve Maan. Bij minder gunstige omstandigheden zal de stopafstand groter zijn.
2. run 18 (lichte vloed nabij kentering, SW 8 Bft – foutieve instelling van de windkracht) met het afstoppen van de RoRo-ferry Pauline ter hoogte van de nieuwe kade met als doel om het schip te zwaaien ter hoogte van de kade en naar de kade te brengen. Het blijkt dat voor een schip van ongeveer 200 m lengte de ruimte voor zwaaien ter plaatse van de nieuwe kade eerder beperkt is en dat alle omgevingscondities gunstig moeten zijn om dit zwaaimanoeuvre veilig te laten verlopen. Verder onderzoek is nodig om voor de ontwerpschepen van de nieuwe kade de operationele randvoorwaarden vast te leggen.

De uitgevoerde simulaties kunnen ook meer informatie opleveren voor het gesimuleerde pad met de twee toegepaste schepen ter hoogte van bijvoorbeeld de Halve Maan. In één van de alternatieven van Kustvisie wordt een stormvloedkering ter hoogte van de Halve Maan voorgesteld en is het belangrijk om te weten met welke snelheden de Halve Maan kan doorvaren worden en welke de gezamenlijke padbreedte dan is voor variaties in windkracht en windrichting.

6 Aanbevelingen

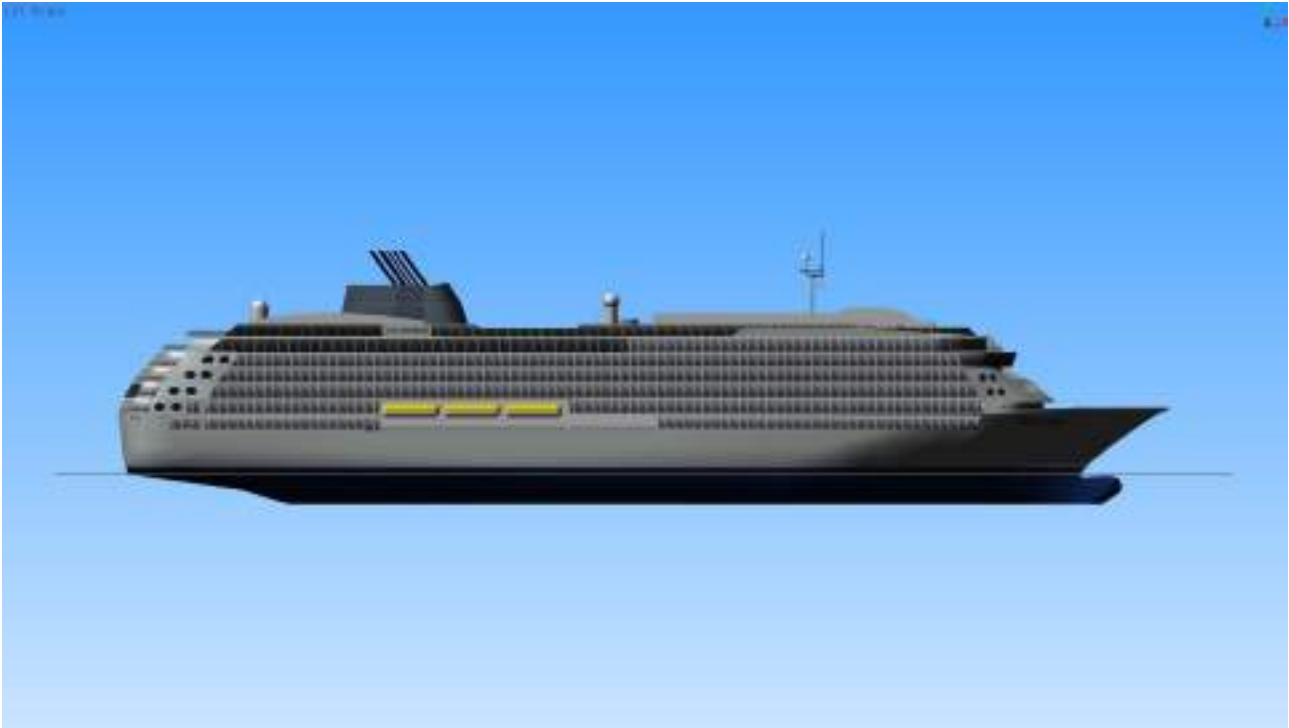
De kwaliteit van het bestaande Delft3D detailmodel voor Oostende dat in deze studie is toegepast voor de stroomveldberekeningen is matig zoals eerder al gerapporteerd in de modelvalidatie door Dujardin *et al.* (2017). Hoewel de stroomsnelheden en stroompatronen zelf redelijk goed worden gerepresenteerd is de representatie van de getij-amplitude en met name van de hoogwaterstanden zeer onnauwkeurig. Het strekt daarom tot de aanbeveling om een nieuw modelontwikkeltraject voor de haven van Oostende op te starten waarin gebruik wordt gemaakt van state-of-the-art software en een ongestructureerd rooster. In dat geval kan het model lokaal worden verfijnd zonder dat nesting-methodes nodig zijn die tot verlies van informatie en nauwkeurigheid kunnen leiden.

