nieuwe sluis zeebrugge

Bijlage 8: Resultaten nautisch onderzoek



Hydrodynamische input voor de nautische studie

Cluster 3: MER – Opmaak procesnota's

Bestelling C3_05 – Grondwatermodel

Meervoudige raamovereenkomst voor diensten in kader van de uitwerkingsfase
van het complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge

Versie 1.0 – 12 februari 2021

nieuwe sluis zeebrugge

Dossiergegevens

Opdrachtgever	VLAAMSE OVERHEID Departement Mobiliteit en Openbare Werken Maritieme Toegang Thonetlaan 102 bus 2 2050 Antwerpen
Besteknummer	MT/02258_C3_05
Offertenummer	10400706

Contactpersoon en correspondentieadres

Contactpersoon	Annelies Bolle M +32 479 920308 E Annelies.Bolle@imdc.be
Correspondentieadres	IMDC nv Van Immerseelstraat 66 B-2018 Antwerp www.imdc.be

Document Identificatie

Project	Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge
Titel rapport	Hydrodynamische input voor de nautische studie
Projectref.	14288
Rapportref.	I/RA/14288/21.040/ABA/ABO
Trefwoorden	Hydrodynamische, nieuwe haven lay-out, TELEMAC-3D model

nieuwe sluis zeebrugge

Controle

Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
Niels Smith/Lukas Mac Intosh	Arash Bakhtiari	Annelies Bolle
Project Ingenieur	Advisor Ingenieur	Senior Ingenieur

Classificatie

niet geclassificeerd	intern	beperkt	confidentieel
		x	

Versiebeheer

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	12/02/2021	1e versie	NSM/LMI	ABA	ABO

nieuwe sluis zeebrugge

INHOUDSOPGAVE

1 Inleiding 6

2 Set-up TELEMAC MODEL 7

2.1 Beschouwde alternatieven 7

2.2 Model set-up 9

2.3 Rekenrooster en bathymetrie 10

2.4 Rekenrooster en transecten voor resultaten 13

3 Resulaten model simulaties 16

3.1 Huidige situatie 16

3.2 OP3 zuidelijke verschuiving 22

3.3 Vergelijking alternatieven 28

4 Conclusie 31

5 Referenties 33

6 Bijlagen 34

6.1 Dieptegemiddelde stroomsnelheden Huidige situatie 37

6.2 Dieptegemiddelde stroomsnelheden OP3 uidelijke verplaatsing 40

6.3 Stromingsveld Huidige situatie en OP3 zuidelijke verschuiving 43

6.4 Stroomsnelheden per laag voor geselecteerde punten 48

1 INLEIDING

Het project 'Nieuwe Sluis Zeebrugge' betreft het realiseren van een nieuwe zeesluis in de haven van Zeebrugge. De nieuwe sluis zal gaan fungeren als tweede ingang naar de binnenhaven. Voordat de sluis kan worden gerealiseerd dienen er verschillende lay-out alternatieven te worden onderzocht om zo tot het beste ontwerp te komen.

In dit rapport wordt er gekeken naar de impact van veranderingen in haven lay-out en bathymetrie, voor alternatieve ontwerpen van de zeesluis, op de hydrodynamica in de haven. De hydrodynamiek (variaties in waterstanden en stromingen) speelt een belangrijke rol in de nautische toegangkelijk voor de nieuwe sluis. Om de impact van een nieuwe haven lay-out en bathymetrie op de doorgang van de schepen te bepalen wordt er een hydrodynamische alternatieven studie uitgevoerd. De impact van verschillende alternatieven op sedimentatie zal in de volgende fase worden behandeld.

In dit rapport worden er verschillende alternatieven met betrekking tot haven lay-out geanalyseerd. Vervolgens zijn er op basis van een expertenoordeel twee situaties geselecteerd, welke worden geanalyseerd op basis van hydrodynamische model simulaties: 1) de referentiesituatie, ofwel de huidige situatie en 2) het alternatief met een zuidelijke verschuiving. De modelsimulaties van de referentiesituatie en het alternatief worden eerst individueel geanalyseerd, vervolgens worden ze met elkaar vergeleken. Tot slot volgt de conclusie. In Figuur 1-1 is een deel van de haven van Zeebrugge, het interessegebied, afgebeeld.



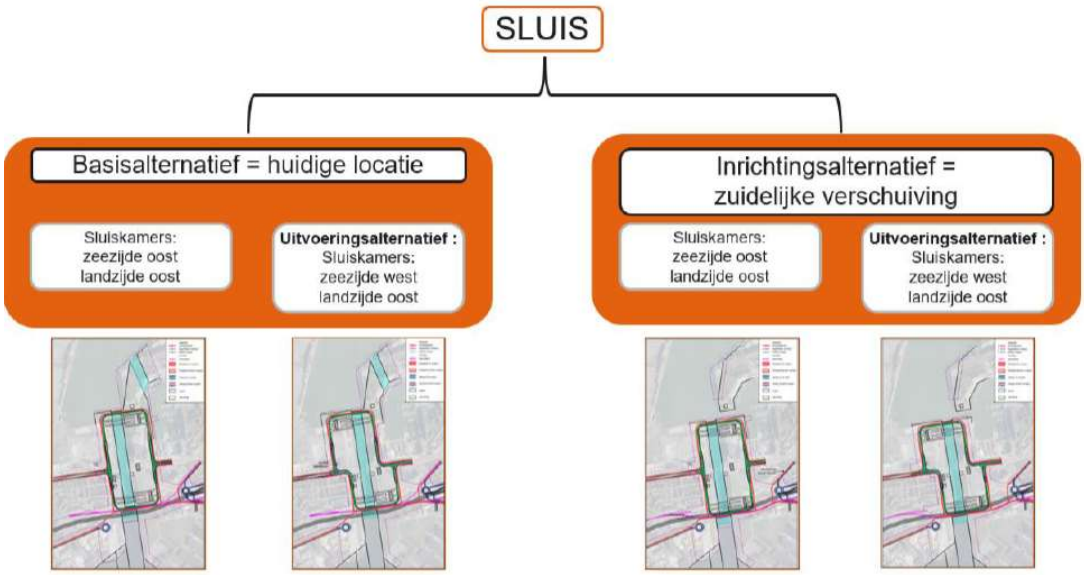
Figuur 1-1 Interessegebied hydrodynamische modellering

2 SET-UP TELEMAC MODEL

2.1 Beschouwde alternatieven

In een eerder opgesteld document “PROJECTONDERZOEKSNOTA” (PON)” (Consortium Arcadis - Tractebel, 2020) zijn er verschillende ontwerpen voor de nieuwe sluis uitgewerkt. Tijdens het uitwerken van deze alternatieven is er rekening gehouden met de inpassing in de haven en de koppeling met de infrastructuur. Uiteindelijk zijn er in de PON een aantalalternatieven gedefinieerd. Figuur 2 geeft een overzicht van de vier alternatieven die relevant zijn voor de huidige studie, inclusief een korte beschrijving.

a) Basisalternatief
b) Basisalternatief met deurkamers en brugkelder van zeewaarts sluishoofd aan westelijke zijde
c) Zuidelijke verschuiving
d) Zuidelijke verschuiving met deurkamers en brugkelder van zeewaarts sluishoofd aan westelijke zijde



Figuur 2-1 Schematisch overzicht van de alternatieven zoals beschreven in de PON (Consortium Arcadis - Tractebel, 2020)

Om de impact van de alternatieven op de nautische veiligheid te bepalen wordt er gekeken naar de dwarstroming voor de nieuwe sluis door de wateruitwisseling tussen voorhaven en jachthaven. De dwarsstroming wordt ook behandeld in de CFD studie. De dwarsstroming bepaalt namelijk de toegankelijkheid voor schepen die de sluis in- en uitvaren. Ook de uitstroming bij het nivelleren in de sluiskolk kan de nautische veiligheid beinvloeden. Dit is bestudeerd aan de hand van CFD modellering (IMDC, 2021). Het uitgangspunt voor de vergelijking van alternatieven is daarbij de huidige situatie. Voor de vier alternatieven kan op basis van expertenoordeel reeds worden ingeschat of deze een impact zullen hebben op de nautische veiligheid. In deze studie is vervolgens het alternatief dat de grootste negatieve impact heeft op de nautische veiligheid bestudeerd

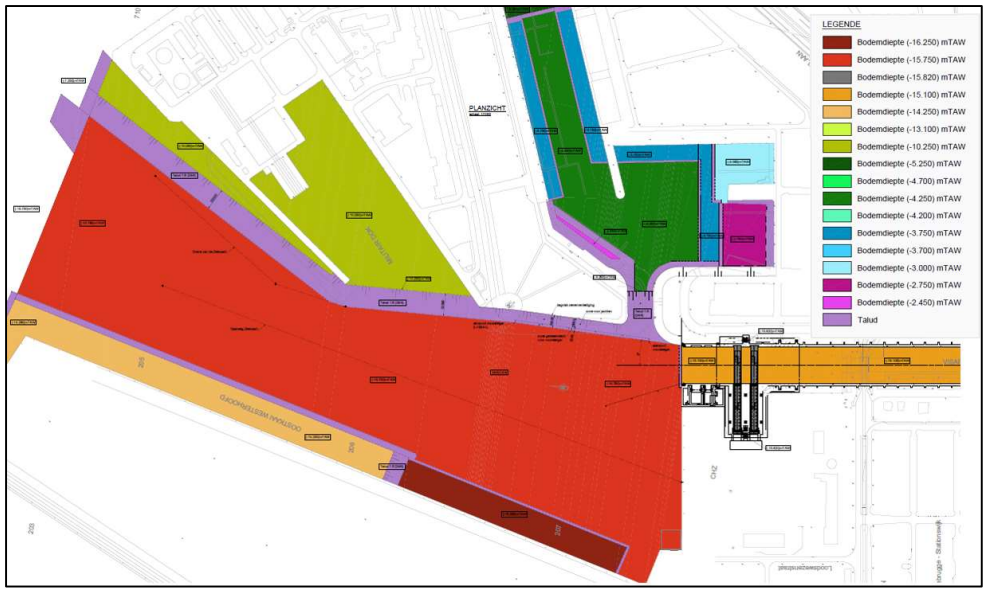
aan de hand van model simulaties. Dit houdt in, het alternatief waarbij de hydrodynamica de nautische veiligheid het meest zal beïnvloeden ten opzichte van de overige alternatieven.

Zoals schematisch weergegeven in Figuur 2-1 is de jachthaven met het Prins Albertdok en het Tijdok in de alternatieven “Basisalternatief” en “Basisalternatief met deurkamers en brugkelder van zeewaarts sluishoofd aan westelijke zijde” met de voorhaven verbonden door middel van een toegangskanaal op de plek van de militaire haven. De verwachte invloed van de hydrodynamica op de passerende schepen wordt als beperkt aangenomen voor deze alternatieven. Het effect van dwarstroming op de nautische veiligheid vindt enkel plaats op de locatie van de huidige toegang tot de jachthaven welke in deze alternatieven zal worden afgesloten. De Basisalternatieven zijn daarom niet gemodelleerd in deze studie.

De dwarsstroming nabij de toegang voor de nieuwe zeesluis is wel aanwezig bij de alternatieven “zuidelijke verschuiving”. Voor deze alternatieven geldt dat in het alternatief met de sluisdeuren aan de westzijde het watervolume in de jachthaven groter is ten opzichte van het alternatief met de sluisdeuren aan de oostzijde. De waterverplaatsing in het alternatief met de sluisdeuren aan de westzijde is daarom groter, wat resulteert in een grotere dwarsstroming voor de nieuwe sluis. Het alternatief “zuidelijke verschuiving, sluiskamers zeezijde west” zal naar waarschijnlijkheid de grootste dwarsstroming teweeg brengen en is daarom gekozen als ‘meest conservatieve’ vergelijking ten opzichte van de huidige situatie. De gekozen simulaties voor de nautische veiligeheidsanalyse zijn als volgt gedefinieerd:

- Referentiesituatie met de huidige situatie
- Het inrichtingsalternatief met zuidelijke verschuiving met deurkamers en brugkelder van zeewaarts sluishoofd aan westelijke zijde (hierna OP3)

De huidige situatie fungeert als referentiesituatie waarmee alternatieven worden vergeleken en komt overeen met het reeds gekalibreerde model van IMDC zoals verder beschreven in sectie 2.2. Dit model is aangepast aan de hand van de meest recente peilgegevens in de haven. Het alternatief zuidelijke verschuiving is gebaseerd op de verkregen NSZ_bodemdieptes zoals weergegeven in Figuur 2-2. Klimaatverandering wordt in deze studie bewust niet meegenomen. Als gevolg van klimaatveranderingen zal de zeespiegel stijgen en daarme nemen de waterstanden in de haven toen. De verhoogde waterstanden zullen resulteren in een lagere door getij veroorzaakte stroomsnelheden voor de te analyseren varianten. Om conservatief te blijven wordt er uitgegaan van de situatie met de grootste stroomsnelheden, daarom zal klimaatverandering niet worden meegenomen in de hydrodynamische model analyse.



Figuur 2-2 Schematische impressie bathymetrie zuidelijke verschuiving OP3

2.2 Model set-up

De software voor het hydrodynamisch model dat in deze studie wordt gebruik is TELEMAC-3D (version 8.1). TELEMAC-3D lost de ondiepwatervergelijkingen op om zo de stroomsnelheden en waterstanden te berekenen. Het stromingsveld in TELEMAC-3D is gediscretiseerd door gebruik te maken van prismatische elementen gebaseerd op driehoeken (TELEMAC, 2016). Alle informatie (diepte, waterhoogtes, snelheden en tracer hoeveelheden) wordt gedefinieerd op de hoekpunten van een driehoeks-element (een zogenaamd p1-p1 element).

Het vertrekpunt voor deze modellering is IMDC's reeds gekalibreerde Zeebrugge stromingsmodel (IMDC, 2015) zoals weergegeven in Figuur 2-3. Om de impact van de alternatieven te evalueren wordt er een 14-daagse cyclus van springtij – doodtij geanalyseerd. Gebaseerd op het gekalibreerde model (IMDC, 2015) is er een periode met representatieve stromingscondities gebruikt (in april 2009). Daarnaast zijn de volgende aannames gemaakt:

- Golven worden niet meegenomen in de simulatie. Golven in dit deel van de haven zijn beperkt en zullen geen invloed hebben op de nautische veiligheid.
- De drijvende steigers in de haven (met name in de jachthaven met het Prins Albertdok) worden niet meegenomen in het model. De palen van de steigers kunnen extra turbulentie veroorzaken, maar er wordt aangenomen dat deze impact beperkt is. Daarnaast is het niet meenemen van deze palen een conservatieve aanname, aangezien het water zich nu eenvoudiger kan verplaatsen en daarmee de stroomsnelheden zullen toenemen.
- Als bodemruwheid wordt voor de jachthaven een Manning-coefficient van 0.02 aangenomen. De bodemruwheid in de rest van het interesse gebied komt overeen met de waarden van het gecalibreerde Zeebrugge model (IMDC, 2015).

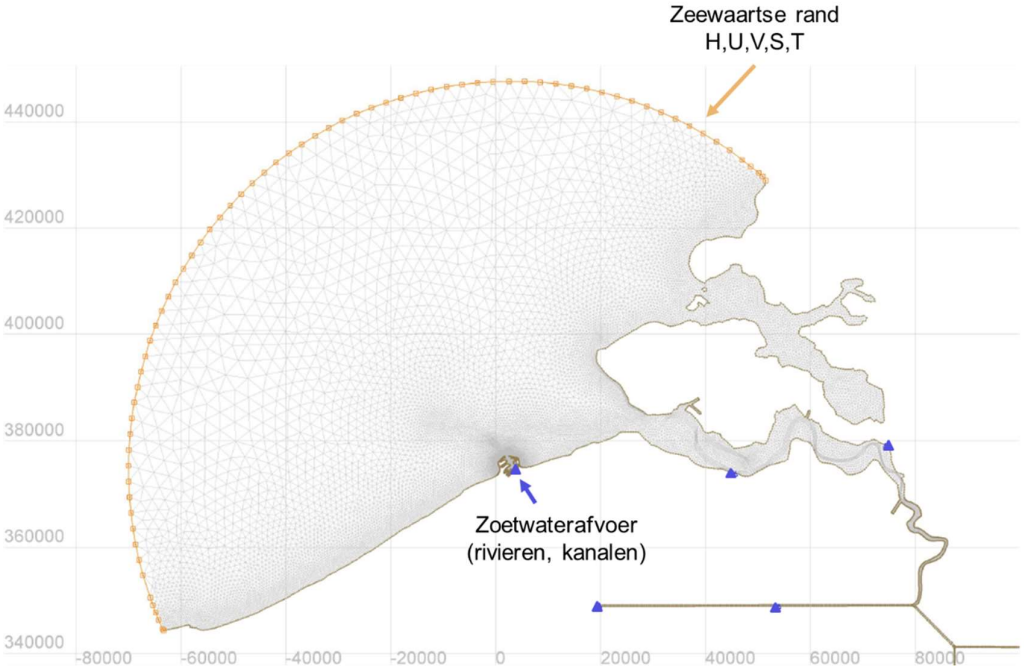
- Voor de saliniteit wordt een representatieve ruimtelijke en verticale verdeling als initiële waarde opgelegd. De temperatuur wordt uniform aangenomen over het hele model domein.
- De invloed van saliniteitsverschillen, bijvoorbeeld tussen dokken, wordt meegenomen in de densiteitsberekening waardoor eventueel densiteitsstromingen in het model worden opgewekt.

Tabel 2-1 Model set-up (IMDC, 2015)

Parameter	**Setting**
Referentiesysteem	Horizontaal: RD Parijs (Amersfoort) Verticaal: NAP
Verticale lagen	10 sigma lagen
Tijdstap	10 seconde
Lokale tijdzone	GMT+1
Coriolis	Constante coëfficiënt van 1.135 E-04 s^{-1}
Wrijving	Manning – ruimtelijk variërend
Horizontale viscositeit	Smagorinsky
Verticaal turbulentiemodel	Mix lengte Nezu and Nakagawa (1993) Dissipatie in functie van Munk-Anderson (1948)
Densiteit	In functies van zowel temperatuur als zoutgehalte
Advectie methode van propagatie	Karakteristieke methode
Matrix methode solver	GM-RES
Advectie methode saliniteit, temperatuur	Leo Postma schema aangepast voor nat en droog interactie
Matrix solver saliniteit, temperatuur	GM-RES

2.3 Rekenrooster en bathymetrie

In deze paragraaf wordt beschreven welk rekenrooster en welke bathymetrie er is gebruikt voor het opzetten van het hydrodynamisch model in het interesse gebied (Haven van Zeebrugge, buitenhaven). De data die hiervoor wordt gebruikt bepaalt grotendeels de verdere set-up voor de verschillende alternatieven. In Figuur 2-3 is het modeldomein en grid van het reeds gekalibreerde Zeebrugge stromingsmodel (IMDC, 2015) weergegeven. In deze figuur zijn ook de randvoorwaarden weergegeven. Alle randvoorwaarden bevatten informatie over het zoutgehalte en temperatuur. De zeewaartse randvoorwaarden bevatten daarnaast informatie over waterhoogte en stroomsnelheden, de overige randvoorwaarden in het domein zijn lokale zoetwaterafvoeren (rivieren en kanalen).



Figuur 2-3 Modeldomein en grid Zeebrugge stormingsmodel (IMDC, 2015)

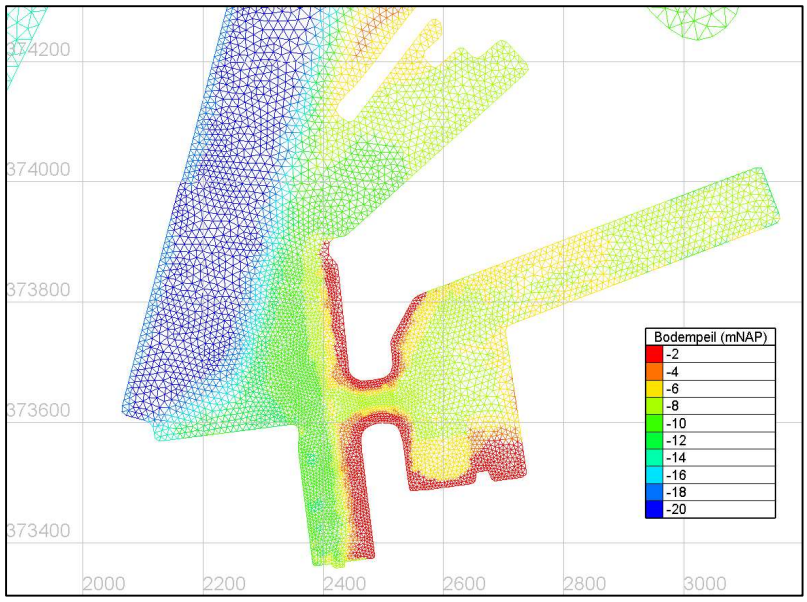
Het model bevat een ongestructureerd rekenrooster, gecentreerd rondom Zeebrugge. Het modeldomein langs de kust reikt van de haven van Duinkerke (Frankrijk) tot Goeree-Overflakkee (Nederland) (Figuur 2-3). Het rekenrooster bevat 66368 elementen en 35053 knooppunten. De resolutie van het rekenrooster varieert geleidelijk van 3 tot 4 km langs de zeewaartse grenzen, tot 15 m in de haven van Zeebrugge en tot ongeveer 5 m in het gebied rondom de Visartsluis. De bathymetrie in het model is gerefereerd aan mNAP (0 m NAP = +0.012 m MSL = +2.333 m TAW in Zeebrugge, (Cauwenberghe). Het horizontaal referentiesysteem is RD Parijs.

Voor deze studie zijn het originele rooster en de bathymetrie van het Zeebrugge stromingsmodel aangepast in het havengebied om de stromingen rondom de Visartsluis in meer detail uit te rekenen (Figuur 2-4). De bathymetrie van de huidge situatie is gebaseerd op de meest recente data die beschikbaar was in de haven van Zeebrugge. Zo is debathymetrie in het gebied vlakbij de Visartsluis en in het Tijdok bijgewerkt en aangevuld met de meest recente bodemgegevens van aMT. Naast bodemgegevens van aMT is er ook data verkregen van Afdeling Kust (bron: Bathymetriche databank van de Vlaamse overheid). De nieuwe bathymetrische data is voornamelijk toepasbaar in het gebied van het Tijdok.

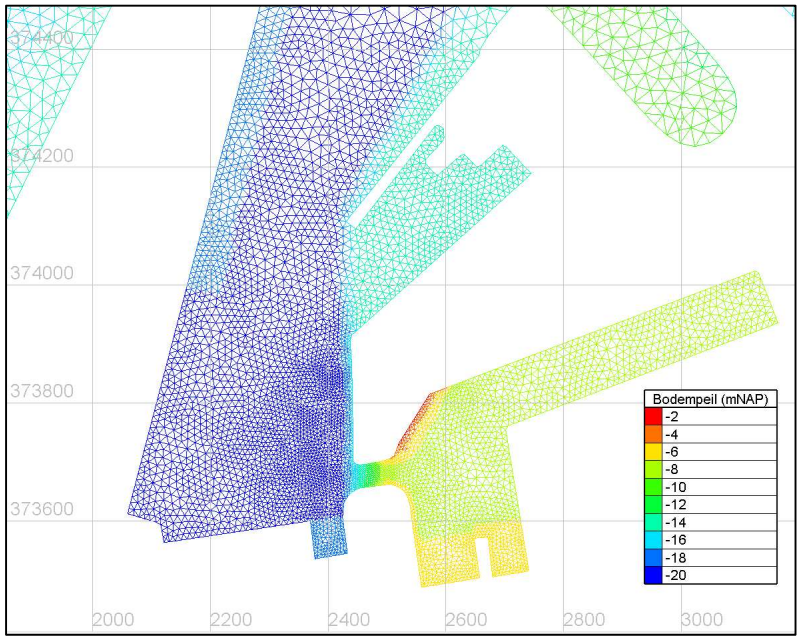
In TELEMAC-3D is het mogelijk om variaties over de waterkolom door te rekenen door verschillende lagen in het rekenrooster op te nemen. De mogelijkheden bestaan uit: 1) Z- lagen (vaste hoogtes voor de lagen), 2) Sigma lagen (hoogte in verhouding tot de waterdiepte) en 3) een combinatie van beide. In dit model is er gebruikt gemaakt van een niet uniforme sigma lagen systeem om de verticale verdeling van snelheden en de 3D processen zoals zoutgehalte en dichtheden op te lossen (Tabel 2-2 Verticale distributie lagen rekenrooster (IMDC, 2015)). De verticale resolutie is fijner bij de bodem en bij het oppervlak om op deze locaties in de waterkolom de hydrodynamische processen beter in kaart te kunnen brengen.

Tabel 2-2 Verticale distributie lagen rekenrooster (IMDC, 2015)

Layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z/H	0.0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.95	1.0



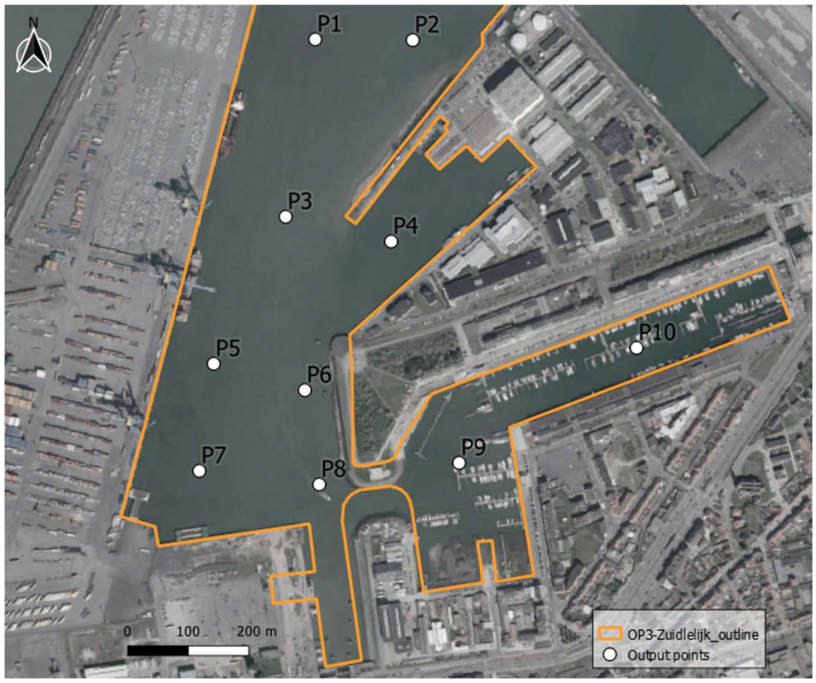
Figuur 2-4 Gebruikte bathymetrie voor het basisalternatief



Figuur 2-5 Gebruikte bathymetrie voor de zuidelijke verschuiving

2.4 Rekenrooster en transecten voor resultaten

Om de resultaten van de simulaties te analyseren zijn er een aantal uitvoerpunten geselecteerd zoals weergegeven in Figuur 2-6. Op deze punten worden de hydrodynamische condities per laag voor de referentiesituatie en het alternatief geanalyseerd om zo een beeld te krijgen van de driedimensionale stroompatronen. De resultaten van deze geselecteerde uitvoerpunten zijn te vinden in de bijlage 6.3.



Figuur 2-6 Gedefenieerde uitvoerpunten voor analyse alternatieven.

Naast de algemene uitvoerpunten die gelden voor beide simulaties zijn er voor de referentiesituatie en het alternatief OP3 ook 5 punten in de lengte-as van het verbindingskanaal naar de jachthaven gedefineerd. Aangezien de ligging van het verbindingskanaal verschilt per simulatie, verschilt de locatie van de uitvoerpunten daarmee ook. Om toch een vergelijking te maken zijn de punten voor de referentiesituatie en alternatief gerelateerd aan het middelpunt van het kanaal. De uitvoerpunten per simulatie zijn weergegeven in Figuur 2-7. De geselecteerde punten in het kanaal van OP3 zijn een kopie van de huidige situatie en daarom aangegeven met een apostrofe.



Figuur 2-7 Uitvoerpunten kanaal huidige situatie en OP3 zuidelijke verschuiving (oranje outline)

Op verzoek van het waterbouwkundig laboratorium (WL) zijn er drie transecten gedefinieerd om dwarsstromingen te analyseren (coördinaten in Tabel 2-3):

- Verlengde oostelijke kolkmuur;
- Verlengde aslijn kolk
- Verlengde westelijke kolkmuur.

Voor elk van deze transecten is het kwadratisch gemiddelde van de bovenste 10 m van de waterkolom geanalyseerd voor de stroomcomponent dwars op het traject en voor de magnitude van de stroomvectoren. De output frequentie is elke 10 minuten. De bijbehorende coördinaten van de transecten in Lambert 72 (L72) zijn weergegeven in de volgende tabel: (let op transecten in Figuur 2-8 zijn weergegeven in RD). Verdere informatie over deze transecten is opgenomen in de bijlage. De resultaten (dwarsstroming) van deze transecten worden behandeld in sectie 3.3.



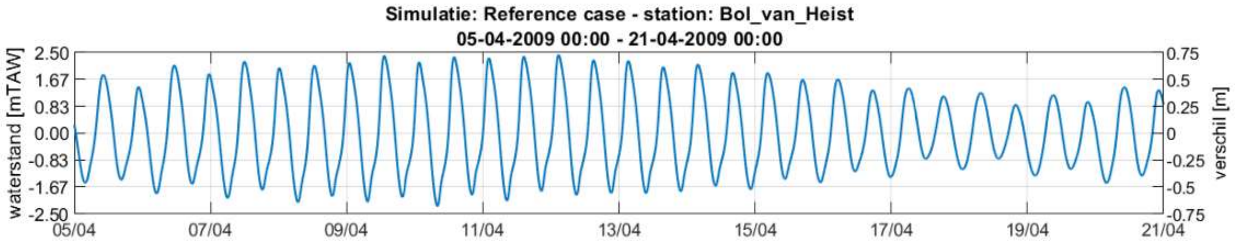
Figuur 2-8 Gedefinieerde transecten afgebeeld in OP3_zuidelijke outline (in RD)

Tabel 2-3 Coordinaten voor de transecten

Transect naam	Eindpunt Transect	x [L72 m]	y [L72 m]
NSZ Sluis Oost	Zuid	68383.21	225230.67
NSZ Sluis Oost	Noord	68310.52	225725.36
NSZ Sluis Centraal	Zuid	68356.01	225226.67
NSZ Sluis Centraal	Noord	68283.31	225721.36
NSZ Sluis West	Zuid	68328.80	225222.68
NSZ Sluis West	Noord	68256.10	225717.36

3 RESULATEN MODEL SIMULATIES

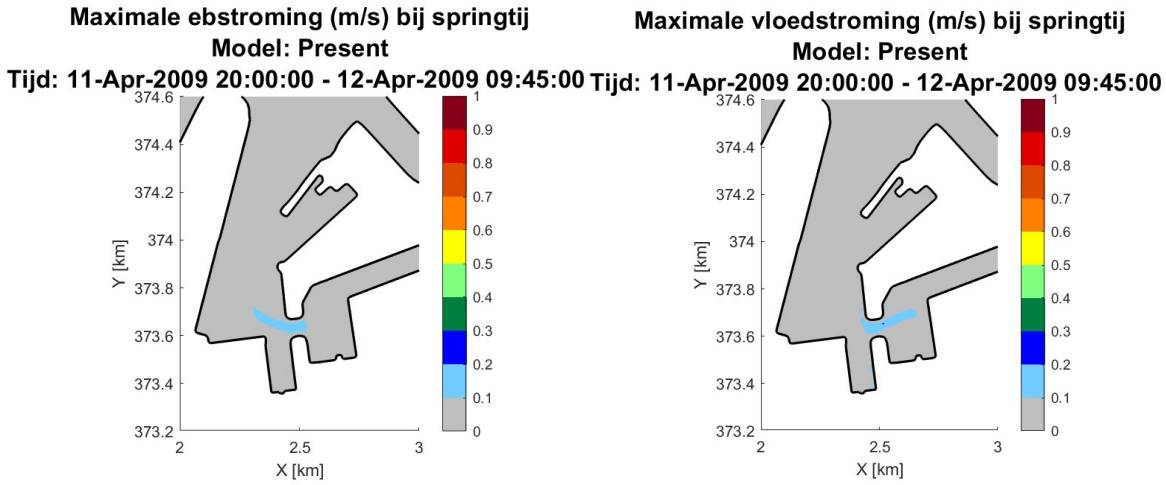
In dit hoofdstuk worden de resulaten van de simulaties besproken. In paragraaf 3.1 wordt de huidige situatie besproken en in paragraaf 3.2 het alternatief OP3 zuidelijke verschuiving. Tot slot wordt in paragraaf 3.3 de referentie situatie en het zuidelijke alternatief met elkaar vergeleken. Een belangrijk criterium is de stroomsnelheid in het gebied voor de sluiskolk. Dit bepaalt namelijk in grote mate of schepen die de sluis willen passeren hier worden beïnvloed door de stroming Wat betreft nautische veiligheid bepalen de stroomsnelheden in grote mate de mogelijkheid van scheepsmanoeuvres. Wanneer de stroomsnelheden te groot zijn kan dit negatieve gevolgen hebben voor de scheepsvaart. Voor de analyse is een 14 daagse periode in april 2009 genomen met een typische springtij- doodtijcyclus (Figuur 3-1)



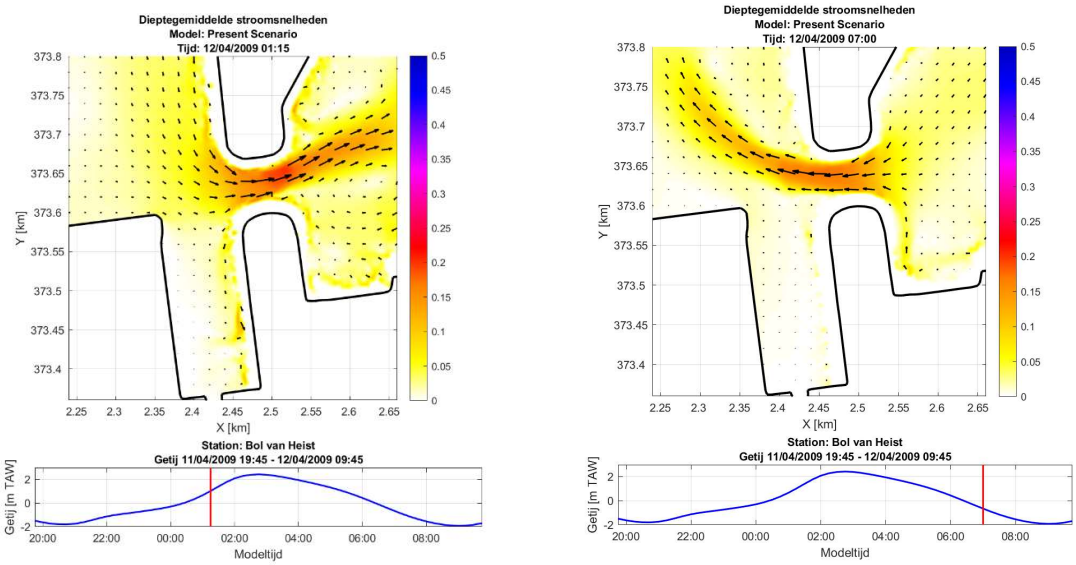
Figuur 3-1 Getij Bol van Heist in mTAW

3.1 Huidige situatie

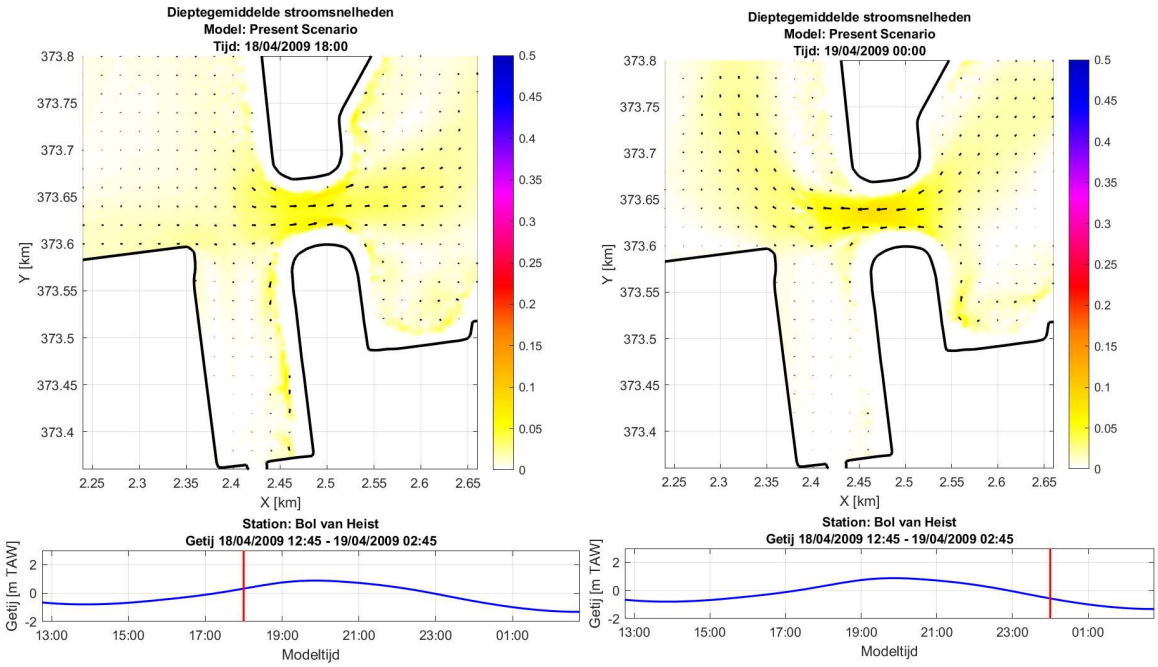
De simulatie voor de huidige situatie, ook wel het referentie scenario, geeft de huidige hydrodynamisch condities in de haven weer tijdens een typische springtij en doodtij cyclus. In Figuur 3-2 wordt de maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens eb en vloed weergegeven. De maximale stroomsnelheden concentreren zich in het midden van het kanaal dat de jachthaven met de rest van de haven van Zeebrugge verbindt. De hoogste stroomsnelheden doen zich voor tijdens vloed bij springtij (12 april zoals afgebeeld inFiguur 3-3). In deze figuren wordt met de kleurenschaal de magnitude van de stroomsnelheid weergegeven, de pijlen geven de richting van de dieptegemiddelde stroming weer. In het onderste paneel van de plot kan aan de hand van de rode lijn het moment van het getij voor station Bol van Heist (net buiten de haven) worden afgelezen. Uit deze figuren kan worden opgemerkt dat ten oosten van het kanaal de vloedstroming die door het kanaal naar de jachthaven stroomt naar het noorden afbuigt richting Albertdok. Bij het ledigen van de jachthaven tijdens eb concentreert de uitgaande stroming zich wederom in het kanaal, met als gevolg verhoogde stroomsnelheden. Doordat het water zich uit de haven terug trekt tijdens eb, buigt de in westwaartse richting stromende stroming vanuit het kanaal zich naar het noorden af. De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden die zich hierbij voordoen zijn rond de 0.15 m/s. Dezelfde situatie tijdens doodtij is afgebeeld in Figuur 3-4. Hieruit kan worden opgemaakt dat de dieptegemiddelde stroomsnelheden in deze situatie aanzienlijk lager liggen en dus niet leidend zullen zijn voor het bepalen van de nautische veiligheid.



Figuur 3-2 Maximale ebstroming bij springtij huidige situatie (links) en maximale vloedstroming bij springtij (rechts)

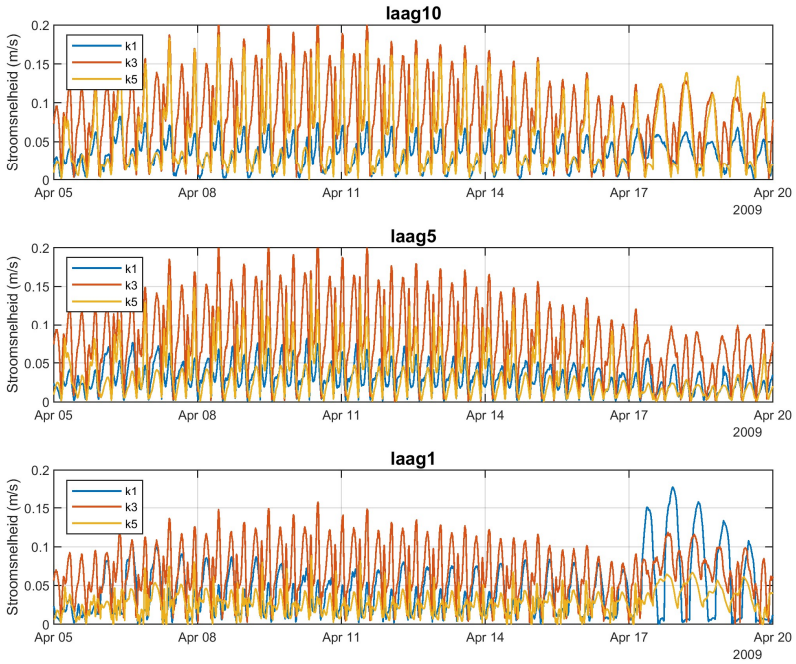


Figuur 3-3 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens springtij vloed (links) en eb (rechts) voor de huidige situatie(rode lijn geeft het moment in de tijd aan, de blauwe lijn de hoogte van het wateroppervlak)



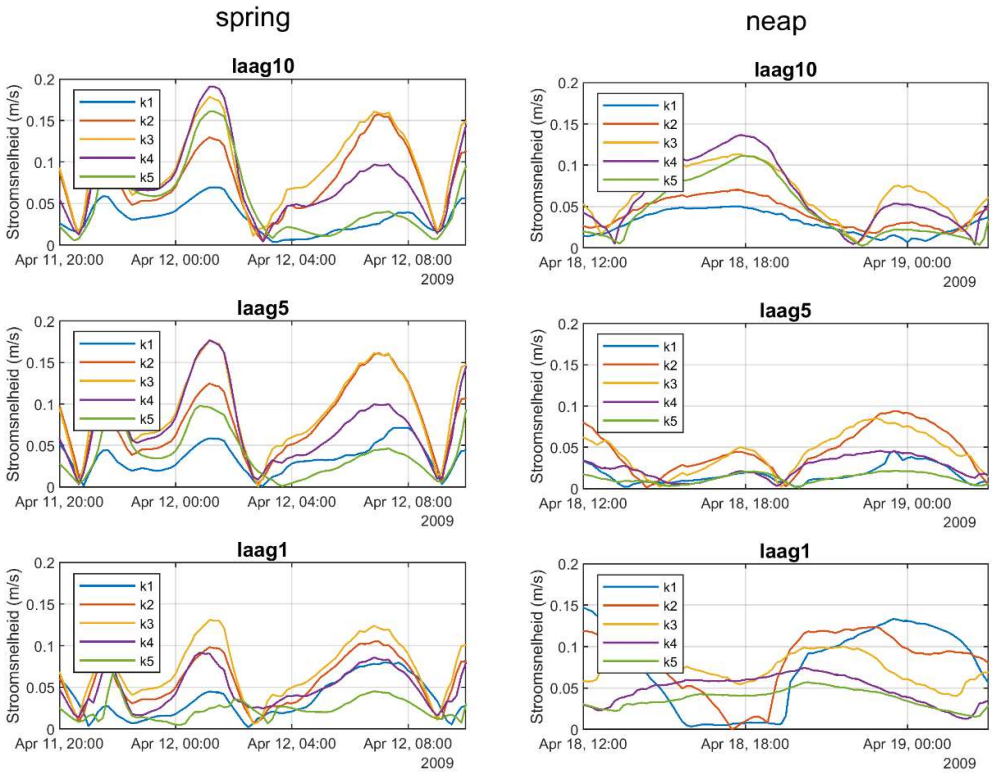
Figuur 3-4 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens doodtij vloed (links) en eb (rechts) voor de huidige situatie (rode lijn geeft het moment in de tijd aan, de blauwe lijn de hoogte van het wateroppervlak)

Uit Figuur 3-2 blijkt dat de ebstroming dominant is ten opzichte van de vloedstroming wanneer er wordt gekeken naar de impact van de stroming op wachtende schepen voor de Visart sluis. Voor zowel eb- als vloedstroming geldt dat de maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden op 1 moment na niet groter worden dan 0.2 m/s zoals valt te zien in Figuur 3-2. De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden als resultaat van het getij in het midden van het verbindingskanaal blijven tot onder de 0.2 m/s. Tijdens doodtij komen de maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden net boven de 0.05 m/s uit, tot een snelheid van 0.07m/s (Figuur 3-6). Voor meer resultaten, zie Bijlagen.



Figuur 3-5 Stroomsnelheden per laag voor Kanaalpunten k1 (blauw), k3(rood) en k5(geel) voor de gehele simulatie periode in de huidige situatie nabij de oppervlakte (laag10, bovenste paneel), quasi halverwege de waterkolom (laag5 op 40% waterdiepte van de bodem, middelste paneel) en nabij de bodem (onderste paneel).

Om beter inzicht te krijgen in de verandering van de stroomsnelheid in en rondom het kanaal zijn er vijf punten geselecteerd op en in het verlengde van de as van het kanaal zoals weergegeven in Figuur 2-7. In Figuur 3-5 zijn de stroomsnelheden voor drie punten uit het verbindingskanaal weergegeven per laag in de waterkolom. De lagen in de waterkolom zijn gedefinieerd van laag 1 op de bodem tot laag 10 aan het wateroppervlak. In Figuur 3-6 woren de dieptegemiddelde stroomsnelheden voor 3 lagen voor alle punten in het kanaal weergegeven voor zowel springtij als doodtij. Het eerste deel van de tijdserie behoort tot de vloedstroming, het tweede deel tot de ebstroming. Uit de figuren blijkt dat de grootste stroomsnelheden zich voordoen tijdens vloed. Vanuit het westen naar het oosten neemt de stroomsnelheid toe tot en met punt k4, waarna de stroomsnelheid afneemt verder in de jachthaven (k5). Tijdens eb worden de grootste stroomsnelheden geobserveerd in het midden van het kanaal. De stroomsnelheden in het meest westelijke punt (k1) zijn relatief laag, zowel tijdens vloed als tijdens eb. Dit kan mogelijk komen doordat de eb stroming naar het noorden afbuigt en daarom niet geheel wordt weergegeven in punt k1.

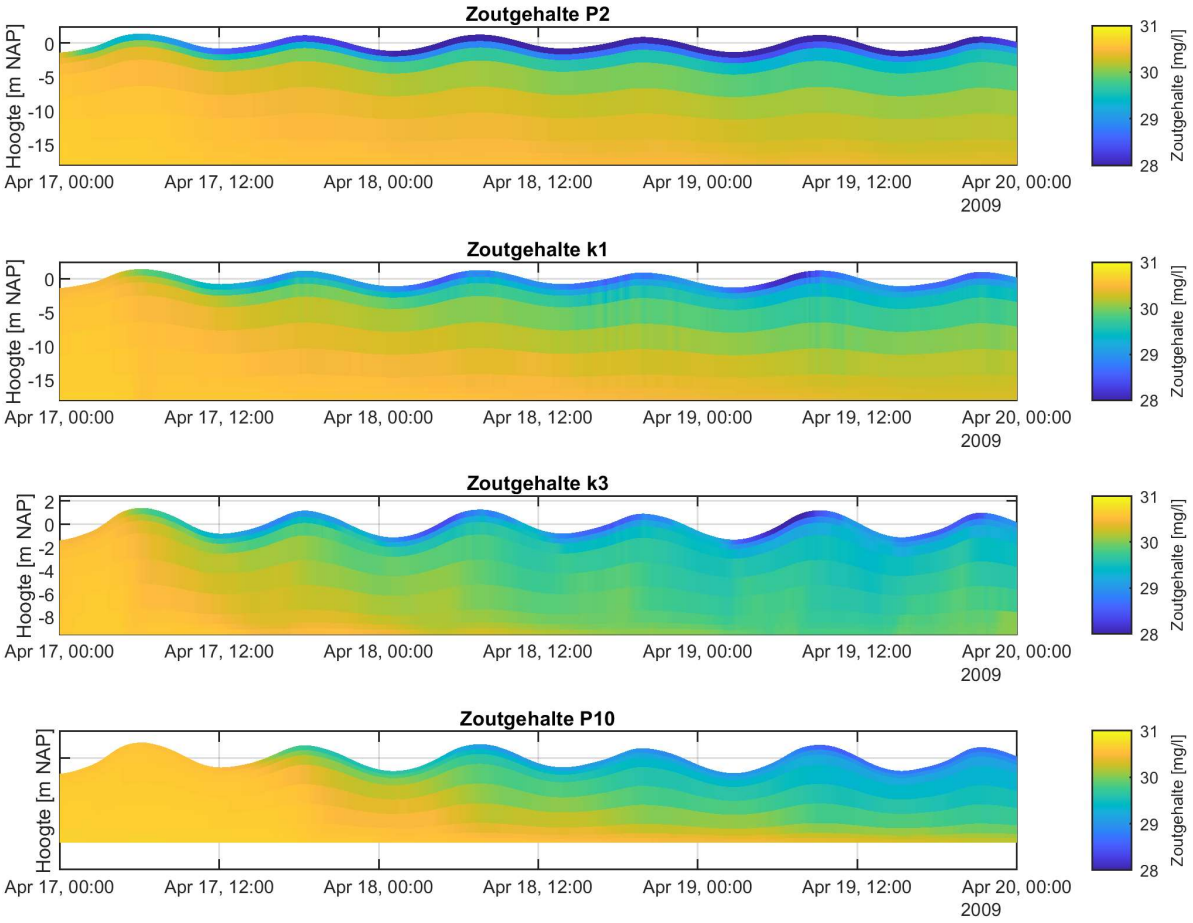


Figuur 3-6 Stroomsnelheden per laag voor de alle kanaalpunten tijdens springtij (links) en doodtij (rechts) in de huidige situatie nabij de oppervlakte (laag10, bovenste paneel), quasi halverwege de waterkolom (laag5 op 40% waterdiepte van de bodem, middelste paneel) en nabij de bodem (onderste paneel). Het eerste deel van de tijdseries toont de vloedstroming, het tweede deel de ebstroming.

Wat opvalt is dat vanaf 17 april (in modeltijd) de stroomsnelheden signifcant toenemen (Figuur 3-5). Zoals valt te zien in Figuur 3-1 is dit een periode van doodtij.