7 Referenties

- De Nooijer, J.J.; Janssens, J.; Verwaest, T.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2009). Slibmodellering Oostende. *WL Rapporten*, 627_09. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- De Vleeschauwer, P.** (2004). Structureel herstel van de kustverdediging te Oostende en verbetering van de haventoeegang naar de haven van Oostende: stromingsrandvoorwaarden voor morfologische studies - numeriek detailmodel voor Oostende: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Afdeling Waterwegen Kust: Oostende. 22 pp.
- Dujardin, A.; Vanlede, J.; Verwilligen, J.; Verwaest, T.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017). Nautische optimalisatie ontwerp Halve Maandijk te Oostende: deelrapport 1. Opmaak hydraulisch model. Versie 2.0. *WL Rapporten*, 15_067_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Eloot, K.; Verwilligen, J.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016a). Nautische optimalisatie ontwerp Halve Maandijk te Oostende: deelrapport 3 – Aanvullende realtime manoeuvreersimulaties. *WL Rapporten*, 15_067. Waterbouwkundig Laboratorium/DAB Loodswezen: Antwerpen
- Eloot, K.; Vos, S.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016b). Nautische optimalisatie ontwerp Halve Maandijk te Oostende: deelrapport 4. Aanvullende realtime manoeuvreersimulaties voor de toegankelijkheid van de Astor. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 15_067_4. Waterbouwkundig Laboratorium/DAB Loodswezen: Antwerpen
- Verwilligen, J.; Eloot, K.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2016). Nautische optimalisatie ontwerp Halve Maandijk te Oostende: deelrapport 2 – Realtime manoeuvreersimulaties. *WL Rapporten*, 15_067. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage 1: Simulatieschepen

world PRINCIPLE CHARACTERISTICS			
based on fast-time simulations			
Name	world.shi		
Project	23_088		
Main Dimensions			
LOA	[m]	196.3	
LPP	[m]	170	
B	[m]	29.8	
T _F	[m]	6.9	
T _A	[m]	6.9	
m	[ton]	22900	
A _{wind frontal}	[m²]	800	
A _{wind lateral}	[m²]	5700	
Propeller			
#	[-]	2	
n _{max}	[1/s]	2.5	
CPP		Yes	
Rotation of propeller	Unknown		
Thruster			
Bow thruster	[-]	1	
Total Power	[HP]	3200	
Max Propeller Rate	[°/min]	450	
Stern Thruster	[-]	1	
Total Power	[HP]	940	
Max Propeller Rate	[°/min]	450	
Rudders			
#	[-]	1	
d _{max}	[°]	45	
Time from +45 to -45	[s]	17	



Manoeuvring speeds			
	CPP	UKC=100%	UKC=20%
	[-]	[kn]	[kn]
Manoeuvring Full Ahead	8	16.6	13.8
Half Ahead	6	13.4	11.2
Slow Ahead	4	9.6	8.0
Dead Slow Ahead	2	6.0	5.0

pauline6_roerGekoppeld PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast-time simulations

Name	pauline6_roerGekoppeld.shi
Project	23_088

Main Dimensions

LOA	[m]	203	
L _{PP}	[m]	190.4	
B	[m]	31	
T _F	[m]	7.4	
T _A	[m]	7.4	
m	[ton]	27340	
A _{wind frontal}	[m ²]	1034	
A _{wind lateral}	[m ²]	5220	

Propeller

#	[-]	2	
n _{max}	[1/s]	1.715	
CPP		Yes	
Rotation of propeller	Unknown		

Thruster

Bow thruster	[-]	2	
Total Power	[HP]	4000	
Max Propeller Rate	[°/min]	450	
Stern Thruster	[-]	0	
Total Power	[HP]	0	
Max Propeller Rate	[°/min]	0	

Rudders

#	[-]	2	
d _{max}	[°]	45	
Time from +45 to -45	[s]	33	



Manoeuvring speeds				
	CPP	UKC=120%	UKC=14%	
	[-]	[kn]	[kn]	
Manoeuvring Full Ahead	8	18.3	14.1	
Half Ahead	6	14.1	10.8	
Slow Ahead	4	9.9	7.6	
Dead Slow Ahead	2	5.9	4.5	

Bijlage 2: Evaluatieformulier

Evaluation form

[23_088] Port of Ostend

After each simulation, there is an evaluation by the pilots.