In Figuur 3-7 is de variatie in zoutgehalte over de waterkolom voor een aantal geselecteeerde punten in de tijd weergegeven. P2 ligt in het noorden van het interessegebied, k1 en k3 in het kanaal en p10 in het Prins Albertdok. De variërende hoogte als gevolg van het getij is te zien in de hoogte-as, het zoutgehalte over de waterkolom is in kleur weergegeven. Zoals in Figuur 3-7 kan worden gezien verspreidt het relatief zoetere water zich vanuit het noorden van de haven ook richting het zuiden. Hierbij moet worden opgemerkt dat de hoogteschaal voor de verschillende punten varieert en relatief is gesteld aan de maximale diepte voor het meetpunt. Daarnaast betekent het zoetere water niet dat het water zoet is, dit betekent slechts dat het water een relatief lager zoutgehalte heeft ten opzichte van de achtergrond waarde. Doordat het relatief minder zoute water een lagere dichtheid heeft, zal het zich hoger in de waterkolom bevinden en verplaatst het zich voornamelijk via de bovenste lagen in de waterkolom. Dit kan worden gezien als een relatieve zoetwaterlens. Met het inkomende getij verplaatst het water zich vanuit de zeekant (noorden) van de haven richting het zuiden, richting de Visart sluis en de jachthaven. Deze laatste heeft ten opzichte van de instromende waterlens een relatief hoger zoutgehalte. Het relatief hogere zoutgehalte in de Jachthaven is nog het gevolg van de getijcyclus voor de zoetwater afvoer. Het instromende getij dat relatief zoeter water met zich meebrengt stroomt over de

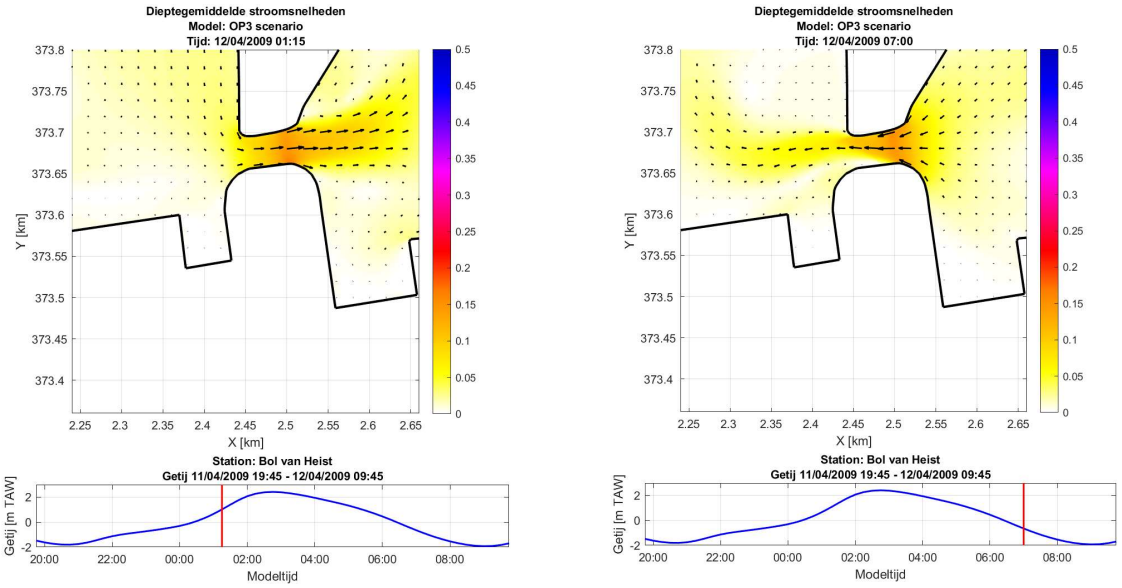
dichtere, relatief zoute lagen. In deze situate ontstaat een soort estuarine water circulatie waarbij de relatief zoete waterstroom richting de jachthaven stroomt aan de bovenkant van de waterkolom en het relatief zoutere water als reactie op het indringende zoete water richting de voorhaven stroomt aan de onderkant van de waterkolom. Deze dichtheidsstroming veroorzaakt de verhoogde stroomsnelheden in de onderste laag van de meetpunten. Na enige tijd is de jachthaven zoeter dan de voorhaven en kan het patroon omdraaien, het zoutere water van de voorhaven stroomt bij opkomend getij richting jachthaven in het onderste deel van de waterkolom. Doordat hierdoor de instroom gebeurt over een kleiner deel van de waterkolom nemen de stroomsnelheden nabij de bodem toe. Na verloop van tijd neemt dit effect af door de afname van de zoutgradiënt tussen voorhaven en jachthaven door menging van het zeewater in de jachthaven (Figuur 3-5).



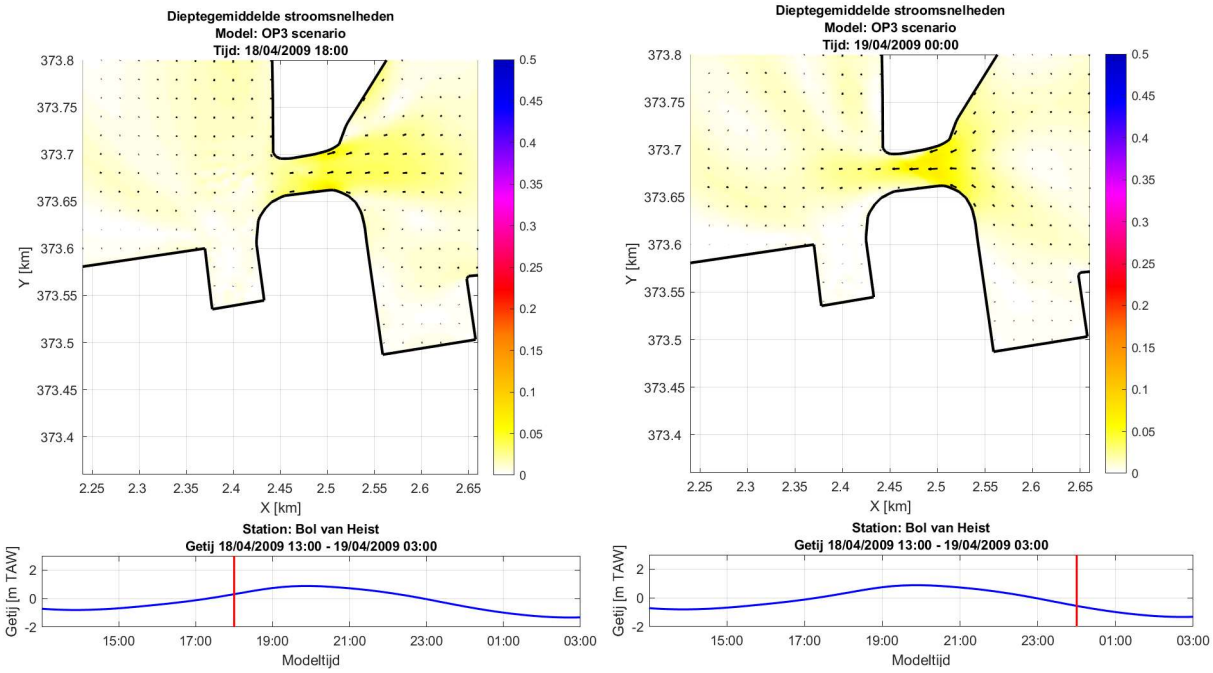
Figuur 3-7 Zoutgehalte over de gehele waterkolom voor de punten P2, k1, k3 en P10 in de huidige situatie uitgezet tegen de tijd.

3.2 OP3 zuidelijke verschuiving

OP3 zuidelijke verschuiving is een alternatief voor het nieuwe haven ontwerp, aangepast aan de nieuwe sluis. In dit alternatief is ten opzichte van de referentiesituatie de sluiskolk aanzienlijk kleiner. Daarnaast is het verbindingskanaal tussen de voorhaven en de jachthaven naar het noorden opgeschoven. Ook is de breedte van het verbindingskanaal afgenomen van 70m naar ongeveer 40 meter doorsnede. De voorhaven, het gebied ten westen van het verbindingskanaal is bovendien in zijn geheel verdiept naar -18m NAP, waar in de huidige situatie de diepte varieert van -18m naar -10m NAP (zie Figuur 2-4 en Figuur 2-5).



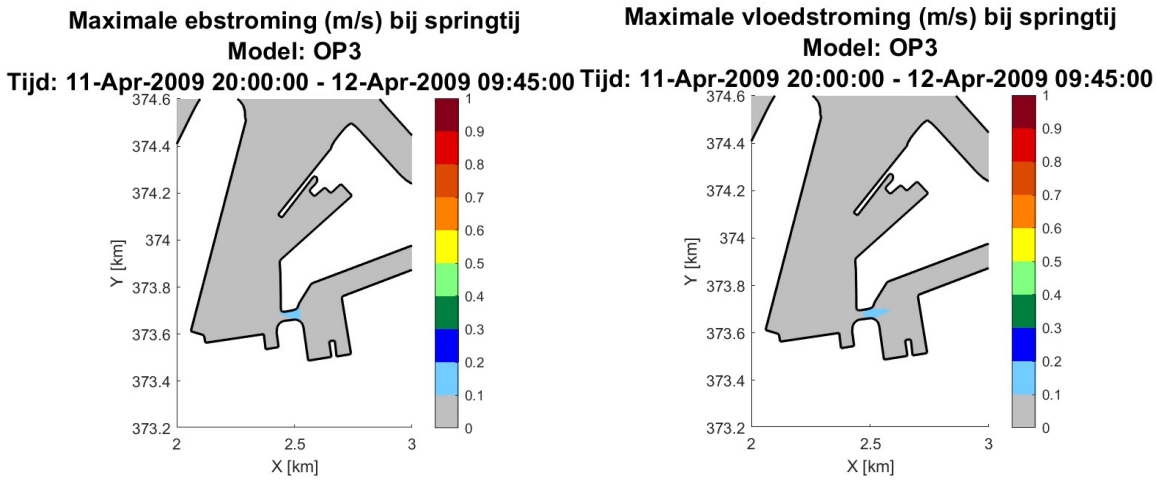
Figuur 3-8 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens springtij vloed (links) en eb (rechts) voor alternatief OP3 zuidelijke verschuiving (rode lijn geeft het moment in de tijd aan, de blauwe lijn de hoogte van het wateroppervlak)



Figuur 3-9 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens springtij vloed (links) en eb (rechts) voor alternatief OP3 zuidelijke verschuiving (rode lijn geeft het moment in de tijd aan, de blauwe lijn de hoogte van het wateroppervlak)

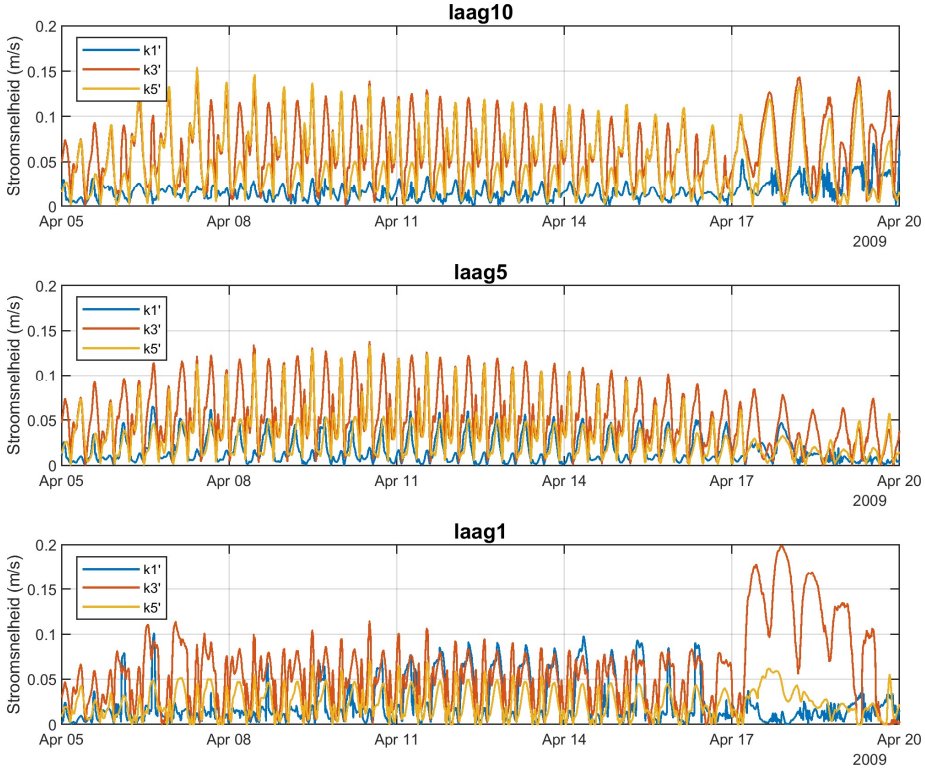
In Figuur 3-8 zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden voor alternatief OP3 zuidelijke verschuiving geplot op hetzelfde tijdstip als de eerder geplotte dieptegemiddelde stroomsnelheden voor de referentiesituatie. In deze figuren wordt met de kleurschaal de magnitude van de dieptegemiddelde stroomsnelheid weergegeven en met de pijlen wordt de richting van deze stroming weergegeven. In de plot eronder kan het moment van het getij voor station Bol van Heist (net buiten de haven) worden afgelezen. Aan de linkerkant van Figuur 3-9 is voor springtij de maximale stroomsnelheid tijdens vloed weergegven en aan de rechterkant is de maximale stroomsnelheid tijdens eb weergegeven. Aangezien in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving het kanaal is versmald ten opzichte van de referentiesituatie, is het aannemelijk dat de stroomsnelheden in dit kanaal daarmee toenemen. Echter geven de resultaten juist een verlaging van de stroomsnelheden weer. Ook het duidelijke uiteengerekte stromingspatroon zoals weergegeven in de huidige situatie zoals is te zien in Figuur 3-3 valt niet terug te vinden in de resultaten van het alternatief OP3 zuidelijke verschuiving (Figuur 3-8). De verhoogde dieptegemiddelde stroomsnelheid (0.1-0.2m/s) zoals weergeven in Figuur 3-10 blijft beperkt tot het verbindingskanaal. De maximale stroomsnelheid in OP3 ligt ongeveer 50% lager ten opzichte van de huidige situatie.

Ook voor doodtij zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden tijdens vloed en eb afgebeeld in Figuur 3-9.



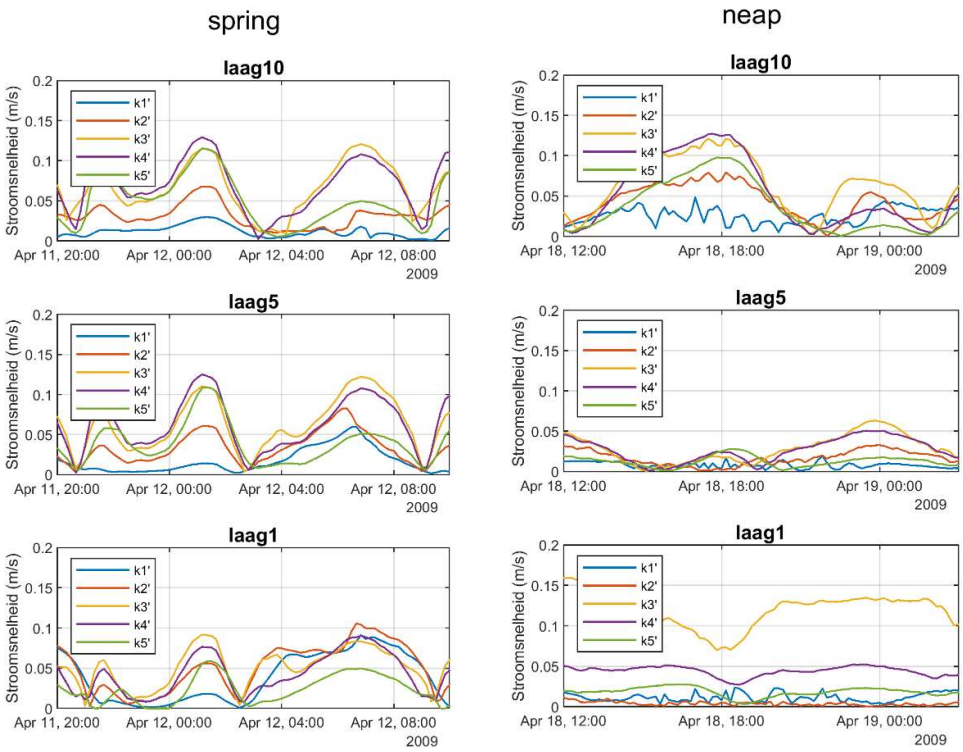
Figuur 3-10 Maximale dieptegemiddelde ebstroming bij springtij OP3 zuidelijke verschuiving (links) en maximale vloedstroming bij springtij (rechts)

De afname van de stroomsnelheden en daarmee het stromingpatroon rondom het verbindingskanaal kan worden verklaard door de verdieping van de voorhaven. Waar de bodemligging in dit gebied in de huidige situatie varieert van -18m tot -10m NAP is het nu geheel verdiept naar -18m NAP. Het watervolume in de voorhaven is hierdoor toegenomen waardoor de relatieve invloed van het verbindingskanaal op de stroming is afgenomen ondanks de versmalling. Het verplaatsen van de watermassa in en uit de jachthaven gaat door het toegenomen watervolume in de voorhaven gepaard met relatief lagere stroomsnelheden dan in de huidige situatie. De dieptegemiddelde stroomsnelheden in het verbindings kanaal zijn hierdoor afgenomen zoals valt te zien inFiguur 3-10. De maximale dieptegemiddelde stroomsnelheden komen sporadisch boven de 0.12m/s maar bljiven ver weg van de eerder gevonden dieptegemiddelde stroomsnelheden die reikten tot 0.2m/s in het midden van het verbindingskanaal in de huidige situatie. Voor meer resultaten, zie Bijlagen.



Figuur 3-11 Stroomsnelheden per laag voor Kanaalpunten k1 (blauw), k3(rood) en k5(geel) voor de gehele simulatie periode in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving nabij de oppervlakte (laag10, bovenste paneel), quasi halverwege de waterkolom (laag5 op 40% waterdiepte van de bodem, middelste paneel) en nabij de bodem (onderste paneel).

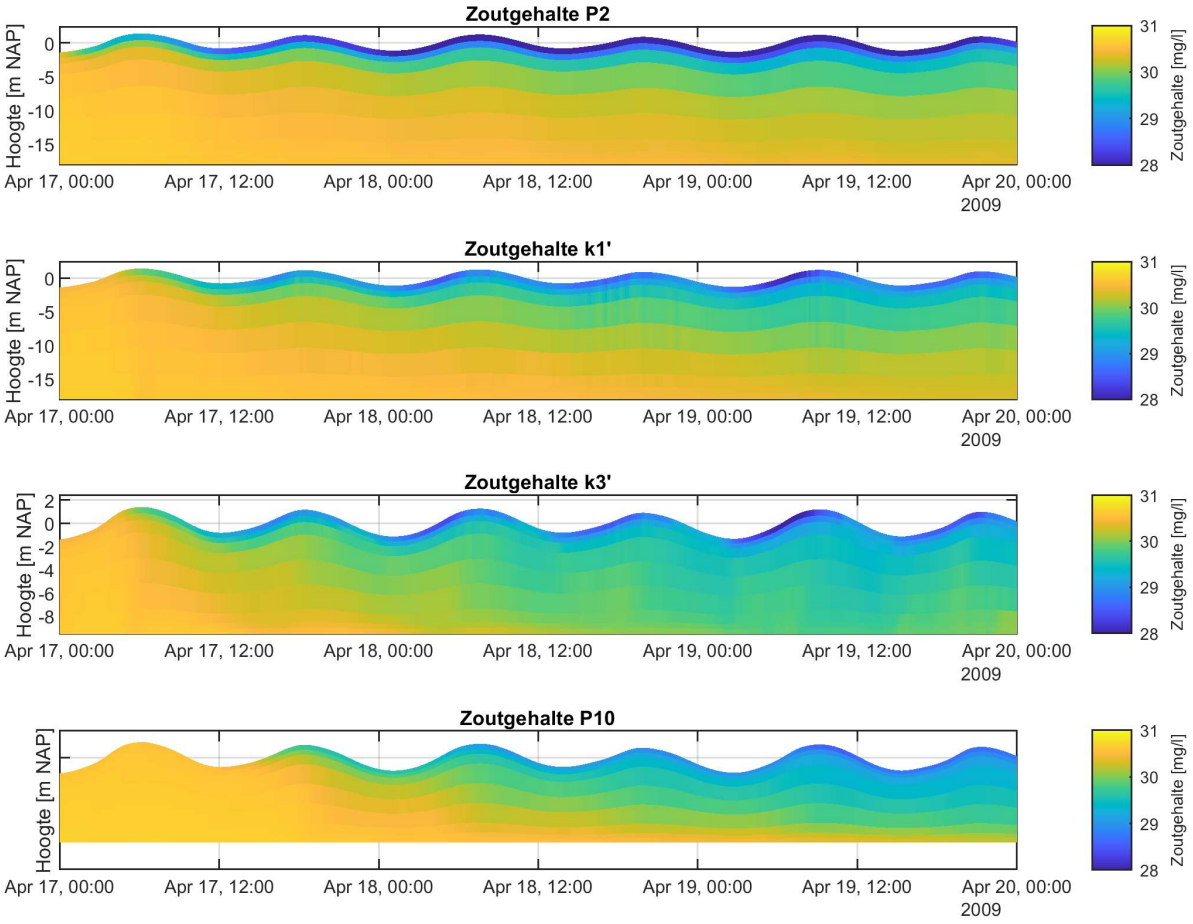
Om beter inzicht te krijgen in de verandering van de stroomsnelheid over de waterkolm in en rondom het kanaal zijn er vijf punten geselecteerd op en in het verlengde van de as van het kanaal zoals weergegeven in Figuur 2-7. In Figuur 3-11 zijn per laag in de waterkolom de stroomsnelheden voor drie punten uit het verbindingskanaal weergegeven. Laag 1 komt overeen met de bodemlaag en laag 10 met het wateroppervlak. Uit het onderste paneel van Figuur 3-12 en Figuur 3-11 blijkt dat de stroomsnelheden in het kanaal voor variant OP3 zuidelijke verschuiving het hoogst zijn tijdens vloed. De hoogste dieptegemiddelde stroomsnelheden doen zich voor in k4', welke is gesitueerd op de drempel van de toegang tot de jachthaven (Figuur 3-12). Tijdens vloed zijn de stroomsnelheden in k1' en k5' van bijna dezelfde grootte als de maximale stroomsnelheid in k4'. Echter tijdens het ledigen van de jachthaven gedurende eb is de stroomsnelheid in k5' relatief een stuk lager.



Figuur 3-12 Stroomsnelheden per laag voor de alle kanaalpunten tijdens springtij (links) en doodtij (rechts) in alternatief zuidelijke verschuiving nabij de oppervlakte (laag10, bovenste paneel), quasi halverwege de waterkolom (laag5 op 40% waterdiepte van de bodem, middelste paneel) en nabij de bodem (onderste paneel). Het eerste deel van de tijdseries toont de vloedstroming, het tweede deel de ebstroming.

Zoals opgemerkt in de eerder beschreven huidige situatie kan er voor alternatief OP3 zuidelijke verschuiving ook worden opgemerkt dat de stroomsnelheden vanaf 17 april (in modeltijd) nabij de bodem signifcant toenemen. In deze periode van doodtij vindt er een verhoogde lozing van zoetwater plaats uit het Leopoldkanaal en Afleidingskanaal in het gebied in het noord-oosten van de haven. In Figuur 3-13 is het zoutgehalte in de gehele waterkolom van een aantal geselecteeerde punten in de tijd weergegeven. P2 ligt in het noorden van het interessegebied, k1’ en k3’ in het kanaal en p10 in de jachthaven. De variërende hoogte als gevolg van het getij is te zien in de hoogte-as, het zoutgehalte over de waterkolom is in kleur weergegeven. Zoals in Figuur 3-13 kan worden gezien, verspreidt het relatief zoete water zich ook in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving vanuit het noorden van de haven richting het zuiden. Hierbij moet wederom worden opgemerkt dat de hoogteschaal voor de verschillende punten varieert en relatief is gesteld aan de maximale diepte voor het meetpunt. Doordat het relatief minder zoute water een lagere dichtheid heeft verplaatst het zich voornamelijk via de bovenste lagen in de waterkolom. Met het inkomende getij verplaatst het water zich vanuit de zeekant van de haven richting het zuiden, richting de Visart sluis en de jachthaven. Deze laatste heeft ten opzichte van de instromende waterlens een relatief hoger zoutgehalte. Het instromende getij dat het relatief zoetere water met zich meebrengt stroomt over de dichtere, relatief zoute lagen. In deze situate ontstaat een soort estuarine water circulatie waarbij de relatief zoetere waterstroom richting de jachthaven stroomt aan de bovenkant van de waterkolom en het

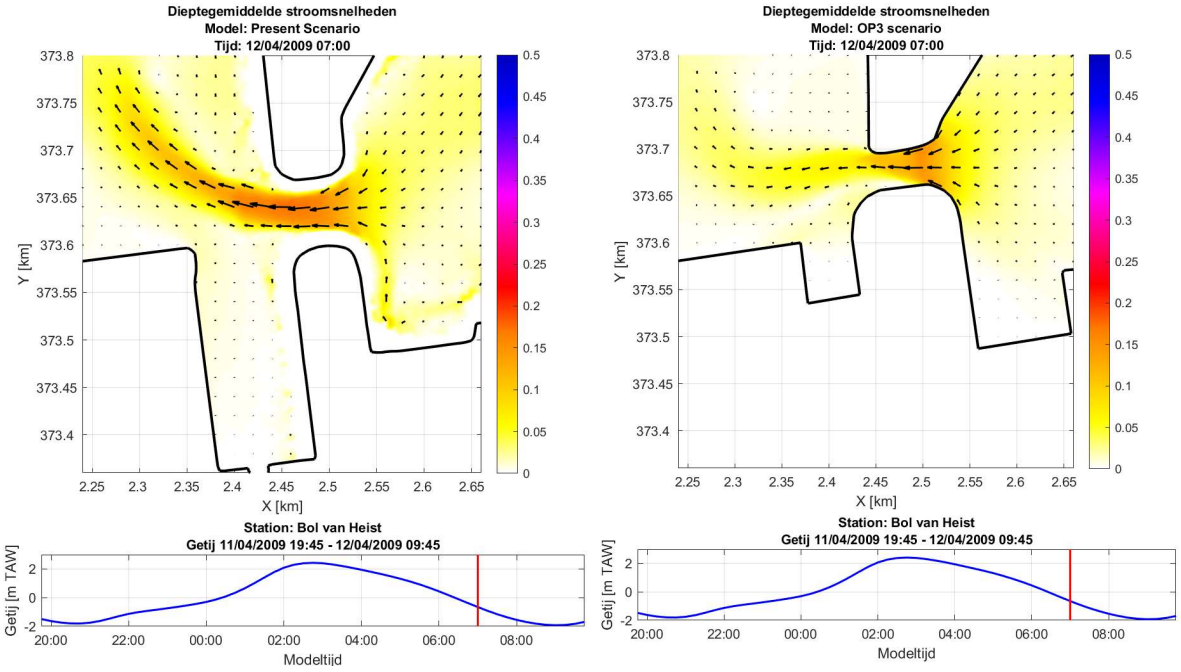
relatief zoutere water richting de voorhaven stroomt aan de onderkant van de waterkolom. Na enige tijd is de jachthaven zoeter dan de voorhaven en kan het patroon omdraaien, het zoutere water van de voorhaven stroomt bij opkomend getij richting jachthaven in het onderste deel van de waterkolom. Doordat hierdoor de instroom gebeurt over een kleiner deel van de waterkolom nemen de stroomsnelheden nabij de bodem toe. Na verloop van tijd neemt dit effect af door de afname van de zoutgradiënt tussen voorhaven en jachthaven door menging van het zeewater in de jachthaven. Deze dichtheidsstroming veroorzaakt de verhoogde stroomsnelheden in de onderste laag van de meetpunten zoals weergegeven Figuur 3-11.



Figuur 3-13 Zoutgehalte over de gehele waterkolom voor de punten P2, k1',k3' en P10 in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving uitgezet tegen de tijd.

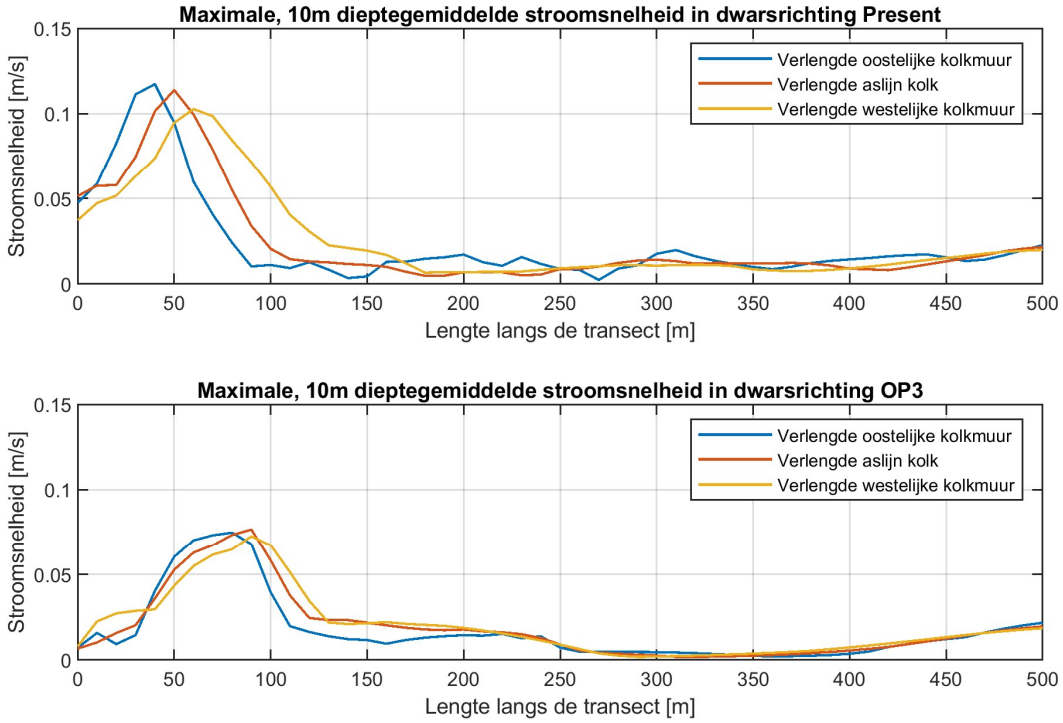
3.3 Vergelijking alternatieven

Om beter inzicht te kunnen krijgen in hoe de referentiesituatie en het alternatief zich tot elkaar verhouden worden de resultaten van de simulaties met elkaar vergeleken. Uit de vorige secties (secties 3.1 en 3.2) bleek dat de grootste stroomsnelheden zich voordoen tijdens springtij. Daarnaast bleek dat de ebstroming dominant is ten opzichte van de vloedstroming wanneer het gaat om impact op de nautische veiligheid. Daarom wordt in deze paragraaf voor beide alternatieven alleen de ebsituatie tijdens springtij vergeleken. De huidige variant wordt vergeleken met de OP3 Zuidelijk verschuiving. In Figuur 3-14 zijn de dieptegemiddelde stroomsnelheden tijdens springtij gedurende eb weergegeven voor de huidige situatie (links) en OP3 zuidelijke verschuiving (rechts).



Figuur 3-14 Dieptegemiddelde stroomsnelheden springtij tijdens eb voor huidige situatie (links) en OP3 zuidelijke verschuiving (rechts) (rode lijn geeft het moment in de tijd aan, de blauwe lijn de hoogte van het wateroppervlak)

Uit deze figuren blijkt dat de dieptegemiddelde stroomsnelheden tijdens eb groter zijn voor de huidige situatie vergeleken met alternatief OP3 zuidelijke verschuiving. Ook zijn de verhoogde stroomsnelheden in de huidige situatie nog zichtbaar verder naar het westen toe, waar in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving de verhoging van de stroomsnelheden beperkt blijft tot in het verbindingskanaal en richting het westen al snel dissipeert. Wanneer de middelste punten in het verbindingskanaal van beide situaties worden vergeleken blijkt dat zowel de stroomsnelheden tijdens eb als tijdens vloed voor de huidige situatie het grootst zijn over de waterkolom, met name nabij de wateroppervlakte tot circa halverwege de waterkolom (Figuur 3-16). De stroomsnelheid in de huidige situate is tot meer dan 50% hoger dan in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving. Nabij de bodem is het verschil minder uitgesproken. In de onderste laag van k1 (westelijk t.o.v. verbindingskanaal) is de stroomsnelheid voor OP3 een korte periode hoger en is ook de maximal stroomsnelheid hoger dan voor de huidige situatie. Echter dit verschil is miniem en bevindt dit zich bovendien in de onderste laag van de waterkolom. Dit zal dus geen negatief effect hebben op de nautische veiligheid.

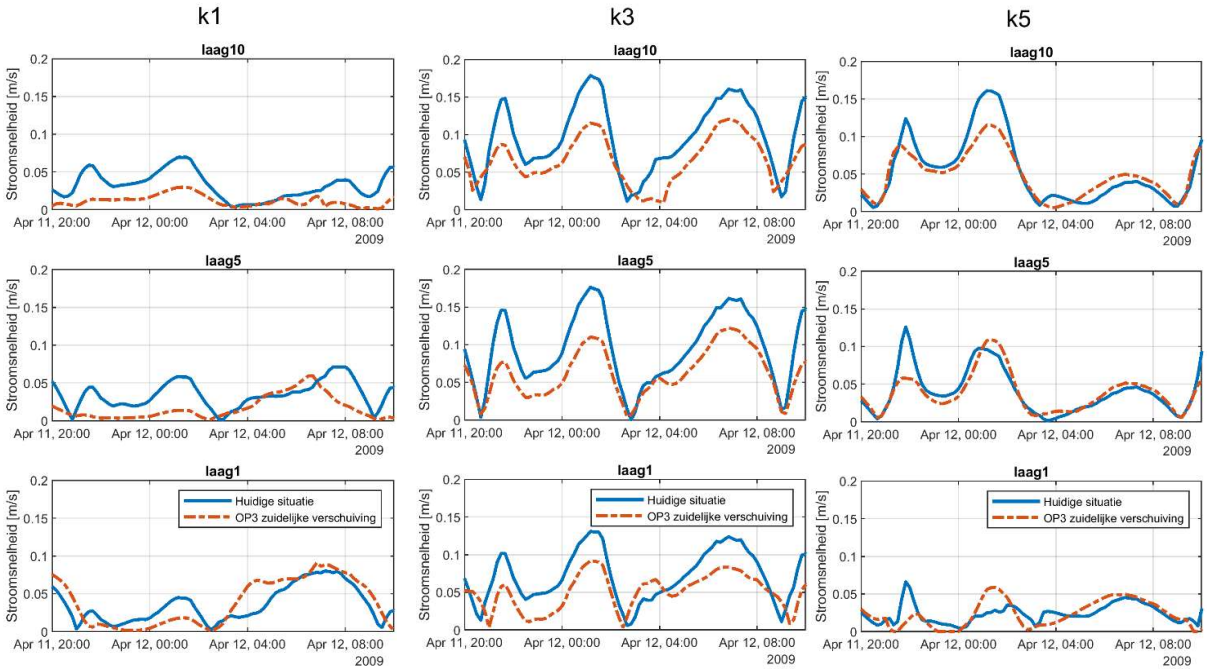


Figuur 3-15 De maximale, 10m dieptegemiddelde stroomsnelheid [m/s] in dwarsrichting op de transecten voor de huidige situatie (boven) en alternatief OP3 zuidelijke verschuiving (onder) voor de gehele simulatie periode

In Figuur 3-15 wordt voor zowel de huidige situatie als alternatief OP3 zuidelijke verschuiving de maximale diepte gemiddelde dwarstroming van de bovenste 10m van de waterkolom weergegeven over de lengte van de eerder gedefinieerde transecten (zie Figuur 2-8). De lengte is gedefineerd vanaf het meest zuidelijke punt van de transect richting het noorden. In de figuur kan duidelijk aan de piek van de dwarsstroming worden gezien dat het verbindingskanaal in OP3 naar het noorden is verschoven. Daarnaast valt voor beide alternatieven ook te zien dat de stroming uit het verbindingskanaal naar het noorden afbuigt, de piek in stroomsnelheid schuift verder naar het noorden op wanneer de transecten van oost naar west worden gevolgd.

Wanneer de beide alternatieven met elkaar worden vergeleken valt, zoals eerder beschreven, te zien dat de grootste dwarsstroomsnelheden zich voordoen in de huidige situatie. Die piek van de stroomsnelheden in de huidige situatie dampt relatief sneller uit dan voor alternatief OP3 zuidelijke verschuiving, maar blijft altijd nog groter van omvang.

Samenvattend rijken in de huidige situatie de stromingspatronen verder westwaarts en zijn de stroomsnelheden hoger dan in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving. De effecten op de stroomsnelheid door de versmalling van het kanaal lijken te worden opgeheven door de verdieping van de voorhaven (ten westen van het kanaal). Potentieel passerende schepen die van en naar de nieuwe sluis varen zullen dus meer hinder ondervinden van de dwarsstroming in de huidige situatie. Gebaseerd op de hydrodynamica is voor het passeren van schepen van en naar de nieuwe sluis alternatief OP3 zuidelijke verschuiving het meest gunstige alternatief..



Figuur 3-16 Dieptegemiddelde stroomsnelheid voor het punt ten westen van het kanaal (k1/k1'), voor het midden van het kanaal (k3/k3') en ten oosten van het kanaal (k5/k5') voor de huidige situatie (blauw) en OP3 zuidelijke verschuiving (rood) gedurende vloed en eb tijdens springtij nabij de oppervlakte (laag10, bovenste paneel), quasi halverwege de waterkolom (laag5 op 40% waterdiepte van de bodem, middelste paneel) en nabij de bodem (onderste paneel). Het eerste deel van de tijdseries toont de vloedstroming, het tweede deel de ebstroming.

4 CONCLUSIE

In dit rapport is het onderzoek naar de invloed van de hydrodynamica op de nautische veiligheid voor de verschillende alternatieven zoals gedefinieerd in de PON beschreven. Aan de hand van een expertenoordeel zijn er uiteindelijk twee alternatieven geanalyseerd die verder zijn onderzocht aan de hand van een hydrodynamisch TELEMAC-3D model. TELEMAC-3D lost de ondiepwatervergelijkingen op om zo de snelheden en waterstanden te bereken. Het vertrekpunt voor modellering in dit rapport is IMDC's reeds gekalibreerde Zeebrugge stromingsmodel (IMDC, 2015). Dit 3D model bevat 10 verticale sigma lagen en het rekenrooster en bathymetrie zijn ter hoogte van het projectgebied verfijnd en aangepast aan de hand van de meest recente bathymetrische gegevens.

Om de impact op nautische veiligheid te bepalen is er gekeken naar de stroomsnelheden en stroompatronen nabij de sluis en jachthaven en naar de dwarstroming voor de verschillende alternatieven voor de nieuwe sluis. De huidige situatie (referentiesituatie) is daarbij vergeleken met het door experten geselecteerde meest 'extreme' alternatief waarvan is ingeschat dat het de meeste impact op de nautische veiligheid kan hebben. Uiteindelijk zijn de volgende simulaties uitgevoerd en geanalyseerd:

- Referentiesituatie met de huidige situatie
- OP3 (zuidelijke verschuiving met deurkamers en brugkelder van het zeewaarts sluishoofd aan de westelijke zijde)

De twee simulaties zijn vergeleken door de hydrodynamica in een 14-daagse periode met een typische springtij-doodtijcyclus te analyseren. Een belangrijk criterium is de stroomsnelheid in het gebied voor de sluiskolk. Dit bepaalt namelijk in grote mate of schepen die de sluis willen passeren hier hinder zullen ondervinden tijdens het varen of wachten om gebruik te maken van de sluis. Dit zal verder worden onderzocht door het Waterbouwkundig Laboratorium op basis van de resultaten in dit rapport.

Uit de hydrodynamisch analyse blijkt dat in de huidige situatie de dieptegemiddelde stroming die uit het verbindingskanaal tussen voorhaven en jachthaven stroomt tijdens eb verder westwaarts rijkt met relatief hogere stroomsnelheden dan in alternatief OP3 zuidelijke verschuiving. De effecten op de stroomsnelheid door de versmalling van het verbindingskanaal lijken te worden opgeheven door de verdieping van de voorhaven (ten westen van het verbindingskanaal).. Voor het gegeven in de PON, andere zuidelijke inrichtingsalternatief met deuren en sluiskamers ten oosten is de verwachting dat de impact op dwarsstroming gelijkaardig zal zijn of verder zal afnemen in vergelijking met OP3 door een (beperkte) afname van de oppervlakte van de jachthaven en dus ook (beperkt) kleinere getijuitwisseling en stroming doorheen het verbindingskanaal. Voor de basisalternatieven wordt geen invloed van dwarsstroming vlak bij de sluis verwacht aangezien de locatie van het verbindingskanaal wordt verplaatst naar het noorden verder weg van de toegangsgeul naar de sluis.

.

Daarnaast is er gebleken dat op momenten van hogere zoetwaterlozingen uit het Afleidingskanaal en Leopoldkanaal in het noord-oosten van het havengebied, de stroomsnelheden in de onderste laag van de waterkolom, in de buurt van de Visart sluis kunnen toenemen. Dit is het gevolg van dichtheidstroming: het

relatief minder zoute water dat met het getij richting de Prins Albert haven stroomt brengt een relatief zoutere tegenstroom aan de onderkant van de waterkolom terweeg. Er wordt aangenomen dat deze stroming geen effect zal hebben op de nautische veiligheid.

5 REFERENTIES

Consortium Arcadis - Tractebel (2020). Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge. Complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Projectonderzoeksnota.

IMDC (2015). LNG Terminal Zeebrugge. LNG Zeebrugge. I/RA/16083/15.195/JRS.

IMDC (2021). Zeesluis Zeebrugge - CFD Outflow. I/RA/14301/21.036/MMO/.

TELEMAC (2016). Open TELEMAC-MASCARET. Accessed 25 April 2016, http://www.opentelemac.org (accessed: April 2016).

6 BIJLAGEN

Bijlage 1: Resultaten NetCDF

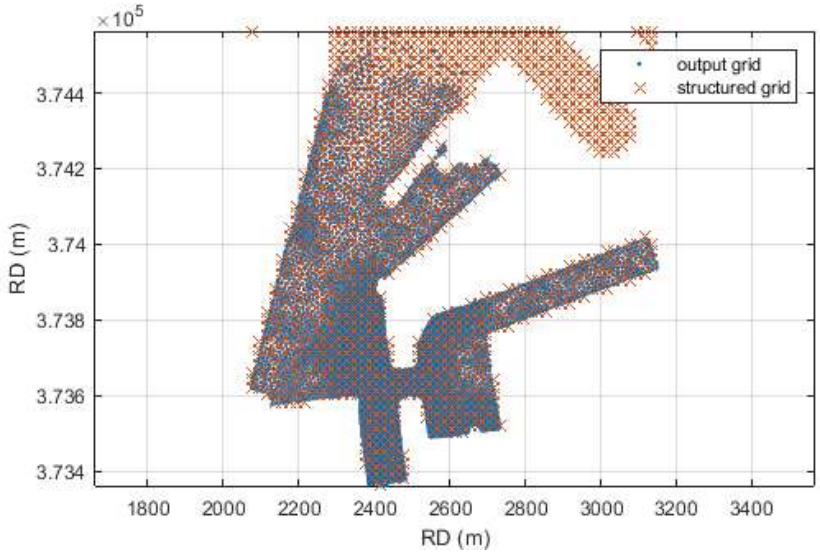
Naast de resultaten weergegeven in dit rapport zijn de resultaten van de modelsimulaties ook beschikbaar gesteld in NetCDF format. Om de resultaten om te kunnen zetten is er eerst een regelmatig rekenrooster met een dichtheid van 20 x 20m gedefinieerd over het interessegebied voor zowel de huidige situatie als voor het alternatief OP3 zuidelijke verschuiving. Vervolgens zijn voor alle sigma lagen (10lagen) de resultaten op het driehoeksgrid geinterpoleerd naar het het nieuwe regelmatige grid en omgezet naar NetCDF bestanden. De NC grid file bevat de volgende informatie per laag in elk gridpunt:

- Stroomsnelheid U [m/s]
- Stroomsnleheid V [m/s]
- Waterstand Z [m]

Het referentie systeem voor het nieuwe systeem is in m RD (parijs) (Figuur 6-1). Het regelmatige rekenrooster heeft de volgende afmetingen:

Tabel 6-1 Coordinaten NC output rekenrooster in m RD

	Elementen	Min X	Max X	Min Y	Max Y
Huidige situatie	61x54	2076.33	3136.33	373361.78	374561.78
OP3 zuidelijke verschuiving	52x54	2070.44	3130.44	373494.22	374514.22



Figuur 6-1 Model output grid en structured NetCDF grid voor de huidige situatie.

In aanvulling op de gegeneerde data voor het gehele interesse gebied zijn er ook 3 transecten gedifinieerd om de hydrodynamiek in de haven te analyseren.Deze transecten bevatten het kwadratische gemiddelde van de bovenste 10m van de waterkolom voor de stroomcomponent dwars op de transect en de magnitude van de stroomvectoren. De transecten zijn als volgt gedifinieerd (coordinaten zie Tabel 6-2):
- Verlengde oostelijke kolkmuur
- Verlengde aslijn kolk
- Verlengde westelijke kolkmuur

De informatie van de gedefinieerde transecten zijn omgezet naar (seperate) NetCDF bestanden. Dit is gedaan voor zowel de huidige situatie als voor het alternatief OP3 zuidelijke verschuiving, resulterend in de volgende bestanden:

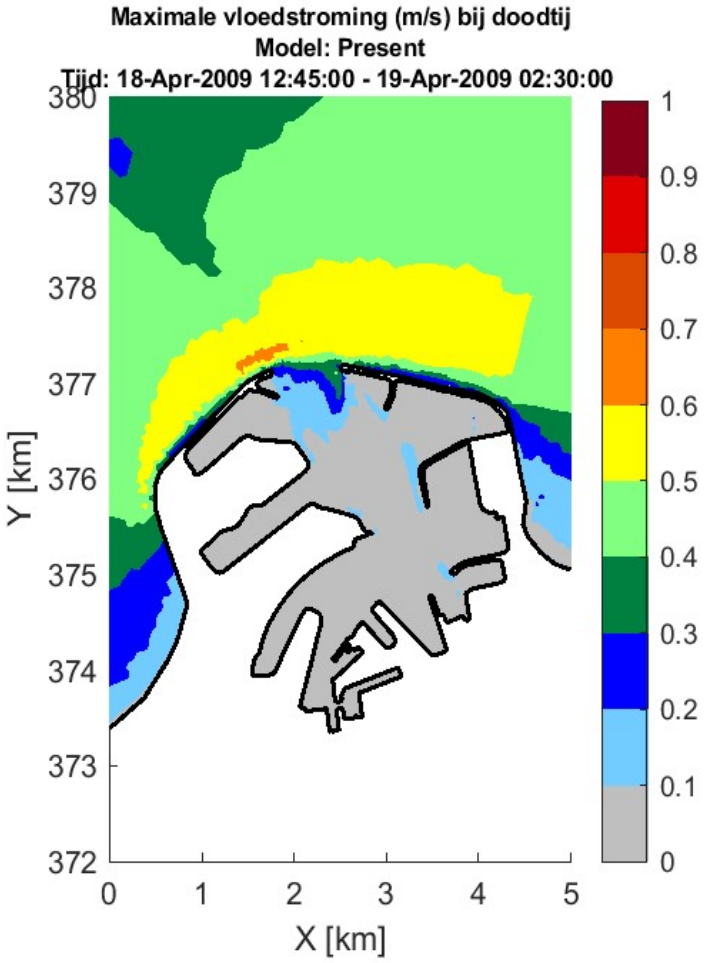
Tabel 6-2 Simulatie resultaten NetCDF bestanden

	Bestand
Huidige situatie	hist3d_present.nc
	transect01Verlengde oostelijke kolkmuur_present.nc
	transect02Verlengde aslijn kolk_present.nc
	transect03Verlengde westelijke kolkmuur_present.nc
OP3 zuidelijke verschuiving	hist3d_OP3.nc
	transect01Verlengde oostelijke kolkmuur_ OP3.nc
	transect02Verlengde aslijn kolk_ OP3.nc
	transect03Verlengde westelijke kolkmuur_ OP3.nc

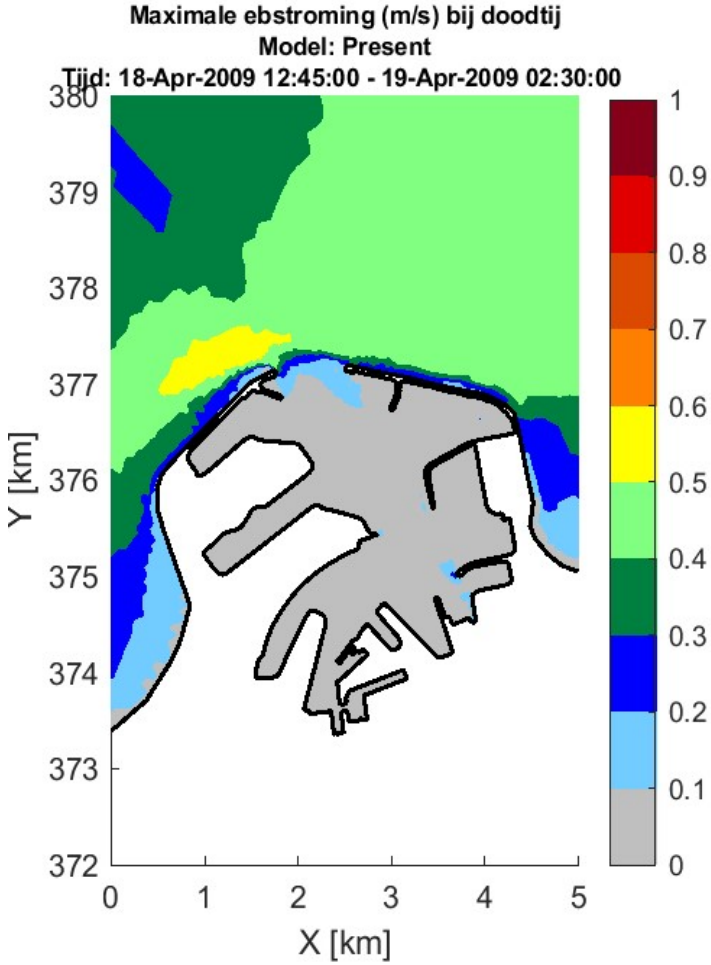
nieuwe sluis zeebrugge

Bijlage 2: Model resultaten

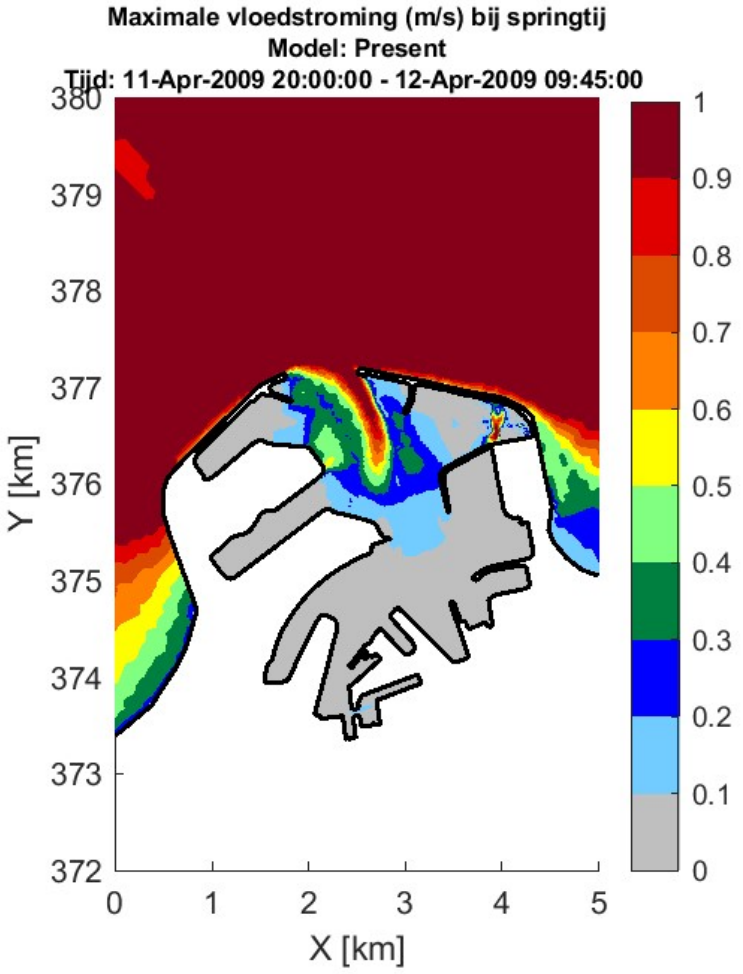
6.1 Dieptegemiddelde stroomsnelheden Huidige situatie



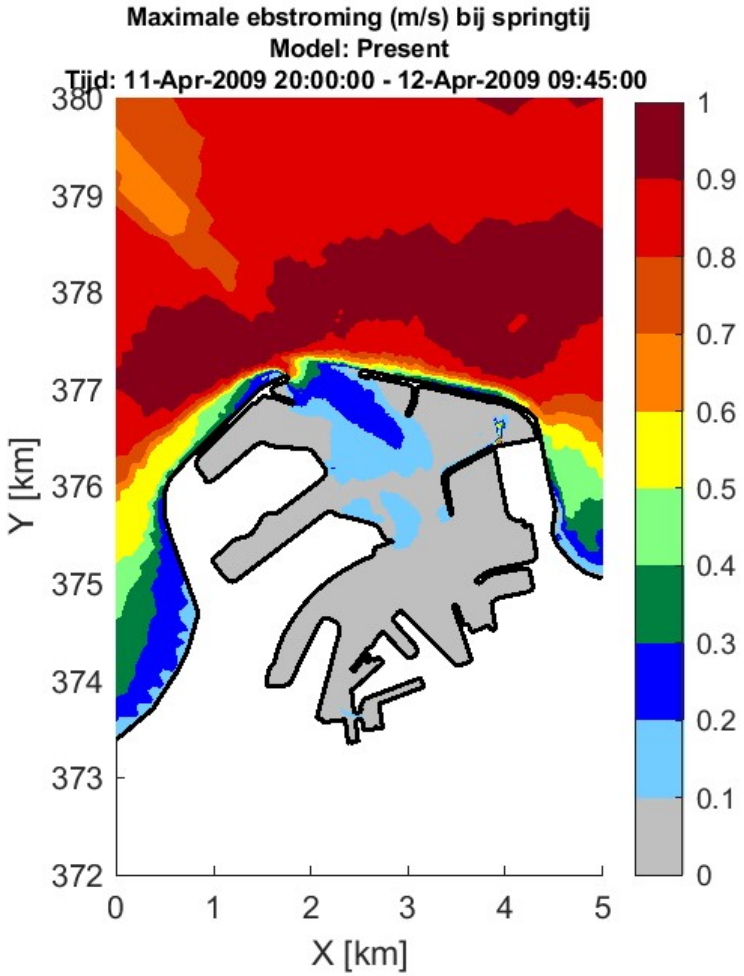
Figuur 6-2 Maximale vloedstroming bij doodtij, huidige situatie



Figuur 6-3 Maximale ebstroming bij doodtij, huidige situatie

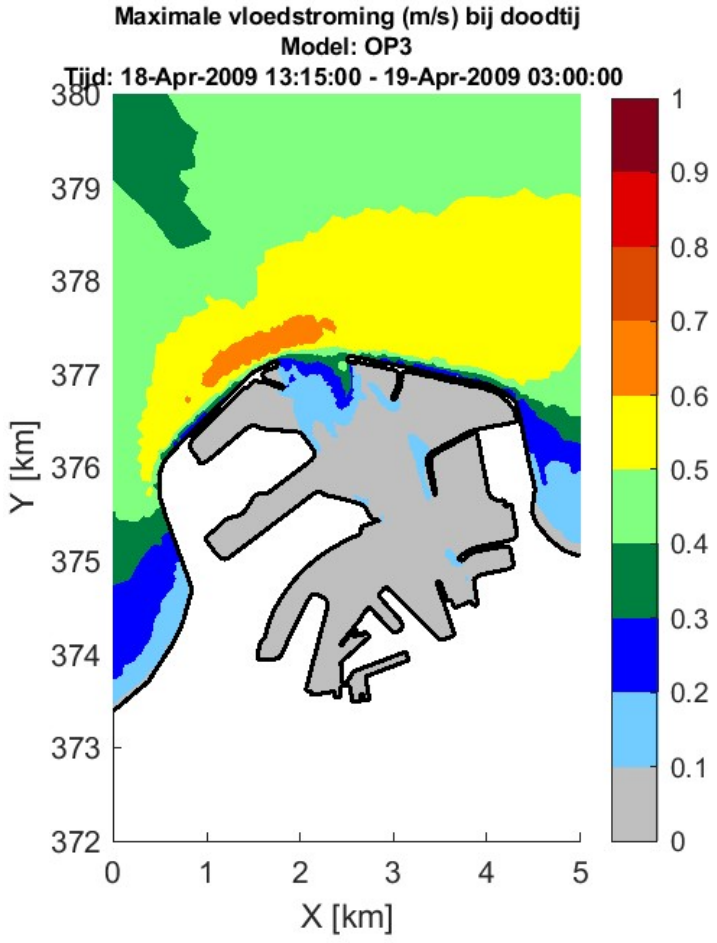


Figuur 6-4 Maximale vloedstroming bij springtij, huidige situatie

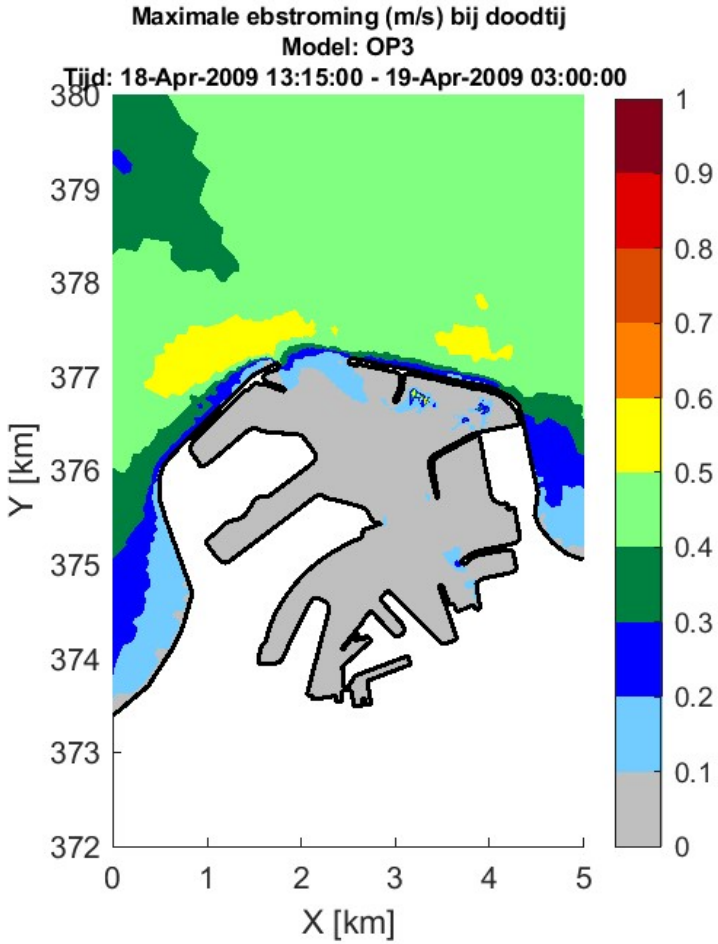


Figuur 6-5 Maximale ebstroming bij springtij, huidige situatie

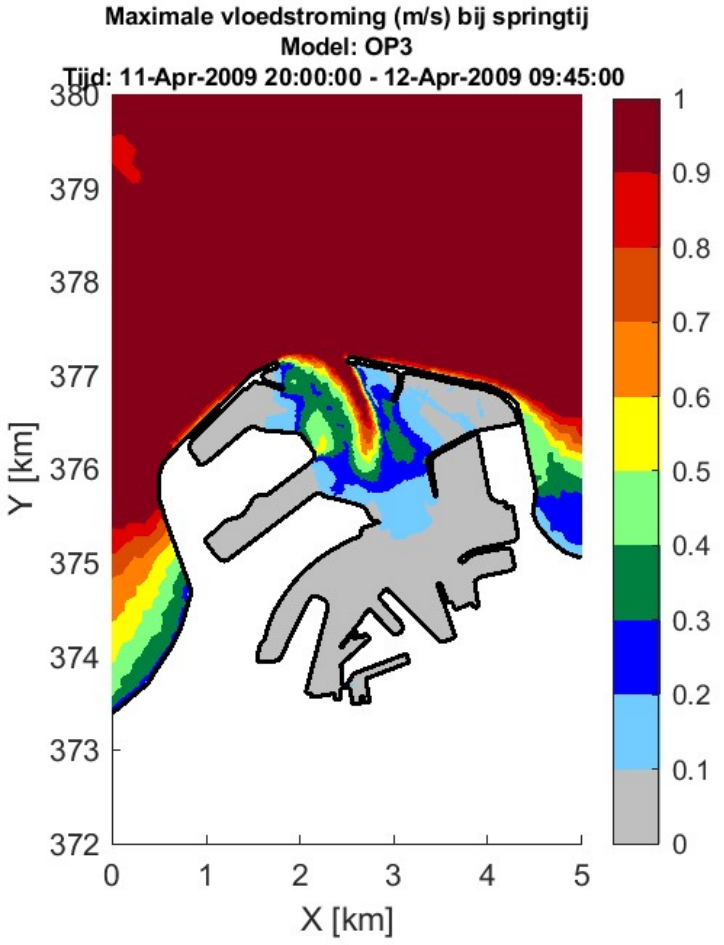
6.2 Dieptegemiddelde stroomsnelheden OP3 zuidelijke verplaatsing



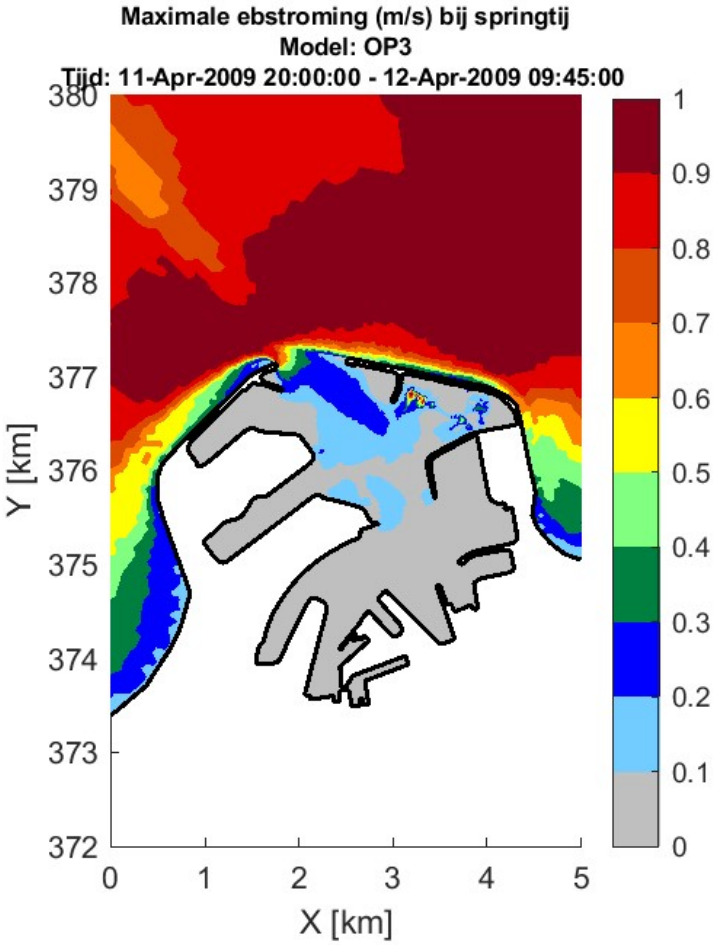
Figuur 6-6 Maximale vloedstroming bij doodtij, OP3 zuidelijke verschuiving



Figuur 6-7 Maximale ebstroming bij doodtij, OP3 zuidelijke verschuiving

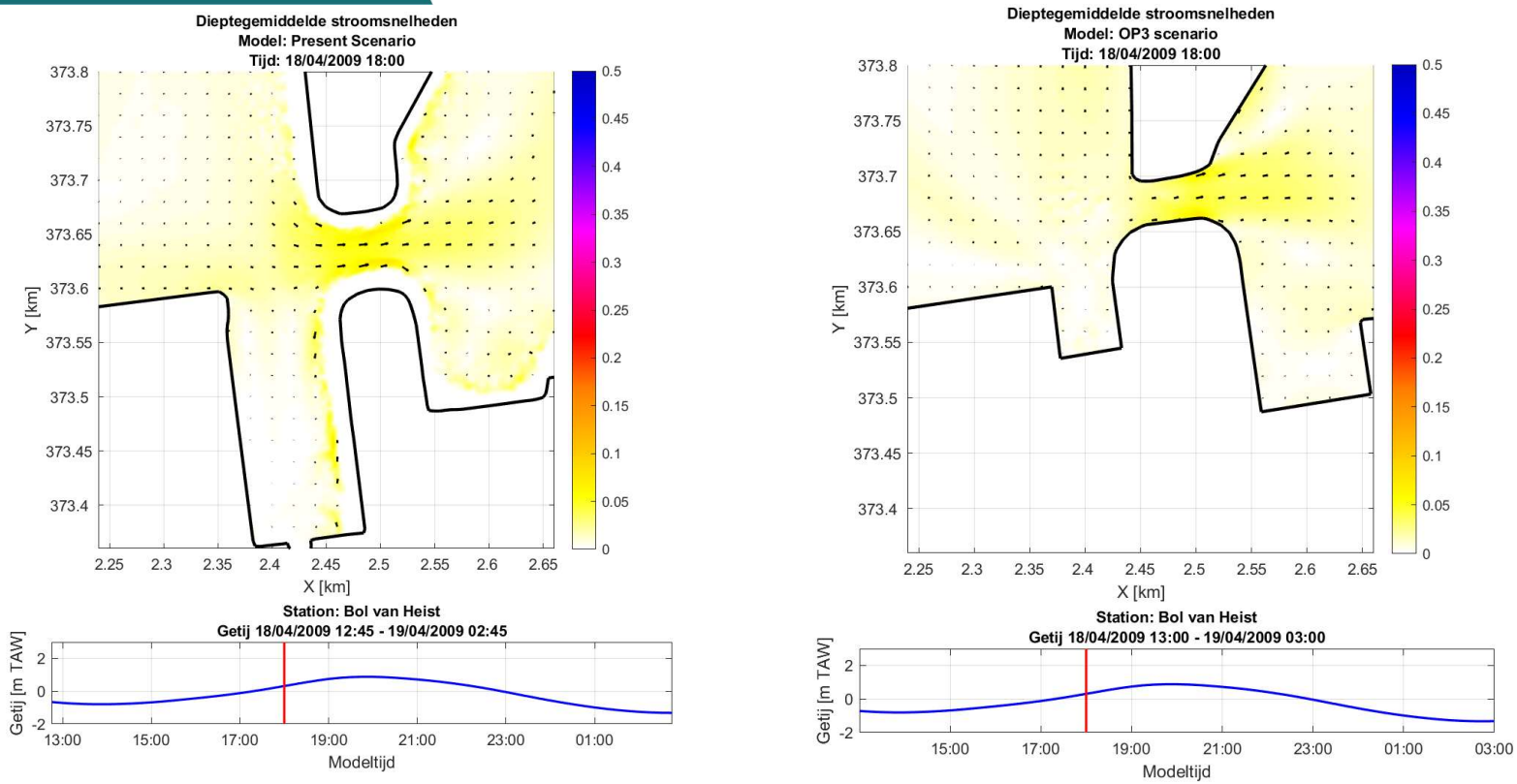


Figuur 6-8 Maximale vloedstroming bij springtij, OP3 zuidelijke verschuiving

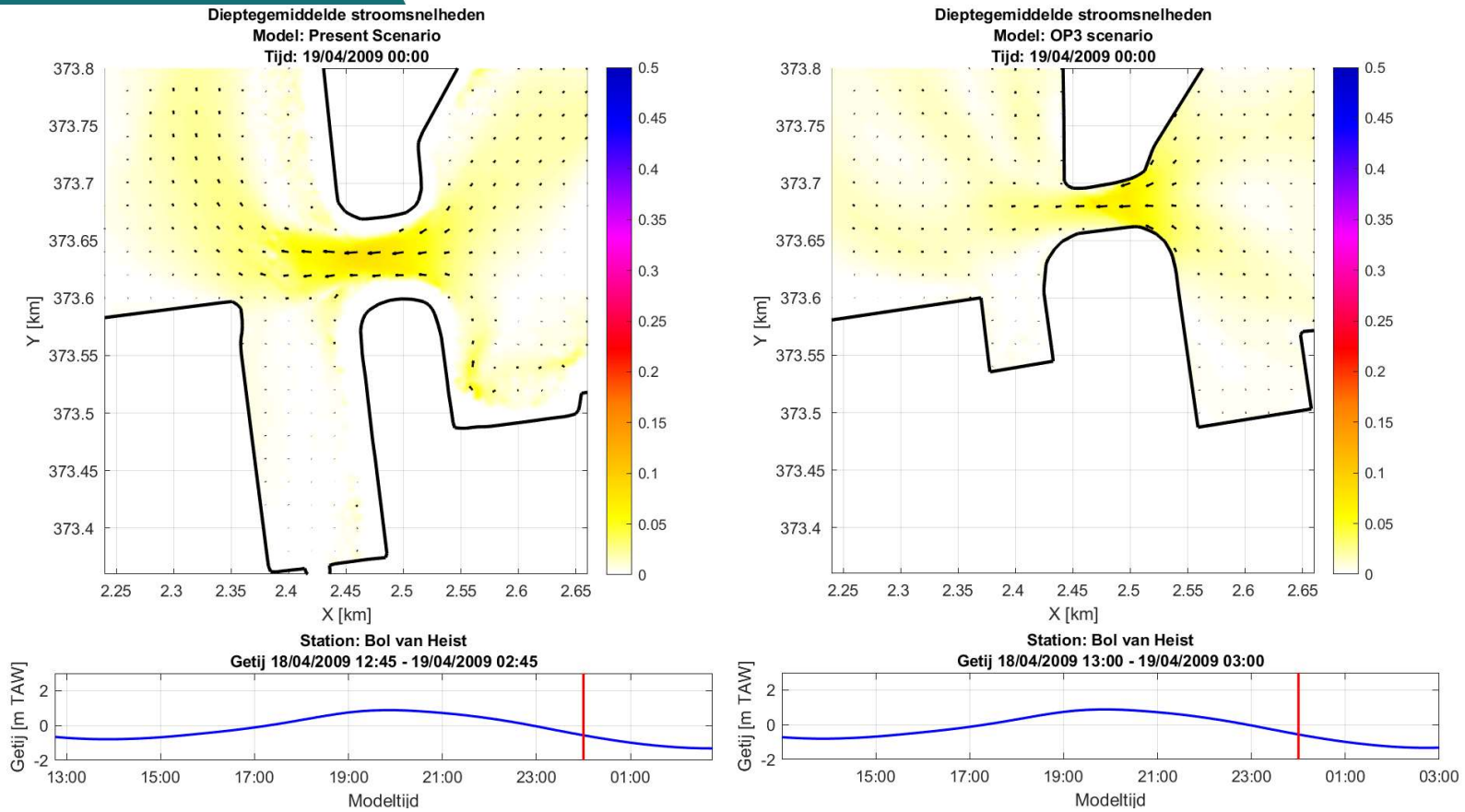


Figuur 6-9 Maximale ebtroming bij springtij, OP3 zuidelijke verschuiving

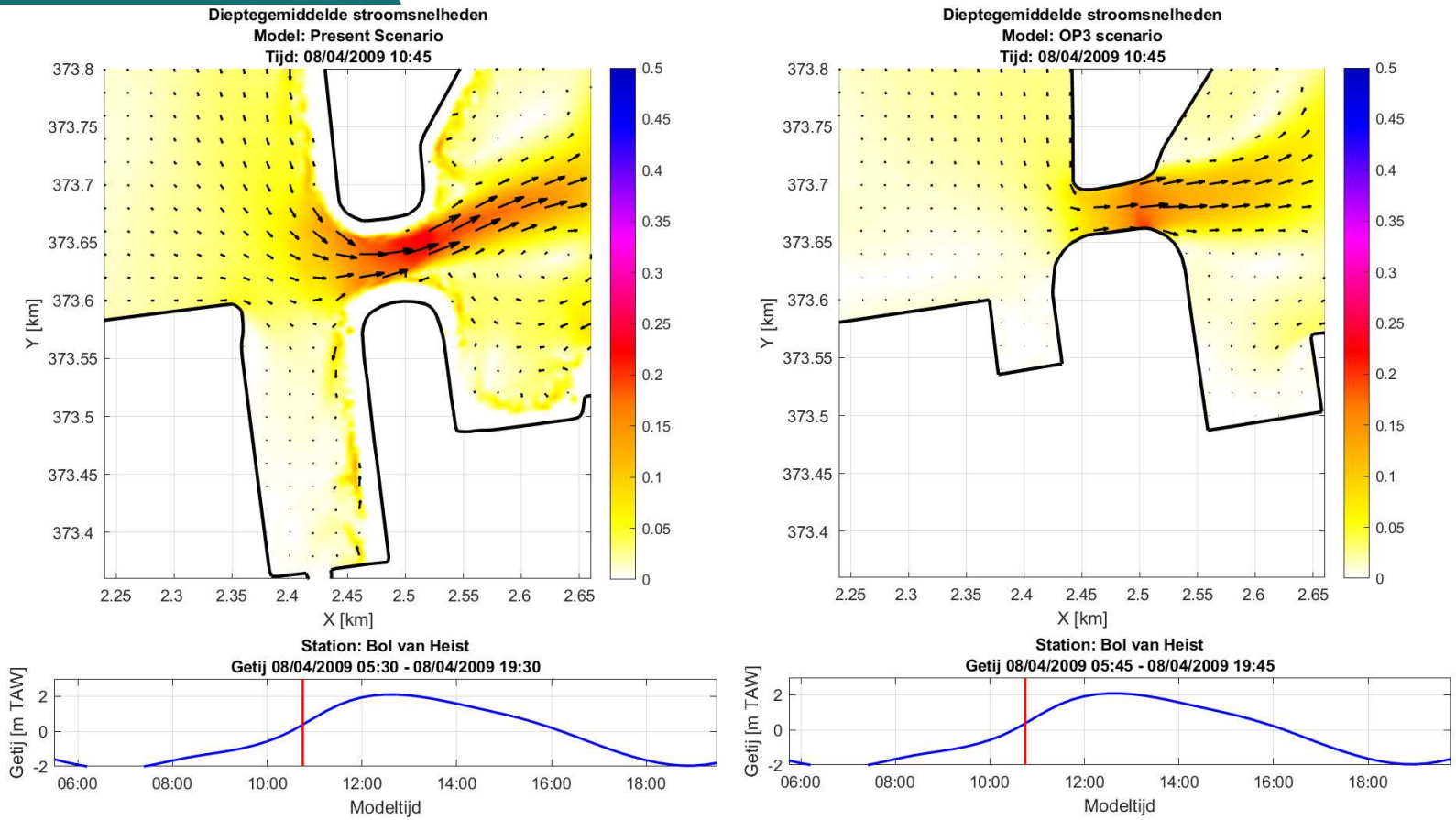
6.3 Stromingsveld Huidige situatie en OP3 zuidelijke verschuiving



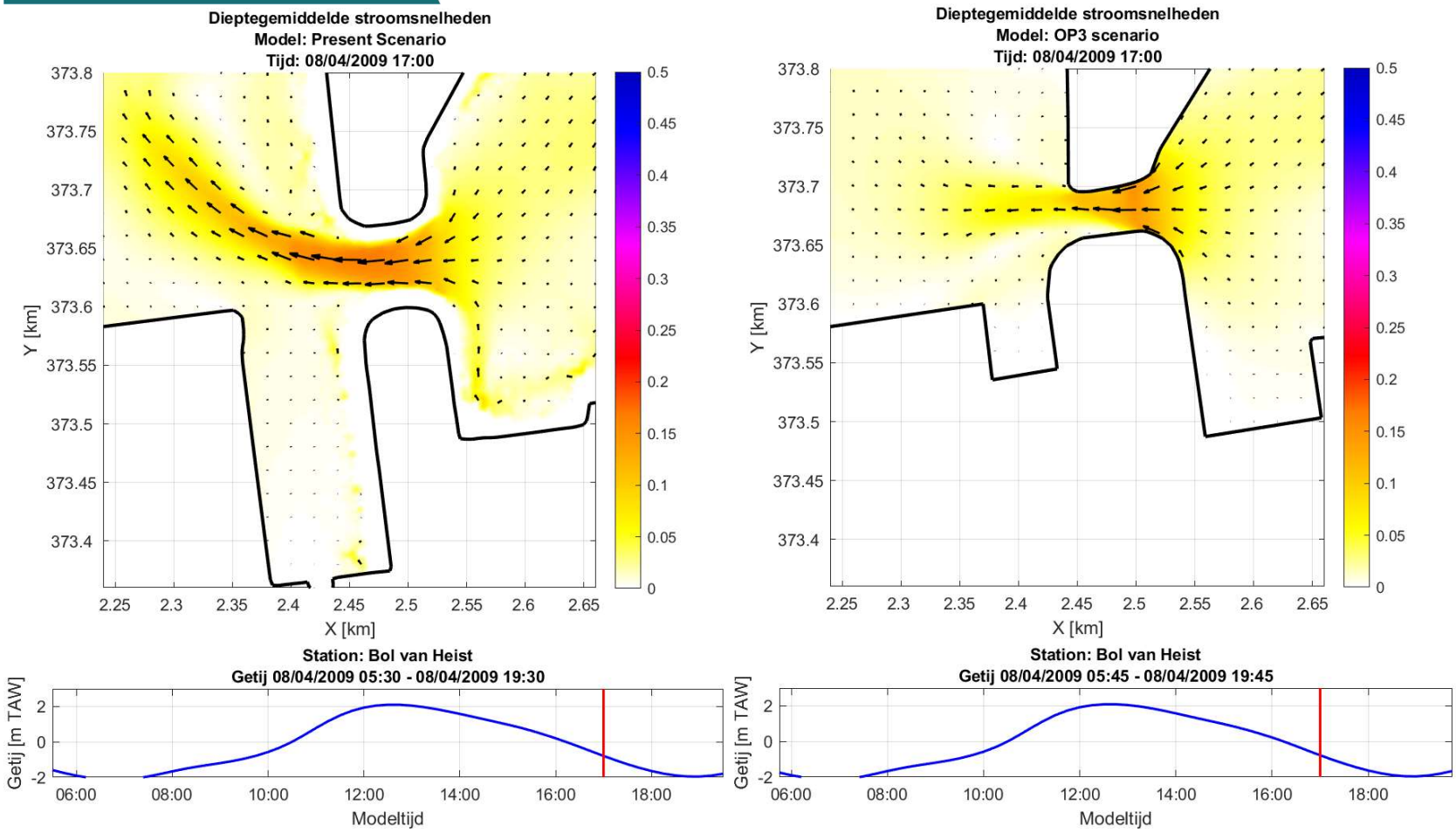
Figuur 6-10 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens vloed, doodtij voor links de huidige situate en rechts OP3 zuidelijke verschuiving



Figuur 6-11 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens eb, doodtij voor links de huidige situate en rechts OP3 zuidelijke verschuiving

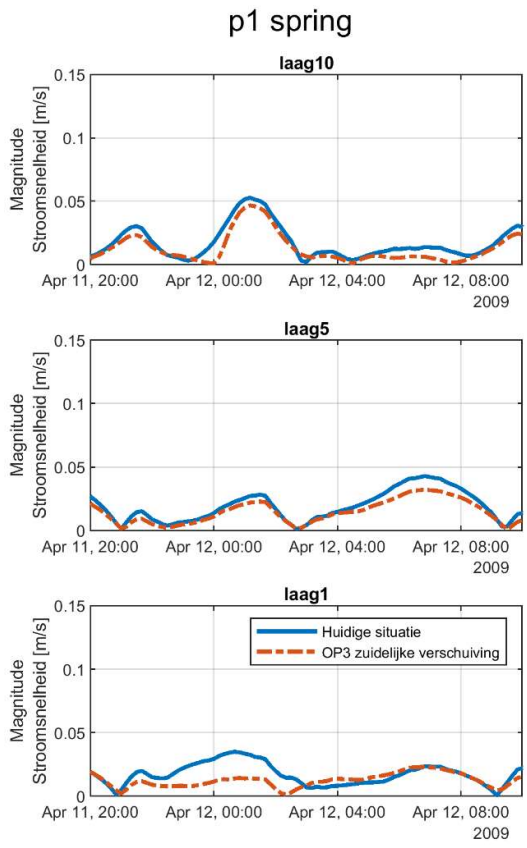


Figuur 6-12 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens vloed, gemiddeld getij voor links de huidige situate en rechts OP3 zuidelijke verschuiving

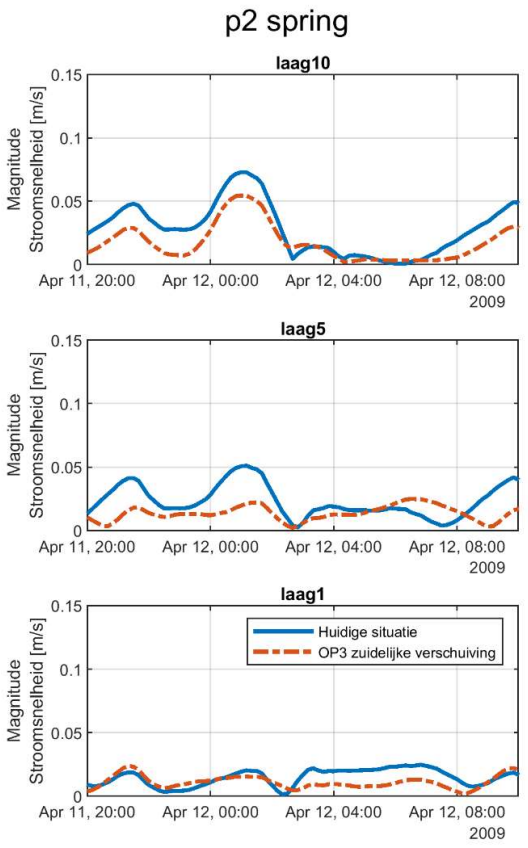


Figuur 6-13 Maximale dieptegemiddelde stroomsnelheid tijdens eb, gemiddeld getij voor links de huidige situate en rechts OP3 zuidelijke verschuiving

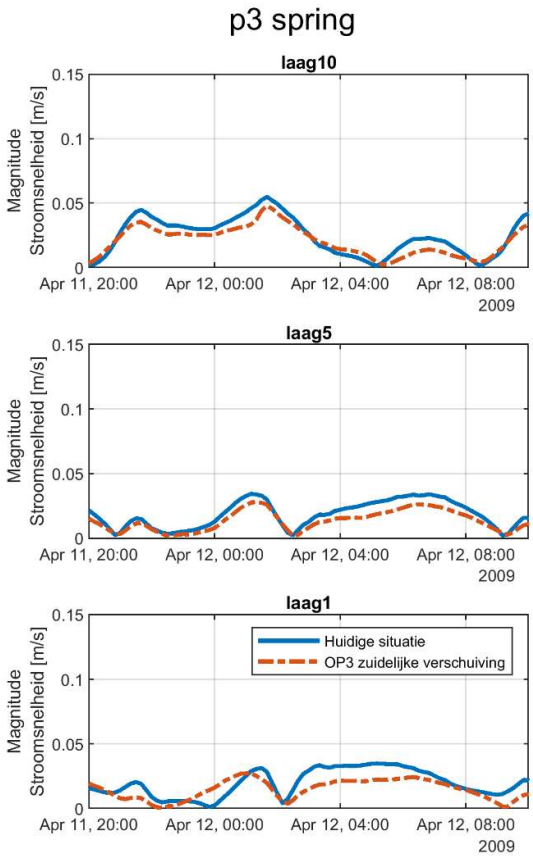
6.4 Stroomsnelheden per laag voor geselecteerde punten



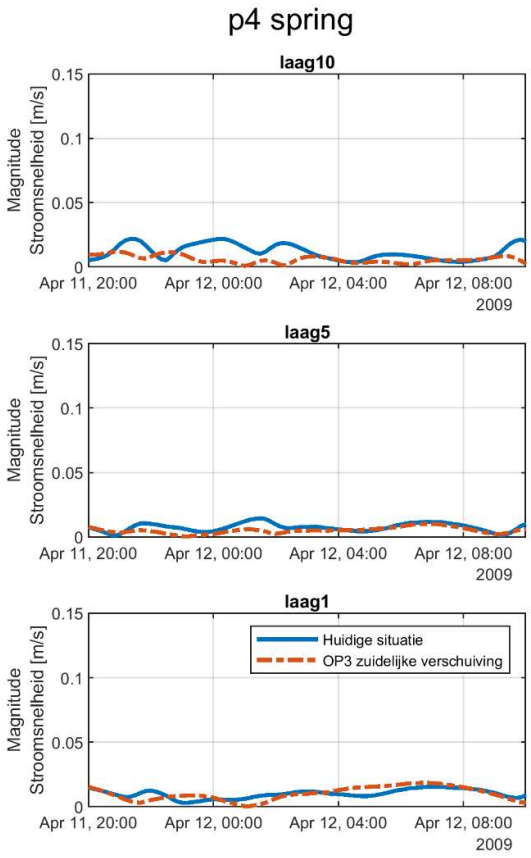
Figuur 6-14 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p1 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



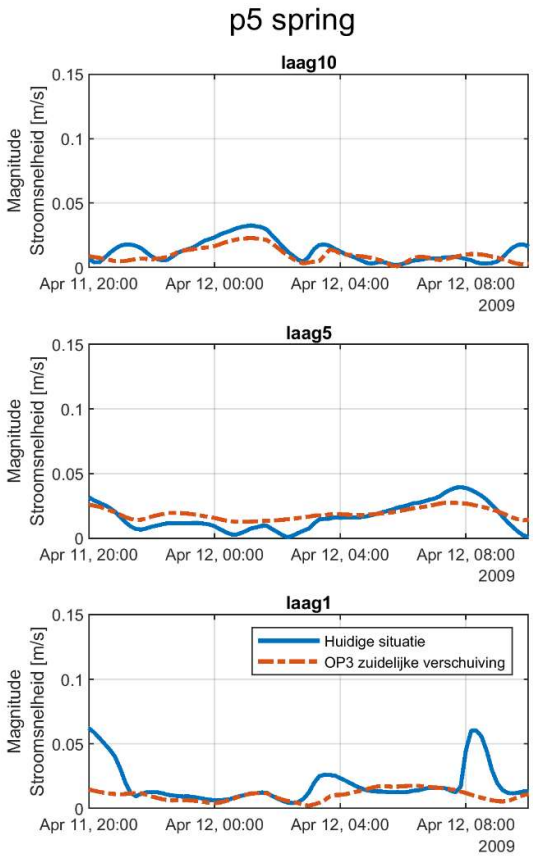
Figuur 6-15 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p2 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



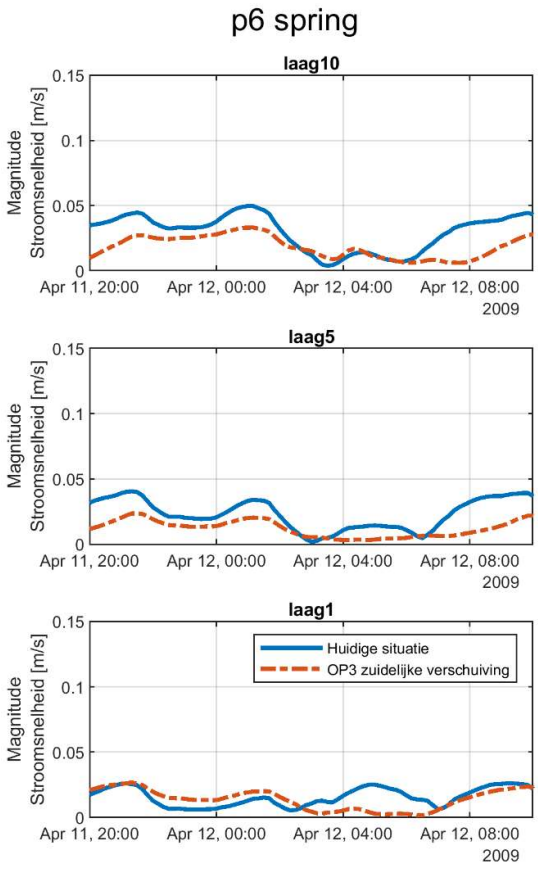
Figuur 6-16 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p3 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



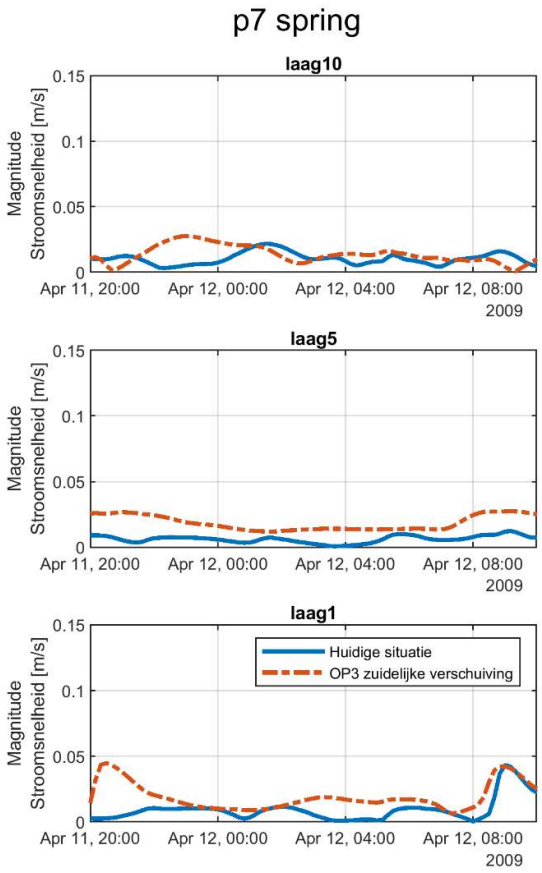
Figuur 6-17 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p4 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



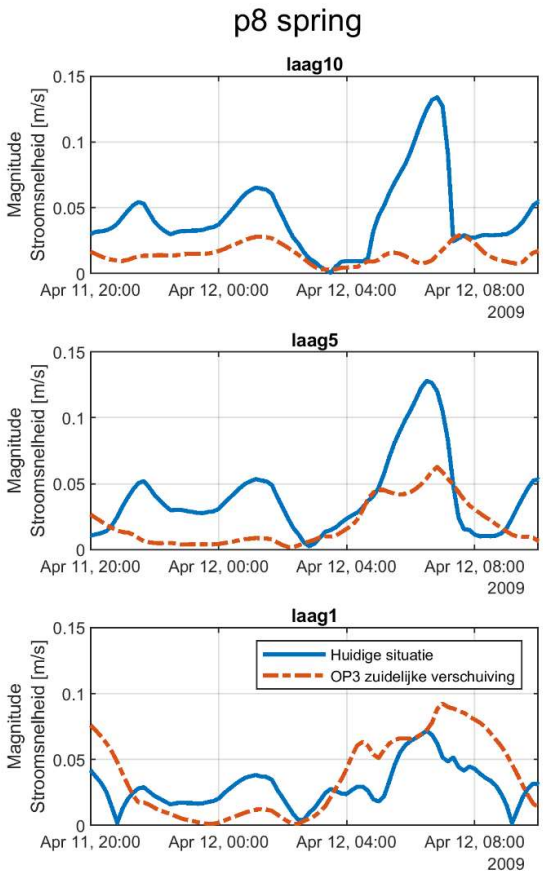
Figuur 6-18 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p5 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



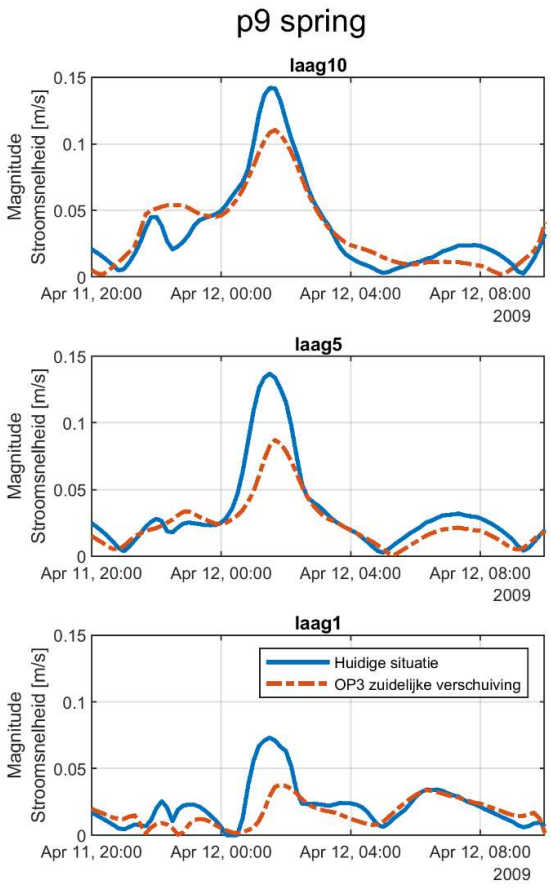
Figuur 6-19 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p6 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



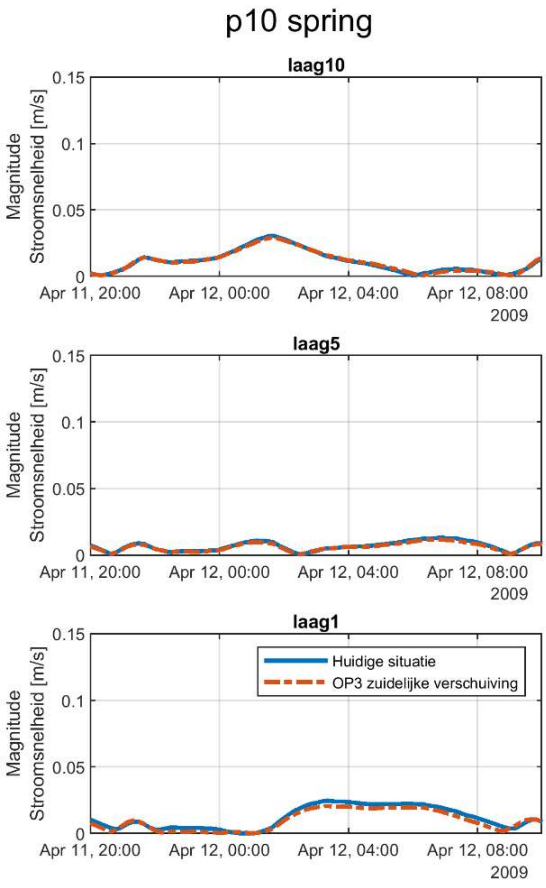
Figuur 6-20 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p7 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



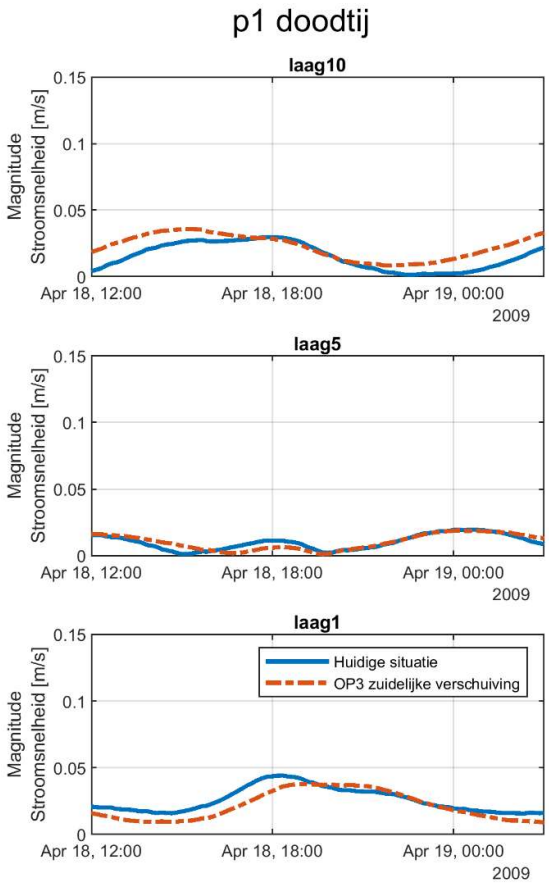
Figuur 6-21 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p8 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



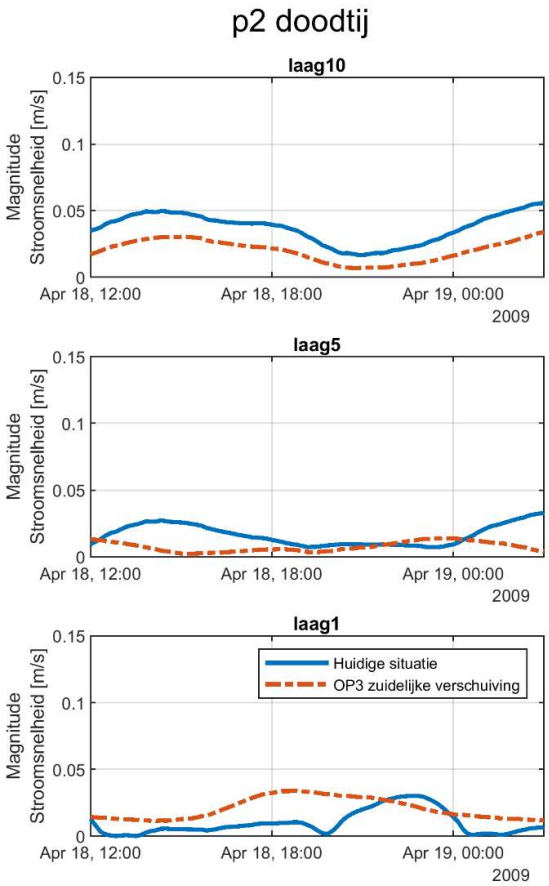
Figuur 6-22 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p9 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



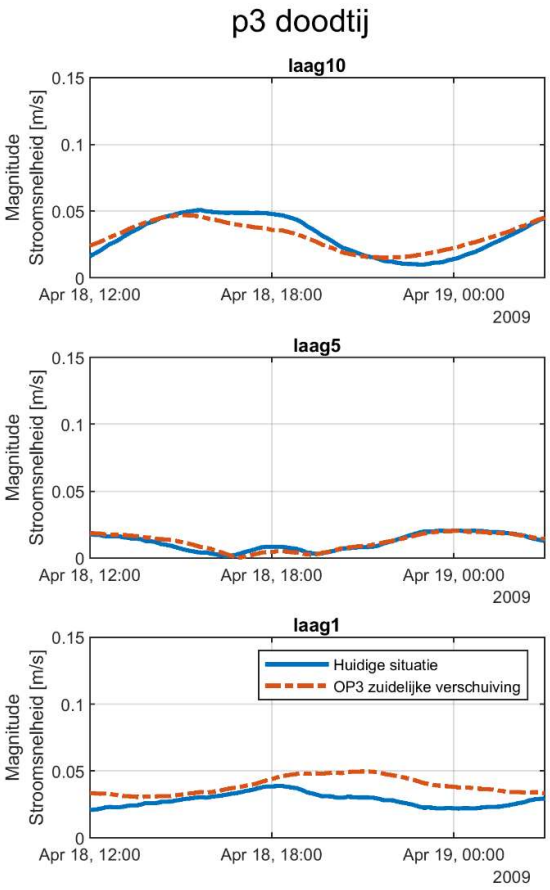
Figuur 6-23 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p10 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende springtij (vloed - eb)



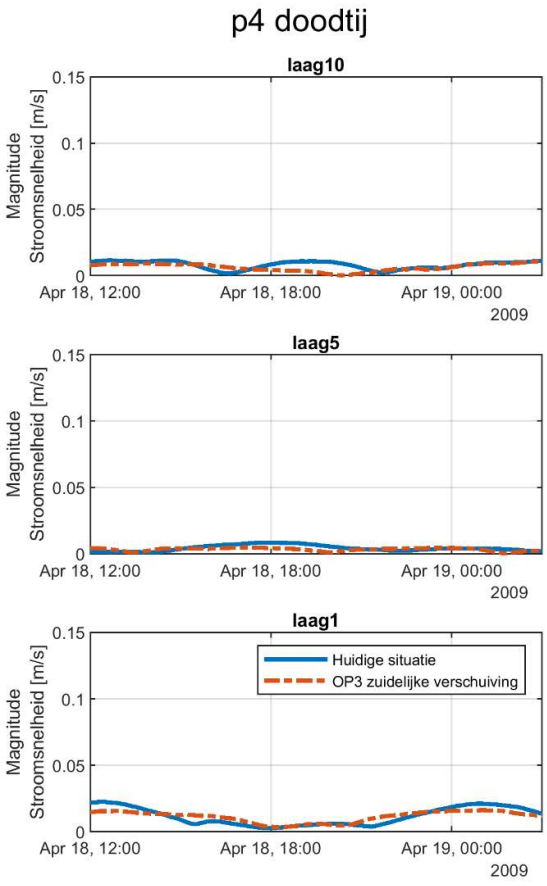
Figuur 6-24 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p1 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



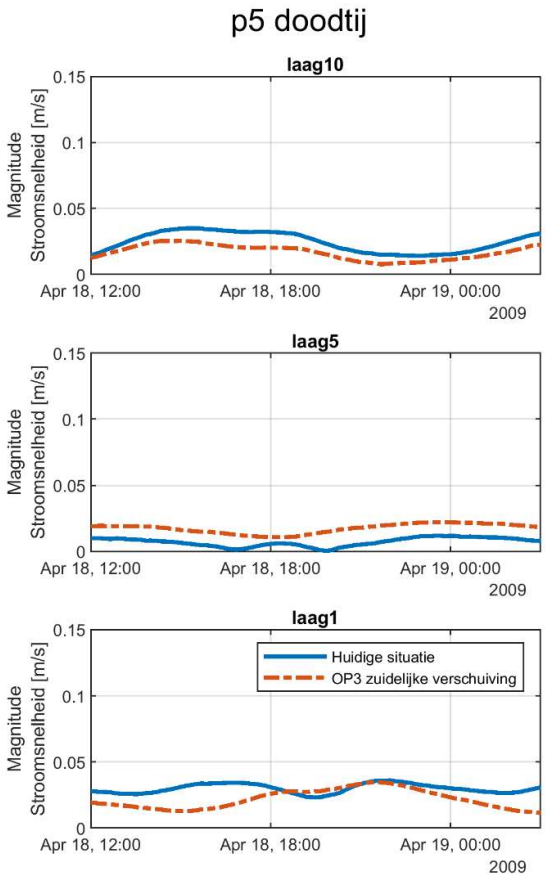
Figuur 6-25 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p2 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



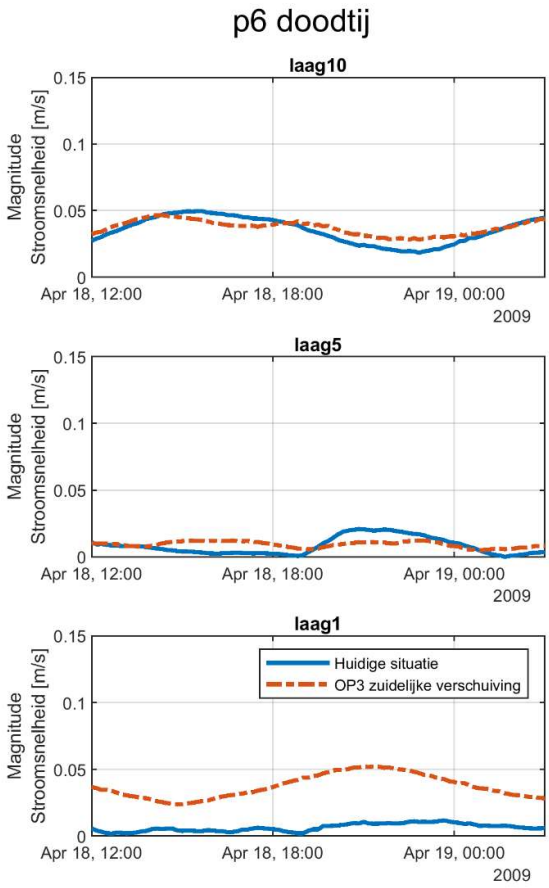
Figuur 6-26 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p3 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