Value	Evaluation of the manoeuvre on the simulator
1	Succeeded with much safety margin
2	Succeeded with acceptable safety margin
3	Succeeded with little safety margin
4	Ended with incidents (no damage)
5	Ended with damage
6	Not succeeded / given up

Value	Difficulty of the manoeuvre on the simulator
1	Easily executed
2	Normally executed
3	More than normal difficulty
4	Difficult
5	Extremely difficult
6	Unfeasible

Is the manoeuvre as performed during the simulation acceptable in reality? **Yes / No**

Bijlage 3: Feedback loods – operator

Nr.	Feedback
1	Gewenningsvaart. Uitgevoerd zoals gepland, klop bij stroomnaad kunnen compenseren (dicht bij groene boei), aan Westerstaketsel neer voelbaar en compenseren naar Halve Maan.
2	Gewenningsvaart. Binnenvaren van de koppen met hard over gecompenseerd. Ok. Staketsel wordt dicht genaderd. Zwaai van hard over komt als een draaimanoeuvre in de voorhaven. Oevereffecten langs staketsel en door neer ook naar staketsel gezet. Snelheid minderen doorheen de Halve Maan (schip niet gewoon) en dus door de wind verzet. Op hoog water niet binnen komen met dit schip (twee schroeven en twee roeren). Probleem: schroef bijzetten om slag op te vangen en dan ga je naar het westerhoofd.
3	Door de koppen op een goede lijn erdoor. Effect in de voorhaven van de wind groter dan van de neer. Binnen in de haven aan de Halve Maan had de snelheid nog wat hoger moeten geweest zijn om de wind te compenseren, en ook meer op positie in de Halve Maan tegen de wind. Snelheid er uit halen in de zwaazone door achteruit te slaan. De aanloop in de Halve Maan en de zwaazone was in de eerste run beter dan in deze run.
4	Startpositie was voor sterkere vloed en dwarswind, maar nu meer wind achter. Hierdoor koers moeten zoeken in aanloop naar de havenkoppen. Achteruit slaan in Halve Maan om de snelheid er uit te halen. Minder snelheid dan gewoon binnenkomen, dus niet meer dan 8 knopen aan de koppen.
5	Aan de lage kant binnenkomen tussen de havenkoppen, misschien met eb wat meer aan de hoge kant. Halve Maan goed gepasseerd. Snelheidsverloop, iets minder snelheid aan de koppen, iets meer drijven en dan voldoende snelheid aanhouden aan de Halve Maan en snelheid afbouw in de zwaazone.
6	Het ging vlot maar je moet heel alert zijn. Reductie van de wind is niet ingebouwd in dit model. De snelheid wordt in de Halve Maan afgebouwd en er wordt met de schroeven tegengestuurd om de wind te compenseren.
7	De snelheid tussen de koppen onder controle en kleinste afstand tot afgemeerde schepen. Parallel met oever door Halve Maan. Een deel gezwaaid. Anker gebruikt (miscommunicatie, zou alleen stuurboord anker moeten geweest zijn). Anders sleepboot die in de zwaazone wordt vastgemaakt voor het afmeren.
8	Sleepboot wordt alleen voorzien voor het afmeren bij deze windsnelheid maar zou hier moeten ingezet zijn op het einde van de Halve Maan omdat de hekschroef (sleepboot standby vanaf de Visserijsluis) te zwak is. Hier was er in de simulator ook geen shelter van de wind. Stroom en wind is ok tussen de koppen en tot halverwege de Halve Maan als de snelheid nog hoog genoeg is, tot 5 knopen. Met sleper duwend, vanaf minder dan 3 knopen, kan het achterschip vermoedelijk opgevangen worden.
9	Om met die snelheid door de koppen te gaan heel sterk oploeven en dwars tegen de wind. Veel roer en met engine kicks. Sleepboot nodig aan de boeg, daar gebruikt om de boeg meer power te geven.