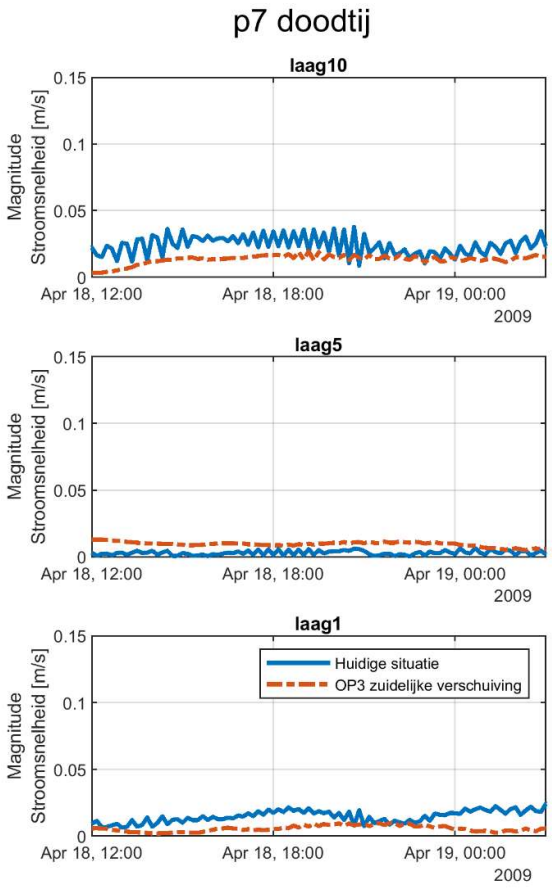
Figuur 6-27 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p1 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



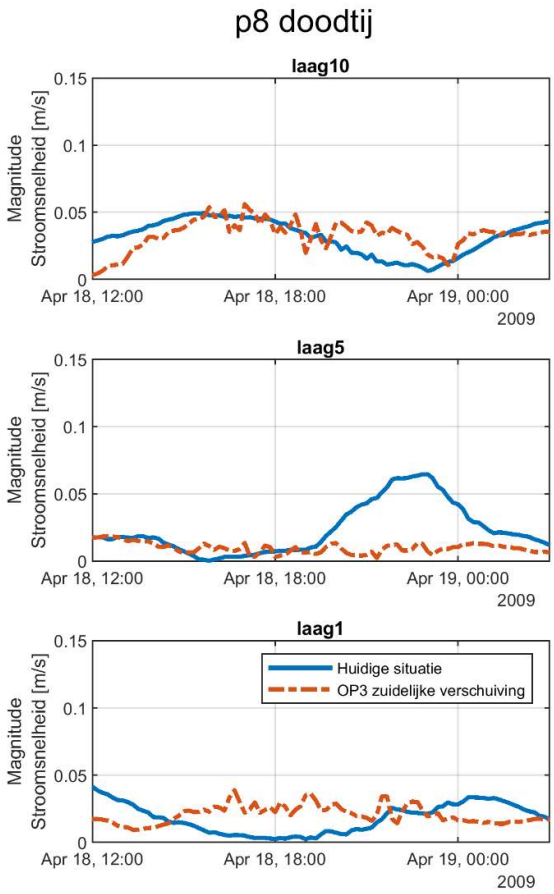
Figuur 6-28 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p5 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



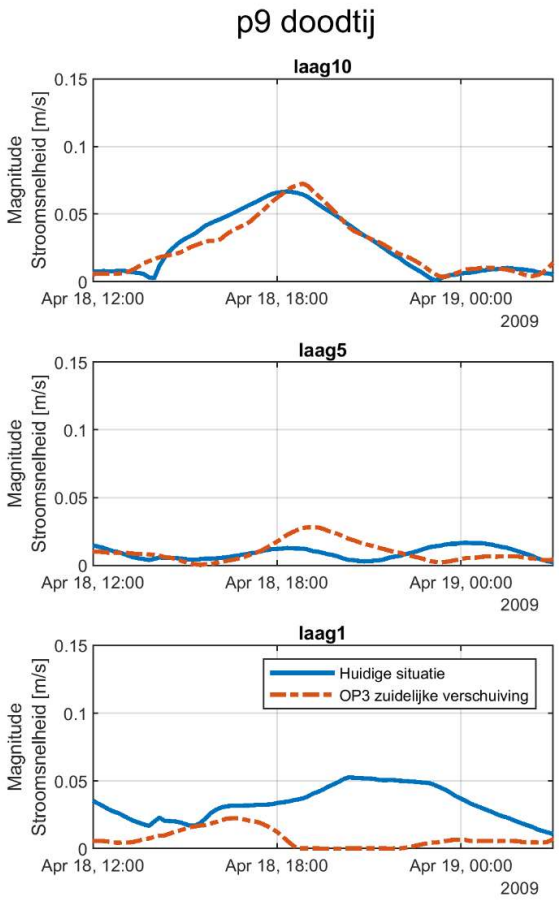
Figuur 6-29 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p6 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



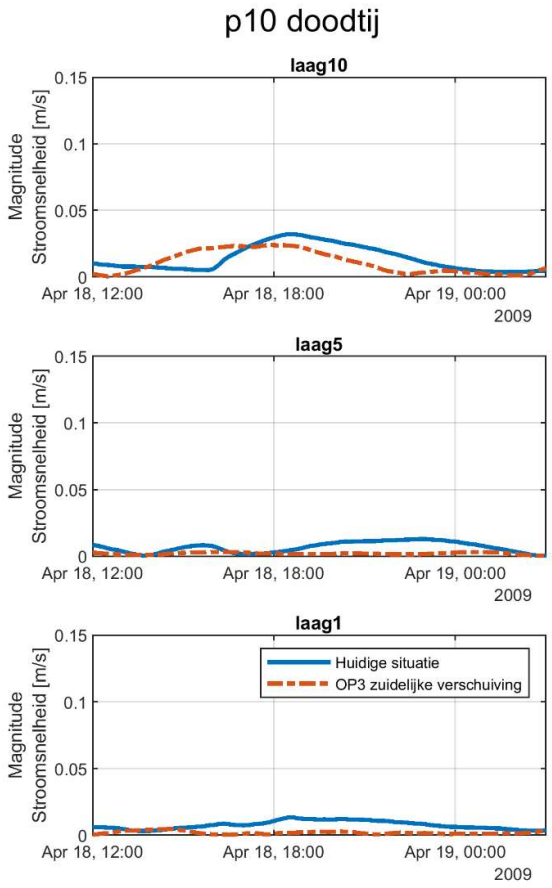
Figuur 6-30 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p7 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



Figuur 6-31 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p8 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



Figuur 6-32 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p9 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)



Figuur 6-33 Stroomsnelheden voor laag 10 (top), laag 5 (quasi-midden) en laag 1 (onderin) in de waterkolom voor p10 voor de huidige situatie and OP3 zuidelijke verschuiving gedurende doodtij (vloed - eb)

nieuwe sluis zeebrugge

DEPARTEMENT MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN

Vlaamse overheid

Medegefinancierd door de Europese Unie

Optimalisatie haventoegang jachthaven

Project:	Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge
Opdrachtgever:	afdeling Maritieme Toegang
Opdrachtnemer:	THV Tractebel/SBE
Document code:	565-01-CPNSZ-ME-VOT-WTB-KMJ-001
Revisie:	4
Datum:	21.06.2023

© Niets uit dit rapport en / of dit ontwerp mag worden verveelvoudigd, openbaar gemaakt en/of worden overhandigd aan derden, zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de afdeling Maritieme Toegang

Opgesteld door:	Geverifieerd door:	Gevalideerd door:
Niels SMIT **Qinghui ZHANG** **Josselin FIGARD** **Ali DASTGHEIB** IMDC 20.06.2023	**Ali DASTGHEIB** IMDC 20.06.2023	**Ine DARRAS** IMDC 20.06.2023

Revisie	Datum	Toelichting
1	10.11.2022	Eerste versie
2	15.02.2023	Tweede versie
3	20.06.2023	Deerde versie

Opdrachtgever

Afdeling Maritieme Toegang (AMT)
Vrijhavenstraat 3
8400 Oostende
tel +32 5 955 42 41
www.maritiemetoegang.be
maritieme.toegang@mow.vlaanderen.be

Contactpersoon: Frederik Buffel

Studiebureaus

Tractebel Engineering S.A.
Esplanade Oscar Van De Voorde 1
9000 Gent
tel +32 9 240 09 11
www.tractebel.engie.com
engineering-be@tractebel.engie.com

Contactpersoon: Pieter Van Nieuwerburgh

SBE NV.
Slachthuisstraat 71
9100 Sint Niklaas
tel +32 3 777 95 19
www.sbe.be
info@sbe.be

Contactpersoon: Maarten Marius

Inhoud

1 Introductie 1

2 Lay-out jachthaventoegang 3

2.1 Ontwerpschip 3

2.2 Nieuwe jachthaventoegang 3

2.2.1 Breedte van de ingang 4

2.2.2 Oriëntatie van de toegangsgeul 7

2.3 Bijeenkomst met gebruikers van de jachthaven 7

2.4 Voorgestelde lay-outs 8

3 Hydrodynamische analyse toegang jachthaven 9

3.1 Inleiding 9

3.2 Modelbeschrijving 9

3.2.1 Telemac model 9

3.2.2 Bathymetrie en rekenrooster 9

3.2.3 Randvoorwaarden 11

3.2.4 Scenario's 11

3.3 Resultaten modelsimulaties 13

3.3.1 Ingang 14

3.3.2 Midden 15

3.3.3 Uitgang 16

3.3.4 Midden Noorden 17

3.4 Diepte gemiddeld stromingsveld 18

3.5 Maximale stroomsnelheid in hogere niveaus van de waterkolom 19

3.6 Conclusie 22

4 Modellering scheepsgolven 23

4.1 Ontwerpschepen 23

4.1.1 Scheepskarakteristieken 23

4.1.2 Vaarroutes en snelheid 23

4.2 Modelbeschrijving 24

4.2.1 XBeach model 24

4.2.2 Bathymetrie en rekenrooster 25

4.2.3 Modelleringsscenario's 27

4.2.4 Aanvullende scenario's 32

4.3 Resultaten modelsimulaties 34

4.3.1 Golfhoogte 34

4.3.2 Aanvullende simulaties 39

4.4 Discussie en conclusie 43
5 Modellering lokale golven 44
5.1 Model beschrijving 44
5.2 Modelopstelling en randvoorwaarden 44
5.2.1 Bathymetrie 44
5.2.2 Rekenrooster 45
5.2.3 Randvoorwaarden / scenario's 46
5.3 Resultaten en discussie 46
6 Discussie en conclusie 48
6.1 Hydrodynamische toestand 48
6.2 Kalmte van de jachthaven m.b.t. scheepsgolven 48
6.3 Kalmte van de jachthaven m.b.t. windgolven 49
6.4 Overige criteria 49
7 Referenties 50

1 Introductie

Het project 'Nieuwe Sluis Zeebrugge' betreft het realiseren van een nieuwe zeesluis in de haven van Zeebrugge. De nieuwe sluis zal gaan fungeren als tweede ingang naar de achterhaven.

De nieuwe sluis heeft een impact op de (nautische) toegankelijkheid en de werking van de nabijgelegen jachthaven (Figuur 1-1) en omgekeerd, daarom moet de haventoegang van deze jachthaven worden verplaatst en herontworpen.



Figuur 1-1 Locatie Jachthaven (oranje gearceerd)

De volgende verschillende stappen werden gevolgd om het ontwerp van de toegang tot de jachthaven te optimaliseren:

- Stap 1 – Lay-out jachthaventoegang: verschillende richtlijnen werden gebruikt om de breedte en de oriëntatie van de toegang tot de jachthaven te bepalen en werden besproken met de gebruikers van de jachthaven. Voor de detail- en evaluatiestudie werden twee lay-outs gekozen.
- Stap 2 - Hydrodynamica bij de haventoegang: met behulp van een numeriek model werd de hydrodynamische toestand ter hoogte van de haventoegang gesimuleerd voor beide geselecteerde lay-outs.
- Stap 3 – Scheepsgolven: de doordringing van golven, veroorzaakt door zeevarende schepen en sleepboten die voor de jachthaven passeren, tot in de jachthaven en het effect daarvan op het functioneren van de jachthaven werden bepaald met behulp van numerieke modellen.
- Stap 4 – Lokale golven: het effect van lokaal opgewekte windgolven, voor verschillende windomstandigheden, op de condities in de jachthaven werd geëvalueerd met behulp van numerieke modellen.

Dit rapport beschrijft de evaluatie van het ontwerp van de jachthaventoegang aan de hand van de voorgaande beschreven stappen. Eerst wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven voor de bepaling van de lay-out van de jachthaventoegang. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de hydrodynamische analyse toegelicht, waarna in hoofdstuk 4 de evaluatie van de golven als gevolg van passerende schepen wordt behandeld. In hoofdstuk 5 volgt de evaluatie van plaatselijk veroorzaakte golven, en tenslotte bevat hoofdstuk 6 de discussie en conclusie.

2 Lay-out jachthaventoegang

2.1 Ontwerpschip

Op basis van de informatie ontvangen van MDK zijn de belangrijkste ontwerpschepen voor de jachthaven:

- **Zeil- of motorboot** 25 x 6,5 m - kruisende bewegingen moeten mogelijk zijn
- **Trimaran breedte tot 18m** - sporadisch, dus geen kruising noodzakelijk
- **Baggerschip 80-90m x 15-17m** - geen kruising nodig (maar dan wel toegangsregeling)

De meest voorkomende schepen in de jachthaven zijn de zeil- en motorboten; de trimaran en de baggerschepen zullen af en toe de jachthaven aandoen. Tabel 2-1 beschrijft de afmetingen van de beschouwde ontwerpschepen.

Tabel 2-1 Afmetingen ontwerpschepen

Frequentie	Type	L (m)	B(m)	Kruising
Zeer frequent	**Zeil- of motorboot**	**25**	**6.5**	**Ja**
Incidenteel	Trimaran	27-30	18	Nee
	Baggerschip1	90	17	Nee
	Baggerschip2	80	15	Nee

2.2 Nieuwe jachthaventoegang

In de studie “Modellering hydrodynamica en sediment” voor het project “Nieuwe Sluis Zeebrugge” (IMDC 2021a), zijn 4 verschillende alternatieven voor de nieuwe sluis en jachthaventoegang beschouwd voor de hydrodynamische studie. Deze alternatieven worden in Figuur 2-1 schematisch weergegeven en worden vergeleken met de huidige situatie. De vier alternatieven vormen het uitgangspunt voor de voorliggende studie.



Figuur 2-1. Alternatieven beschouwd in deze studie (Consortium Arcadis - Tractebel, 2020)

2.2.1 Breedte van de ingang

Om de breedte van de ingang van de jachthaven te bepalen, wordt de breedte eerst berekend op basis van verschillende richtlijnen en vergeleken met de huidige situatie en vergelijkbare jachthavens in België en Nederland.

2.2.1.1 Breedte toegangsgeul jachthaven – zeil of motorboot

Australische norm

De Australische norm (AS3962-2001) stelt dat de vaargeul de grootste waarde moet zijn tussen:

- 20 m;
- De lengte van de langste boot die van de jachthaven gebruik zal maken plus 2 m;
- 5 maal de breedte van het breedste eenrompschip dat van de jachthaven gebruik zal maken

Bovendien moeten de toegangskanalen voor een jachthavenbassin met ongeveer 200 tot 300 ligplaatsen een minimale navigeerbare breedte van 30 tot 50 m hebben bij wind- en golfvrije omstandigheden.

Op basis van deze norm zal de breedte van de jachthaventoegang 32,5 m bedragen (5 x 6.5m).

Layout & Design Guidelines for Marina Berthing Facilities, (2005)

In de Layout & Design Guidelines for Marina Berthing Facilities (Schwarzenegger et al., 2005) wordt het volgende voorgeschreven:

5Bmax (ideale omstandigheden) - 9Bmax (slechte omstandigheden)

resulterende in een toegangsgeulbreedte tussen 32,5 en 58,5 m.

Richtlijnen voor het plannen en ontwerpen van kleine vaartuighavens ASCE, (2012).

Door ASCE American Society of civil engineers (2012) worden er twee methodes voorgeschreven:

Methode 1

In deze methode wordt gebruik gemaakt van de afmetingen gegeven in Figuur 2-2. Op basis van deze afmetingen wordt de breedte van de toegang tot de jachthaven bepaald als volgt:

Voor slechte omstandigheden:

0,5B+1,8B+1,5B+1,8B+0,5B = 6,1B ~ 40 m

Voor gematigde omstandigheden:

0,5B+1,5B+1,5B+1,5B+0,5B = 5,5B ~ 36 m

Voor ideale omstandigheden:

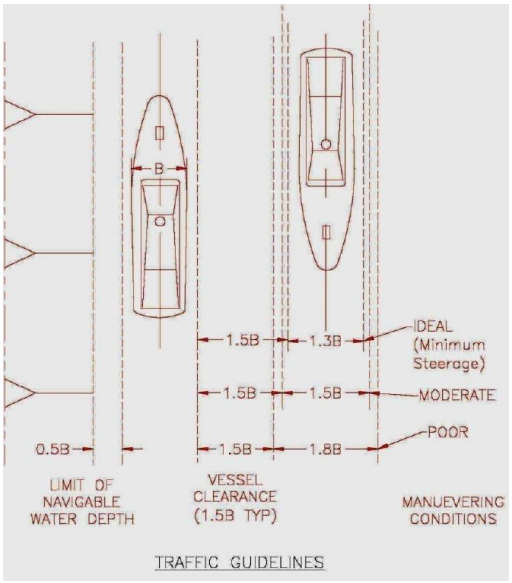
0.5B+1.3B+1.5B+1.3B+0.5B = 5.1B ~ 33 m

Methode 2

In methode 2 wordt rekening gehouden met de navigatieomstandigheden. De omstandigheden die voor deze situatie worden beschouwd zijn aangegeven in Figuur 2-3.

Uit methode 2 volgt dat de breedte van de toegangsgeul als volgt wordt bepaald:

0.5B+1.6B+1.5B+1.6B+0.5B=5.7B ~37 m



Figuur 2-2 Breedte jachthaventoegang ASCE (2012)

Maneuvering Requirements

Parameter	Condition	Limit	Additional Adjustments
Vessel speed	Mild	< 8 knots	0
	Moderate	8-12 knots	0
	Poor	> 12 knots	0.1 B
Crosswinds	Mild	< 15 knots	0
	Moderate	15-33 knots	0.4 B
	Poor	> 33 knots	0.8 B
Crosscurrents	Mild	< 0.2-0.5 knots	0.2 B
	Moderate	0.5-1.5 knots	0.7 B
	Poor	> 1.5 knots	1.0 B
Longitudinal currents	Mild	< 1.5 knots	0
	Moderate	1.5-3 knots	0.1 B
	Poor	> 3 knots	0.2 B
Wave height	Mild	< 1 m	0
	Moderate	1 - 3 m	1.0 B
	Poor	> 3 m	2.2 B

Figuur 2-3 : Manoeuvreereisen voor de schepen die de jachthaven binnenvaren en de extra breedte die nodig is voor de jachthaventoegang ASCE (2012)

2.2.1.2 Breedte toegangsgeul jachthaven – baggerschepen

In dit hoofdstuk wordt (PIANC, 2014) C-rapport nr. 121 gebruikt om de breedte van de jachthaventoegang te bepalen, in het geval van baggerschepen. Er dient te worden opgemerkt dat de PIANC-richtlijn bekend staat als conservatief en is ontwikkeld voor jachthaventoegangen met veel scheepsverkeer. Als gevoeligheidsanalyse worden twee baggerschepen (beide maximale dimensies) gebruikt als ontwerpschip voor de bepaling van de breedte van de jachthaventoegang. Tabel 2-2 en Tabel 2-3 beschrijven de criteria die zijn gebruikt bij de berekening van de breedte van de jachthaventoegang voor deze twee baggerschepen. Hieruit blijkt dat op basis van deze voorwaarden de breedte voor het kleinere baggerschip 45,0 m moet zijn en voor het grote baggerschip 51,0 m.

In PIANC-rapport nr. 121 (2014) staat ook dat de minimumbreedte van de ingang niet minder mag zijn dan de LOA (lengte over alles) van het ontwerpschip, maar in dit geval is toepassing van dit criterium gezien de zeer korte lengte van de toegang niet aan te raden.

Tabel 2-2 : Berekening van de breedte van de jachthaventoegang voor grotere baggerschepen en de bijbehorende criteria PIANC, (2014)

	criteria	Outer
Basic manoeuvring Lane (wbm)	good	1.3
Additional widths for straight for straight channel sections (wi)		
channel type	criteria	Outer
(a) vessel speed (knots)	slow 5-8	0.0
(b) prevailing cross winds (knots)	mild =< 15 (Bft 4); all vessel speed	0.1
(c) prevailing cross currents (knots)	low 0.2-0.5; slow vessel speed	0.3
(d) prevailing long. current (knots)	moderate > 1.5-3.0; fast vessel speed	0.0
(e) significant Hs and length λ (m)	Hs =< 1 and λ =< L; all vessel speed	0.0
(f) aids to navigation	excellent with shore traffic control	0.0
(g) bottom surface	depth < 1.5T; smooth and soft	0.1
(h) depth of waterway	1.25T - 1.15T	0.2
(i) cargo hazard level	low	0.0
	Total additional width:	0.7
Additional width for bank clearance:		
wbr (red)	steep and hard embankments; structures; slow vessel speed	0.5
wbg (green)	steep and hard embankments; structures; slow vessel speed	0.5
	Total width:	3.0
absolute beam [m] : 17	Absolute channel width:	51

Tabel 2-3 : Berekening van de breedte van de jachthaventoegang voor kleinere baggerschepen en de bijbehorende criteria PIANC, (2014)

	criteria	Outer
Basic manoeuvring Lane (wbm)	good	1.3
Additional widths for straight for straight channel sections (wi)		
channel type	criteria	Outer
(a) vessel speed (knots)	slow 5-8	0.0
(b) prevailing cross winds (knots)	mild =< 15 (Bft 4); all vessel speed	0.1
(c) prevailing cross currents (knots)	low 0.2-0.5; slow vessel speed	0.3
(d) prevailing long. current (knots)	moderate > 1.5-3.0; fast vessel speed	0.0
(e) significant Hs and length λ (m)	Hs =< 1 and λ =< L; all vessel speed	0.0
(f) aids to navigation	excellent with shore traffic control	0.0
(g) bottom surface	depth < 1.5T; smooth and soft	0.1
(h) depth of waterway	1.25T - 1.15T	0.2
(i) cargo hazard level	low	0.0
	Total additional width:	0.7
Additional width for bank clearance:		
wbr (red)	steep and hard embankments; structures; slow vessel speed	0.5
wbg (green)	steep and hard embankments; structures; slow vessel speed	0.5
	Total width:	3.0
absolute beam [m] : 15	Absolute channel width:	45

2.2.1.3 *Vergelijking en discussie*

Tabel 2-4 toont de berekende toegangsbreedtes voor diverse ontwerpschepen gebaseerd op verschillende richtlijnen in vergelijking met overeenkomstige jachthavens in België en Nederland.

Tabel 2-4 : Berekende toegangsbreedte voor verschillende ontwerpschepen gebaseerd op verschillende richtlijnen, vergeleken met overeenkomstige jachthavens in België en Nederland

Ontwerpschip	**Breedte toegang (m)**	**Referentie**
Zeil- of motorboot	32.5	AS 3962
Zeil- of motorboot	32.5 - 58.5	*Layout ….Marina Berthing Facilities, 2005.*
Zeil- of motorboot	33 - 36	ASCE
Zeil- of motorboot	37	ASCE – detail
Baggerschip1 (90x17)	51	PIANC 2014
Baggerschip2 (80x15)	45	PIANC 2014
Andere jachthavens	**Breedte toegang (m)**	**Omschrijving**
Huidige situatie in ZB	~37	
Nieuwpoort	43.2 & 49.6 (SB)	WL - 12_006 : Baggerschip als ontwerpschip
Blankenberge	~35	
IJmuiden	~27	
Jachthaven Stavoren	~37	
Scheveningen	~22	
Jachthaven Bruinisse	~ 49	

Op basis van de discussie met de gebruikers van de jachthaven, een vergelijking met soortgelijke jachthavens, en gezien het feit dat baggerschepen de jachthaven zeer af en toe bezoeken, werd besloten de huidige breedte van de haventoegang ook voor de nieuwe toegang te aanvaarden: **37 m breedte op de bodem van de toegangsgeul**.

2.2.2 Oriëntatie van de toegangsgeul

Er zijn verschillende aspecten waarmee rekening moet worden gehouden bij het bepalen van de oriëntatie van de jachthaventoegang, waaronder:

- Effect van dwarsstroom op de navigatie van zeeschepen, welke ontstaat bij eb door het leegstromen van de jachthaven
- Penetratie van de golven in de jachthaven
- Navigeerbaarheid van schepen richting de jachthaven
- Bouwkosten

Op basis van het eerste punt werd in een eerdere studie de zuidelijke locatie van de ingang afgeschreven. De dwarsstroom die bij eb ontstaat door het leegstromen van de jachthaven bleek te groot voor passerende zeeschepen, waarop werd besloten dat de jachthaventoegang noordelijker moest komen te liggen (vergelijkbaar met OP1 en OP2 in Figuur 2-1).

2.3 Bijeenkomst met gebruikers van de jachthaven

Om ervoor te zorgen dat de behoeften en wensen van de gebruikers van de jachthaven in het ontwerp maximaal meegenomen worden, werd op 3 juni 2022 een bijeenkomst met hen georganiseerd. Tijdens deze bijeenkomst werden het nieuwe ontwerp en de resultaten van de hydrodynamische studies

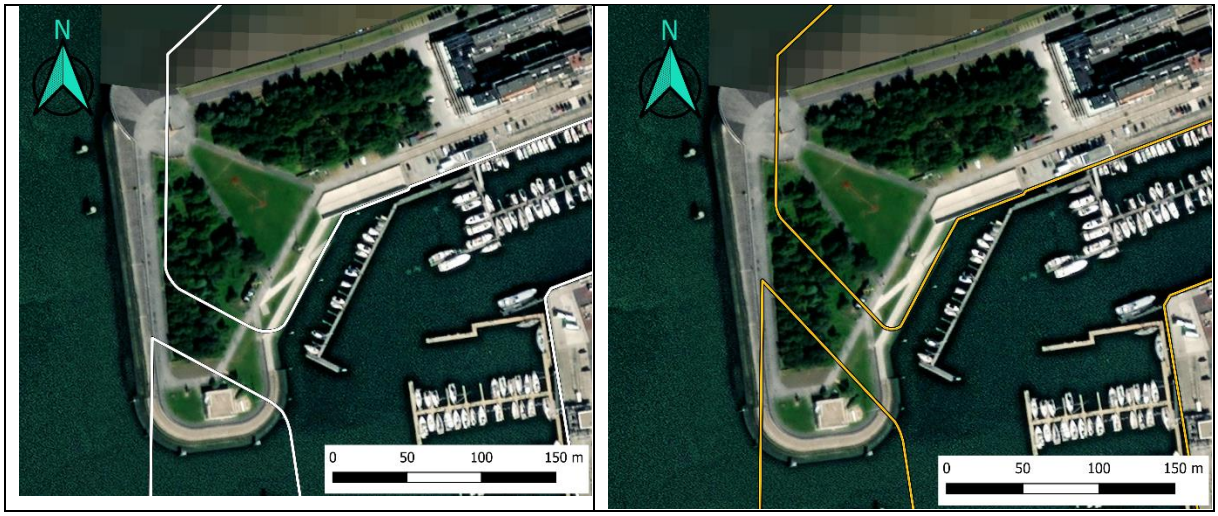
besproken met de gebruikers van de jachthaven en deelden zij hun bezorgdheden en constructieve ideeën. De volgende punten werden tijdens die vergadering vastgesteld:

1. De breedte van 37 m is aanvaardbaar.
2. De noordelijke ligging voor de haventoegang is aanvaardbaar.
3. De belangrijkste zorg is de rust in de haven tijdens stormen en wanneer sleepboten met hoge snelheid passeren.
4. De gebruikers van de jachthaven zouden graag zien dat de ingang van de jachthaven aan de kant van de jachthaven zo zuidelijk mogelijk wordt gesitueerd om de wijziging van de indeling van de steigers in de jachthaven te beperken.

Deze conclusies worden in de definitieve alternatieven in aanmerking genomen.

2.4 Voorgestelde lay-outs

Op basis van de hierboven beschreven discussie en uitgebreide besprekingen in de werkgroepen toegang jachthaven, werden uiteindelijk twee lay-outs voorgesteld als realistische alternatieven. Figuur 2-4 toont deze alternatieven. Deze alternatieven hebben dezelfde plaats van uitgang aan de kant van de jachthaven, maar de oriëntatie in noordelijke richting is anders, waardoor het toegangskanaal in OP5g langer is. Deze alternatieven worden voor verschillende aspecten en criteria geanalyseerd in de volgende delen van het rapport.



Figuur 2-4 Definitieve alternatieven (OP5f-left, OP5g-right)

3 Hydrodynamische analyse toegang jachthaven

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van de numerieke modellering met betrekking tot de hydrodynamica, voor de twee beschouwde alternatieven voor de ingang van de jachthaven (OP5f en OP5g).

3.2 Modelbeschrijving

In deze paragraaf worden het modeldomein en de opgelegde randvoorwaarden besproken. Het vertrekpunt voor de modellering is IMDC's reeds gekalibreerde stromingsmodel voor de haven van Zeebrugge (IMDC, 2015a) en (IMDC, 2015b).

3.2.1 Telemac model

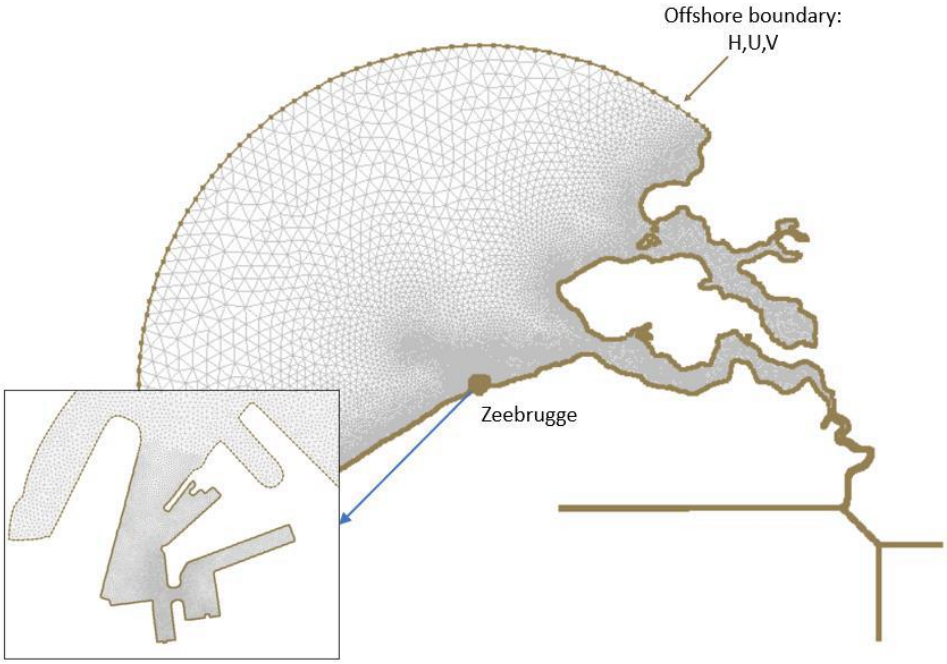
De software voor het hydrodynamisch model dat in dit onderzoek wordt gebruik is TELEMAC-3D (versie 8p1). Het stromingsveld in TELEMAC-3D is gediscretiseerd door gebruik te maken van prismatische elementen gebaseerd op driehoeken. Alle informatie (diepte, waterhoogtes, snelheden en tracer hoeveelheden) wordt gedefinieerd op de hoekpunten van een driehoeks-element (een zogenoemd p1-p1 element). Het "Zeebrugge model" bevat een ongestructureerd rekenrooster, gecentreerd rondom Zeebrugge. Het modeldomein langs de kust reikt van de haven van Duinkerke (Frankrijk) tot Goeree-Overflakkee (Nederland).

3.2.2 Bathymetrie en rekenrooster

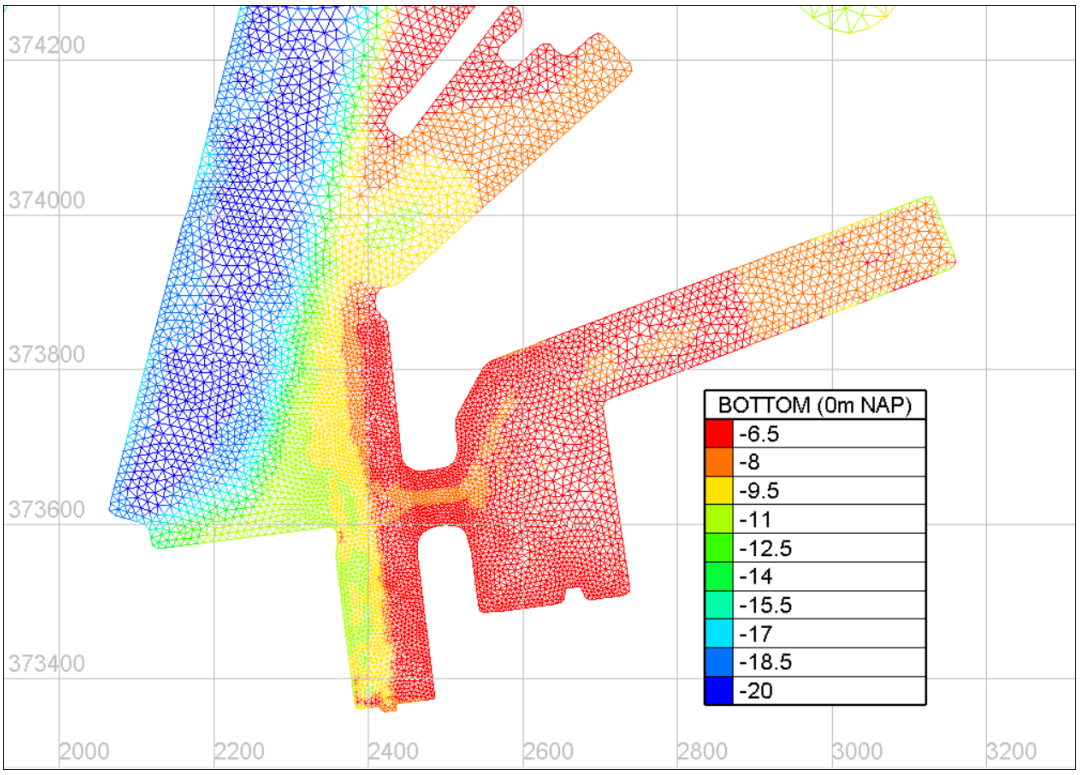
De resolutie van het rekenrooster varieert geleidelijk van 3 tot 4 km langs de zeewaartse grenzen, tot 15m in de haven van Zeebrugge en tot ongeveer 5m in het gebied rondom de Visartsluis. De bathymetrie in het model is gerefereerd aan m NAP (0m NAP = +0.012m MSL = +2.333m TAW in Zeebrugge, (Cauwenberghe). Het horizontaal referentiesysteem is RD Parijs. De tijd is uitgedrukt in UTC (Universal Time Coordinated).

Figuur 3-1 geeft het modeldomein en rekenrooster van het reeds gekalibreerde stromingsmodel voor de haven van Zeebrugge weer.

Voor deze analyse zijn het originele rekenrooster en de bathymetrie van het Zeebrugge stromingsmodel aangepast in het havengebied om de stromingen rondom de Visartsluis meer in detail uit te rekenen. Figuur 3-2 toont het detailrooster rond Visartsluis en de gemeten bathymetrie van 2014). De gebruikte bathymetrieën voor de alternatieven worden verder beschreven in sectie 3.2.4.



Figuur 3-1 Modeldomein en grid Zeebrugge stormingsmodel (IMDC, 2015b)

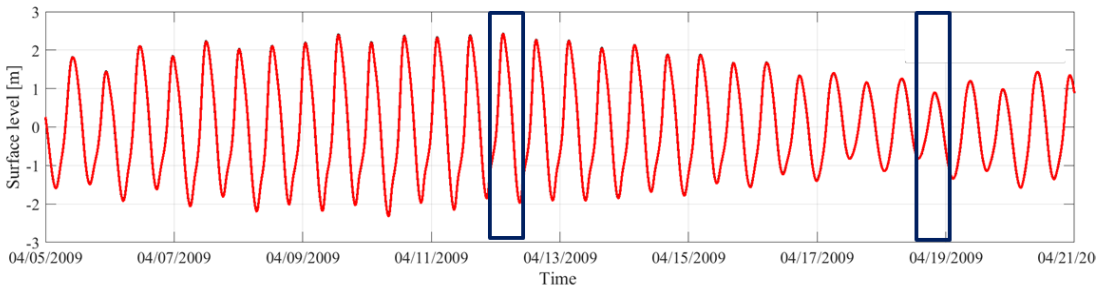


Figuur 3-2 Bodemgegevens en model resolutie voor de huidige situatie (Bodemdata uit Tabel 3-1 - m NAP)

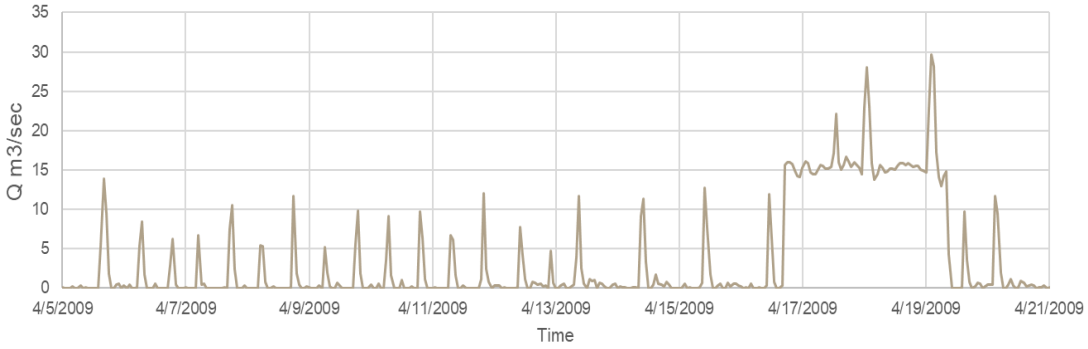
3.2.3 Randvoorwaarden

Om de impact van de alternatieven in termen van hydrodynamica te evalueren, wordt een 14-daagse springtij – doodtij cyclus geanalyseerd en wordt het gemiddeld getij geëxtraheerd. Gebaseerd op het gekalibreerde model (IMDC, 2015b) is er een periode met representatieve stromingscondities gebruikt (in april 2009). Door een gemiddeld getij te nemen kunnen deze resultaten eenvoudig geschaald worden naar representatieve jaarlijkse waarden. Figuur 3-3 geeft het waterniveau ter hoogte van de ingang van de jachthaven weer voor de duur van de simulatie

Zoet water wordt in de haven geloosd via het Leopoldkanaal en het Schipdonkkanaal. Beide kanalen lozen gravitair tijdens laagwater. de zoetwaterafvoer wordt aan het model toegevoegd als randvoorwaarde voor de tijdreeks (Figuur 3-4)



Figuur 3-3 Waterstand ter hoogte van de ingang van de jachthaven gedurende de simulatie



Figuur 3-4 Zoetwaterafvoer tijdens de simulatie

3.2.4 Scenario's

3.2.4.1 Huidige situatie

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de bathymetrische data die in deze studie werden gebruik, om de volledige bathymetrie voor het model te hebben, worden 5 verschillende beschikbare bathymetrie datasets gecombineerd. In Figuur 3-2 worden de bathymetrie en de modelresolutie voor de huidige situatie weergegeven.

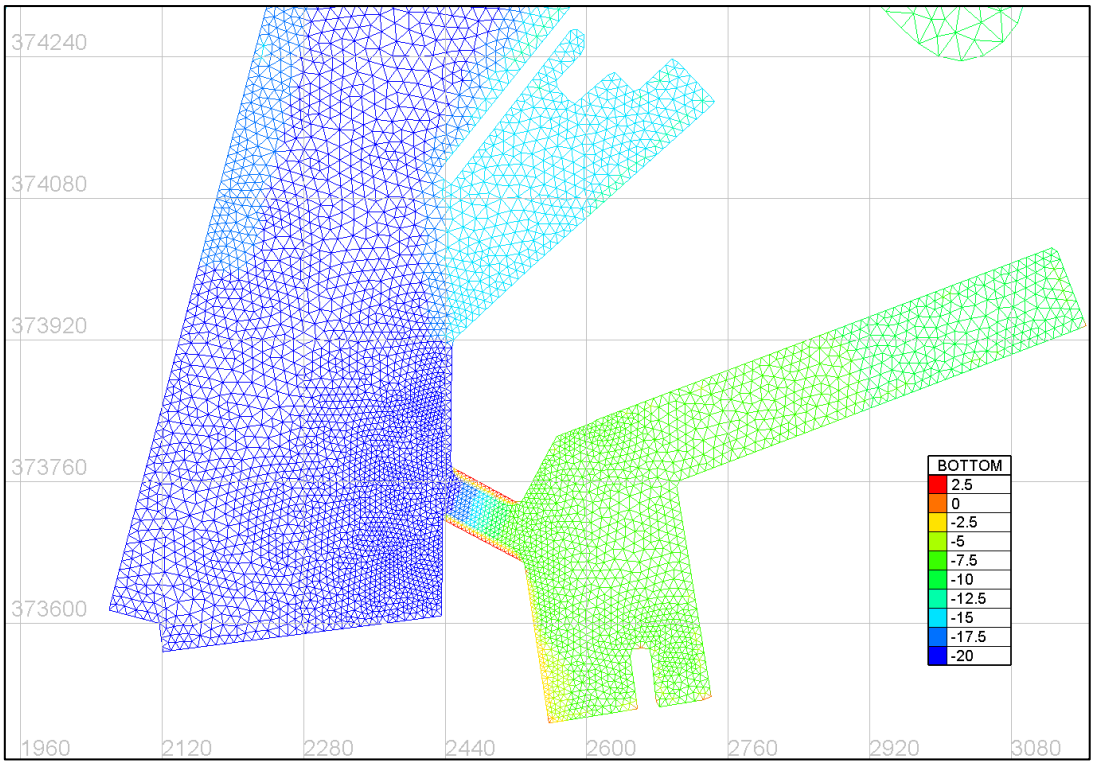
Tabel 3-1 Bathymetrie gebruikt voor de huidige situatie

Alternatieven	Bathymetrie data in het interessegebied

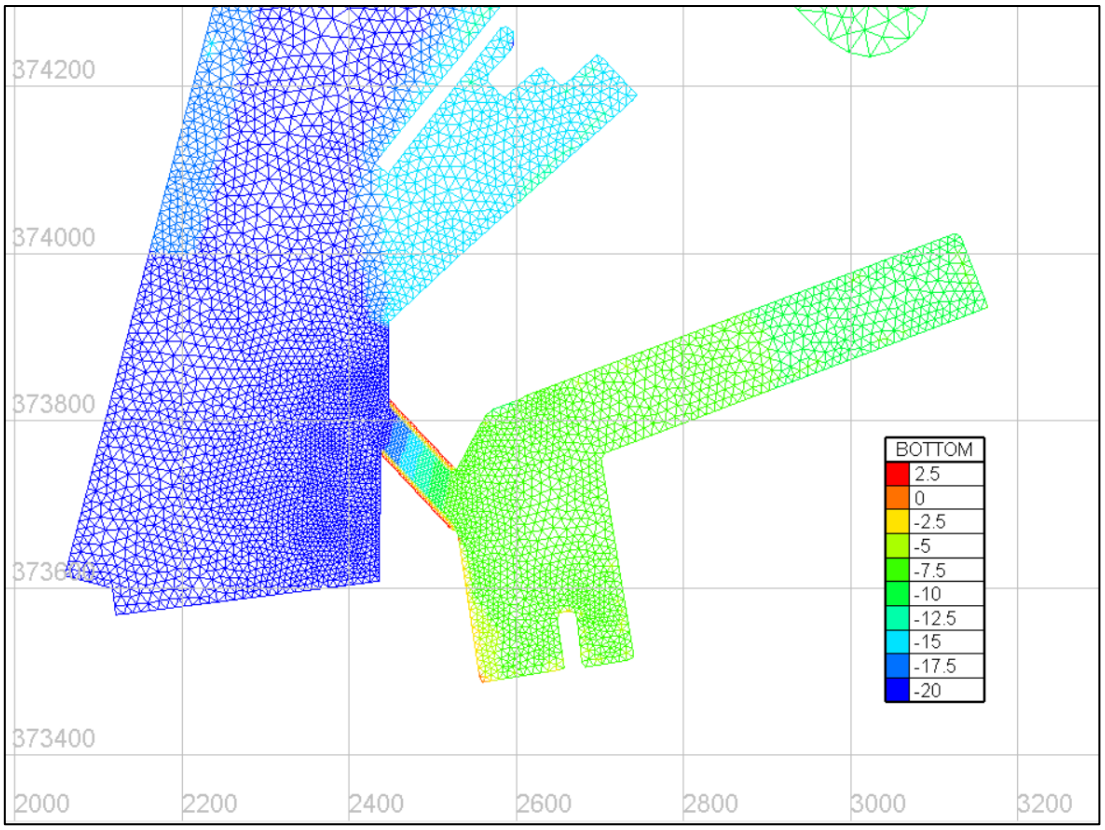
Huidige situatie	• Bodemdata uit 2014 (bron afdeling Maritieme Toegang, aMT)
	• Afdeling Kust (bodemgegevens voor jachthaven zijn gedownload):
	  ○ ZB_APR_2020_SB_210
	  ○ ZB_AUG_2020_SB_210
	  ○ ZB_NOV_2020_MB_ZBVSH
	  ○ ZB_NOV_2019_SB
	  ○ ZB_NOV_2012_TGKZS_SB_33

3.2.4.2 Alternatief OP5f en OP5g

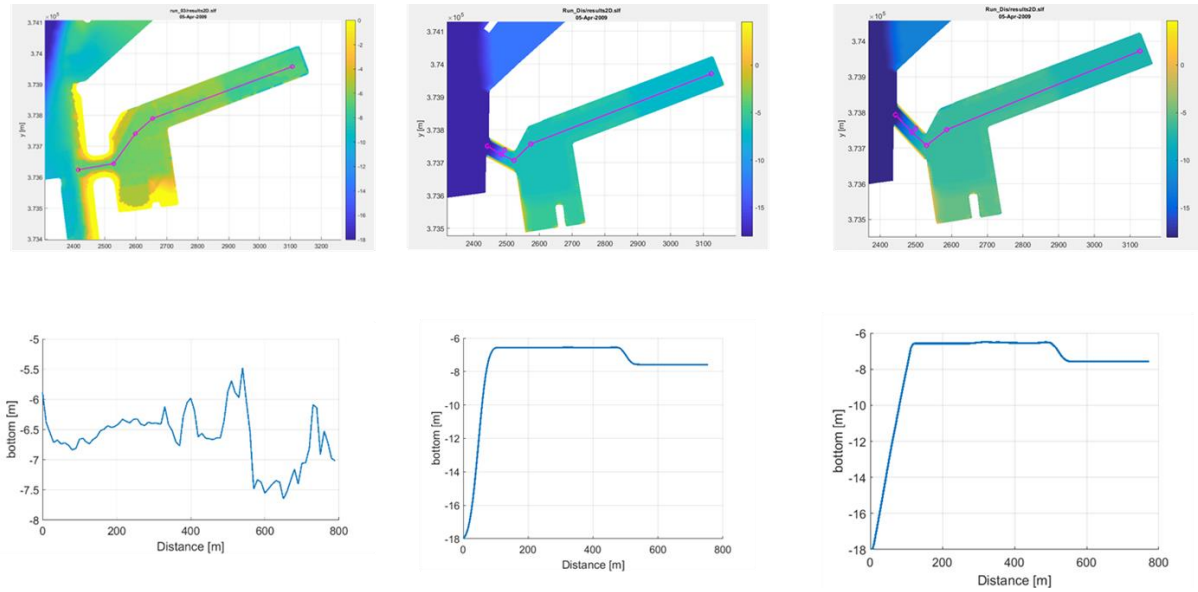
De bathymetrie en het rekenrooster voor alternatief OP5f en OP5g worden respectievelijk weergegeven in Figuur 3-5 en Figuur 3-6.Een vergelijking van het bodemprofiel langsheen de aslijn van de toegangsgeul naar de jachthaven voor de verschillende alternatieven wordt gegeven in Figuur 3-7.



Figuur 3-5 Bodemgegevens en modelresolutie voor de alternatieve situatie (OP5f)



Figuur 3-6 Bodemgegevens en modelresolutie voor de alternatieve situatie (OP5g)

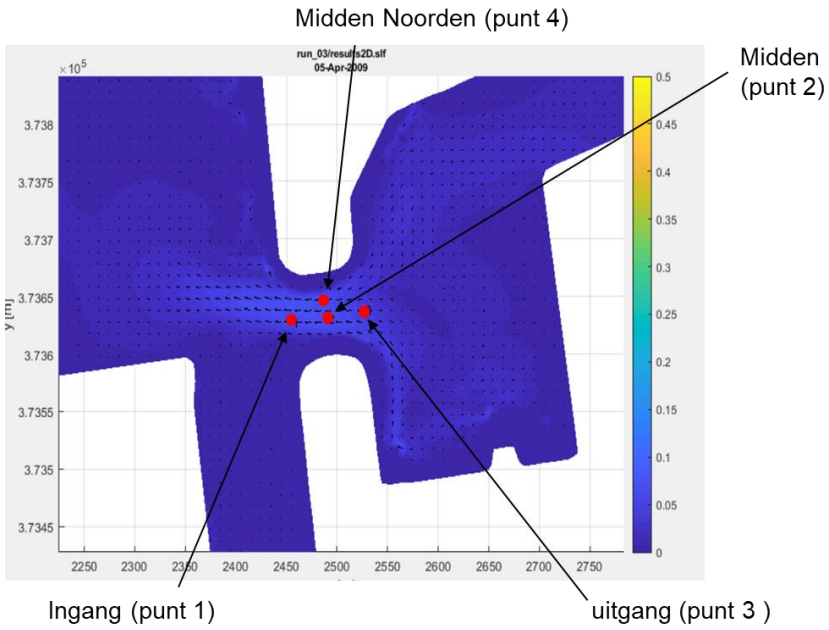


Figuur 3-7 Vergelijking van de bathymetrie tussen de huidige configuratie, OP5f en OP5g (m NAP).

3.3 Resultaten modelsimulaties

Voor een kwantitatieve vergelijking zijn de grootte van de dieptegemiddelde stroomsnelheid en het niveau van het wateroppervlak op 4 punten (ingang, midden, midden noorden en uitgang) van de jachthaven vergeleken tussen de 3 configuraties, het midden noorden punt wordt gedefinieerd als één

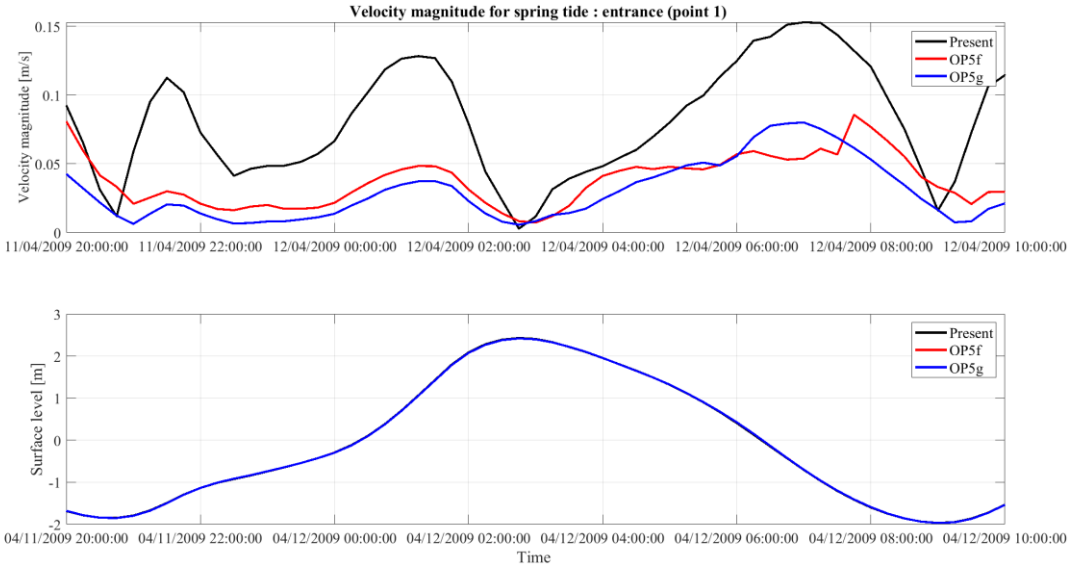
ontwerpscheepsbalk vanaf het verticale deel van de noordelijke muur (zie Figuur 3-8 voor een schematische weergave van de uitgangspunten in de huidige situatie, deovereenkomstige punten voor OP5g en OP5f zijn aangegeven in Figuur 3-7). Opgemerkt moet worden dat voor de nieuwe ontwerpen, zowel OP5f als OP5g, baggerwerken worden verwacht, wat resulteert in een andere bathymetrie dan in de huidige configuratie.



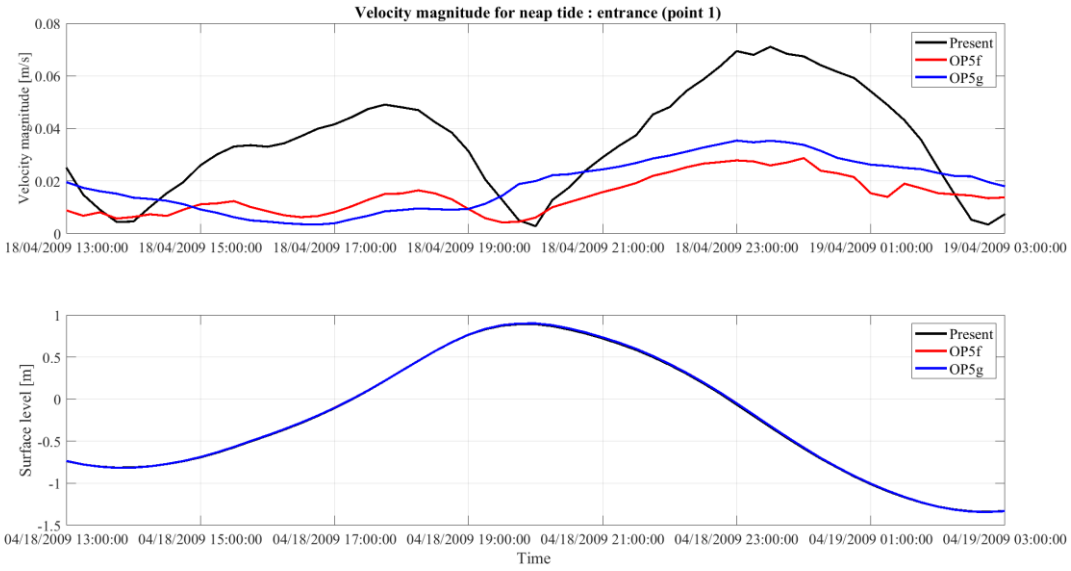
Figuur 3-8 Schematische illustratie van uitvoerpunten voor numerieke simulatie.

3.3.1 Ingang

Figuur 3-9 en Figuur 3-10 tonen de variatie van de dieptegemiddelde stroomsnelheid en het waterpeil respectievelijk ter hoogte van het ingangspunt, voor één cyclus van springtij en doodtij, voor de bestaande lay-out en de twee alternatieven.



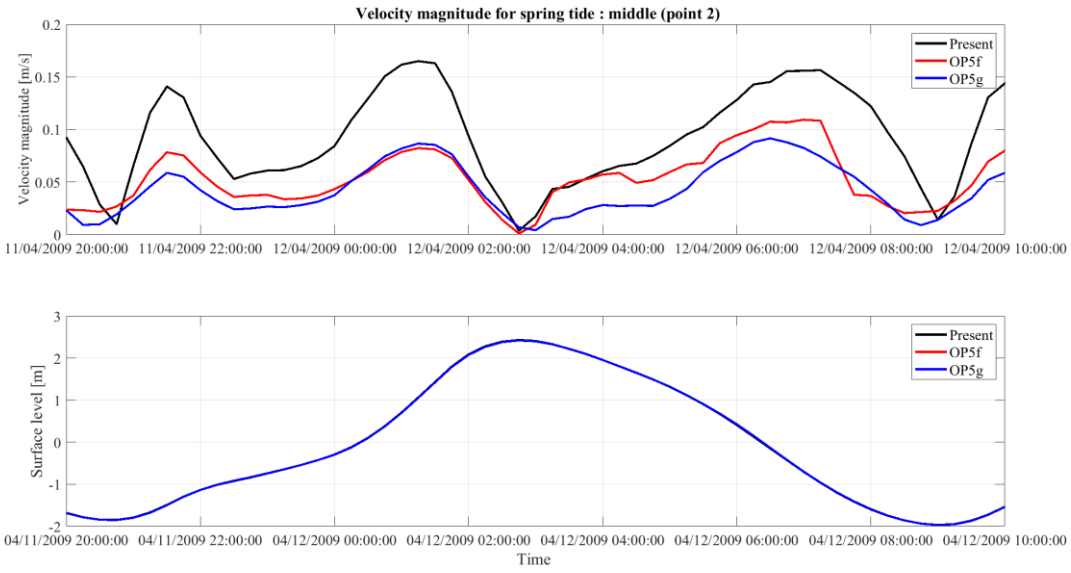
Figuur 3-9 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus springtij.



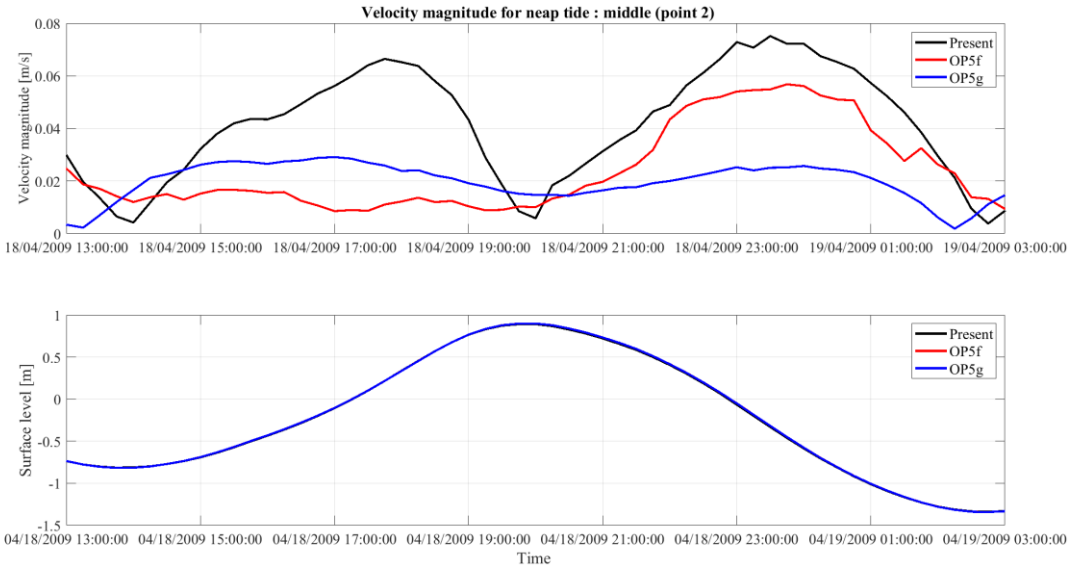
Figuur 3-10 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus van doodtij.

3.3.2 Midden

De Figuur 3-11 en Figuur 3-12 tonen de variatie van de dieptegemiddelde stroomsnelheid en het waterpeil respectievelijk ter hoogte van het middenpunt, voor één cyclus van springtij en doodtij, voor de bestaande lay-out en de twee alternatieven.



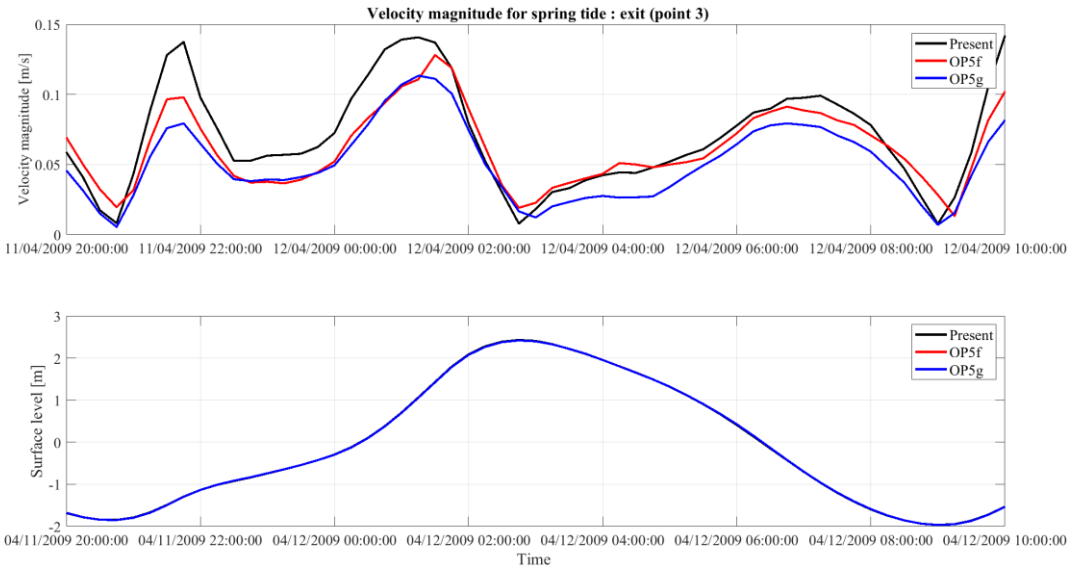
Figuur 3-11 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus springtij.



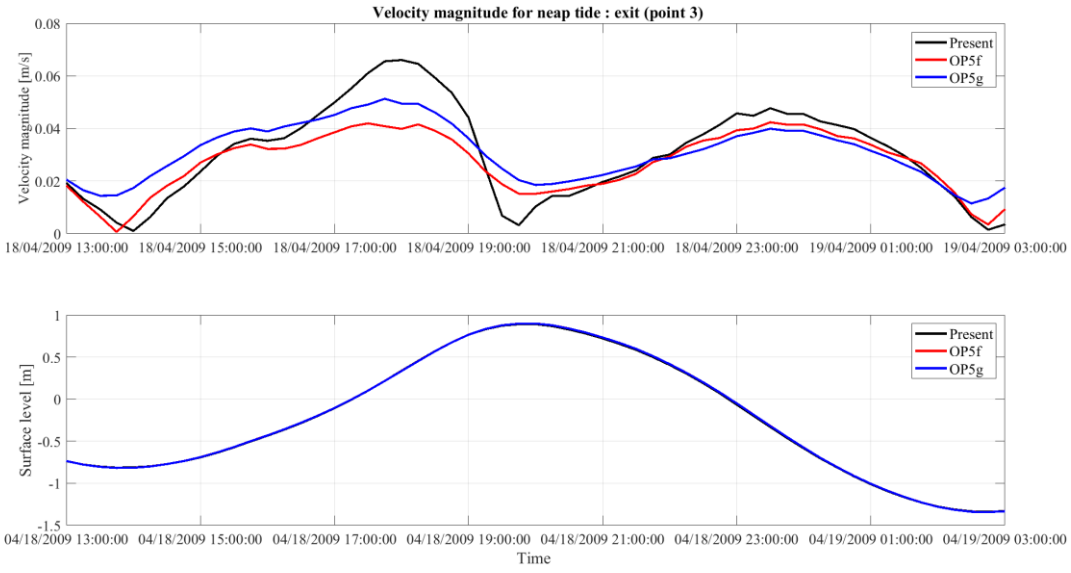
Figuur 3-12 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus van doodtij.

3.3.3 Uitgang

De Figuur 3-13 en Figuur 3-14 tonen de variatie van de dieptegemiddelde stroomsnelheid en het waterpeil respectievelijk ter hoogte van het uitgangspunt, voor één cyclus van springtij en doodtij, voor de bestaande lay-out en de twee alternatieven.



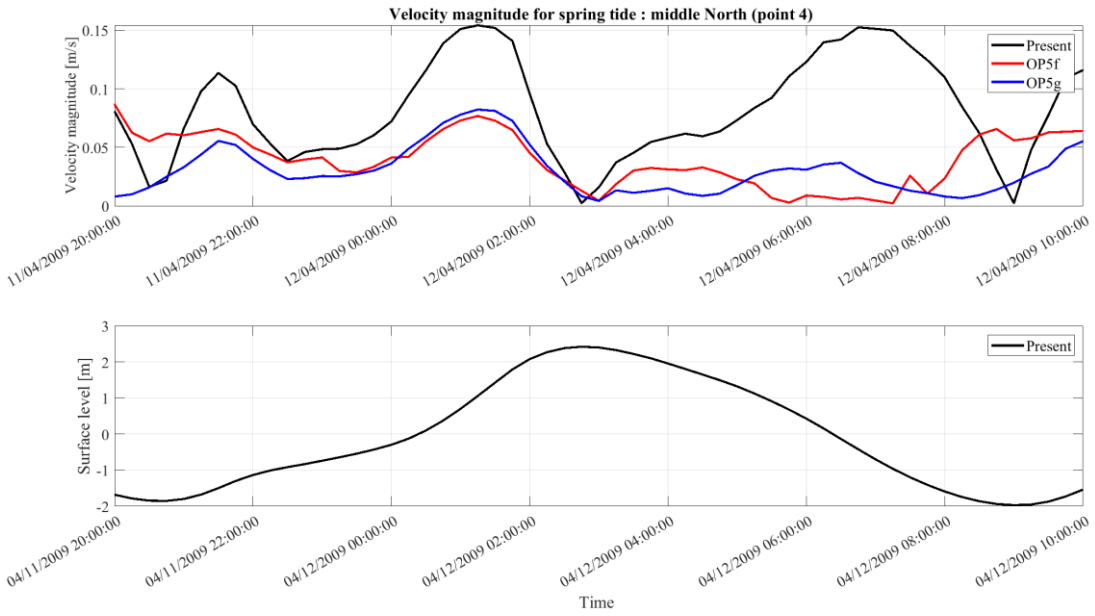
Figuur 3-13 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus springtij.



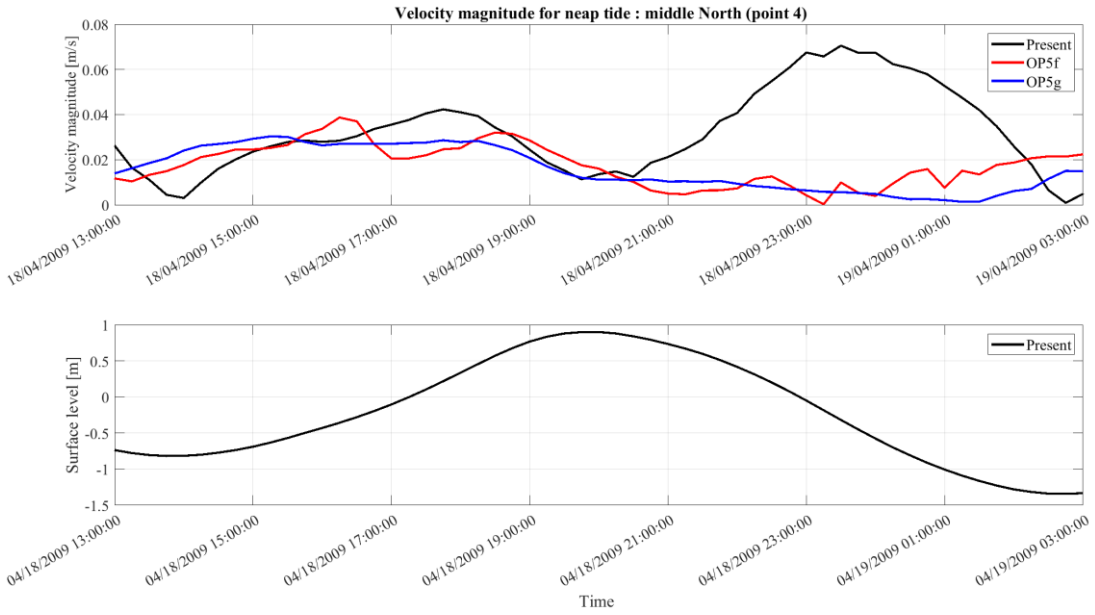
Figuur 3-14 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus van doodtij.

3.3.4 Midden Noorden

Figuur 3-15 en Figuur 3-16 tonen de variatie van de dieptegemiddelde stroomsnelheid en het waterpeil respectievelijk ter hoogte van punt 4 (midden noorden), voor één cyclus van springtij en doodtij, voor de bestaande lay-out en de twee alternatieven.



Figuur 3-15 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus springtij.

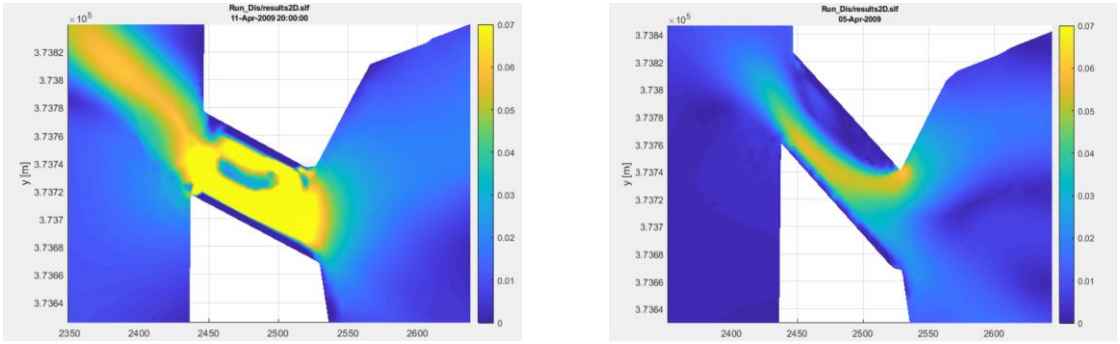


Figuur 3-16 Snelheid en vergelijkingen van het wateroppervlak bij de ingang van de jachthaven voor een cyclus van doodtij

3.4 Diepte gemiddeld stromingsveld

Naast de tijdseries op de drie verschillende punten van het kanaal zijn ook de 2D dieptegemiddelde stroomvelden geanalyseerd. In het bijzondere geval ontstaat gedurende de tijd dat het water van richting verandert door de overstroming van de ebstroom een wervelstroom in het toegangskanaal in

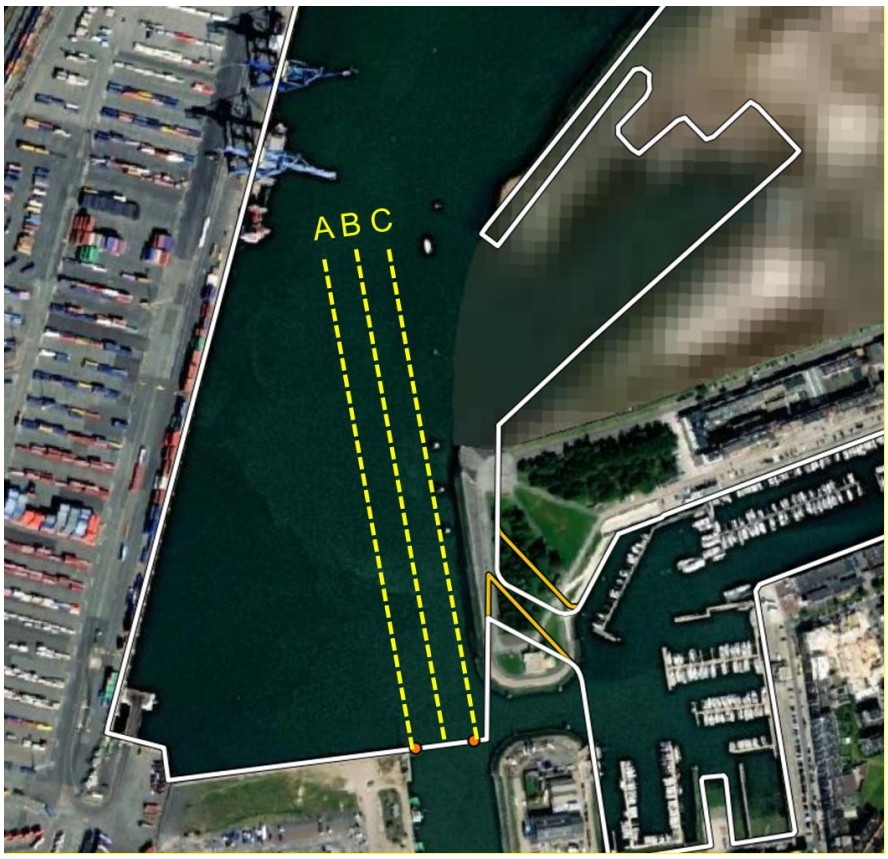
alternatief OP5f (linker paneel Figuur 3-17). Deze wervelstroom ontstaat daarentegen niet in alternatief OP5g. De diepte gemiddelde stroomsnelheden die met dit fenomeen gepaard gaan zijn echter lager dan 10 cm/s. Er wordt om die reden geen hinder verwacht voor de scheepsvaart.



Figuur 3-17 Dieptegemiddelde stroomsnelheden bij de ingang van de jachthaven tussen eb en vloed : Links (OP5f), rechts (OP5g).

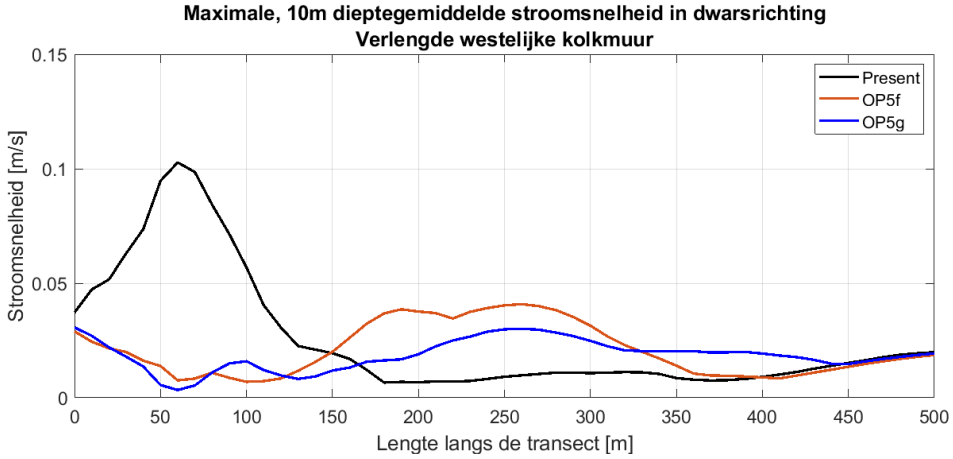
3.5 Maximale stroomsnelheid in hogere niveaus van de waterkolom

De maximale stroomsnelheid in de hogere niveaus van de waterkolom wordt eveneens geanalyseerd. Hiertoe wordt langs drie dwarsdoorsneden (Figuur 3-18) voor de ingang van de jachthaven het maximum van de gemiddelde dwarsstroming in de bovenste 10 m en 1 m van de waterkolom uit het model gehaald. De resultaten worden weergegeven in Figuur 3-19 en Figuur 3-20. Het is duidelijk dat de nieuwe oriëntatie van het toegangskanaal van de jachthaven de maximale dwarsstroom vermindert, waardoor de navigatie van zowel zeeschepen als jachthavengebruikers verbetert.

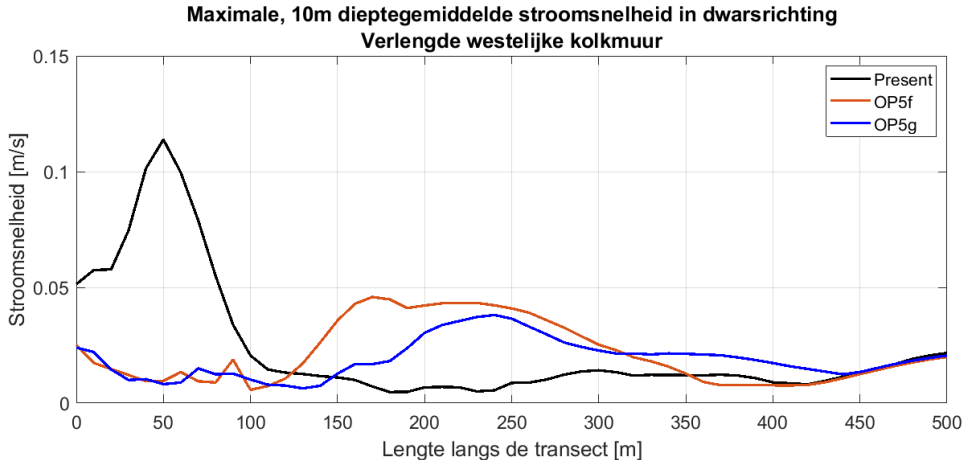


Figuur 3-18 Transect gebruikt om de stroomsnelheid in het hogere deel van de waterkolom te analyseren, samen met de lay-out van beide alternatieven (Op5f in wit en Op5g in oranje)

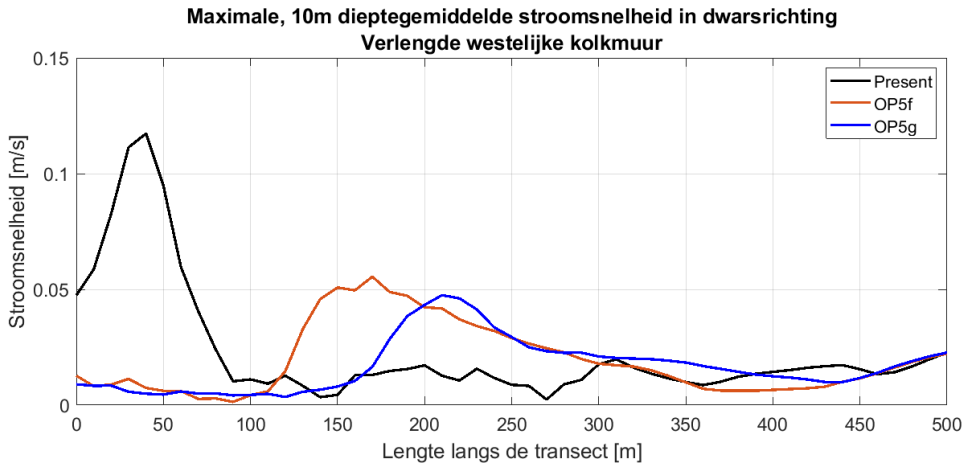
A



B

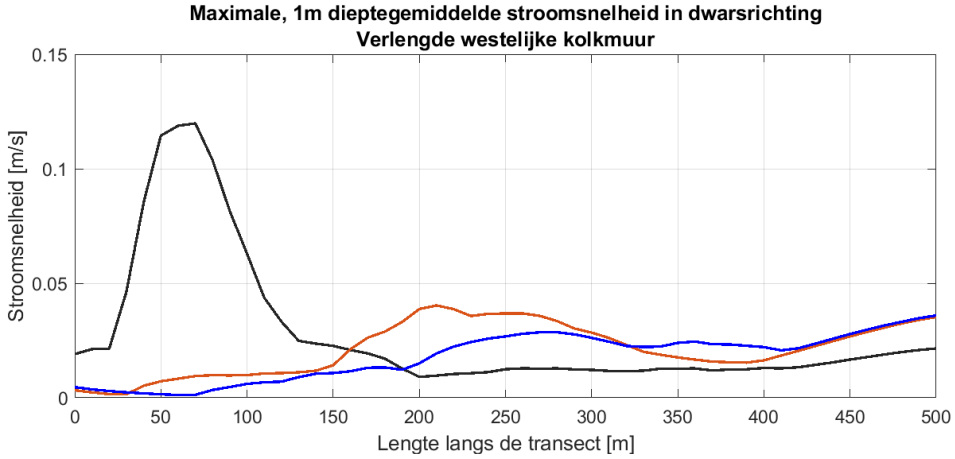


C

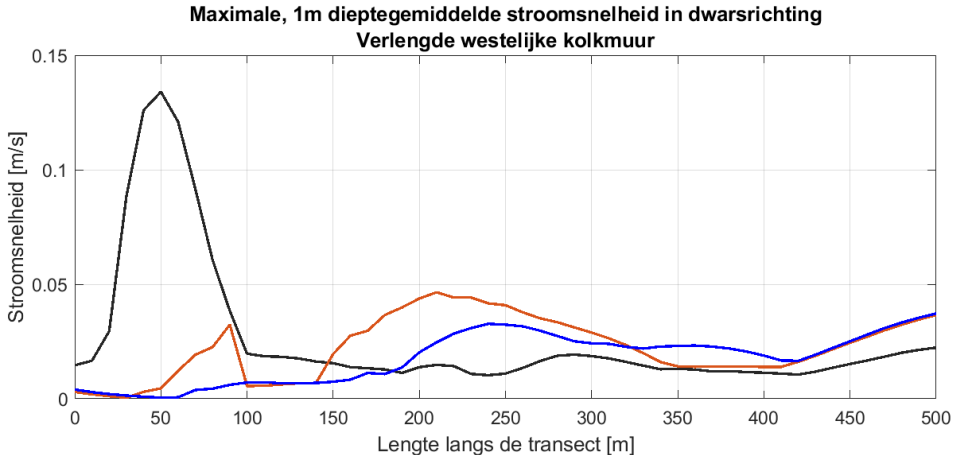


Figuur 3-19 Maximale, 10m dieptegemiddelde stroomsnelheid in dwarsrichting

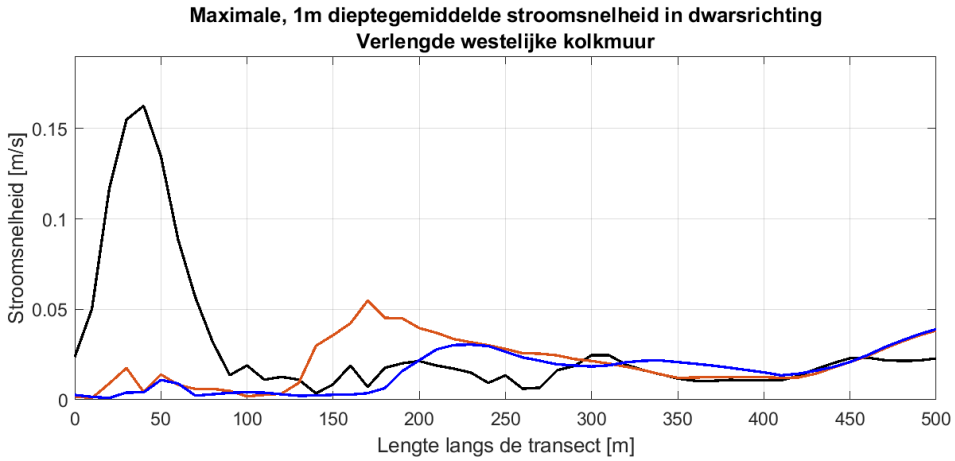
A



B



C



Figuur 3-20 Maximale, 1m dieptegemiddelde stroomsnelheid in dwarsrichting

3.6 Conclusie

Uit de resultaten van de hydrodynamische modellering blijkt dat :

1. De diepte-gemiddelde stroomsnelheid in beide nieuwe alternatieven lager of gelijk is aan de huidige diepte-gemiddelde stroomsnelheden. Deze afname van de stroomsnelheid is voornamelijk toe te schrijven aan de verandering van de bathymetrie voor de ingang van de jachthaven en niet zozeer aan de (nieuwe) locatie van de ingang (dieptetoename van ongeveer 12 m). Deze snelheden zijn vergelijkbaar met de analyses uitgevoerd voor alternatief OP3 in (IMDC, 2021b).
2. Aangezien de stroomsnelheden in de orde van grootte van centimeters per seconde liggen en lager zijn dan in de huidige situatie, zullen de boten die gebruik maken van de jachthaven geen problemen ondervinden als gevolg van de stroming.
3. In alternatief OP5f is bij één gelegenheid tijdens springtij een wervelstroom gevormd in de ingang van de jachthaven met een snelheid van minder dan 10 cm/sec. Op basis van de gevonden snelheden worden echter geen problemen voor de scheepsvaart verwacht.
4. In beide lay-outs is de richting van de stroming die de jachthaven verlaat tijdens laagwater naar het noorden gericht. Aangezien de stroomrichting bij eb niet loodrecht staat op het navigatielijn van zeeschepen, bieden de nieuwe alternatieven in vergelijking met de huidige situatie betere voorwaarden voor de scheepvaart van en naar de nieuwe sluis. In dit opzicht is alternatief OP5g beter. (Het effect van dwarsstroom op zeeschepen wordt in detail beschreven in het (Verwilligen and Eloot, 2022a))
5. Het wijzigen van de oriëntatie van de jachthaven vermindert de dwarsstroom in de hoofdvaargeul en verbetert de bevaarbaarheid. Alternatief Op5g scoort iets beter dan Op5f

4 Modellering scheepsgolven

In dit hoofdstuk wordt stap 3 (zoals opgenomen in H1) besproken, het modelleren en analyseren van de golven veroorzaakt door de passerende schepen naar de nieuwe sluis. Hiertoe worden eerst de ontwerpschepen beschreven, waarna vervolgens de modellering en de resultaten worden beschreven.

4.1 Ontwerpschepen

In deze paragraaf worden de karakteristieken en vaarroutes van de te modelleren schepen beschreven.

4.1.1 Scheepskarakteristieken

Om de golven opgewekt door passerende schepen te modelleren dienen de schepen met hun typerende dimensies te worden toegevoegd aan de modellen. Niet de volledige vloot zal daarbij worden gemodelleerd, maar enkel de meest representatieve schepen welke het frequentst voorkomen.

De volgende representatieve schepen zijn geselecteerd voor deze studie:

- "RoRo Car-carriers"
- "Estuair binnenschip"
- "Sleepboten"

De maatgevende scheepsgolven voor zeevaart worden gerelateerd worden aan een RoRo-carrier en voor binnenvaart aan een binnenschip.

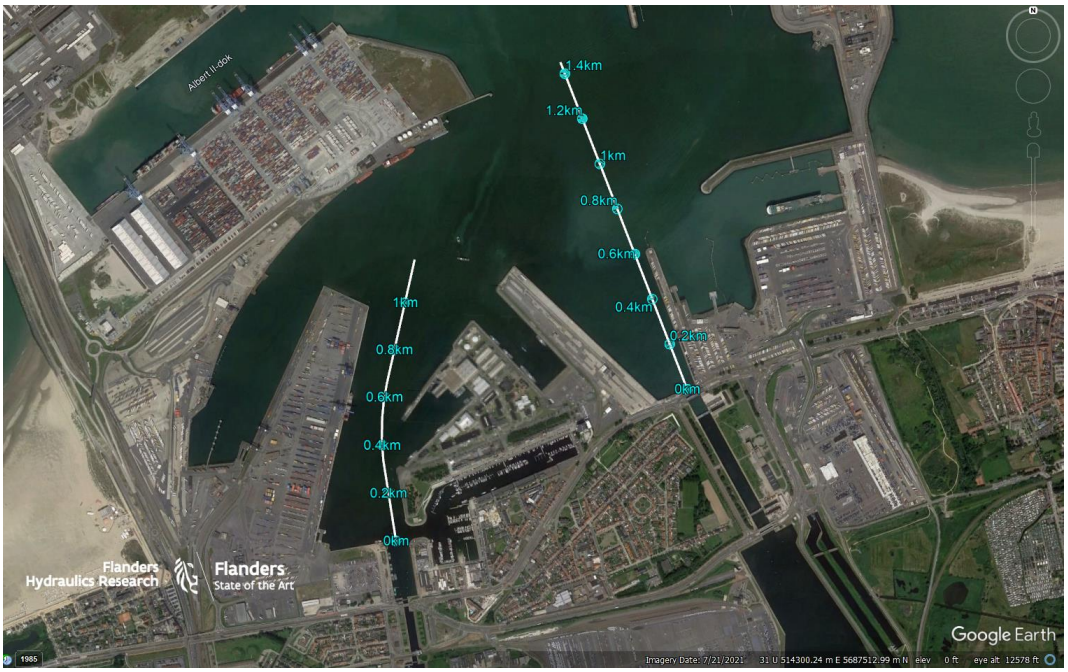
De twee ontwerpschepen die werden gebruikt voor de nautische optimalisatiestudie worden ook in deze studie gebruikt om de extreme gevallen te evalueren: "NSZ (CarCar_265_400) " en "Odyssea (Mark V)".

Tabel4-1 Zeeschepen geselecteerd voor de modellering van de scheepsgolven.

Type schip	Dimensies (LxBxD) in (m)			Voorbeeld-schip
	L	B	D	
RoRo carcarrier (gemiddeld)	200	32	9.3	TAIPAN (21 021 DWT)
Overig – estuair binnenschip	110	17	4.5	DESEO (1 657 DWT)
Sleepboot	28	13	6	VB RUMBA
NSZ (CarCar_265_400)	265	40	11	ENDURANCE
Odyssea (Mark V)	265	32.2	11	

4.1.2 Vaarroutes en snelheid

Aangezien de studie wordt verricht voor de situatie in aanwezigheid van de nieuwe sluis, zal het verkeer voor de haventoegang van de jachthaven anders zijn dan in de bestaande situatie. Om deze reden zullen de snelheid en het navigatiepad van de schepen worden afgeleid uit WL Rapport (Verwilligen and Eloot, 2022b). In het rapport zijn de trajecten gedefinieerd om als referentiebaan te dienen voor de AIS-analyses (Figuur 4-1). In deze studie wordt het linker tracé zoals opgenomen in Figuur 4-1 aangehouden als navigatiepad van de zeevarende schepen in de modelsimulaties.



Figuur 4-1 : De voorbeeld tracés uit de navigatiestudie (Verwilligen and Eloot, 2022b)

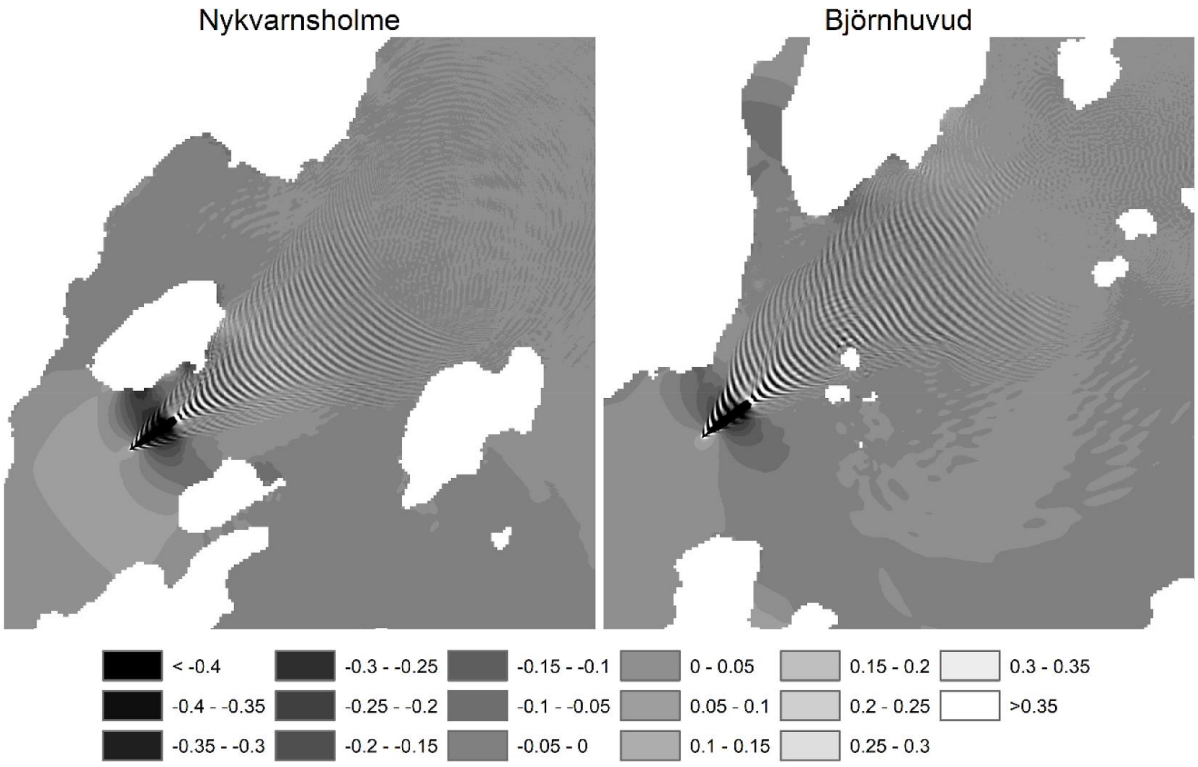
4.2 Modelbeschrijving

4.2.1 XBeach model

Om de scheepvaartgolven te bepalen wordt de relatief nieuwe toepassing van niet-hydrostatische hydrodynamische modellen zoals XBeach (Roelvink et al., 2009) gebruikt. XBeach is een tweedimensionaal numeriek model dat is ontworpen om de golfpropagatie, lange golven, gemiddelde stroming en morfologische veranderingen van het kustgebied te simuleren. De simulatie van de golven van het schip tot de kust / oever is verder geïntegreerd en de nauwkeurigheid ervan is gevalideerd met behulp van hoogwaardige veldmetingen (Almström, Roelvink, & Larson, 2021). In dit type model wordt een bewegend schip gepresenteerd als een drukstuk dat langs een vooraf gedefinieerd spoor door het modeldomein beweegt. Het schip wordt gedefinieerd op een afzonderlijk rooster, waarbij de scheepsdiepgang per roosterpunt wordt gespecificeerd. Voor elke rekentijdstap wordt de scheepsdiepgang geïnterpoleerd van het scheepsrooster naar het globale rooster, waarbij het scheepsvolume constant wordt gehouden. Vervolgens wordt de waterdruk in elke globale cel van het rekenrooster bijgewerkt op basis van de geïnterpoleerde scheepsdiepgang. Door de drukvelden te verplaatsen, worden de golven gegenereerd en zullen ze zich verder door het globale domein voortplanten.

De meest recente toepassing van deze methode is de voorspelling van scheepsgolven in de archipel van Stockholm, Zweden (Björn Almström et al., 2021), te zien in Figuur 4-2.

Hoewel het XBeach-model nu op grote schaal wordt gebruikt voor de simulatie van golven die door schepen worden gegenereerd, is de toepasbaarheid ervan in verschillende omstandigheden tot op zekere hoogte onzeker. Indien relevant voor voorliggend rapport, worden deze onzekerheden besproken in paragraaf 4.4.



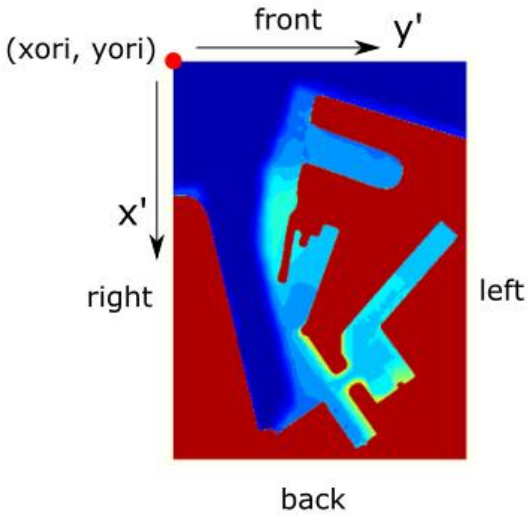
Figuur 4-2. 2D-golfveld uit simulaties met XBeach voor de Baltic Princess langs Nykvarnsholme en Björnhuvud. De kleurenbalk geeft de waterstandsdaling aan ten opzichte van het oorspronkelijke zeeniveau van de simulatie. In beide figuren vaart het schip met ongeveer 12 knopen, een vaarkoers van ongeveer 240°, en een kruinlijnhoek van ongeveer 22° (Björn Almström et al.*, 2021).*

4.2.2 Bathymetrie en rekenrooster

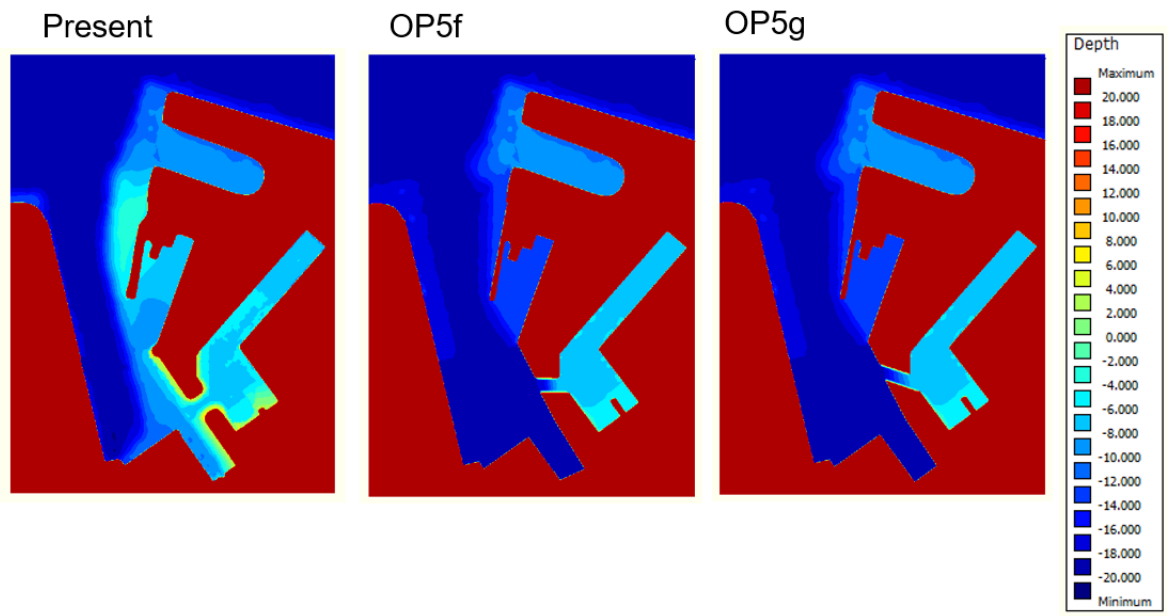
Bij het opzetten van het XBeach-model is voor het simulatiedomein een rastergrootte van 2 meter toegepast. De oorsprong is linksboven ingesteld (Figuur 4-3). De frontale grens komt overeen met de zeegrensconditie, waarbij in deze studie de niet-hydrostatische optie is geactiveerd (front = nonh_1d). Aan de linker en rechter laterale randvoorwaarden is een "no-gradient" Neumann grens opgelegd, die stelt dat er lokaal geen verandering is in de hoogte en snelheid van het oppervlak. Door dit type randvoorwaarden kunnen de inkomende golven vrij van het domein worden opgelegd. Aan de achterrand zijn absorberende randvoorwaarden opgelegd. Een CFL-getal van 0,4 is gekozen om de numerieke dispersie te dempen, aangezien in XBeach een numeriek schema van de tweede orde is gebruikt voor de niet-hydrostatische modus. Voor elk model is met een totale simulatietijd van 600s gerekend, waarbij de resultaten zijn berekend wanneer het schip het einde van het traject bereikt.

Voor de huidige situatie zijn alle details van de gemeten bathymetrie geprojecteerd op het 2x2 m raster en om de werkelijkheid zo goed mogelijk weer te geven.

In deze studie werden drie verschillende configuraties gesimuleerd en onderling vergeleken (Figuur 4-4). Merk op dat de bathymetrieën voor de alternatieven (OP5f en OP5g) verschillen van de huidige configuratie.

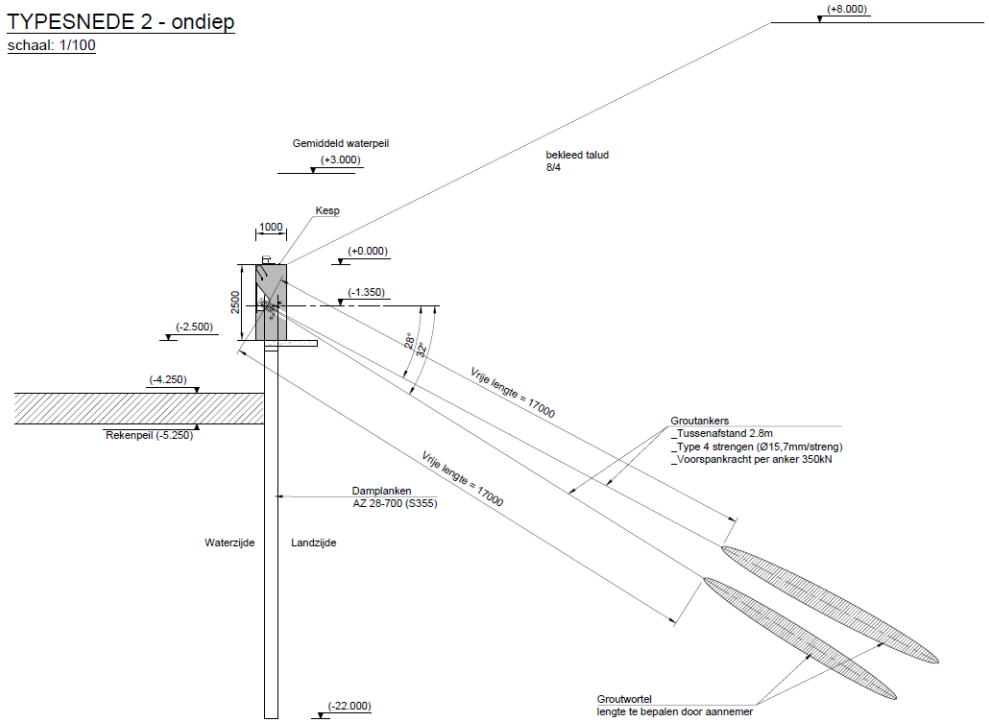


Figuur 4-3. Schematische weergave van het coördinatensysteem en de oriëntatie van het Xbeach-golfmodel.



Figuur 4-4. Bathymetrieën geïmplementeerd in het XBeach-model voor verschillende alternatieven.

De kademuren van de toegang jachthaven (Figuur 4-5), zijn ontworpen als verticale muren met een helling van 1 op 2 boven 0,0 m TAW. Het verticale deel van de muur wordt verondersteld volledig reflecterend te zijn, wat het slechtste scenario is. De helling van de kademuren wordt geprojecteerd op het rekenrooster van het model.



Figuur 4-5. Structureel ontwerp van de kademuren van de toegang jachthaven (SBE [565-01-SLVO-TK-VOT-STB-KMJ-001-kaaimuren toegang jachthaven])

4.2.3 Modelleringsscenario's

Voor elk alternatief (OP5g en OP5f) zijn zeven scenario's overwogen voor de vier scheepstypen: RoRo car-carrier (gemiddelde grootte), sleepboot, Mark V en ontwerpschip NSZ. Ze gebruiken voornamelijk de maximumsnelheid en de 90% kwantielsnelheid waarmee het schip vaart bij het verlaten van de haven. Zoals beschreven in de vorige paragraaf worden de snelheid en het navigatiepad afgeleid uit het onderzoek (Verwilligen and Eloot, 2022b) , waarin ze werden bepaald op basis van AIS-gegevens voor de periode 01/10/2018 tot 01/01/2020. Voor de gevallen waarin er geen doorgang is van het geselecteerde type schip voor de jachthaven (RoRO Car carrier, Mark V), worden de eerste kilometers van het traject van hetzelfde schip dat de Vandammesluis verlaat in aanmerking genomen voor de simulaties en voor het fictieve schip NSZ. (Verwilligen and Eloot, 2022b) heeft een aantal vaarsnelheden voorgesteld (Figuur 4-13). Twee van die vaarsnelheden over navigatiepad direct voor de Visart sluis worden in deze studie gebruik: de maximum snelheid en de 90% kwantielsnelheid. Tabel4-2 geeft een overzicht van de verschillende scenario's en de reistijd van de schepen in elk scenario.