10	Alles zoals gepland. Het is de limiet om zonder sleepboot te vertrekken (bij hogere wind, achtersleepboot inzetten). Met weinig snelheid tegen de wind verplaatsen, zeer veel schroefeffect nodig. Snelheid opbouwen in de Halve Maan, dus snelheid nodig om te kunnen blijven sturen. Gevraagd om niet boven de 8 knopen te varen langs de kade met schepen. Door de koppen en ruimte om stroming op te vangen.
11	Het schip drijft heel veel als je aan 6 knopen buiten komt. Deze snelheid is te weinig om bij volle vloed buiten te komen. Comfortabeler voor het uitgaande schip als je minstens 7 à 8 knopen kan halen. Indien de snelheid bij het naderen van de koppen hoger kan zijn, zou het manoeuvre gemakkelijker zijn.
12	Misverstand bij de loods: boegschroef had gebruikt moeten worden maar de verkeerde hendel op de scheepsbrug (van niet beschikbare hekschroef). Ruimer in de zwaaizone. Snelheid opbouwen in de Halve Maan om het schip op de lichtenlijn te krijgen. Snelheid opbouwen op het einde van de voorhaven om de stroom en wind te compenseren.
13	De simulatie werd afgebroken omdat het schip in de bakboord vaargeul oever zat. Fout bij het overgaan van ontkoppeld naar gekoppeld roer.
14	Alles zoals gepland, 5 Bft met dwarse wind is de limiet (indien geen sleepboten). Snelheid onder controle tot voorbij de afgemeerde schepen en dan snelheid verder opbouwen om de koppen te passeren.
15	Het ging wel gaan om af te meren, het voorgaande traject van koppen tot zwaaizone is ok, vrij van boeien en infrastructuur. Sleepboot standby om af te meren.
16	Manoeuvre zoals gepland, maar vanaf de Halve Maan komt een sleper standby om ingezet te worden
17	Stopmanoeuvre wel met de wind in de rug. Snelheid wordt al opgebouwd buiten de koppen. Stroomvenster toegepast.
18	Zwaaimanoeuvre ter hoogte van de kade. Iets te ver gezwaaid, bij SW komt het schip naar stuurboord en moet het afremmen gecontroleerd worden. Achtersleepboot gebruikt aan bakboord.

Bijlage 4: KMZ manual

For each of the simulations a KMZ-file was generated providing:

- Polylines presenting the simulation environment
 - o Blue: -8.9 m TAW
 - o Green: -7.0 m TAW
 - o Yellow: -5.0 m TAW
 - o Orange: -3.0 m TAW
 - o Red: -1.0 m TAW
- Animated track plot of the simulated vessel and tugboats
- Overlay graphs with animated time slider for the following parameters:
 - o Horizontal ship motions:
 - u: Longitudinal speed (knots, positive ahead)
 - v: Lateral speed (knots, positive to starboard)
 - r: Rate of turn (deg/min positive to starboard)
 - o Rudder angle(s) (deg, positive to port)
 - o Propeller rate (% of max. rpm, positive for controllable pitch propeller) and propeller pitch (% positive ahead, negative astern)
 - o Bow- and/or stern thruster (rpm, positive for motion to starboard and negative for motion to port)
 - o Tugs: Thrust if the 30 ton tug is applied (tons)

For the evaluation of this project some additional features were added to the KMZ-visualisation:

1. The bow- and/or stern thruster of the simulated ship was dynamically coloured based on the thrust (only visible if the thruster is used, or thus non-zero thrust, Tabel 9).
2. The main propellers were dynamically coloured based on the thrust provided (Tabel 9).
3. The rudder(s) is dynamically set to the applied rudder angle.

KMZ-files can be imported by most GIS-applications. The most common freeware to view KMZ-files is Google Earth™. In Figuur 42 and Figuur 43 a screenshot is shown of a KMZ-file as presented in the Google Earth™ software.

The KMZ-files are attached digitally to the report.