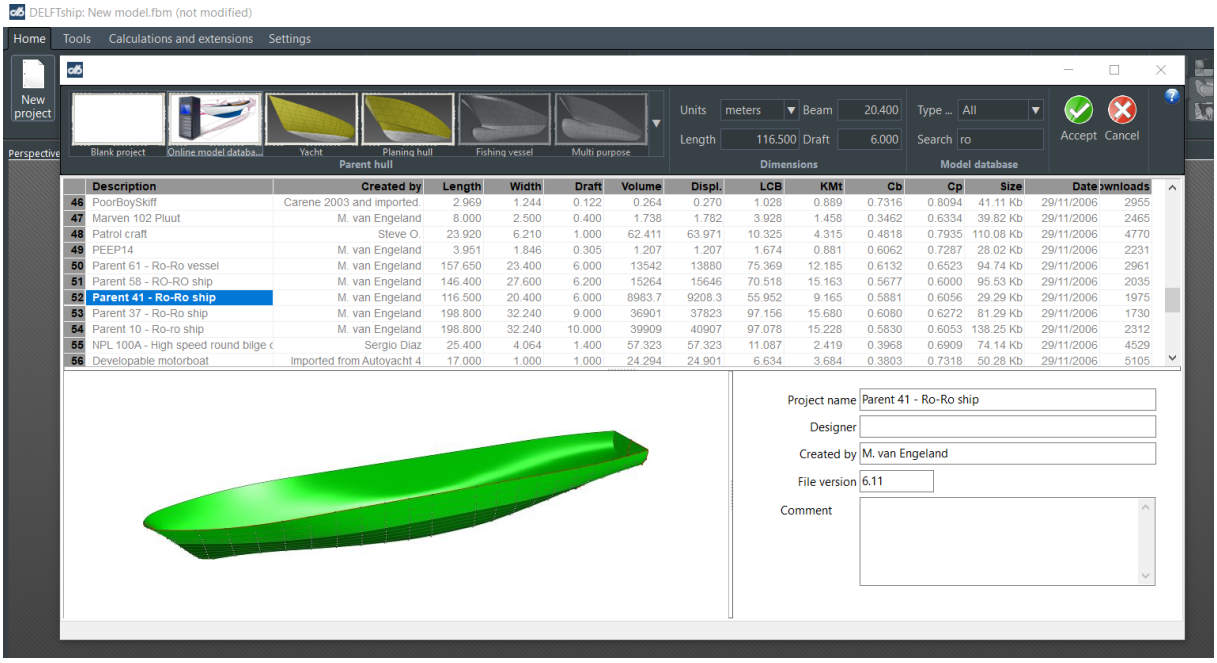
Tabel4-2 Overzicht gesimuleerde scenario's voor elk alternatief en de reistijd voor afvarende schepen om het einde van trajecten te bereiken.

Type schip	Scenario's	Reistijd [s]
RoRo carcarrier (gemiddeld)	Roro car – 90%	314
RoRo carcarrier (gemiddeld)	Roro car – Max	237
Sleepboot	Sleepboot – 90%	206
Sleepboot	Sleepboot – Max	146

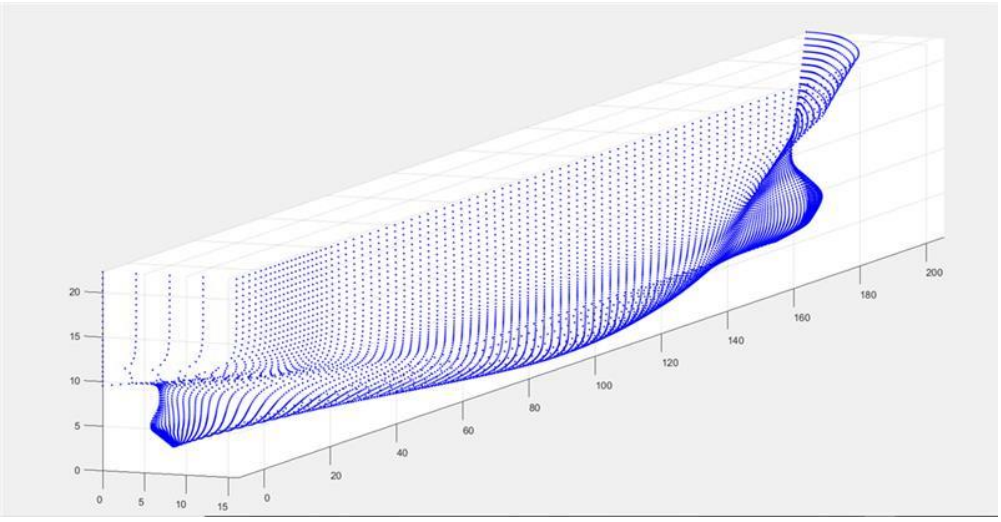
Odyssea (Mark V)	Mark V – Max	374
NSZ (CarCar_265_400)	NSZ – 90%	366
NSZ (CarCar_265_400)	NSZ – 21 uit*	504

*zie Figuur 4-13

Om de geometrie van de schepen in het XBeach model te kunnen implementeren is een 2-D model van het schip nodig, waarbij de diepgang van het schip op een 2D-raster wordt geprojecteerd. Om dit 2D model te maken zijn de schepen geconstrueerd met behulp van DELFTShip (Figuur 4-6), dat een grote databank heeft van schepen van verschillende types. Aangezien het model van het schip een 2D-model is, kunnen complexe vormen van de schepen, zoals in Figuur 4-7, niet altijd perfect worden gemodelleerd. Om deze reden is de geometrie van de schepen in de simulaties vereenvoudigd.

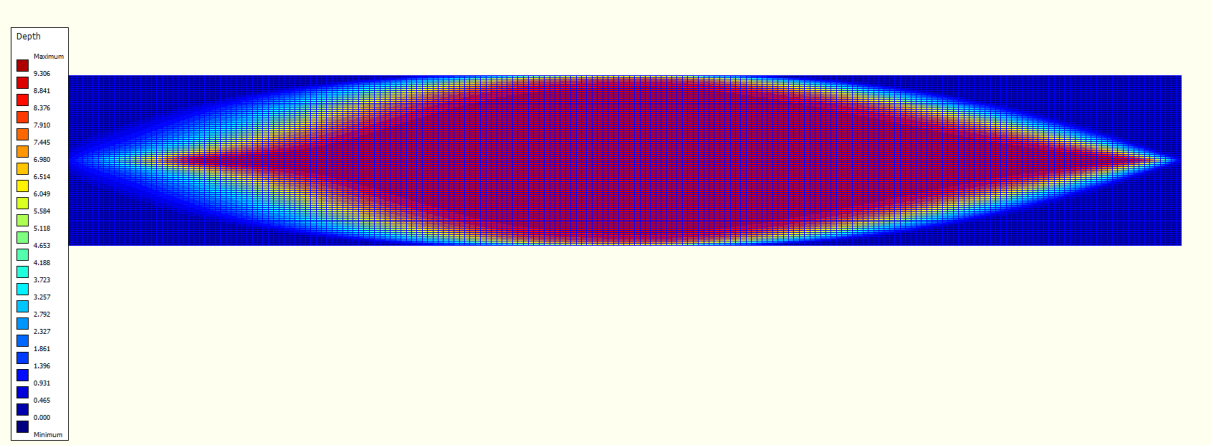


Figuur 4-6. Vorm van vooraf opgeslagen Ro-Ro schip in DelftShip (Parent 41 Ro-Ro schip)



Figuur 4-7. Een meer complex 3D-schip.

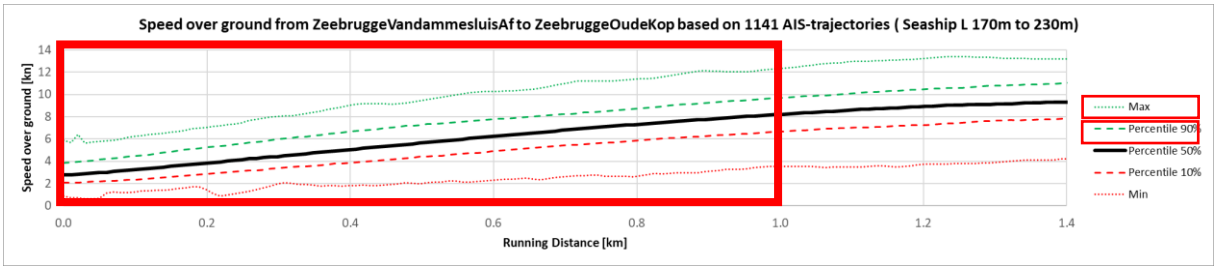
Voor elke scheepscategorie zijn de exacte lengte, volle belading en breedte in de software ingevoerd en is de vorm van het schip geëxporteerd en vervolgens geprojecteerd op een 2D-raster. Figuur 4-8, Figuur 4-10, Figuur 4-12 en Figuur 4-14 tonen de modellen die voor elk scheepstype gebouwd zijn. In Tabel 4-3, Tabel 4-4, Tabel 4-5 en Tabel 4-6 worden de bij de bouw van elk model gebruikte afmetingen en discretisatieparameters beschreven. Figuur 4-9, Figuur 4-11, Figuur 4-13 en Figuur 4-15 tonen de geselecteerde trajecten in verschillende modelscenario's.



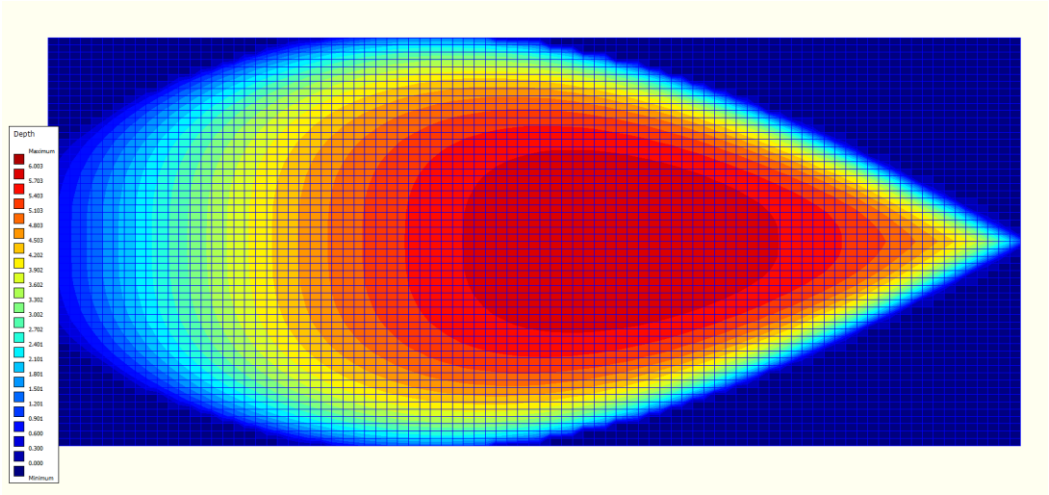
Figuur 4-8. Tweedimensionale modus van de gemiddelde roro car-carrier.

Tabel4-3 Dimensies en discretisatieparameters voor de gemiddelde roro car-carrier

Type schip	Dimensies (m)			Discretisatie van het schip			
	L [m]	B [m]	D [m]	Dx [m]	Dy [m]	Nx	Ny
RoRo carcarrier (gemiddeld)	200	32	9.3	1.0	0.4	213	81



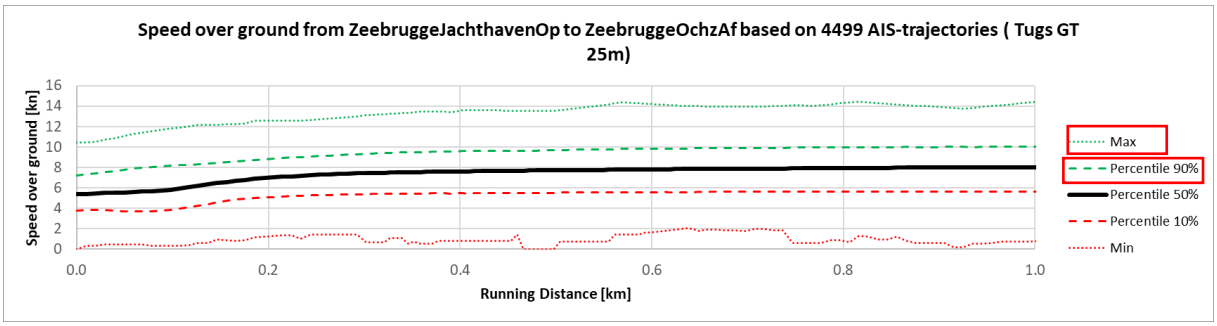
Figuur 4-9. Gesimuleerde snelheid voor de gemiddelde roro car-carrier. (Verwilligen and Eloot, 2022b) - de eerste rood gemarkeerde kilometer wordt gebruikt als snelheid over het fictieve pad voor het uitvaren van de nieuwe sluis.



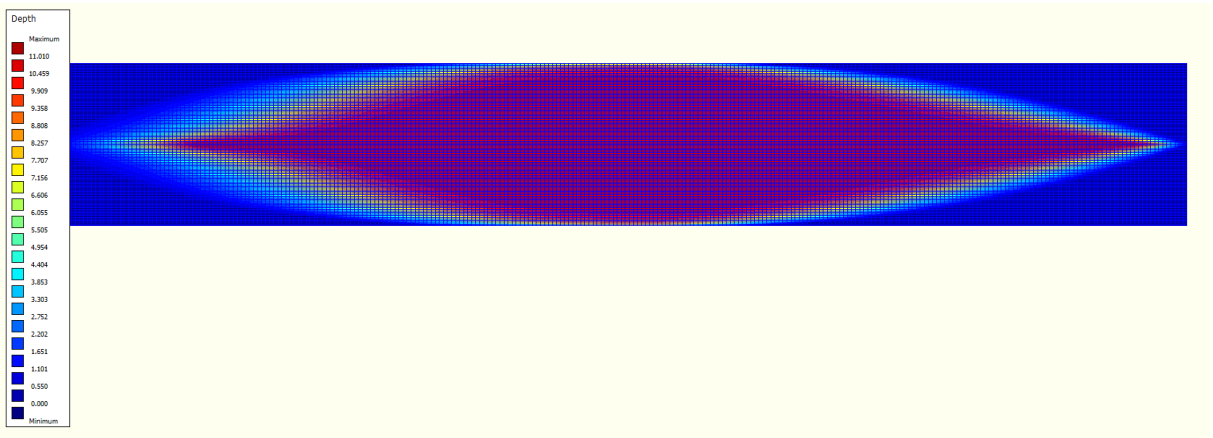
Figuur 4-10. Tweedimensionale modus van de sleepboot.

Tabel4-4 Dimensies en discretisatieparameters voor de sleepboot.

Type schip	Dimensies (m)			Discretisatie van het schip			
	L [m]	B [m]	D [m]	Dx [m]	Dy [m]	Nx	Ny
Sleepboot	28	13	6	0.3	0.2	90	57



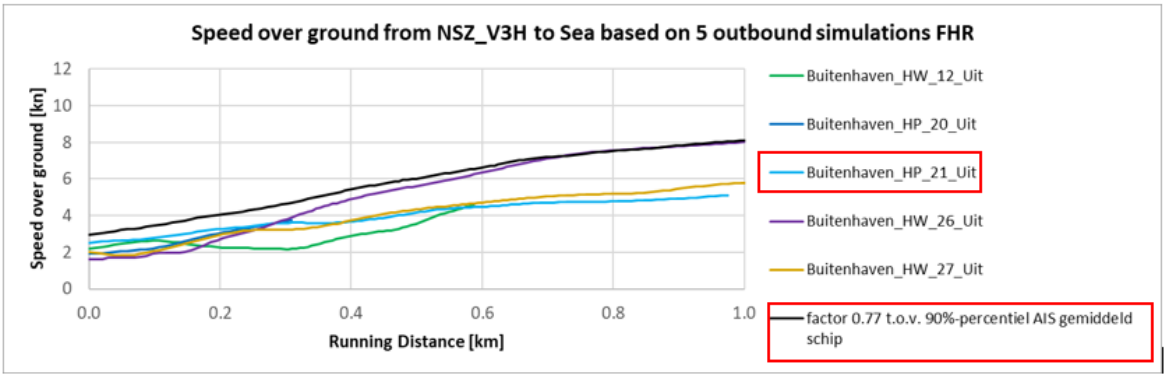
Figuur 4-11. Gesimuleerde snelheid voor de sleepboten. (Verwilligen and Eloot, 2022b)



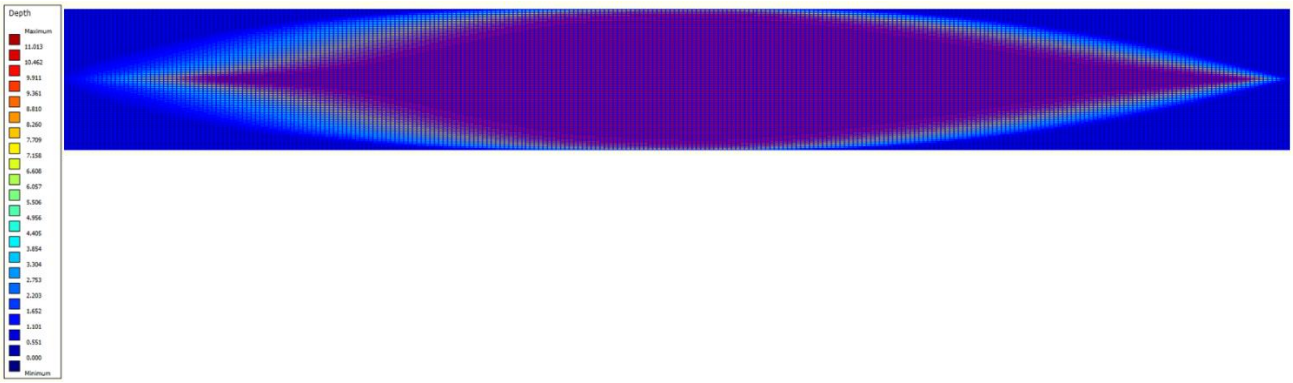
Figuur 4-12. Tweedimensionale modus van de NSZ (CarCar_265_400).

Tabel4-5 Dimensies en discretisatieparameters voor NSZ (CarCar_265_400).

Type schip	Dimensies (m)			Discretisatie van het schip			
	L [m]	B [m]	D [m]	Dx [m]	Dy [m]	Nx	Ny
RoRo carcarrier (NSZ)	265	40	11	1.0	0.4	282	101



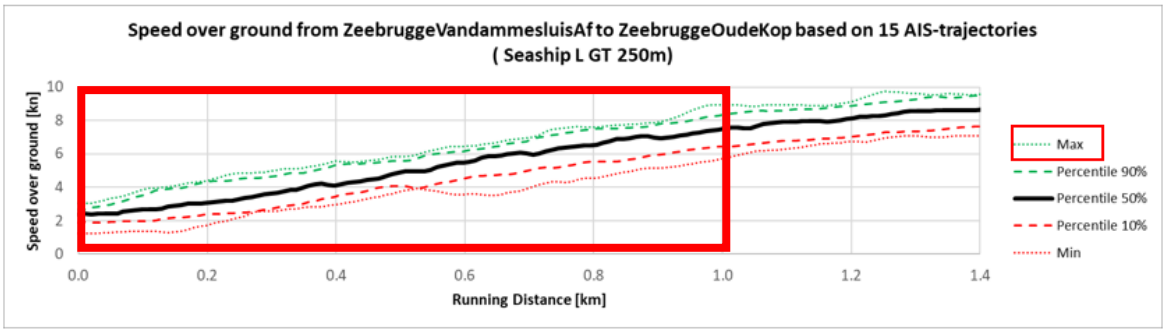
Figuur 4-13. Gesimuleerde snelheid voor de NSZ (CarCar_265_400). (Verwilligen and Eloot, 2022b)- de eerste rood gemarkeerde kilometer wordt gebruikt voor het uitvaren van de nieuwe Sluis



Figuur 4-14. Tweedimensionale modus van de roro car carrier- Odyssea (Mark V).

Tabel 4-6 Dimensies en discretisatieparameters voor Odyssea (Mark V).

Type schip	Dimensies (m)			Discretisatie van het schip			
	L [m]	B [m]	D [m]	Dx [m]	Dy [m]	Nx	Ny
RoRo carcarrier (Mark V)	265	32.2	11	1	0.4	213	69



Figuur 4-15. Gesimuleerde snelheid voor de Odyssea (Mark V). (Verwilligen and Eloot, 2022b) - de eerste rood gemarkeerde kilometer wordt gebruikt voor het uitvaren van de nieuwe Sluis

4.2.4 Aanvullende scenario's

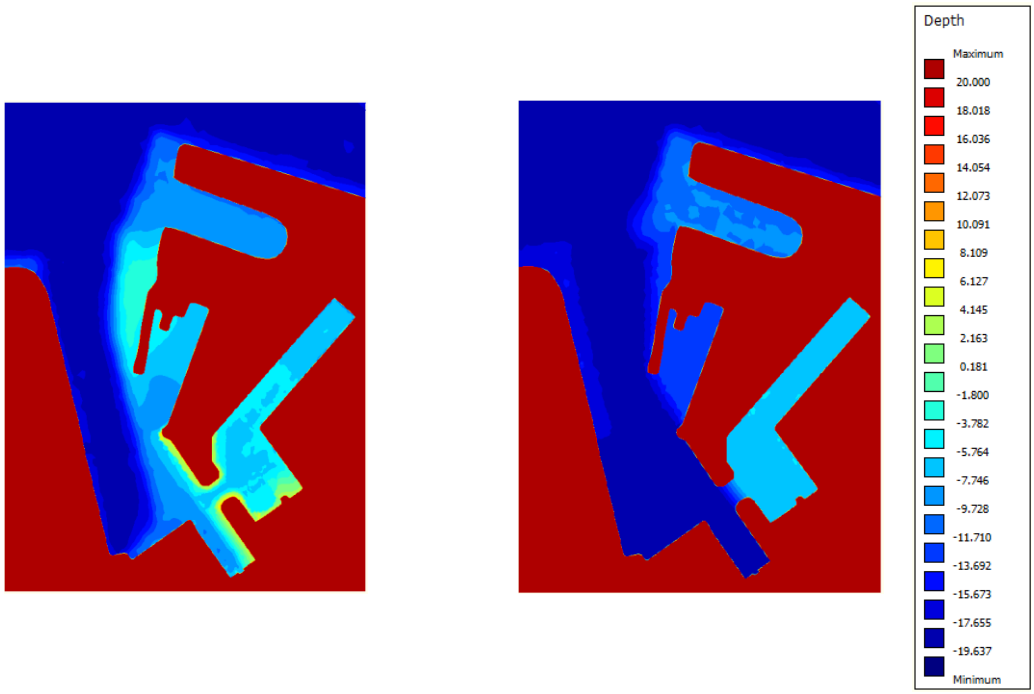
Na het uitvoeren van de eerste scenario's, kwamen een aantal vragen naar boven, namelijk:

1. Hoe verhouden de resultaten zich tot de huidige situatie?
2. Heeft de verandering van de bathymetrie (vb. de aanzienlijke toename van de waterdiepte) net voor de jachthaventoegang een significant effect op de voortplanting van de scheepsgolven in de jachthaven?
3. Wat is de maximaal toegestane snelheid van sleepboten vóór de jachthaventoegang om de maximale golfhoogte onder 0,4 m te houden (in relatie met toegestane reikwijdte significante golfhoogte met 10 jaar herhalingsperiode (zie Figuur 5-4))?
4. Wat is het verschil tussen de golf die door uitgaande sleepboten en de inkomende sleepboten wordt opgewekt ?

Om deze vragen te beantwoorden werden enkele aanvullende simulaties uitgevoerd, waarvan de resultaten in paragraaf 4.3.2 worden besproken.

4.2.4.1 Vergelijk huidige situatie

Om de **eerste vraag** te beantwoorden werd een nieuw model opgezet op basis van de huidige bathymetrie (Figuur 4-16, links). Om de vergelijking te maken werd het passeren van een sleepboot met maximale snelheid gesimuleerd (Figuur 4-11). Deze bathymetrie omvat de projectie van de hellingen van de dwarsdoorsnede van de ingang onder water op het 2x2-raster.



Figuur 4-16. Vergelijking bathymetrie, van de huidige situatie en de OP5g-badymetrie (toegepast op de huidige configuratie)

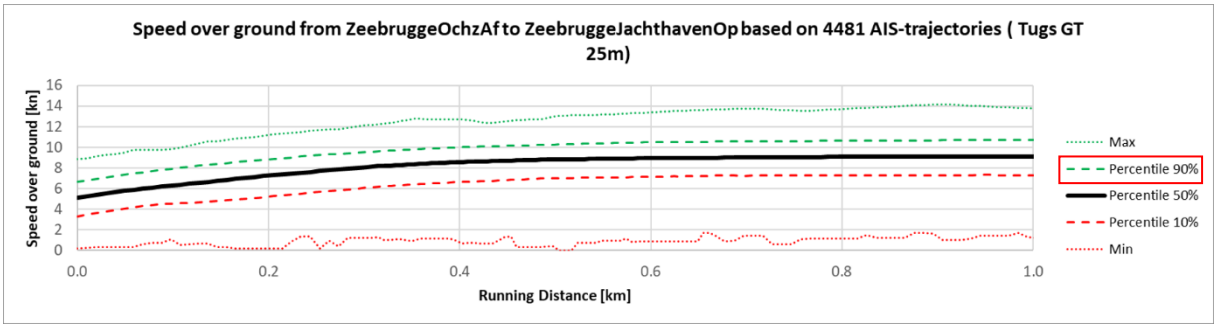
Om **vraag 2** te beantwoorden is een nieuw “alternatief” gebouwd. Dit nieuwe alternatief is de combinatie van de huidige lay-out met de nieuwe bathymetrie (Figuur 4-16, rechts). Voor dit nieuwe “alternatief” worden de simulaties herhaald, en worden de maximale golfhoogtes vergeleken met de oorspronkelijke alternatieven OP5f en OP5g.

4.2.4.2 Maximale toegestane snelheid

Voor het bepalen van de maximaal toegestane snelheid van sleepboten vóór de jachthaventoegang om de maximale golfhoogte in zone 1 onder 0,4 m te houden worden verschillende nieuwe simulaties uitgevoerd. Door de snelheid van sleepboten voor alternatief OP5g per simulatie geleidelijk te verlagen wordt middels een iteratief proces de aanvaardbare maximum snelheid gevonden. (Figuur 5-4).

4.2.4.3 Verschil in en uitgaande schepen

De **vierde vraag** wat betreft het verschil tussen in en uitvarende schepen wordt beantwoord door een nieuwe simulatie uit te voeren voor de komende sleepboot met een snelheidsprofiel van 90 kwantiel (Figuur 4-17). De resultaten van deze simulatie worden vervolgens vergeleken met de simulatieresultaten van een afvarende sleepboot (zie sectie 4.3.2).

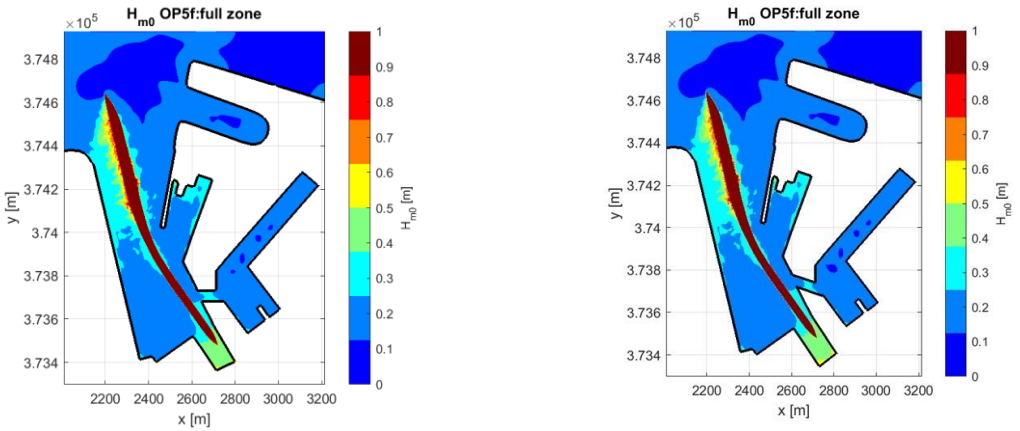


Figuur 4-17. Gesimuleerde snelheid voor de sleepboten die de sluis invaren. (Verwilligen and Eloot, 2022b)

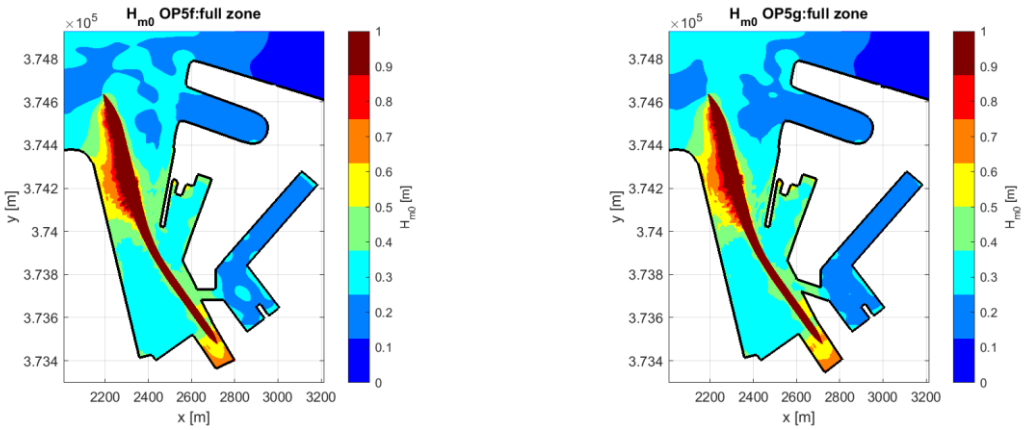
4.3 Resultaten modelsimulaties

4.3.1 Golfhoogte

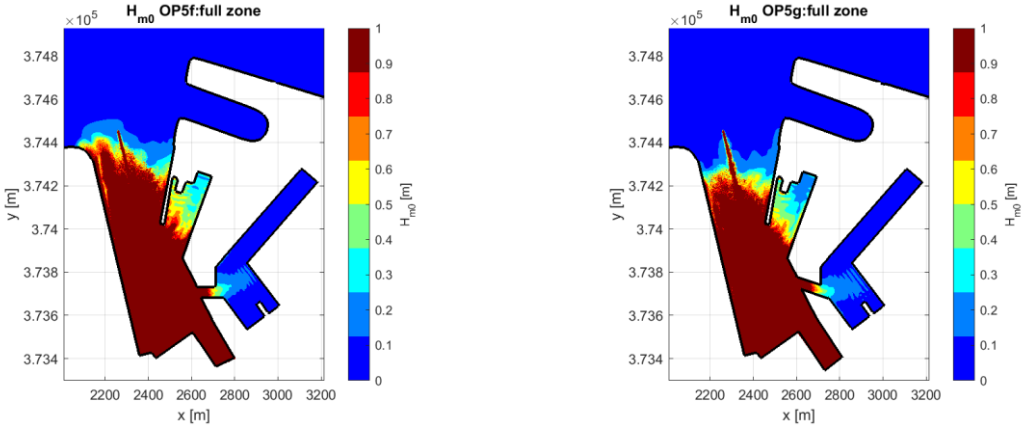
De door schepen veroorzaakte golfhoogten zijn verkregen door het volledige traject van het schip vanaf de sluiskolk tot het einde van het scheepstraject in beschouwing te nemen. Aangezien de scheepsgolven geen golfspectrum volgen, maar de beschikbare normen voor de rust in jachthavens gerelateerd zijn aan spectrale golfcondities, is voor de schatting van de significante golfhoogte als gevolg van het passeren van de jachthaven en de ingewikkelde geometrie, viermaal de vierkantswortel van de variantie van het waterpeil ($Hm0 = 4\sqrt{m_0}$) gebruikt. In totaal zijn in eerste instantie 7 scenario's en bekeken, en de gegenereerde golfhoogte is vergeleken in de volgende figuren (Figuur 4-18 t/m Figuur 4-24). Bij de revisie van de studie zijn hier nog twee aanvullende scenario's bij uitgevoerd, deze worden in de volgende paragraaf toegelicht.



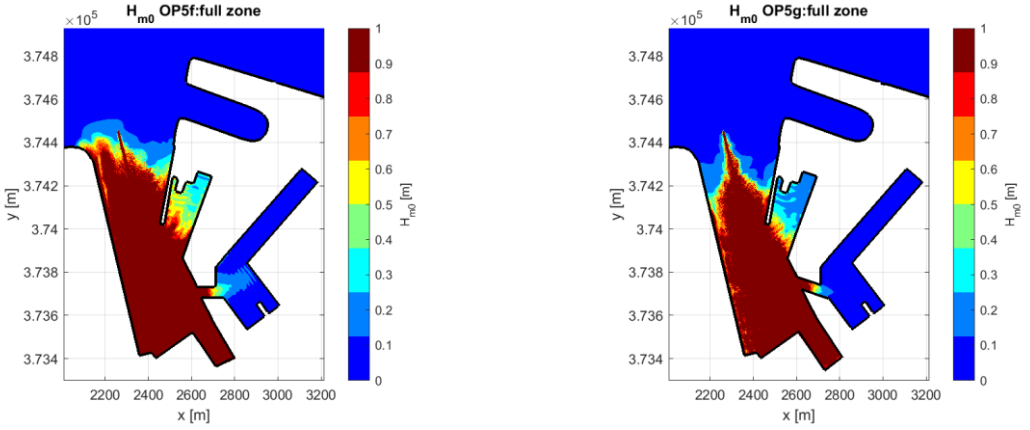
Figuur 4-18. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van Roro-carrier (gemiddelde grootte), 90% kwantielsnelheid. Links de resultaten voor OP5f en rechts die voor OP5g.



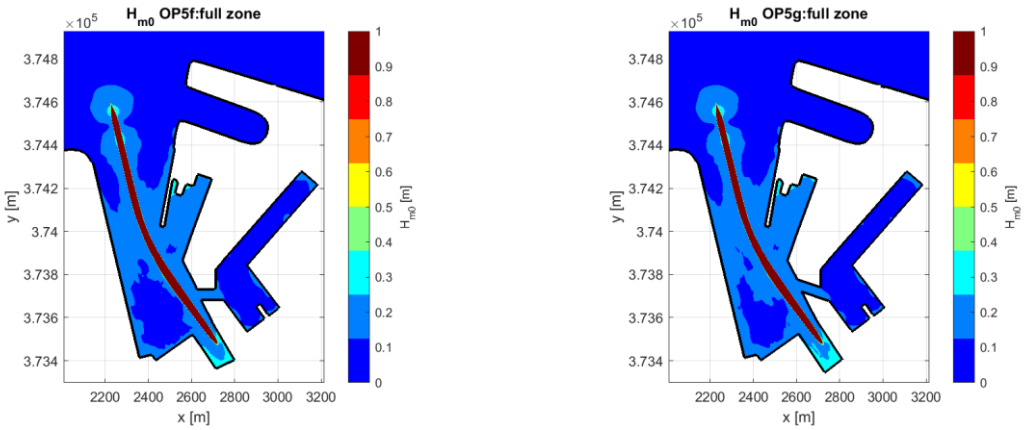
Figuur 4-19. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van Roro-carrier (gemiddelde grootte), maximumsnelheid. Links de resultaten voor OP5f en rechts voor OP5g.



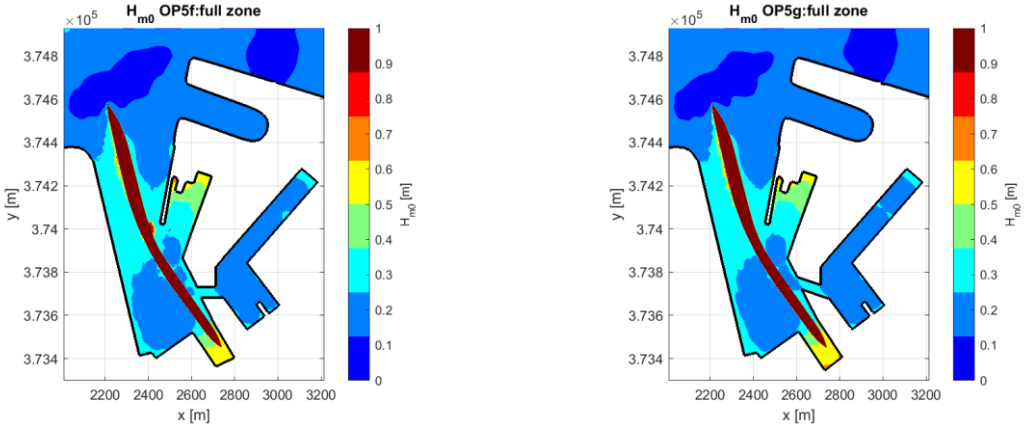
Figuur 4-20. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van sleepboten, 90% kwantielsnelheid. Links de resultaten voor OP5f en rechts die voor OP5g.



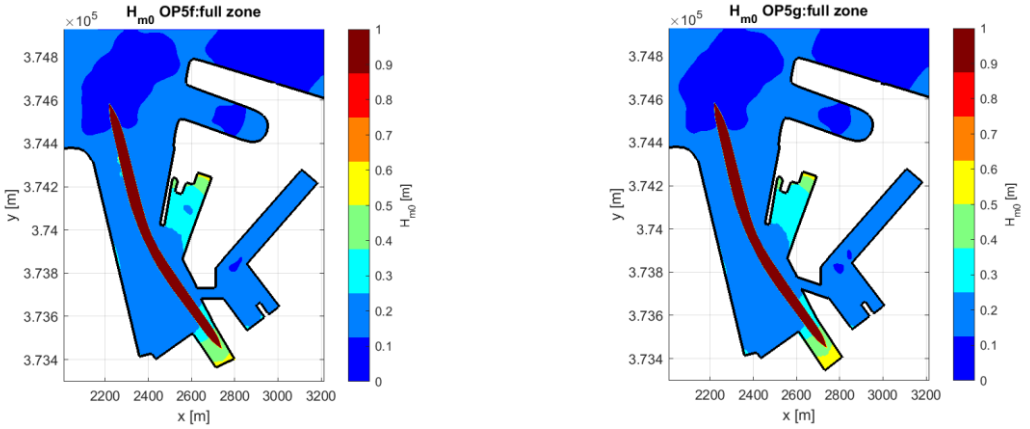
Figuur 4-21. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van sleepboten, maximumsnelheid. Links de resultaten voor OP5f en rechts die voor OP5g.



Figuur 4-22. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van Mark V, maximale snelheid. Links de resultaten voor OP5f en rechts die voor OP5g.

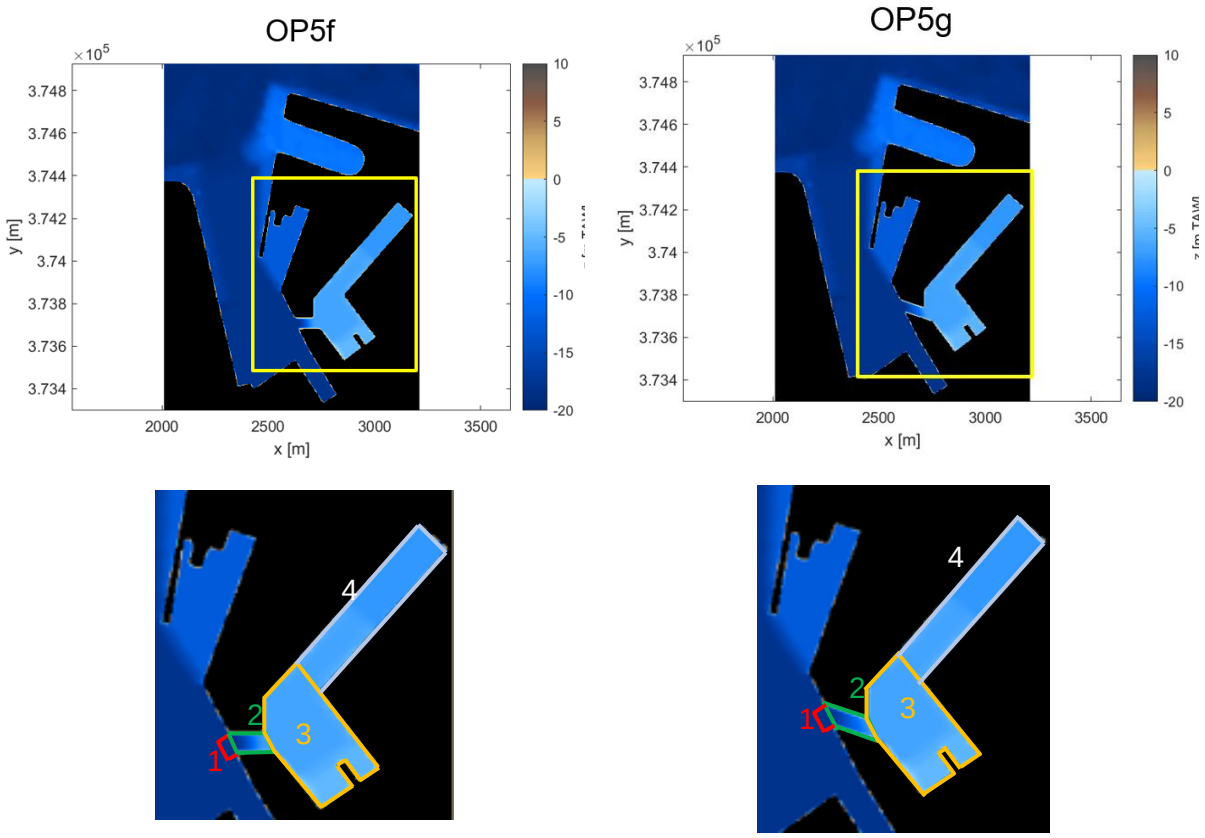


Figuur 4-23. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van NSZ, 90% snelheid. Links de resultaten voor OP5f en rechts die voor OP5g.



Figuur 4-24. Door het schip veroorzaakte significante golfhoogte: geval van NSZ, 21-uit. Links de resultaten voor OP5f en rechts die voor OP5g.

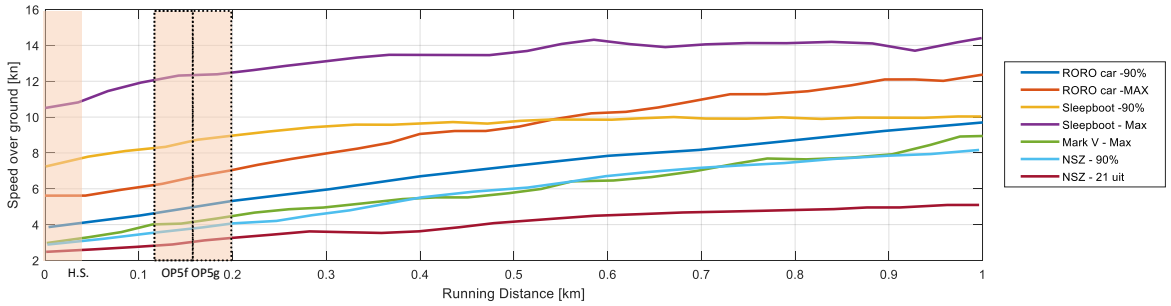
Voor een kwantitatieve vergelijking tussen de verschillende scenario's zijn de maximale golfhoogten binnen vier zones (Figuur 4-25) geëxtraheerd en onderling vergeleken. In Tabel 4-7 en Figuur 4-27 tot en met Figuur 4-30 wordt de maximale significante golfhoogte voor verschillende zones tussen de twee alternatieven voor verschillende scenario's vergeleken. En Figuur 4-26 toont alle gesimuleerde snelheid voor verschillende scenario's.



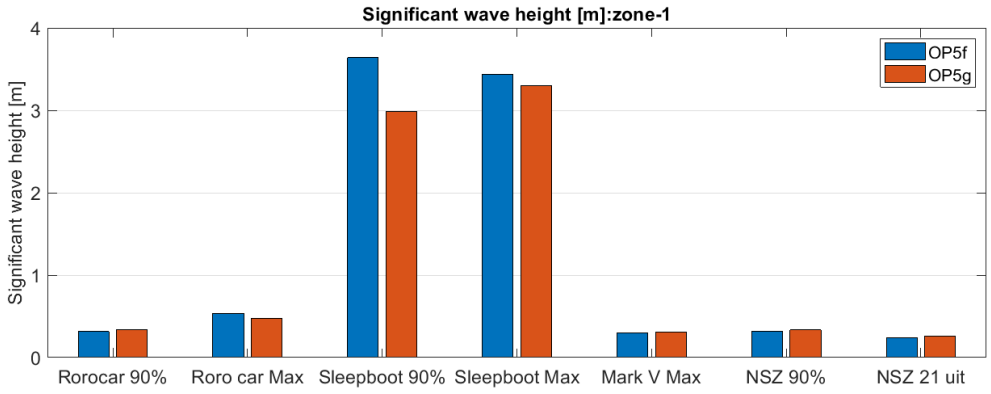
Figuur 4-25. Vier zones in en rond de jachthaven om de maximale golfhoogte te berekenen.

Tabel 4-7:Maximale significante golfhoogte in vier zones voor verschillende scenario's.

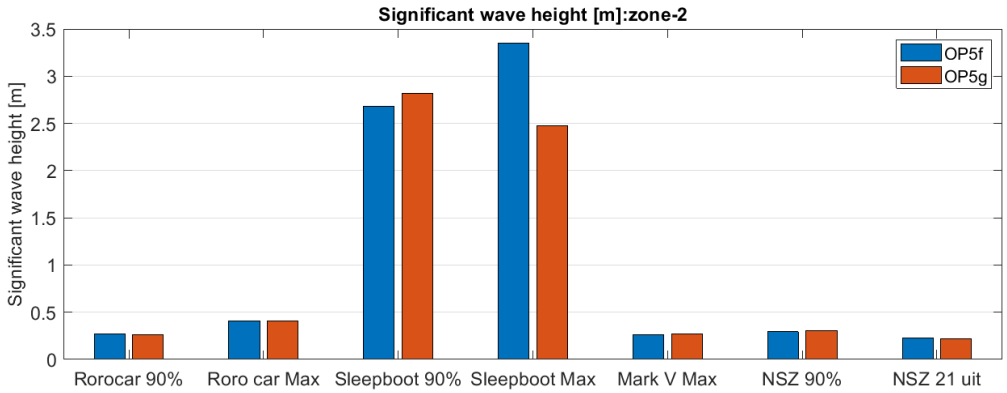
Scenario's	Zone 1 [m]		Zone 2 [m]		Zone 3 [m]		Zone 4 [m]	
	OP5f	OP5g	OP5f	OP5g	OP5f	OP5g	OP5f	OP5g
Roro car – 90%	0.31	0.34	0.27	0.26	0.42	0.41	0.24	0.22
Roro car – Max	0.54	0.47	0.41	0.41	0.56	0.53	0.28	0.25
Sleepboot – 90%	3.64	2.99	2.68	2.82	0.44	0.44	0.15	0.12
Sleepboot – Max	3.43	3.30	3.35	2.48	0.45	0.21	0.11	0.07
Mark V – Max	0.30	0.31	0.27	0.27	0.42	0.39	0.27	0.26
NSZ – 90%	0.32	0.33	0.29	0.31	0.46	0.43	0.31	0.29
NSZ – 21 uit	0.24	0.26	0.23	0.22	0.39	0.38	0.25	0.23



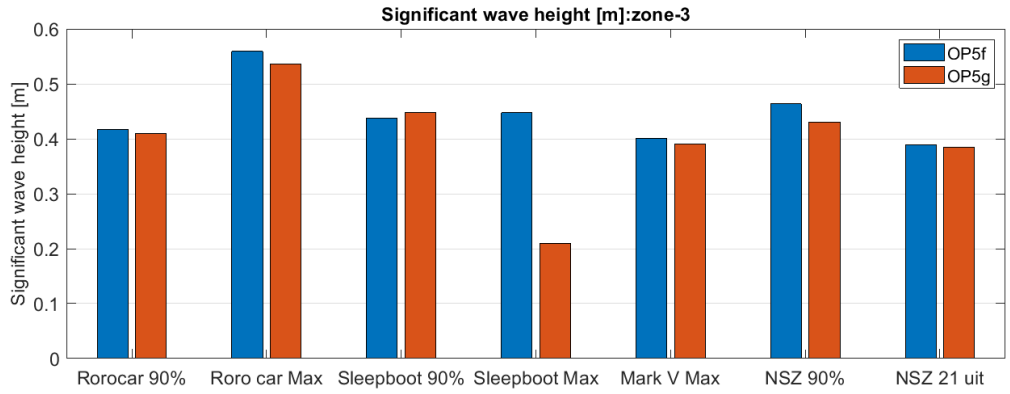
Figuur 4-26. Gesimuleerde snelheid voor verschillende scenario's en locatie van de toegang van elk alternatief



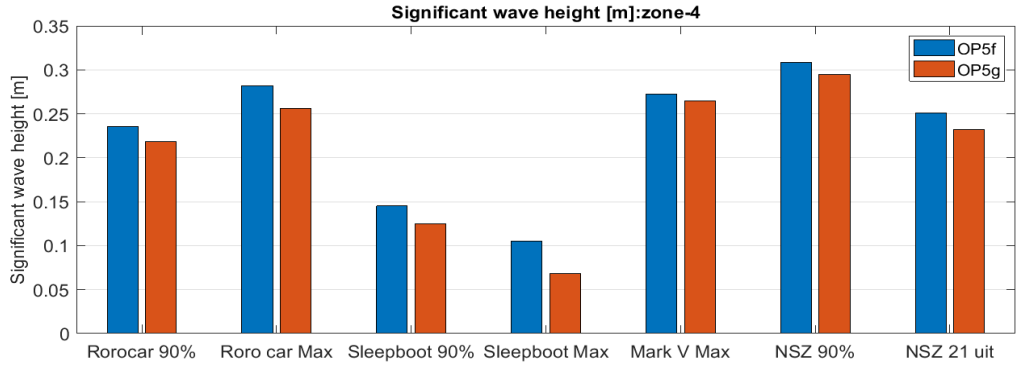
Figuur 4-27. Golfhoogtevergelijking tussen verschillende scenario's: zone 1.



Figuur 4-28. Golfhoogtevergelijking tussen verschillende scenario's: zone 2.



Figuur 4-29. Golfhoogtevergelijking tussen verschillende scenario's: zone 3.



Figuur 4-30. Golfhoogtevergelijking tussen verschillende scenario's: zone 4.

In deze studie wordt het XBeach-model gebruikt met vooraf gedefinieerde, geadviseerde parameters. Hoewel er een aantal waterstandsgegevens beschikbaar zijn in het havengebied en de bijbehorende AIS-gegevens kunnen worden verkregen, is het door de combinatie van wind, lokale golven en interactie tussen schepen zeer complex om de werkelijke veranderingen in het waterpeil als gevolg van één scheepsbeweging te extraheren. Daarom is het in deze studie gebruikte model niet gekalibreerd en hebben de resulterende waarden een bepaalde mate van onzekerheid. De resultaten geven echter een voldoende indicatie voor het vergelijken van alternatieven.

4.3.2 Aanvullende simulaties

In deze sectie worden de resultaten van de aanvullende simulaties beschreven.

4.3.2.1 Vergelijking huidige situatie

Zoals beschreven in sectie 4.2.4.1 wordt de lay-out en bathymetrie van de huidige situatie vergeleken met die van de alternatieven. De resulterende golfhoogten in verschillende zones zijn weergegeven in Tabel 4-8 en laten zien dat in de huidige situatie de maximale golfhoogte in zone 1 (2,0 m) veel lager is dan in beide alternatieven (3,43 m en 3,30 uit tabel 4-7). Dit verschil suggereert dat de verandering in de bathymetrie voor de jachthaventoegang en de bouw van verticale wanden een significante invloed kan hebben op de golfvoortplanting.

Zoals weergegeven in Tabel 4-8 is, gegeven het gesimuleerde navigatiepad van de sleepboot en de gesimuleerde geometrie, de maximale golfhoogte in het scenario waarbij de nieuwe bathymetrie wordt toegepast in de huidige lay-out vergelijkbaar met de maximale golfhoogten die worden gevonden in alternatieven OP5f en OP5g. Er kan dus worden geconcludeerd dat de verandering in de

bathymetrie belangrijker is voor de golfhoogte bij de jachthaven dan de locatie van de toegangsgeul. Zoals eerder besproken moet worden opgemerkt dat de reflectie van de kademuren een van de belangrijkste processen is die de ongunstige toestand veroorzaken en dat alleen het vergroten van de diepte het hoofdprobleem niet zal oplossen.

Tabel 4-8 Vergelijking van de maximale significante golfhoogte bij elke zone voor twee gevallen van huidige configuratie.

Zones	Huidige bathymetrie [m]	Huidige lay-out nieuwe bathymetrie [m]
Zone 1	2.00	3.71
Zone 2	0.52	2.84
Zone 3	0.24	0.91
Zone 4	0.06	0.29

4.3.2.2 Maximale toegestane snelheid

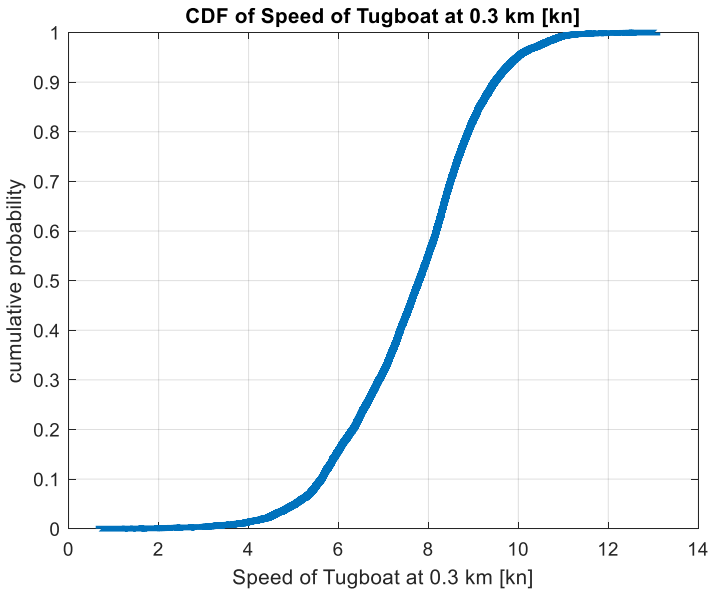
De maximum snelheid voor sleepboten is middels een iteratief proces bepaald. Hiertoe werden een aantal nieuwe simulaties uitgevoerd door de snelheid van sleepboten voor alternatief OP5g geleidelijk te verlagen. Geconcludeerd werd dat om de golfhoogte in zone 1 binnen het aanvaardbare bereik te houden, de maximumsnelheid van de sleepboot bij het passeren van de ingang van de jachthaven (op 0,3 km van het traject) niet meer dan 8 knopen mag bedragen. In Tabel 4-9 worden de resultaten van deze nieuwe simulaties vergeleken met de simulatie waarin de sleepboten met de maximumsnelheid varen.

Tabel4-9 Maximale significante golfhoogte in elke zone voor verschillende maximumsnelheden van sleepboten.

Tests (OP5g)	z1 [m]	z2 [m]	z3[m]	z4 [m]
Sleepboot – max snelheid = 13.2 kn @0.3 km	3.29	2.47	0.2	0.04
Sleepboot – max 10 kn @ 0.3 km	2.91	2.3	0.21	0.04
Sleepboot – max 9 kn @ 0.3 km	1.89	1.73	0.18	0.03
Sleepboot – max 8 kn @ 0.3 km	0.40	0.16	0.05	0.01
Sleepboot – max 7 kn @ 0.3 km	0.34	0.14	0.05	0.01

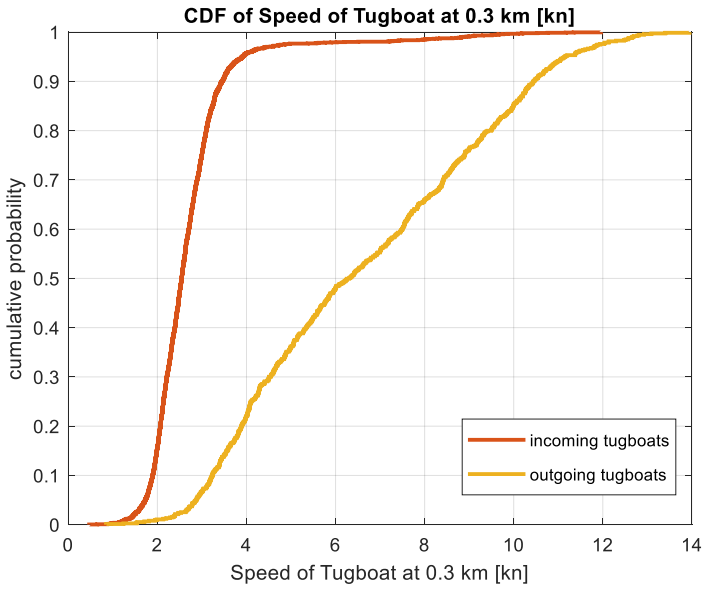
Om een idee te krijgen van de frequentie waarmee sleepboten sneller dan 8 knopen op 0,3 km afstand varen, is een statistische analyse van de beschikbare gegevens uitgevoerd. De door Verwilligen, J. en Eloot, K., 2022 geanalyseerde AIS-gegevens omvatten 8980 passages van sleepboten in 457 dagen (4499 uitgaande en 4481 inkomende). Figuur 4-31 toont de cumulatieve verdelingsfunctie (CDF) van de snelheid van sleepboten die de 0,3 km-markering passeren (voor de ingang van de jachthaven in

het OP5g-alternatief). De CDF geeft aan dat in 45% van de trajecten sleepboten de ingang van de jachthaven in het OP5g-alternatief passeren met een snelheid van meer dan 8 knopen, en dus (gemiddeld 9 keer per dag).



Figuur 4-31. Cumulatieve verdelingsfunctie (CDF) van de snelheid van sleepboten die de 0,3 km-markering passeren (voor de ingang van de jachthaven in alternatief OP5g)

Aangezien in de huidige situatie de meeste sleepboten vrij voor de jachthaven varen, is dezelfde analyse gemaakt voor de beschikbare data voor de sleepboten die de Vandamme Sluis bedienen. In de beschikbare gegevens is het aantal gegevens voor inkomende en uitgaande sleepboten zeer verschillend en zijn er 2318 inkomende en 749 uitgaande sleepboten in 457 dagen (gegevens zijn exclusief de sleepboten die in de haven varen). Onderstaande figuur toont de CDF van de snelheid van sleepboten op 0,3 km van de Van Dammesluis voor beschikbare gegevens voor inkomende en uitgaande sleepboten.



Figuur 4-32. Cumulatieve verdelingsfunctie (CFD) van de snelheid van sleepboten die de 0,3 km-markering passeren Voor Van Damme Sluis

Het is duidelijk dat de snelheid van de uitgaande sleepboten (die meestal vrij varen) hoger ligt dan die van de binnenkomende sleepboten, hetgeen ook het geval zou moeten zijn wanneer de nieuwe sluis operationeel is.

Op basis van deze gegevens heeft slechts 2% van de inkomende sleepboten een snelheid van meer dan 8 knopen en 34% van de uitgaande sleepboten.

Om in de praktijk een besluit te nemen over de toepassing van een snelheidsbeperking voor sleepboten moeten de onzekerheden van de in dit hoofdstuk besproken modelresultaten worden opgelost door kalibratie of moet de snelheidsbeperking worden toegepast op basis van een meetcampagne waarin de snelheid van de sleepboot en de waterstandsschommelingen worden geregistreerd.

4.3.2.3 Verschil in en uitgaande schepen

De golfhoogtes als resultaat van een afvarende en invarende sleepboot worden vergeleken in Tabel 4-10. De resultaten tussen beide simulaties komen sterk overeen. In de meeste zones resulteert de afvarende sleepboot in een hogere maximale golfhoogte, wat dus als representatief kan worden gezien. Alleen in zone 2 geeft een inkomende sleepboot een grotere maximale golfhoogte. Echter, gezien het kleine verschil en de onzekerheden van het model voor kleine snelle schepen kan er worden gesteld dat de belangrijkste conclusies niet veranderen.

Tabel4-10 Maximale significante golfhoogte in elke zone voor een sluis afvarende en invarende sleepboot.

Tests (OP5g)	z1 [m]	z2 [m]	z3[m]	z4 [m]
Afvarende Sleepboot – 90%	3.63	2.68	0.44	0.15
sluisinvarende Sleepboot – 90%	3.40	2.95	0.32	0.12

4.4 Discussie en conclusie

Om de resultaten in dit hoofdstuk te bespreken worden eerst de aannames en beperkingen van de studie opgesomd:

1. Het model kan voor deze studie niet worden gekalibreerd.
2. Aangenomen wordt dat het model met de standaardwaarden die in andere studies zijn gekalibreerd, ook in dit geval redelijke resultaten zal opleveren.
3. De resultaten van de scheepsgolven zijn gebaseerd op één traject (Figuur 4-1) van het geselecteerde schip.
4. Het XBeach-model is niet eerder gebruikt voor snel bewegende kleine schepen zoals sleepboten. Deze gevallen bevinden zich op de grens van de toepasbaarheid van het model.
5. Alle kademuren worden als volledig reflecterend beschouwd.

Gezien de bovengenoemde onzekerheden en aannames lijken de resultaten van de scheepsgolven voor grote schepen dicht bij de werkelijkheid te liggen, maar de resultaten voor snelle (kleine) sleepboten zijn overschat en kennen een grotere mate van onzekerheid. Zoals bijvoorbeeld blijkt uit tabel (4-7) wordt de significante golfhoogte geraamd op meer dan 2,5 m en tot 3,6 m voor de zones 1 en 2 voor de scenario's (Sleepboot - 90% en Sleepboot - max). Hoewel de snelheid van de sleepboten in deze scenario's hoog is, wordt een dergelijke hoge golfhoogte niet verwacht of ervaren. Ook de ontwikkeling van de resulterende significante golfhoogte in verschillende zones is niet vergelijkbaar voor Sleepboot - 90% en Sleepboot - max. (de significante golfhoogte voor Sleepboot - max in zone 3 is het dubbele voor OP5f in vergelijking met OP5g, terwijl deze waarden dezelfde zijn voor Sleepboot - 90%). Het is ook vermeldenswaardig dat, zoals blijkt uit Figuur 4-20 en Figuur 4-21, de snelheid van de door de hogesnelheidssleepboten opgewekte golven veel hoger is dan in andere scenario's. Dit resulteert in een snellere weerkaatsing van de kademuren en daarmee in een hogere mate van interactie tussen inkomende en weerkaatsende golven. Anderzijds worden de kademuren als volledig reflecterend beschouwd, zodat de resulterende golven, die de combinatie zijn van inkomende en gereflecteerde golven, voor alle schepen waarschijnlijk overschat worden ten opzichte van de werkelijkheid. Daarom is het van belang vooral de relatieve resultaten en tendensen in de resultaten in aanmerking te nemen en niet alleen de exacte waarden voor zeeschepen.

Ondanks de onzekerheid van de resultaten is het duidelijk dat de golven die door verschillende zeeschepen worden gegenereerd, zelfs wanneer ze met maximale snelheid of 90% van de maximale snelheid passeren, geen grote verstoringen in de jachthaven veroorzaken (de maximale gesimuleerde significante golfhoogte in de jachthaven is 0,56 m in zone 3 van scenario Roro car - Max, wat binnen het bereik van aanvaardbare waarden ligt voor een terugkeerperiode van 10 jaar (Figuur 5-4)). Als een dergelijk scenario zich naar verwachting vaak zal voordoen, moet daarom een maximumsnelheid worden vastgesteld. Het grootste probleem doet zich voor wanneer de sleepboten met hoge snelheid de ingang van de jachthaven passeren, vooral in zones 1 en 2 van de jachthaven, in dit geval is een snelheidslimiet hoogstwaarschijnlijk nodig.

Opgemerkt moet worden dat door gebrek aan kalibratie de werkelijke waarden van de golfhoogte gegenereerd door een voorbijvarend schip gepaard gaan met enige onzekerheid, desalniettemin zijn de resultaten nuttig nuttig voor het vergelijken van alternatieven.

Over het geheel genomen blijkt uit de modeloefening dat binnen de jachthaven de grootste golven worden veroorzaakt door snel bewegende zeeschepen en dat in de toegangsgeul en in de waterweg de grootste golven worden veroorzaakt door snel bewegende sleepboten.

5 Modellering lokale golven

In de laatste stap van deze studie wordt de invloed van door de wind veroorzaakte golven binnen de haven van Zeebrugge op de jachthaven onderzocht. Daartoe wordt een SWAN-model opgesteld voor het havengebied voor twee alternatieven en de huidige situatie. Het model wordt aangedreven door wind vanuit verschillende richtingen en voor verschillende terugkeerperiodes van 1, 25 en 100 jaar in stationaire modus.

5.1 Model beschrijving

SWAN is een golfmodel van de derde generatie voor het verkrijgen van realistische ramingen van golfparameters in kustgebieden, meren en estuaria op basis van gegeven wind-, bodem- en stromingsomstandigheden. Het model is gebaseerd op de golfslagbalansvergelijking met bronnen en verliezen. Het SWAN-model is ontwikkeld door de Universiteit van Delft, Nederland.

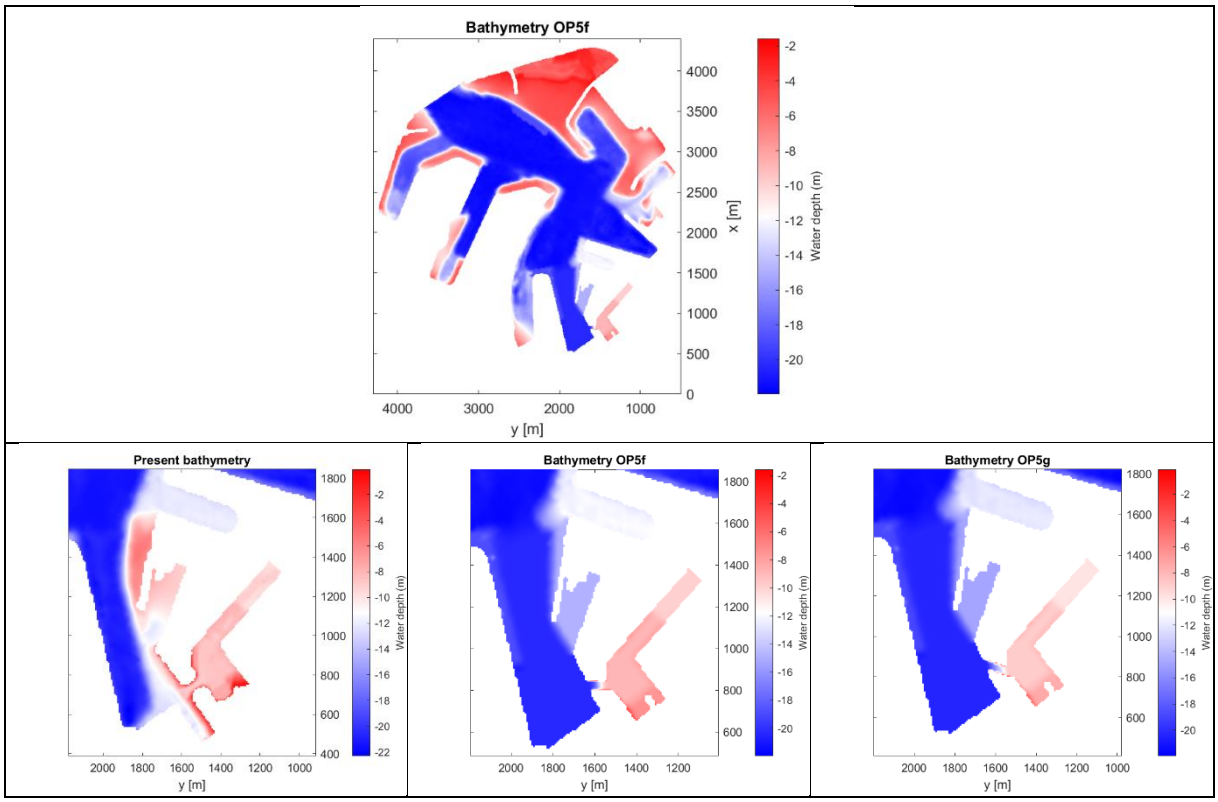
SWAN houdt rekening met de volgende fysica:

- Golfpropagatie in tijd en ruimte, golfslag, breking door stroming en diepte, frequentieverschuiving door stroming en niet-stationaire diepte.
- Golfopwekking door wind.
- Interacties tussen drie en vier golven.
- Whitecapping, bodemwrijving en door diepte veroorzaakte golfbreking.
- Demping door vegetatie.
- Golfopzet.
- Golfvoortplanting van laboratorium- tot wereldschaal.
- Transmissie door en reflectie tegen obstakels.
- Diffractie.

5.2 Modelopstelling en randvoorwaarden

5.2.1 Bathymetrie

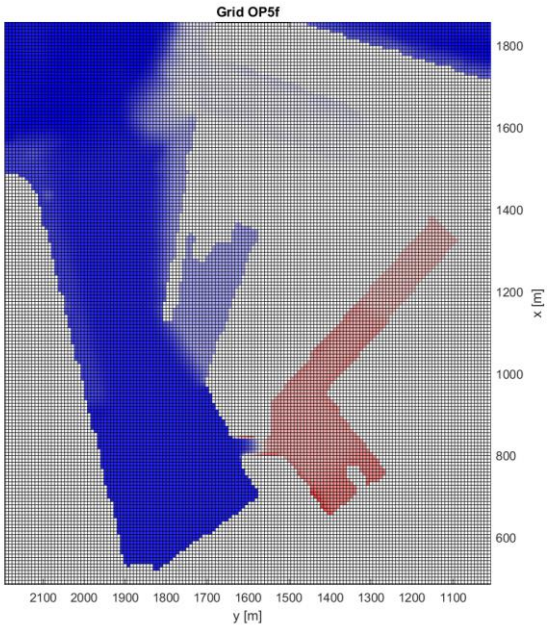
De bathymetrie voor de drie beschouwde gevallen (huidige situatie, alternatief OP5f en alternatief OP5g) is zeer vergelijkbaar en verschilt alleen in de nabijheid van de jachthaven (Figuur 5-1). De bathymetrie is vergelijkbaar met de vorige (XBeach) modellen, maar geprojecteerd op een ander raster.



Figuur 5-1. Bathymetrie in de nabijheid van het model geïmplementeerd in SWAN (Top : hele haven in alternativeOP5g, linksonder : huidige situatie, bodem-Midden : OP5f, rechtsonder : OP5g)

5.2.2 Rekenrooster

Het rekenrooster is een uniform rechthoekig rooster met een ruimtelijke resolutie van 8 m, zoals te zien is in Figuur 5-2 als voorbeeld voor OP5f.



Figuur 5-2. Detailweergave van het rekenrooster geïmplementeerd in SWAN-model voor alternatieve OP5f.

5.2.3 Randvoorwaarden / scenario's

Er is gekozen voor drie stormcondities: een jaarlijkse storm, een storm met een 25-jarige terugkeerperiode en een storm met een 100-jarige terugkeerperiode. De waterstand voor de stormen is overgenomen uit "Het Hydraulisch Randvoorwaardenboek (2020)", gepubliceerd door het Waterbouwkundig Laboratorium, voor sectie 217 die overeenkomt met Zeebrugge. De windsnelheid horend bij dergelijke stormcondities werd ontleend aan bijlage B.2 "Marginale statistiek op diep water" van hetzelfde rapport, voor een stormduur van 120 minuten. Tabel 5-1 geeft een overzicht van de windsnelheid voor verschillende condities.

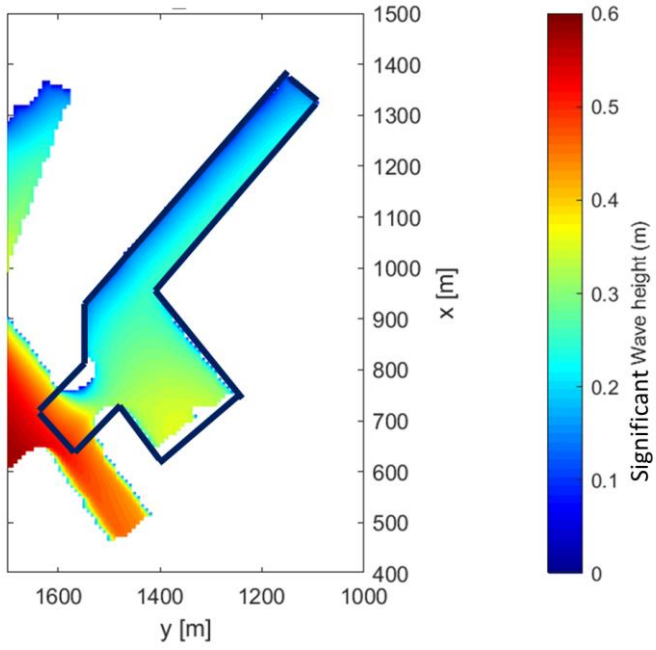
Tabel5-1 Randvoorwaarden windsnelheden.

Terugkeer-periode	Water-stand	Wind-snelheid (m/s) NW (-45°)	Wind-snelheid (m/s) NNW (-22.5°)	Wind-snelheid (m/s) N (0°)	Wind-snelheid (m/s) NNE (22.5°)	Wind-snelheid (m/s) NE (45°)
1	2.30 TAW	17	18	15	14	15
25	6.13 TAW	22	21	22	18.5	20.5
100	6.41 TAW	24	23	24	20.5	23

5.3 Resultaten en discussie

De maximale significante golfhoogte in de jachthaven voor elke terugkeerperiode, elk alternatief en elke windrichting wordt in Tabel5-2 gepresenteerd.

Als voorbeeld worden de resultaten van de simulatie voor één van de gevallen, namelijk de huidige toestand met wind met een terugkeerperiode van 100 jaar vanuit het noorden, getoond in Figuur 5-3. In deze figuur is het gebied dat is gebruikt om de maximumwaarde te vinden ook gemarkeerd.

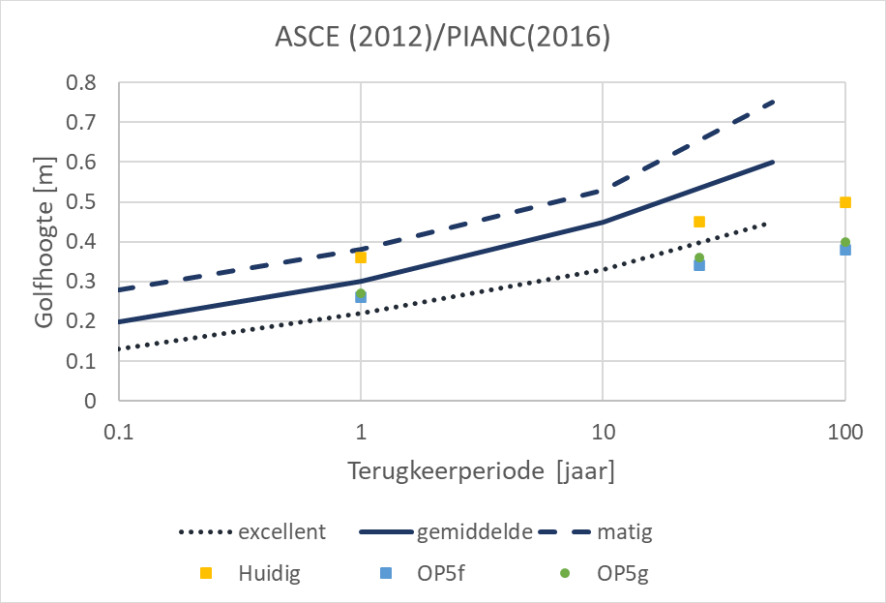


Figuur 5-3. Gesimuleerde significante golfhoogte voor de huidige situatie met wind met een terugkeerperiode van 100 jaar vanuit het noorden

Tabel5-2 De maximale significante golfhoogte [m] in de jachthaven voor elke terugkeerperiode en elk alternatief en elke windrichting.

Dir. N°	Huidig			OP5F			OP5G		
	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP	RP
	1	25	100	1	25	100	1	25	100
-45	0.31	0.43	0.46	0.24	0.34	0.38	0.25	0.36	0.4
-22.5	0.36	0.43	0.45	0.26	0.33	0.37	0.27	0.33	0.37
0	0.26	0.45	0.5	0.2	0.34	0.38	0.2	0.34	0.38
22.5	0.2	0.31	0.36	0.19	0.28	0.32	0.19	0.27	0.31
45	0.21	0.33	0.38	0.21	0.33	0.38	0.21	0.31	0.36

De maximale significante golfhoogte in de jachthaven voor elke terugkeerperiode en elk alternatief wordt in Figuur 5-4 vergeleken met de voorgestelde waarden van de ASCE (2012). Het is duidelijk dat de golfhoogte in de jachthaven voor verschillende terugkeerperioden binnen of onder het toegestane bereik ligt en dat er geen significant verschil is tussen de twee alternatieven. De huidige situatie lijkt ook binnen de toegestane marge te liggen, maar is slechter dan de voorgestelde alternatieven.



Figuur 5-4. Vergelijking van de maximale significante golfhoogte in de jachthaven met de voorgestelde waarden voor verschillende omstandigheden.

6 Discussie en conclusie

Dit rapport heeft twee verschillende alternatieven bestudeerd voor de nieuwe ingang van de jachthaven in de haven van Zeebrugge, die nodig is wanneer de nieuwe sluis in de haven wordt gebouwd. Deze twee alternatieven (OP5g en OP5f) worden getoond in Figuur 2-4 en zijn ontwikkeld op basis van de beschikbare richtlijnen voor het ontwerpen van (kleine) havens en jachthavens en in overleg met de jachthavengebruikers en andere disciplines die betrokken zijn bij het ontwerp van de nieuwe sluis.

Voor de twee nieuwe alternatieven zijn vervolgens de volgende criteria geanalyseerd:

- De hydrodynamische toestand rond de ingang van de jachthaven,
- Door zeeschepen gegenereerde golven ter hoogte van de jachthaventoegang,
- Golven die worden gegenereerd door wind in de haven tijdens de storm.

6.1 Hydrodynamische toestand

Een Telemac-model werd gebruikt voor het simuleren van de stroming in en rond de ingang van de jachthaven voor zowel de alternatieven als de huidige situatie, tijdens springtij en doodtij. In het algemeen zijn de huidige snelheden in het ingangskanaal en eromheen minder dan 10 cm/sec en in beide alternatieven zijn de stroomsnelheden lager dan de huidige toestand. De oriëntatie van de aslijn van de jachthaven toegangsgeul, en daarmee de uitstroomhoek van het water tijdens vloed, van alternatief OP5g staat ten opzichte van diezelfde lijn in OP5f minder loodrecht op de navigatielijn van de zeeschepen. Vanuit hydrodynamisch oogpunt is OP5g daarom een beter alternatief. (Zie punt 0 voor meer informatie)

6.2 Kalmte van de jachthaven m.b.t. scheepsgolven

Voor de golven gegenereerd door het zeegaande schip werd een nieuw ontwikkeld model (XBeach-NH) gebruikt om deze golven in de bestaande complexe geometrie van de haven te simuleren en de penetratie van deze golven in het bassin te simuleren. Dit model, als een niet-hydrostatisch model, lost alle kleine veranderingen van waterstand op als gevolg van golfactie en omvat daarom de interactie van inkomende en gereflecteerde golven van de (kade)muren. Het XBeach-NH model is in de literatuur gevalideerd, maar in deze studie is kalibratie van het model niet mogelijk. In het algemeen lijkt het erop dat de resulterende golfhoogten van het model voor kleine schepen (bijv. sleepboten) die snel varen, overschat kunnen worden. Het wordt ten zeerste aanbevolen om een waterstandsmeting dicht bij de ingang van de jachthaven te installeren om voldoende gegevens te verzamelen voor de kalibratie van het model. Deze gegevensverzameling zal nog veel belangrijker zijn mocht het nodig zijn een snelheidsbeperking op te leggen voor de vrijvarende sleepboten in de omgeving van de jachthaven (zie punt 0).

Hoewel er enige verschillen zijn in golfhoogte in verschillende zones van de jachthaven tussen alternatieven OP5f en OP5g en gezien de onzekerheden in de resultaten, kunnen de resultaten voor beide alternatieven m.b.t. de kalmte van het bassin als vergelijkbaar worden beschouwd. (zie punt 0).

Aangezien de (totale) golfhoogten, die worden gegenereerd door passerende sleepboten en na contact met reflecterende wanden en gecompliceerde geometrie, hoog worden geacht, kunnen er enkele suggesties worden gedaan die bij het verdere ontwerp van de nieuwe lay-outs in overweging kunnen worden genomen om de golfhoogte te verminderen. Bijvoorbeeld, het aanbrengen van een helling met ruwe bekleding op de kades ten noorden van de ingang van de jachthaven en de zijwanden van het toegangskanaal.

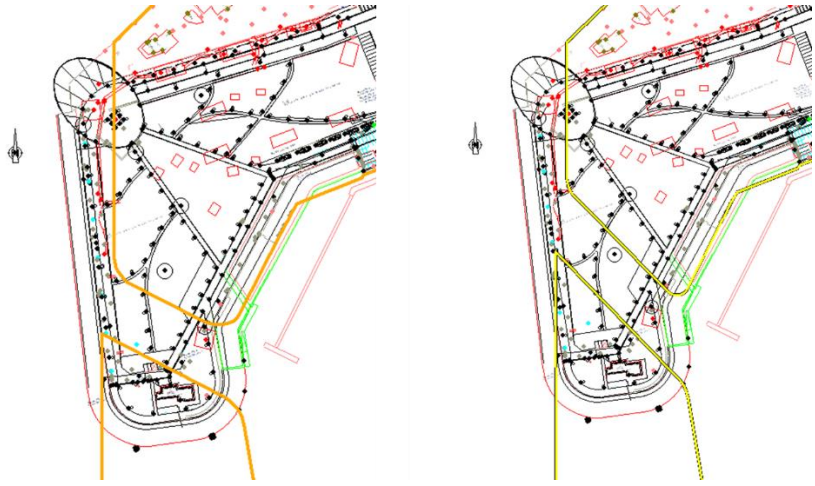
6.3 Kalmte van de jachthaven m.b.t. windgolven

De resultaten van simulaties tonen aan dat beide alternatieven even goed presteren om een rustig bassin voor de jachthaven te creëren tijdens stormen die uit verschillende richtingen komen met een terugkeerperiode tot 100 jaar.

6.4 Overige criteria

Behalve de 3 bovengenoemde criteria zijn er nog andere criteria waarmee rekening moet worden gehouden bij de keuze voor de definitieve ligging van de ingang van de jachthaven, deze criteria zijn de volgende:

1. **Effect op de stormmuren**: De veiligheidslijn voor overstromingen loopt rond de jachthaven van Zeebrugge en er is al een nieuw ontwerp opgemaakt voor de stormmuren. Er werd geconcludeerd dat de wijziging van de haventoegang volgens variant OP5g geen nadelige invloed heeft op de randvoorwaarden voor het ontwerp van de stormmuren rond de jachthaven (Vanneste *et al.*, 2022).
2. **Bouwkosten**: Bouwkosten zijn ook een criterium bij het kiezen tussen de alternatieven. Uit een eerste schatting van de bouwkosten door SBE blijkt de kost voor OP5f is 7,8 M Euro en voor Op5g is 9,6 M Euro.
3. **Effect op de bestaande bunkers**: Er zijn enkele bunkers in de buurt van de jachthaven van Zeebrugge en uiteindelijk zal de verplaatsing van de ingang de verwijdering van enkele bunkers noodzakelijk maken. Figuur 6-1 toont de locatie van bunkers in vergelijking met de lay-out van beide alternatieven. Zoals duidelijk is op de figuur, en rekening houdend met de ruimte rondom die nodig is voor de constructie, is er geen verschil tussen de alternatieven voor dit criterium.



Figuur 6-1. De locatie van bunkers in vergelijking met de lay-out van beide alternatieven : links (OP5f) en rechts (Op5g)

Rekening houdend met alle criteria wordt alternatief OP5g gekozen als basis voor de volgende stappen van het ontwerp.

7 Referenties

AS 3962—2001 (2001), Guidelines for design of marinas, Australian Standard PP 61.

ASCE American Society of civil engineers (2012). Planning and design guidelines for Small Craft Harbors. american society of Civil Engineers;ASCE.

Björn Almström, Dano Roelvink, & Magnus Larson (2021). Predicting ship waves in sheltered waterways – An application of XBeach to the Stockholm Archipelago, Sweden. *Coastal Engineering*, 170, doi: doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.104026.

Consortium Arcadis - Tractebel (2020). Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge. Complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Projectonderzoeksnota.

IMDC (2015a). LNG Terminal Zeebrugge. LNG Zeebrugge. I/RA/16083/15.195/JRS.

IMDC (2015b). Analyse impact havenuitbreiding Zeebrugge op onderhoudsbaggerwerken vaargeulen Noordzee en voorhaven Zeebrugge - Leveren van ondersteunend numeriek scenario-onderzoek. Synthese-rapport. I/RA/11401/14.270/VBA.

IMDC (2021a). Modellering hydrodynamica en sediment. I/RA/14288/21.120/NSM/.

IMDC (2021b). Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge- Hydrodynamische input voor de nuatische studie. I/RA/14288/21.040/ABA/ABO.

PIANC (2014). Harbour Approach Channels Design Guidelines, Report no.121.

Roelvink D., Reniers A., van Dongeren A., van Thiel de Vries J., McCall R. & Lescinski J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coast. Eng.*, 56(11–12), 1133–1152, doi: https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006.

Schwarzenegger A., Chrisman M. & Tsuneyoshi R. (2005). Guidelines for Marina Berthing Facilities: Layout & Design.

Vanneste D., Verwaest T. & Peeters P. (2022). WL Rapporten. Nieuwe Sluis Zeebrugge: Impact nieuwe toegang Jachthaven op ontwerp overstromingsmaatregelen. Waterbouwkundig Laboratorium, 22_078_1.

Verwilligen J. & Eloot K. (2022a). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge: Deelrapport 4 – Simulatiestudie Zuidelijke Verschuiving 2021-2022. Versie 6.0. WL Rapporten, 20_011_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. WL Rapporten, 20_011_4.

Verwilligen J. & Eloot K. (2022b). Nieuwe Sluis Zeebrugge: nautische aspecten Sub-rapport 3 - Passeercondities scheepvaart jachthaven in functie van scheepsgolven. coneptversieWL2022R20_011_03lll.



Vlaanderen
is wetenschap

20_011_2
WL rapporten

Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 2
Impact passerende vaart op Vismijn: Huidige condities

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 2 – Impact passerende vaart op Vismijn: Huidige condities

Verwilligen; J.; Eloot, K.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

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 2022
D/2022/3241/210

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen; J.; Eloot, K. (2022). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge: Deelrapport 2 – Impact passerende vaart op Vismijn: Huidige condities. Versie 4.0. WL Rapporten, 20_011_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2022R20_011_2
Trefwoorden (3-5):	AIS, Vismijn, Zeebrugge		
Kennisdomeinen:	Havens en waterwegen > Golfopwekking door schepen > Invloed op afgemeerde schepen > In situ metingen		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verwilligen, J.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Eloot, K.	Getekend door:Katrien Eloot (Signature) Getekend op:2023-01-03 11:29:28 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed Katrien Eloot
Projectleider:	Verwilligen, J.	Getekend door:Jeroen Verwilligen (Signa Getekend op:2023-01-03 11:40:25 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed Jeroen Verwilligen

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, A.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sig Getekend op:2023-01-03 11:26:42 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed Abdelkarim Bellafkih

Abstract

Om in de huidige condities de hinder van passerende vaart aan de Vismijn te bepalen, werd in 2021 een analyse van de scheepspassages en bodemsecties van het Boudewijnkanaal ter hoogte van de Vismijn uitgevoerd.

De analyse van de huidige scheepspassages werd gebaseerd op een AIS-analyse voor de periode oktober 2018 tot december 2019. De analyse van vaarwegsecties was gebaseerd op de meest recente peilingen ontvangen van de Vlaamse Hydrografie.

De resultaten van de analyse werd vergeleken met golfslagmetingen te Terneuzen. Hieruit bleek dat na realisatie van de Nieuwe Sluis Zeebrugge te locatie Visart, de belangrijkste waterstandsschommelingen verwacht worden van snelvarende sleepboten of binnenvaart. Deze scheepstypes blijken ook op vandaag reeds de Visartsluis aan te lopen en de Vismijn te passeren (weliswaar met lage frequentie).

Er werd besloten om een vervolgonderzoek op te starten in de vorm van een dynamische afmeerstudie van de vissersboten afgemeerd aan de Vismijn bij passage van de maatgevende zeevaart voor de Nieuwe Sluis.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VI
Lijst van de figuren VII
1 Situering 1
2 Vaarsnelheden uit AIS-analyse 2
2.1 Methode 2
2.2 Resultaten per scheepsklasse 3
2.2.1 Alle scheepvaart 3
2.2.2 Schepen langer dan 50 m 4
2.2.3 Sleepboten 5
2.2.4 Baggerschepen 7
2.3 Samenvatting 10
3 Vaarwegsecties Boudewijnkanaal 11
4 Metingen waterstandsschommelingen Terneuzen 14
4.1 Meetcampagne Terneuzen 14
4.2 Resultaten relevant voor Vismijn te Zeebrugge 15
4.2.1 Scheepvaart naar de Westsluis 15
4.2.2 Scheepvaart rechtstreeks langs sensor 3 16
5 Conclusie 18
Referenties 19

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Samenvattende tabel maximale vaarsnelheden per scheepstype op passagelijn ZeebruggeVismijnOp 10

Lijst van de figuren

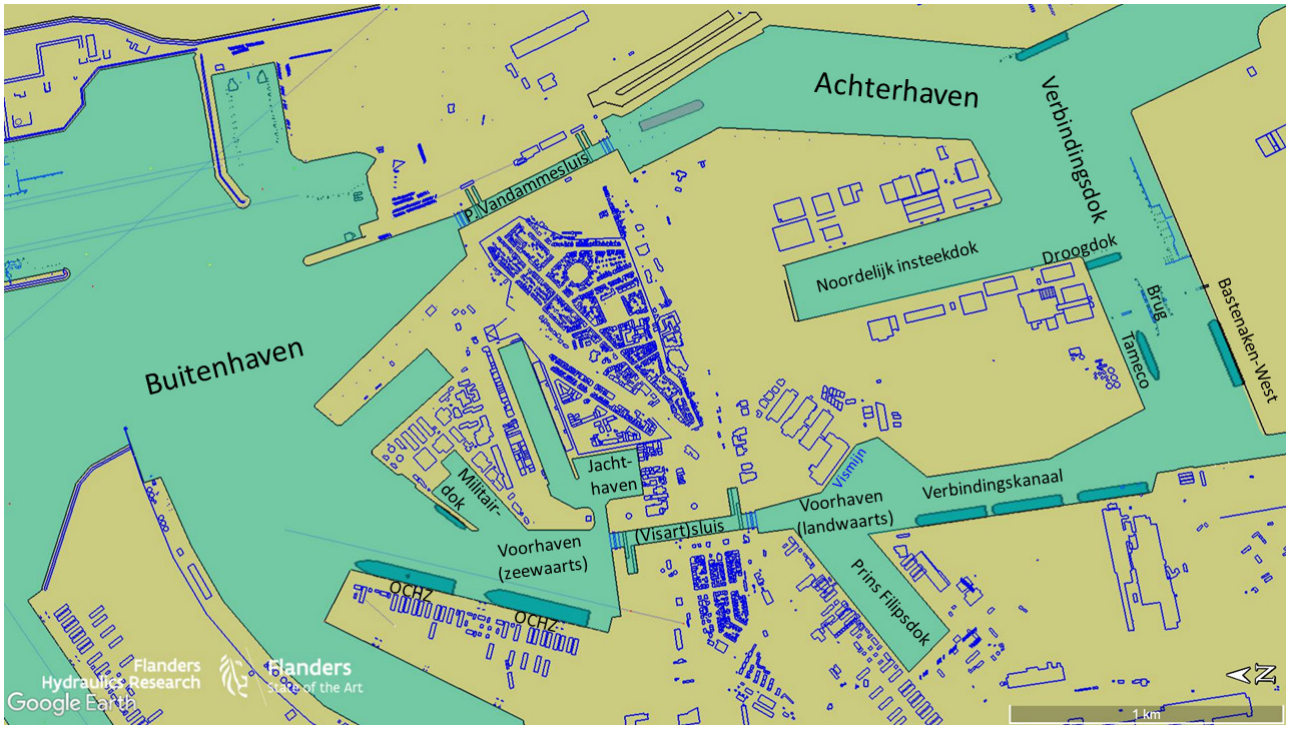
Figuur 1 – Overzichtsplan Zeebrugge met indicatief ontwerp Visart voor Nieuwe Sluis Zeebrugge 1
Figuur 2 – Verkeersbeeld in detailzone Visart zoals bekomen voor 01/10/2018 2
Figuur 3 – Passagelijnen voor definitie AIS-schepen en weergave referentiebaan met km-aanduiding..... 3
Figuur 4 – Ruwe data vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp..... 4
Figuur 5 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (schepen langer dan 50 m) 4
Figuur 6 – Verkeersbeeld scheepspassage binnenvaartschip (81 m x 9.5 m) aan vaarsnelheid 11.0 kn (plotinterval 60 s) 5
Figuur 7 – Verkeersbeeld scheepspassage binnenvaartschip (85 m x 9.5 m) aan vaarsnelheid 10.0 kn (plotinterval 60 s) 5
Figuur 8 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (sleepboten)..... 6
Figuur 9 – Verkeersbeeld scheepspassage klein sleepvaartuig (15 m x 5 m) aan vaarsnelheid 10.4 kn (plotinterval 60 s) 6
Figuur 10 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (sleepboten langer dan 20 m)..... 6
Figuur 11 – Verkeersbeeld scheepspassage groot sleepvaartuig (L>30 m) aan vaarsnelheid 8.6 kn (plotinterval 60 s) 7
Figuur 12 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (baggervaartuigen) 7
Figuur 13 – Verkeersbeeld scheepspassage klein baggervaartuig (L 65 m) aan vaarsnelheid 7.9 kn (plotinterval 60 s) 8
Figuur 14 – Verkeersbeeld scheepspassage middelgroot baggervaartuig (L 90 m) aan vaarsnelheid 7.6 kn (plotinterval 60 s) 8
Figuur 15 – Verkeersbeeld scheepspassage groot baggervaartuig (L 117 m) aan vaarsnelheid naar zuiden 5.8 kn (plotinterval 60 s)..... 9
Figuur 16 – Verkeersbeeld scheepspassage groot baggervaartuig (L 117 m) aan vaarsnelheid naar noorden 3.5 kn (plotinterval 60 s)..... 9
Figuur 17 – Evolutie vaarwegsectie langsheen referentiebaan 12
Figuur 18 – Evolutie waterdiepte langsheen referentiebaan bij dokpeil +3.4 m TAW 12
Figuur 19 – Dwarssecties op zes locaties langsheen referentiebaan bij dokpeil +3.4 m TAW..... 12
Figuur 20 – Weergave referentiebaan voor vaarwegsecties met aanduiding van baanafstanden 13
Figuur 21 – Positie van twee karakteristieke secties..... 13
Figuur 22 – Diepteprofiel voor twee karakteristieke secties bij dokpeil +3.4 m TAW 13
Figuur 23 – Positie van de druksensoren uitgezet in studiegebied..... 14
Figuur 24 – Projectgebied Terneuzen..... 15
Figuur 25 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid sleepboot naar Westsluis 16
Figuur 26 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid van de passerende scheepvaart 17
Figuur 27 – Scheepgolven te sensor 3 (rood) en 2 (groen) door binnenschip (90 m x 10 kmm) aan 9.5 kn .. 17

1 Situering

Op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) onderzoekt het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de nautische optimalisatie van de voorkeurslocatie 'Visart' vastgelegd door de Vlaamse Regering voor Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) (Vlaamse Overheid, 2019).

In de marge van dit simulatieonderzoek werd WL ook gevraagd om advies te geven in verband met enkele andere nautische aspecten van het project. Eén daarvan betreft de hinder van passerende scheepvaart op de operaties in de Vismijn te Zeebrugge (zie Figuur 1).

De nautische expertise van WL concentreert zich op het manoeuvreergedrag van schepen, waarbij de hinder van schip op omgeving buiten de scope van het nautische onderzoek valt. Desalniettemin werd door WL een eerste inschatting gemaakt van de huidige condities van scheepspassages ter hoogte van de Vismijn en werden deze gerelateerd aan de waterschommelingsmetingen die in 2018 uitgevoerd werden te Terneuzen (Verwilligen *et al.*, 2019).



Figuur 1 – Overzichtsplan Zeebrugge met indicatief ontwerp Visart voor Nieuwe Sluis Zeebrugge

2 Vaarsnelheden uit AIS-analyse

Een AIS-analyse werd uitgevoerd om de maatgevende scheepspassages aan de Vismijn te identificeren in de huidige situatie.

2.1 Methode

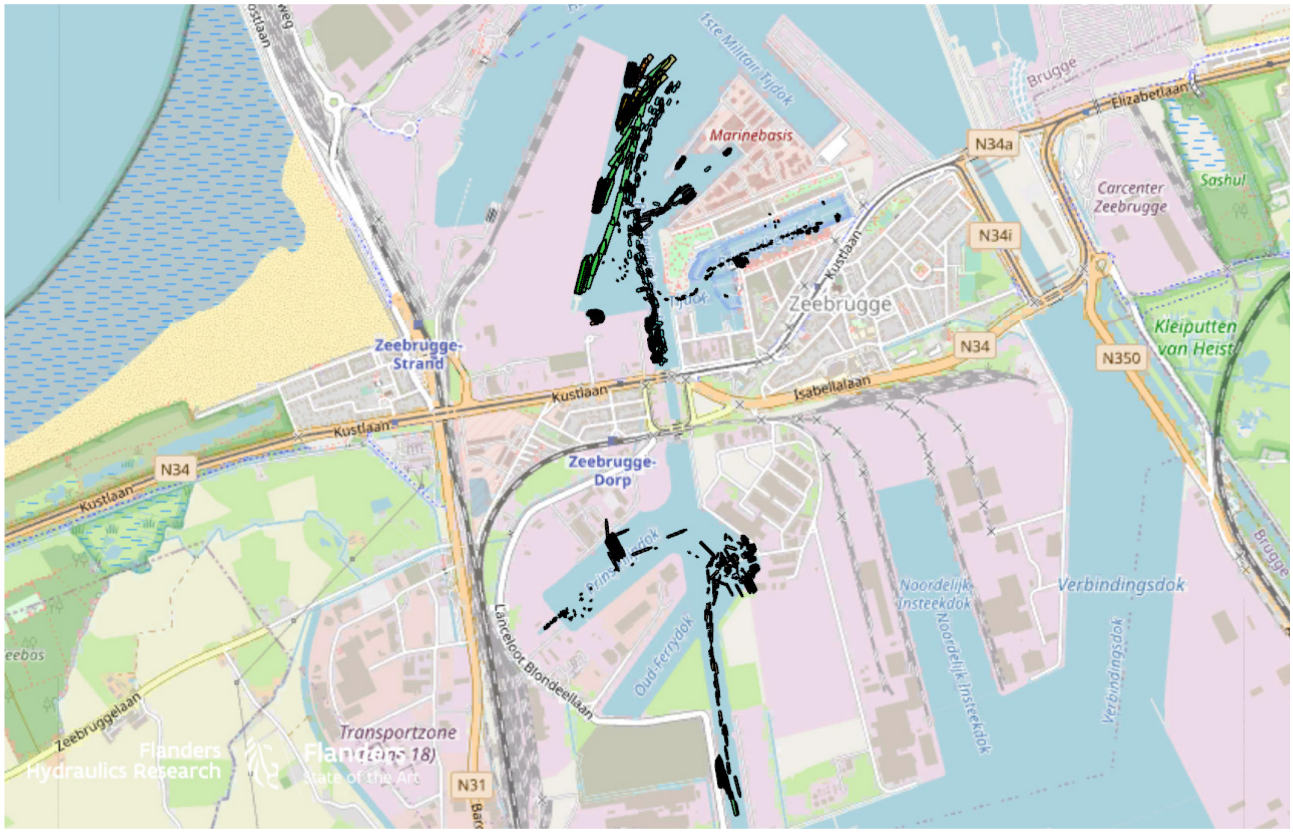
De AIS-gegevens voor de periode 01/10/2018 tot 01/01/2020 werden bekomen uit de Schelde Radar Keten (SRK) en werden verwerkt tot relevante gegevens op basis van de verwerkingssoftware van het WL.

Onderstaande processing werd toegepast:

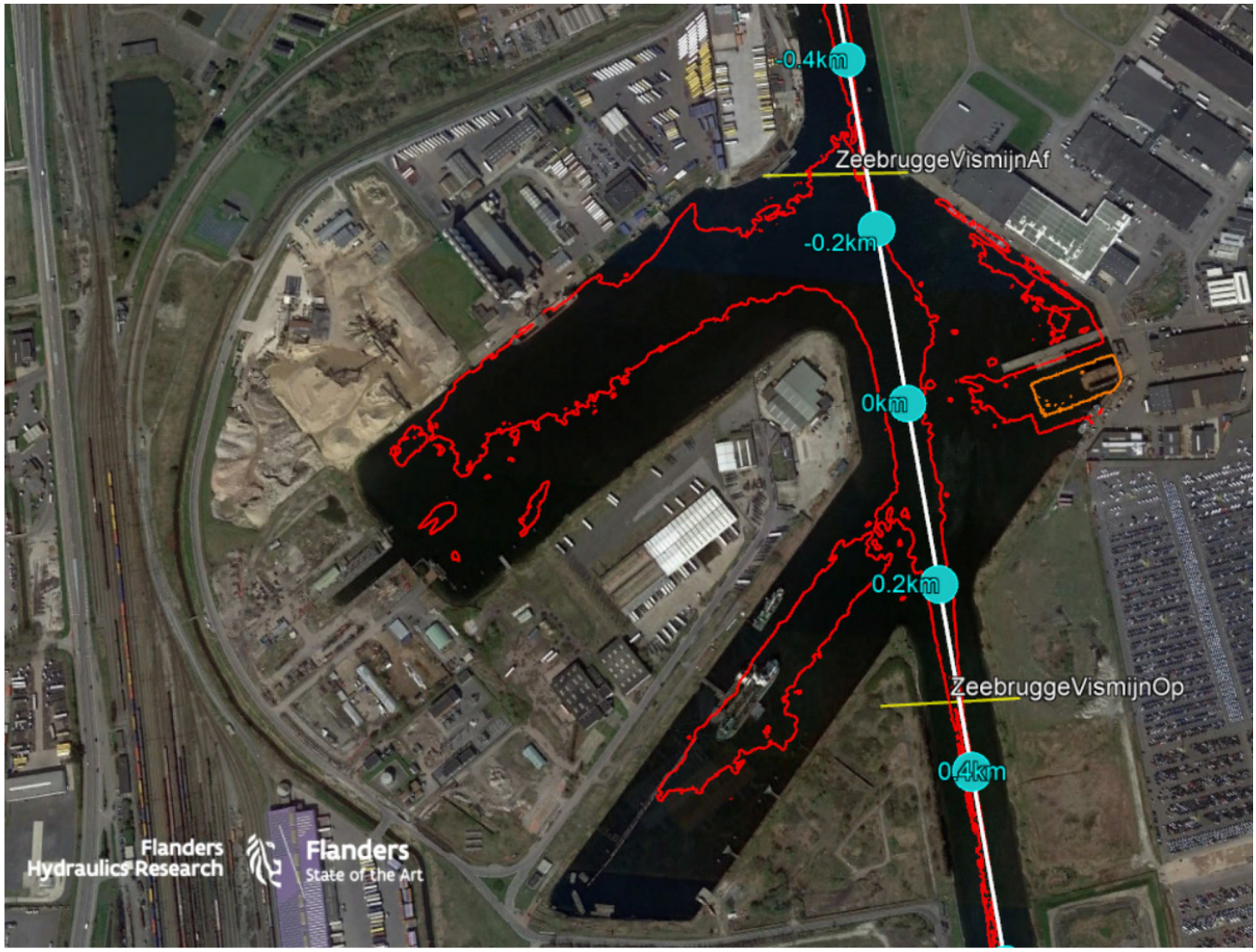
1. Filtering van de data binnen het vaargebied Zeebrugge
2. Berekening van passerende vaart op voorgedefinieerde passagelijnen
3. Visualisatie scheepvaartverkeer in detailgebied Visart in de vorm van een kmz-bestand (per dag)

Een illustratie van de kmz-visualisatie van de scheepvaart in het detailgebied Visart wordt weergegeven in Figuur 2. Deze figuur illustreert eveneens het beperkte aantal scheepspassages ter hoogte van de Vismijn.