Tabel 9 – Colour scale for the thrust applied in KMZ-generation (linear interpolation)

Thrust	Colour
0%	
11%	
22%	
33%	
44%	
56%	
67%	
78%	
89%	
100%	



Figuur 42 – Example of KMZ presentation for run 23_008_18

In order to visualize the KMZ-files the following manual is provided:

1. Install Google Earth (the version used for the images in this manual is a Dutch version)
2. Go to Windows Explorer and double click on a selected KMZ file:

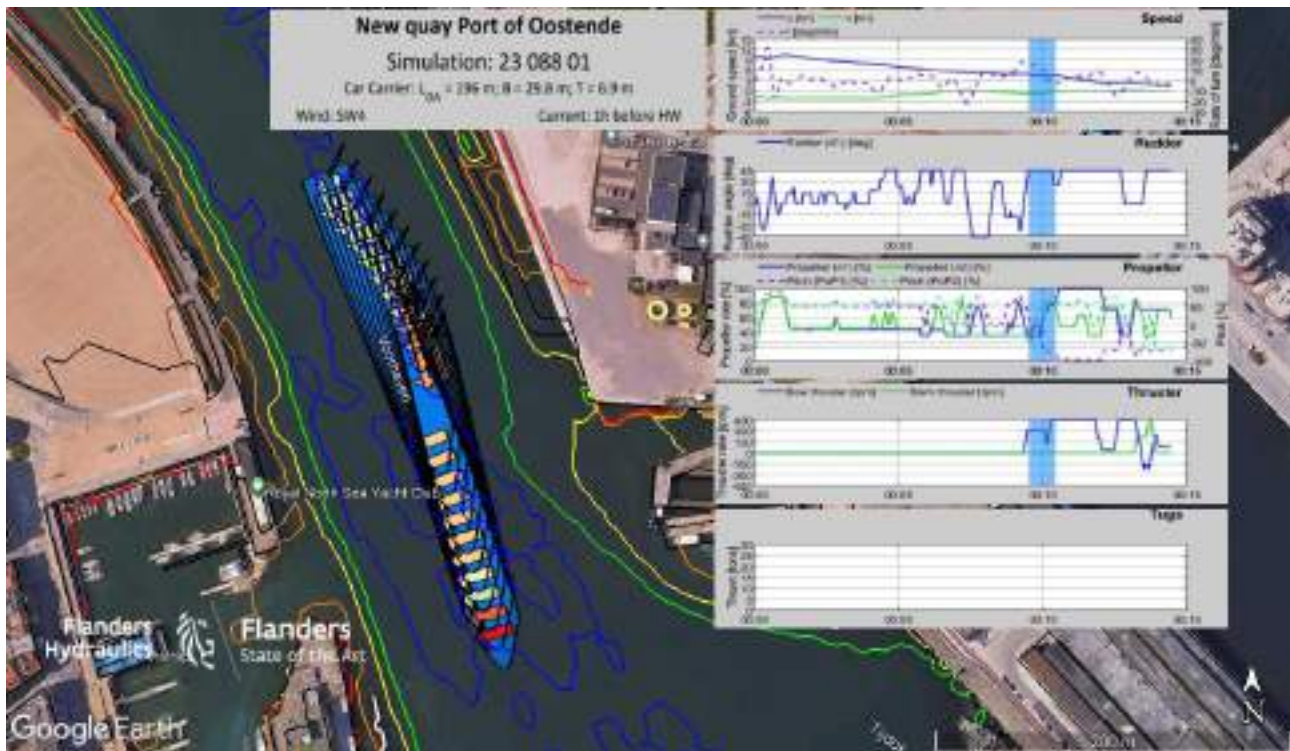
e.g. 23_088_01_Manoeuvring.kmz

The KMZ file with animated graphs and animated simulation can be seen in the temporary locations at the left pull down menu. On the main screen the location is seen with the simulation data on top of it and the overlay graphs (right column with time graphs). You can tick on or off the different overlay graphs in the left pull down menu.



Figuur 43 – Presentation of simulation 01 with overlay graphs in KMZ-format (viewer: Google Earth Pro™)

The overlay graphs are coloured (blue) on top of the different series in the graphs because the animation is presented from the start to the end of the simulation. If you use the slider on the top left location you can go back and forward on the graphs and also on the track (Figuur 44).



Figuur 44 – Time slider functionality KMZ

To clearly focus on the track of the own ship you can select the pull down list of the animated simulation and double click on “own” (Figuur 45). Then the Google Earth presentation zooms to the track of the own ship. You can once again use the slider to go back and forward in the simulation.



Figuur 45 – Pull-down menu Google Earth Explorer

In the pull down list of the animated simulation there is also a PLAY button (Figuur 46); by double clicking on this button the simulation replays with a vertical blue line on the overlay graphs to show where you are in the graphs for the presented own ship on the Google Earth view. In the left corner below, the play button is presented and can be used for increasing the replay speed.



Figuur 46 – PLAY functionality in KMZ that keeps the ship centered on the screen and to present a replay tour

Bijlage 5: Tijdsgrafieken parameters per simulatie