Voor de analyse van het scheepvaartverkeer langs de Vismijn is de passagelijn ‘ZeebruggeVismijnOp’ (zie Figuur 3) het meest relevant.



Figuur 2 – Verkeersbeeld in detailzone Visart zoals bekomen voor 01/10/2018 (maandag)



Figuur 3 – Passagelijnen voor definitie AIS-schepen en weergave referentiebaan met km-aanduiding

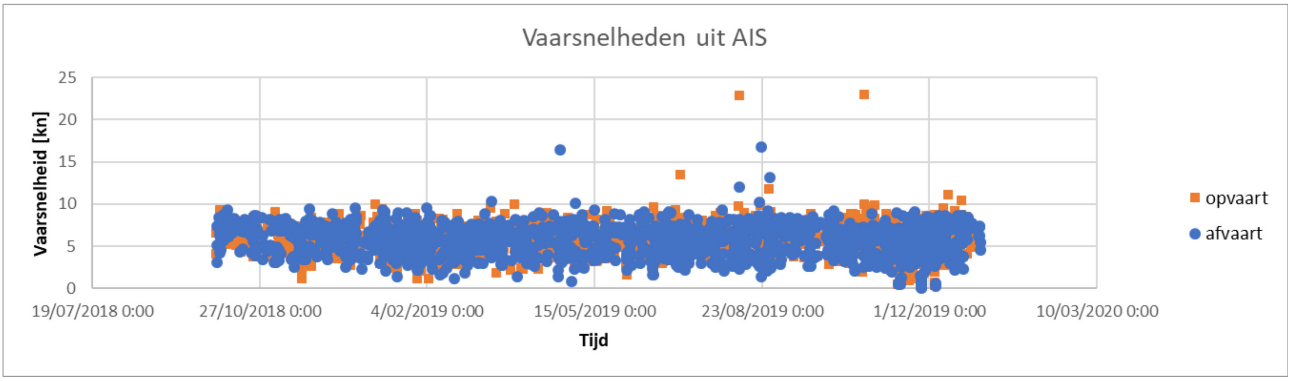
2.2 Resultaten per scheepsklasse

De scheepspassages (2683) en vaarsnelheden op de passagelijn ZeebruggeVismijnOp worden hieronder meer in detail beschreven.

2.2.1 Alle scheepvaart

Figuur 4 toont het totale resultaat van de vaarsnelheden die bekomen werden uit de AIS-resultaten. Deze figuur toont enkele extreem hogere waarden, die het gevolg waren van afwijkende AIS-registraties die niet ondervangen werden in de verwerking. Bovendien blijkt dat veel van deze vaarsnelheden gerealiseerd werden door schepen met erg kleine scheepsafmetingen. Bijgevolg werd een verdere opdeling van het scheepsaanbod uitgevoerd volgens onderstaande scheepsklasses:

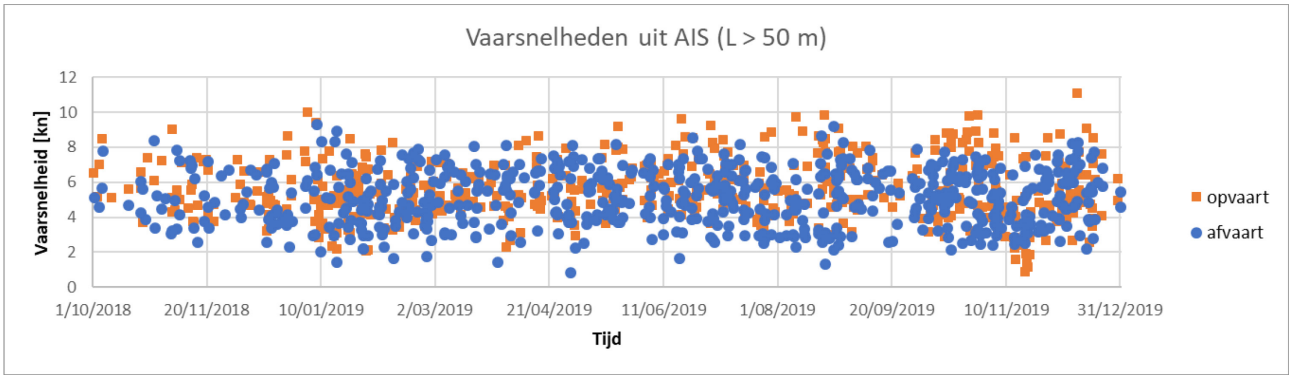
1. Schepen langer dan 50 m;
2. Sleepboten;
3. Sleepboten langer dan 20 m;
4. Baggerschepen.



Figuur 4 – Ruwe data vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp

2.2.2 Schepen langer dan 50 m

Voor de schepen groter dan 50 m geldt dat deze ofwel binnenvaart ofwel baggervaartuigen betreffen. De grootste vaarsnelheid toegepast door schepen groter dan 50 m was 11.0 kn en werd toegepast door een binnenschip met afmetingen[1] 81x9.5 m (zie Figuur 6). Hierbij dient opgemerkt te worden dat slechts één schip met lengte groter dan 50 m een vaarsnelheid groter dan 10 kn toepaste. Het vaartraject van het tweede snelste schip met lengte groter dan 50 m wordt weergegeven in Figuur 7.



Figuur 5 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (schepen langer dan 50 m)

[1] Diepgangsregistraties van binnenschepen in AIS zijn doorgaans onbetrouwbaar en worden om deze reden niet vermeld. Indien er diepgangsregistraties plaatsvinden aan de Visartsluis. Voor sleepboten (constante diepgang) en baggervaartuigen (diepgang beschikbaar gemaakt door MBZ) worden in Tabel 1 wel diepgangen vermeld.



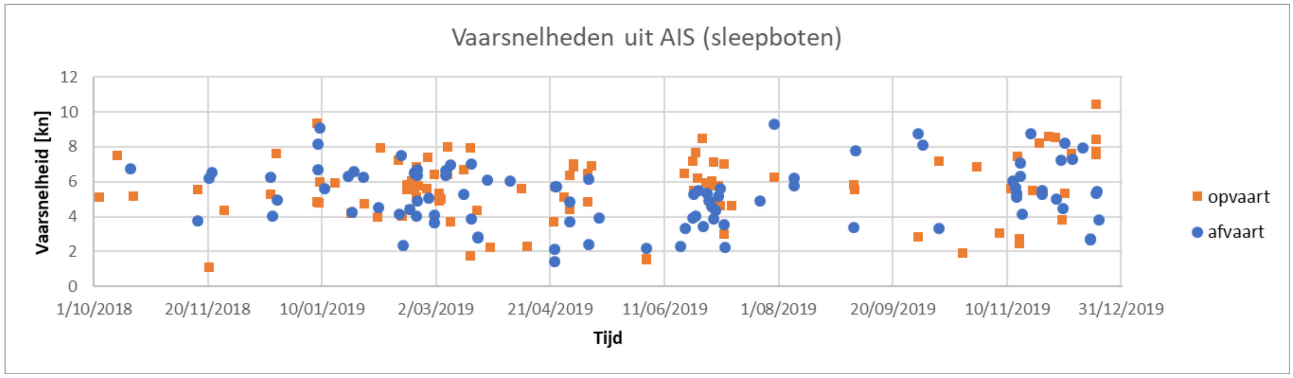
Figuur 6 – Verkeersbeeld scheepspassage binnenvaartschip (81 m x 9.5 m) aan vaarsnelheid 11.0 kn (plotinterval 60 s)



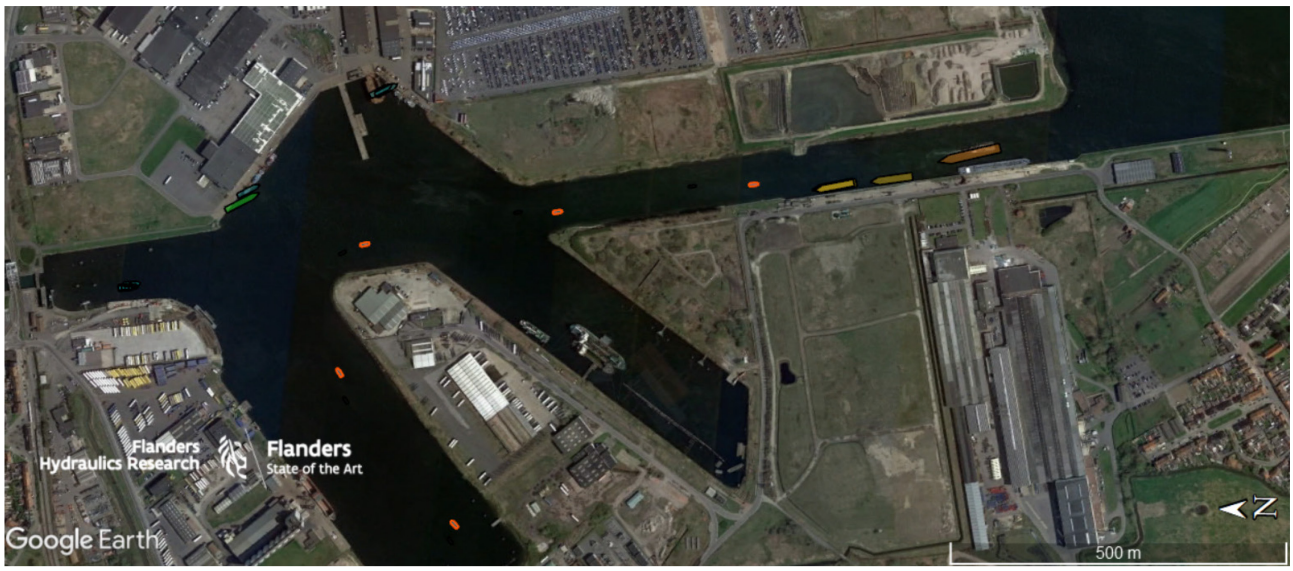
Figuur 7 – Verkeersbeeld scheepspassage binnenvaartschip (85 m x 9.5 m) aan vaarsnelheid 10.0 kn (plotinterval 60 s)

2.2.3 Sleepboten

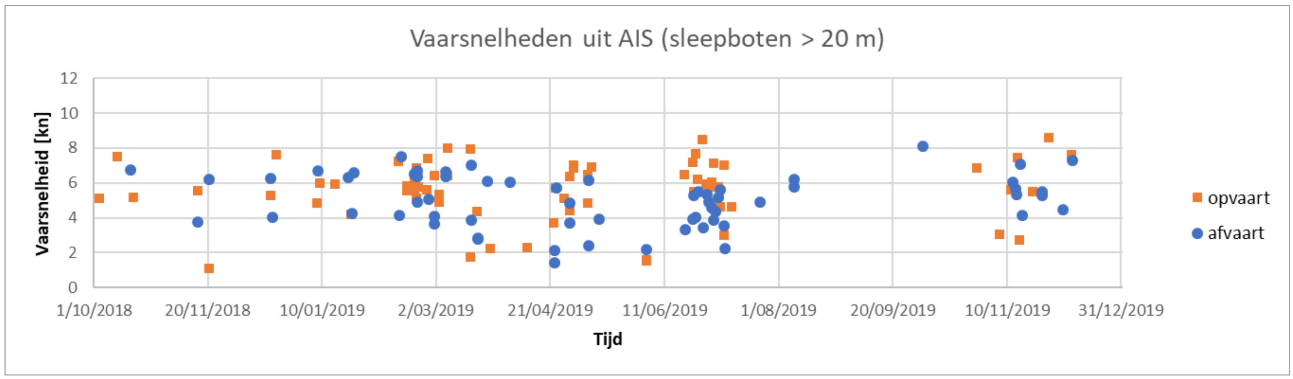
Voor sleepboten wordt er een onderscheid gemaakt tussen de grotere sleepboten met lengte groter dan 20 m en de kleinere sleepvaartuigen. Wanneer alle sleepvaartuigen in rekening gebracht worden (zie Figuur 8) dan blijkt de snelst varende sleepboot (15 m x 5 m) een vaarsnelheid gelijk aan 10.4 kn toe te passen (zie Figuur 9). Wanneer enkel de grotere sleepboten in rekening gebracht (zie Figuur 10) worden dan blijkt hiervoor een maximale snelheid gelijk aan 8.6 kn (zie Figuur 11).



Figuur 8 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (sleepboten)



Figuur 9 – Verkeersbeeld scheepspassage klein sleepvaartuig (15 m x 5 m) aan vaarsnelheid 10.4 kn (plotinterval 60 s)



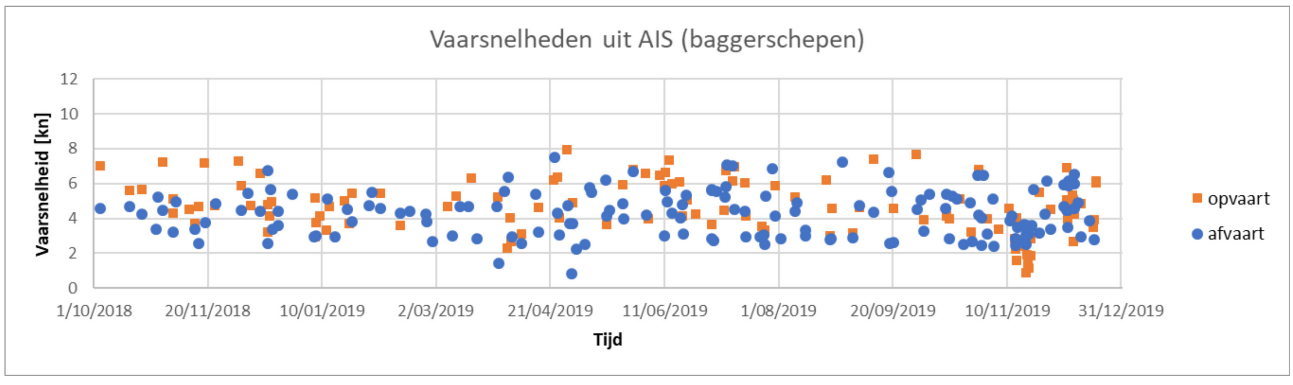
Figuur 10 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (sleepboten langer dan 20 m)



Figuur 11 – Verkeersbeeld scheepspassage groot sleepvaartuig[2] (L>30 m) aan vaarsnelheid 8.6 kn (plotinterval 60 s)

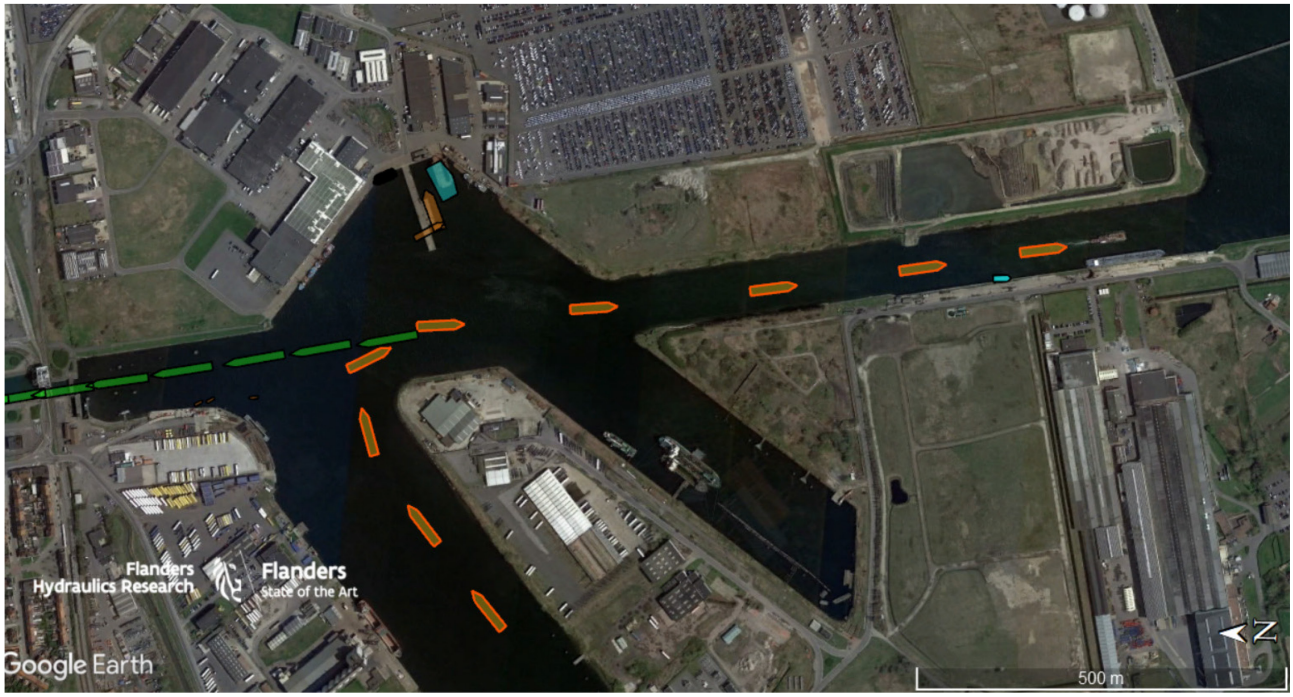
2.2.4 Baggerschepen

Voor baggervaartuigen wordt er een onderverdeling gemaakt tussen kleine, middelgrote en grote baggervaartuigen. Voor de kleinere baggervaartuigen (65 m) geldt een maximale vaarsnelheid gelijk aan 7.9 kn (zie Figuur 13), voor de middelgrote baggervaartuigen (90 m) een vaarsnelheid gelijk aan 7.6 kn (zie Figuur 14) en voor de grote baggervaartuigen (117 m) een vaarsnelheid gelijk aan 5.9 kn (zie Figuur 15). Opvallend is dat de grootste vaarsnelheden steeds optreden voor schepen met een zuidelijke koers (afvaart uit Filipsdok). Wanneer enkel de grote baggervaartuigen in opvaart naar het Filipsdok beschouwd worden dan geldt een maximale vaarsnelheid gelijk aan 3.5 kn (zie Figuur 16).

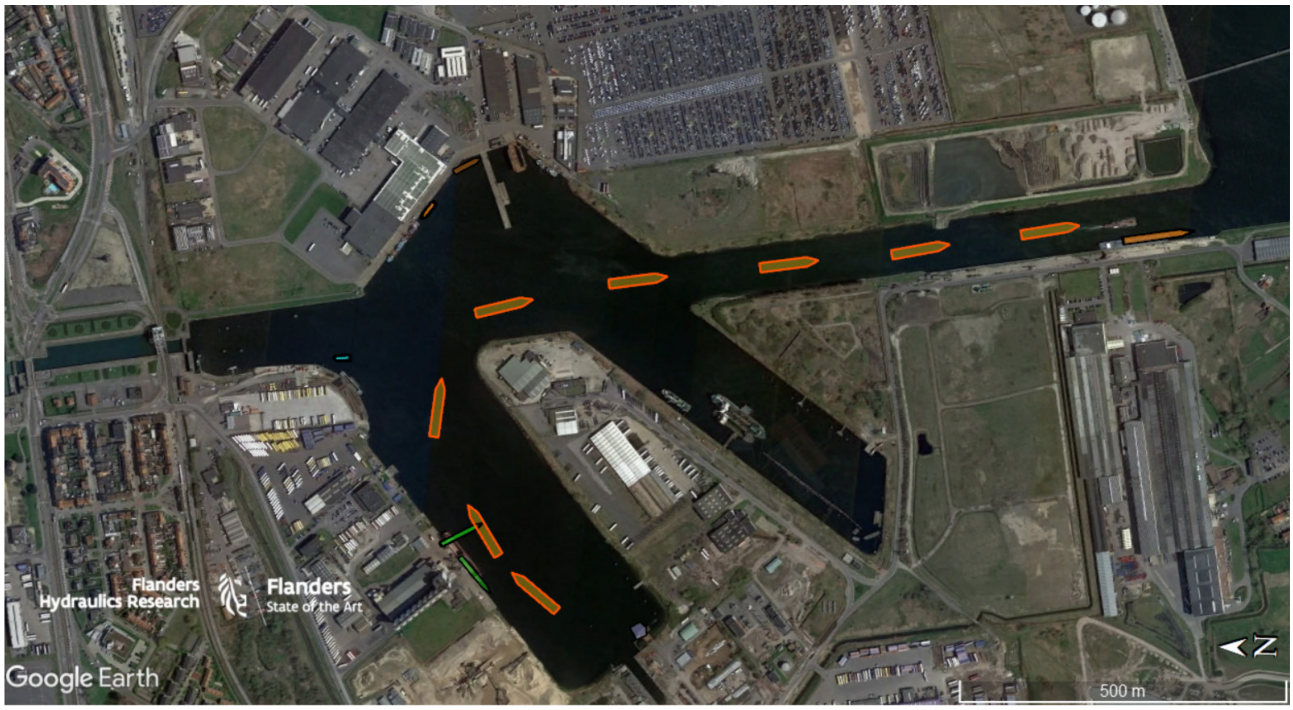


Figuur 12 – Vaarsnelheden langs passagelijn ZeebruggeVismijnOp (baggervaartuigen)

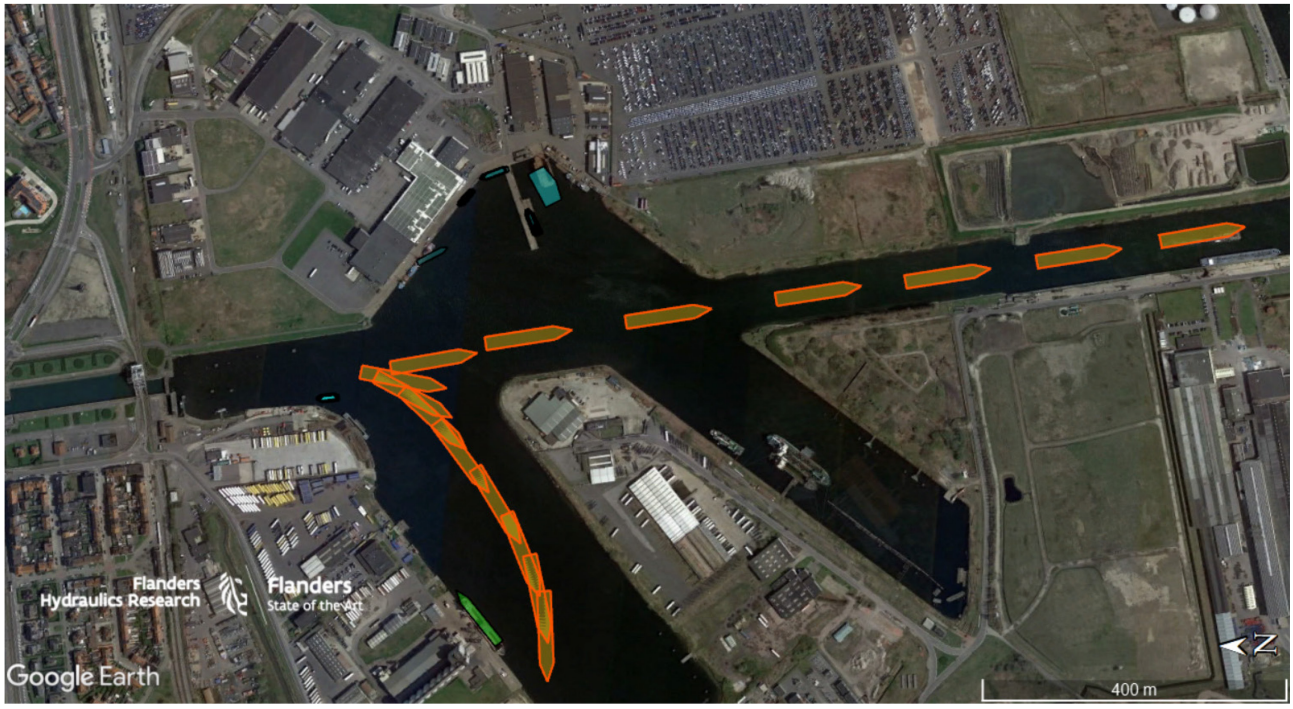
[2] De koersgegevens uit AIS blijken foutief voor de weergegeven sleepboot. Dit heeft echter geen impact op de snelheidsanalyse.



Figuur 13 – Verkeersbeeld scheepspassage klein baggervaartuig (L 65 m) aan vaarsnelheid 7.9 kn (plotinterval 60 s)



Figuur 14 – Verkeersbeeld scheepspassage middelgroot baggervaartuig (L 90 m) aan vaarsnelheid 7.6 kn (plotinterval 60 s)



Figuur 15 – Verkeersbeeld scheepspassage groot baggervaartuig (L 117 m) aan vaarsnelheid naar zuiden 5.8 kn (plotinterval 60 s)[3]



Figuur 16 – Verkeersbeeld scheepspassage groot baggervaartuig (L 117 m) aan vaarsnelheid naar noorden 3.5 kn (plotinterval 60 s)

[3] Het deel in het Filipsdok is een achteruit manoeuvre.

2.3 Samenvatting

Tabel 1 presenteert een samenvatting van de maximale vaarsnelheden per scheepstype zoals bekomen uit de AIS-analyse. Indien mogelijk werd diepgangsinformatie van de schepen toegevoegd op basis van databronnen op internet en diepgangsgegevens bekomen via het havenbedrijf (MBZ).

Tabel 1 – Samenvattende tabel maximale vaarsnelheden per scheepstype op passagelijn ZeebruggeVismijnOp

Scheepstype	**L_{OA} [m]**	**B [m]**	**T [m]**	**V [kn]**
Binnenvaartschip	81	9.5		11.1
Sleepboot (klein)	15	5.0	2.4	10.4
Sleepboot (groot)	30	11.0	4.5	8.6
Baggervaartuig (klein)	65	12.0	ledig	7.9
Baggervaartuig (middel)	90	14.0	3.5	7.6
Baggervaartuig (groot, to S)	117	18.0	3.5	5.9
Baggervaartuig (groot, to N)	117	18.0	6.4	3.5

3 Vaarwegsecties Boudewijnkanaal

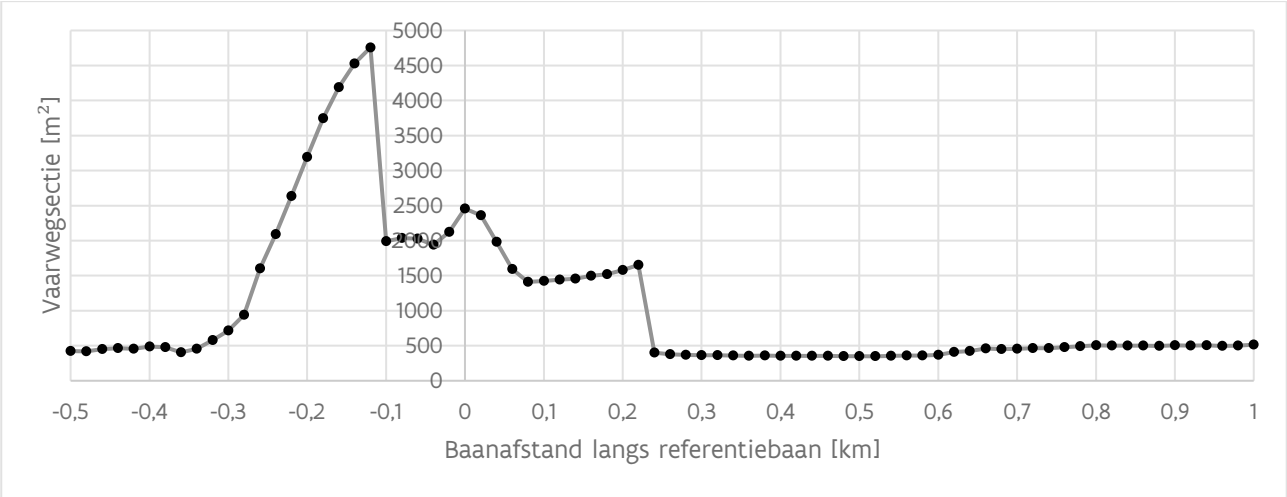
Een tweede analyse die uitgevoerd werd in de huidige toestand van de vaarweg betreft een analyse van de beschikbare vaarwegsectie. Ook deze analyse heeft als doel om een vergelijking met de vaarwegontwerpen voor CP NSZ toe te laten.

De analyse van vaarwegsecties is gebaseerd op de meest recente peilingen die eind 2020 ontvangen werden van de Vlaamse Hydrografie. Het betreffen Multibeam-peilingen met identificatie: 200806_585_BDK_MB (uitvoering augustus 2020). Deze peiling omvat het volledige interessegebied rond de Vismijn.

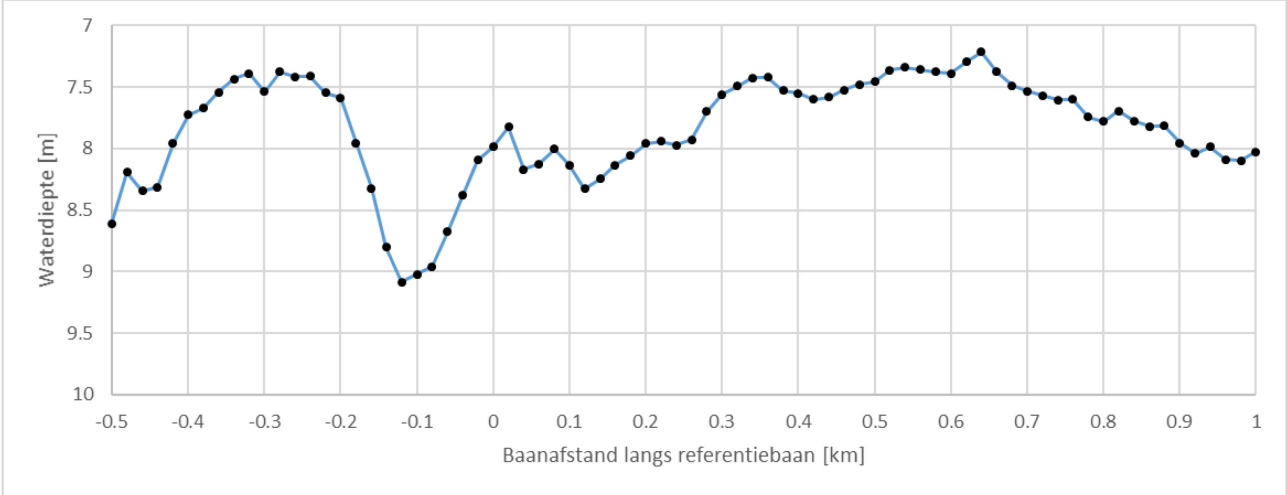
De vaarwegsecties werden berekend dwars op de aslijn van het Boudewijnkanaal. Deze referentiebaan wordt weergegeven in Figuur 20. Er werd een berekening uitgevoerd elke 20 m langs de referentiebaan. In Figuur 17 en Figuur 18 wordt respectievelijk de oppervlakte van de vaarwegsecties en de waterdiepte langs de referentiebaan weergegeven. Een belangrijke variatie is waarneembaar.

In Figuur 19 worden de vaarwegsecties weergegeven voor zes locaties langsheen de referentiebaan. Deze figuur illustreert eveneens de grote variatie in vaarwegsecties bij een passage langsheen de Vismijn.

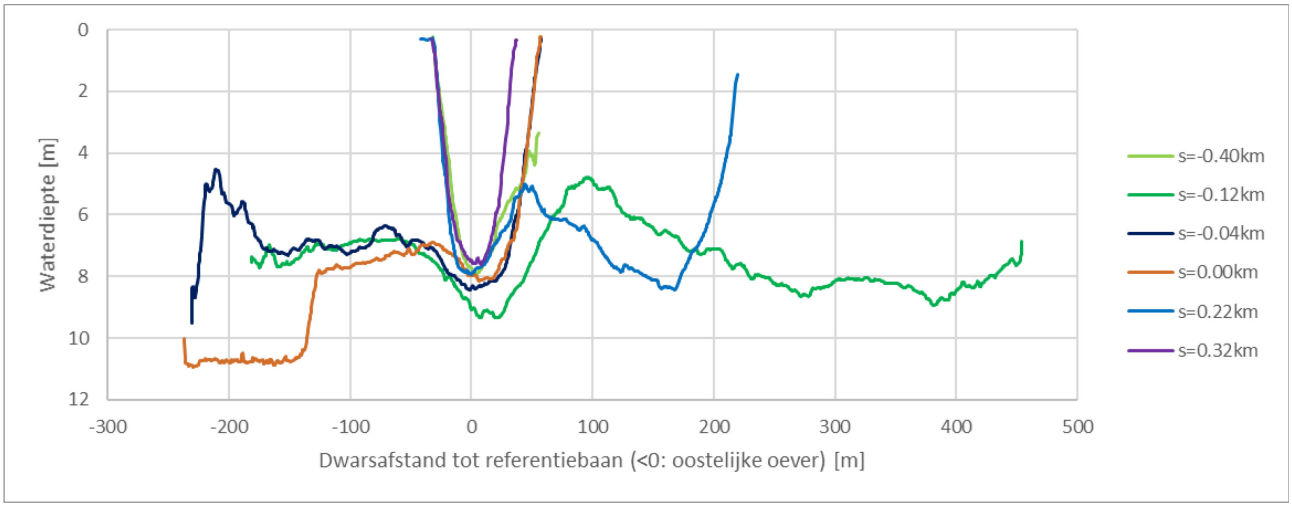
De passagelijn toegepast voor de AIS-analyse bevindt zich op baanafstand +0.32 km (zie Figuur 21), dit blijkt de meest beperkte zone van het Boudewijnkanaal. Een karakteristieke sectie ter hoogte van de Vismijn bevindt zich halverwege het Prins Filipsdok en het Oud-Ferrydok op baanafstand 0 km (zie Figuur 21). De vaarwegsectie voor deze twee karakteristieke secties wordt weergegeven in Figuur 22.



Figuur 17 – Evolutie vaarwegsectie langsheen referentiebaan

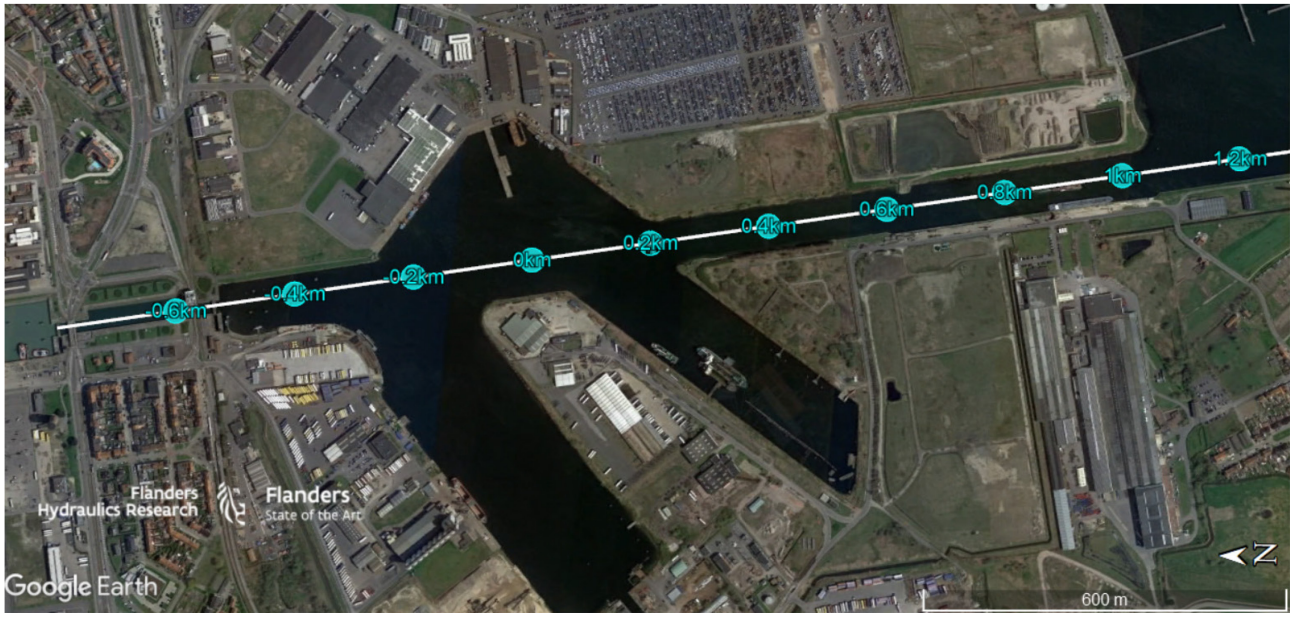


Figuur 18 – Evolutie waterdiepte langsheen referentiebaan bij dokpeil +3.4 m TAW

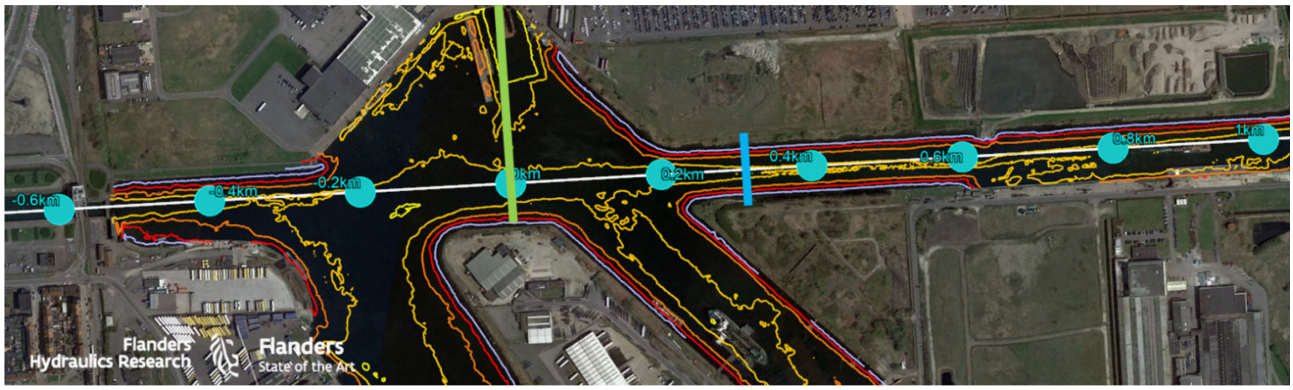


Figuur 19 – Dwarssecties op zes locaties langsheen referentiebaan bij dokpeil +3.4 m TAW[4]

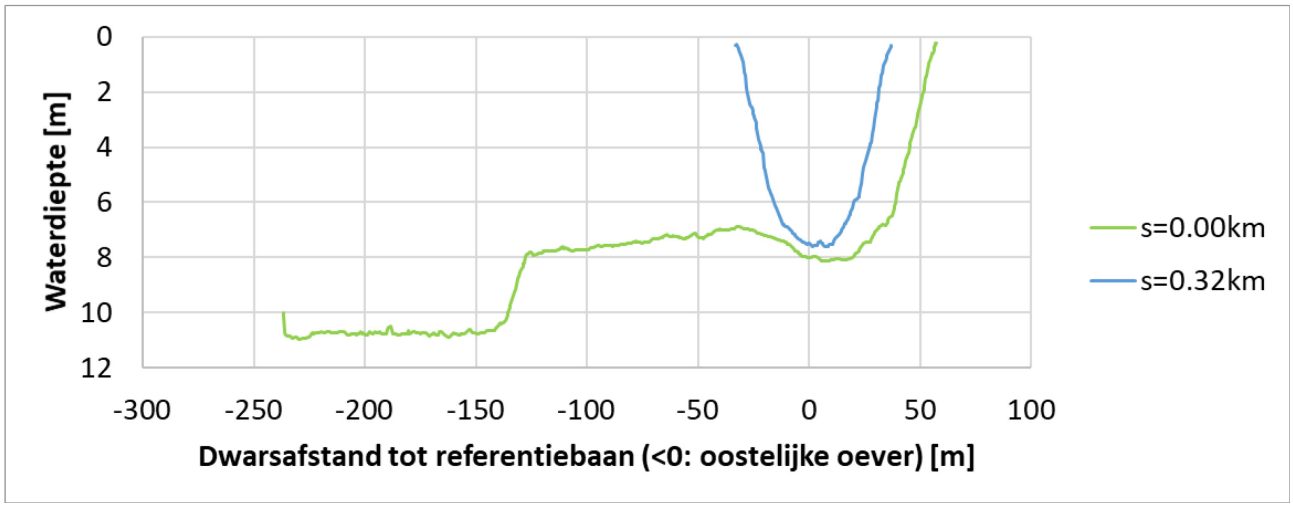
[4] Positieve dwarsafstanden zijn ten westen van de referentiebaan en negatieve ten oosten.



Figuur 20 – Weergave referentiebaan voor vaarwegsecties met aanduiding van baanafstanden



Figuur 21 – Positie van twee karakteristieke secties



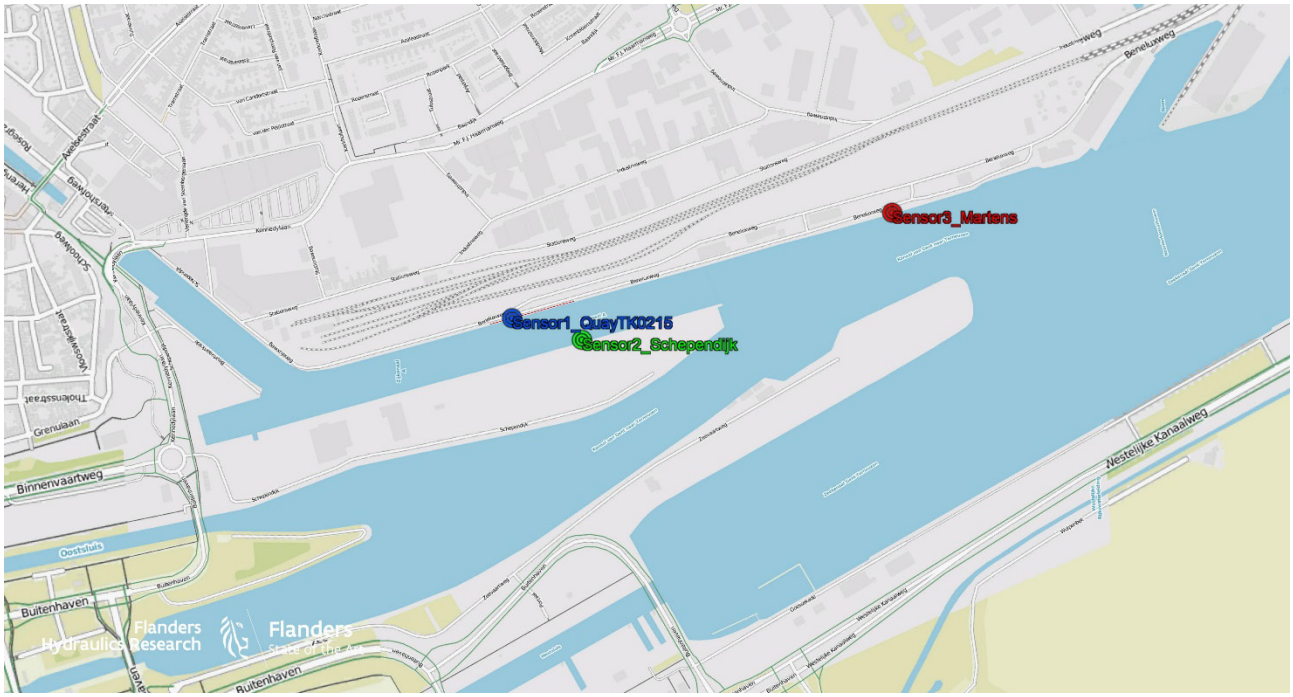
Figuur 22 – Diepteprofiel voor twee karakteristieke secties bij dokpeil +3.4 m TAW

4 Metingen waterstandsschommelingen Terneuzen

4.1 Meetcampagne Terneuzen

In het kader van het project Nieuwe Sluis Terneuzen werd in de periode juli-augustus 2018 een meetcampagne uitgevoerd ter beoordeling van de scheepsgolven ter hoogte van de oostelijke oever van het sluizencomplex te Terneuzen (Verwilligen *et al.*, 2019). Op drie locaties (zie Figuur 23) werden waterstandsschommelingen opgemeten door middel van druksensoren ingesteld met meetfrequentie 10 Hz. Het betreft een nulmeting van de optredende waterstandsschommelingen voor de start van de werken (of aanpassingen aan de vaarwegcontour) uitgevoerd in het kader van project Nieuwe Sluis Terneuzen (NST) aan de kanaalzijde van de sluizen.

Verwilligen *et al.* (2019) bevat een beschrijving van de opgemeten waterstandschommelingen waarbij de belangrijkste golven gerelateerd werden aan het scheepvaartverkeer (op basis van AIS) op verschillende vaarroutes. De resultaten bieden inzicht in de maatgevende scheepvaart voor belangrijke waterstandsschommelingen. Voor een overzicht van de belangrijkste locaties in het projectgebied Terneuzen wordt verwezen naar Figuur 24.



Figuur 23 – Positie van de druksensoren uitgezet in studiegebied (Verwilligen *et al.*, 2019)



Figuur 24 – Projectgebied Terneuzen (Verwilligen *et al.*, 2019)

4.2 Resultaten relevant voor Vismijn te Zeebrugge

De vaarwegsecties te Terneuzen en ter hoogte van de Vismijn zijn vanzelfsprekend verschillend[5]. Passages ter hoogte van sensor 3 (zie Figuur 23) stemmen het beste overeen met de situatie aan de Vismijn. Het scheepsaanbod langsheen sensor 3 blijkt gelijkaardig aan het scheepsaanbod ter hoogte van de Vismijn met dat verschil dat de frequentie van de scheepspassages te sensor 3 te Terneuzen veel hoger is dan aan de Vismijn. Zo werden er tijdens de meetperiode (één maand) 4595 passages geregistreerd te sensor 3, terwijl er ter hoogte van de Vismijn slechts 2683 passages geregistreerd werden in 15 maanden.

Da analyse van waterstandsschommelingen te sensor 3 werd beperkt tot golfamplitudes 0.2 m of meer (dit wordt een significante golf genoemd). Enkel wanneer de golfmetingen eenduidig toegewezen konden worden aan één scheepspassage, werd deze opgenomen in de analyse. Op deze manier werden er 70 significante golven toegewezen aan een unieke scheepspassage.

4.2.1 Scheepvaart naar de Westsluis

De gemeten waterstandsschommelingen te sensor 3 werden gerelateerd aan zowel de scheepvaart die rechtstreeks langs de sensor passeerde als aan scheepvaart op het traject naar de Westsluis. Hoewel te Terneuzen sensor 3 in de beschutting van de landtong ligt voor schepen van en naar de Westsluis, zijn de vaststellingen voor dit traject ook relevant voor de situatie aan de Vismijn te Zeebrugge. Het traject naar de Westsluis werd immers afgelegd door zeevaart met afmetingen gelijkaardig (maar nog steeds kleiner) dan het ontwerpschip voor Nieuwe Sluis Zeebrugge. Rekening houdend met de positie van sensor 3 en het scheepsaanbod op het Kanaal Gent-Terneuzen (met een belangrijke RoRo-trafiek) kan aangenomen worden

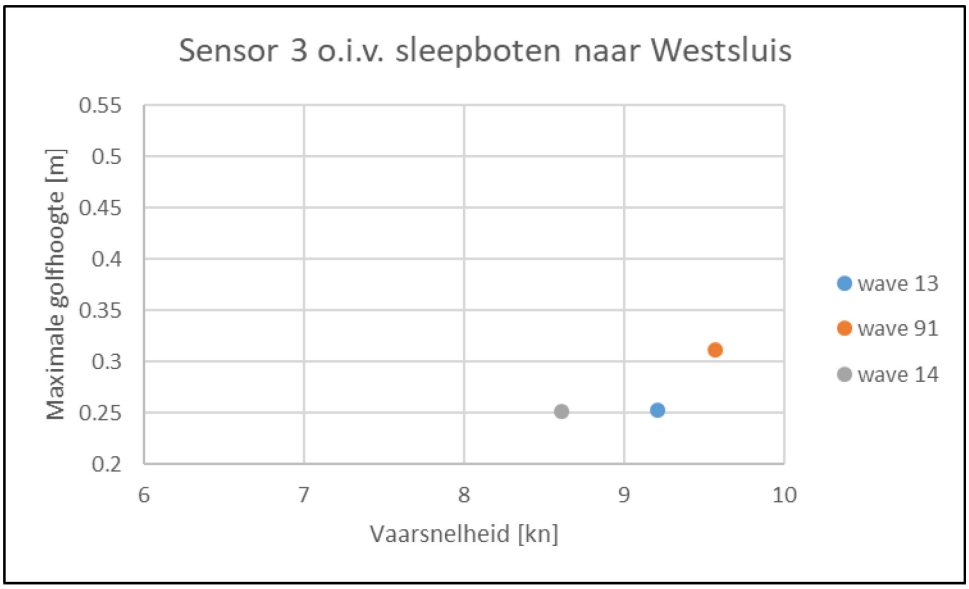
[5] Er werd geen analyse uitgevoerd van de bodemsecties te Terneuzen.

dat RoRo-schepen een gelijkaardige of hogere vaarsnelheid zullen hanteren ter hoogte van sensor 3 in Terneuzen als ter hoogte van de Vismijn te Zeebrugge na realisatie van de Nieuwe Sluis Zeebrugge.

Slechts drie significante golven ter hoogte van sensor 3 werden toegeschreven aan schepen van of naar de Westsluis. Deze bleken allen veroorzaakt door scheepsgolven opgewekt door snelvarende (afvarende) sleepboten. Vaarsnelheden tot 9.7 kn werden geregistreerd (zie Figuur 25).

Geen van de waterstandsschommelingen te sensor 3 werden toegeschreven aan zeevaart. Dit is een indicatie dat snelvarende sleepboten grotere waterstandsschommelingen veroorzaken dan zeevaart varend aan typische vaarsnelheden in de omgeving van een sluis.

In Verwilligen *et al.* (2019) werd eveneens een analyse uitgevoerd van de significante golven die optraden wanneer er zeevaart passeerde, maar waarbij deze golven niet toegeschreven konden worden aan een unieke schip. Ook deze manuele analyse kon geen voorbeeld aantonen waarbij een zeeschip verantwoordelijk was voor een significante waterstandsschommeling te sensor 3. Er werd geconcludeerd dat op basis van het gevoerde onderzoek geen impact van zeevaart op belangrijke golftreinen te sensor 3 kon waargenomen worden.

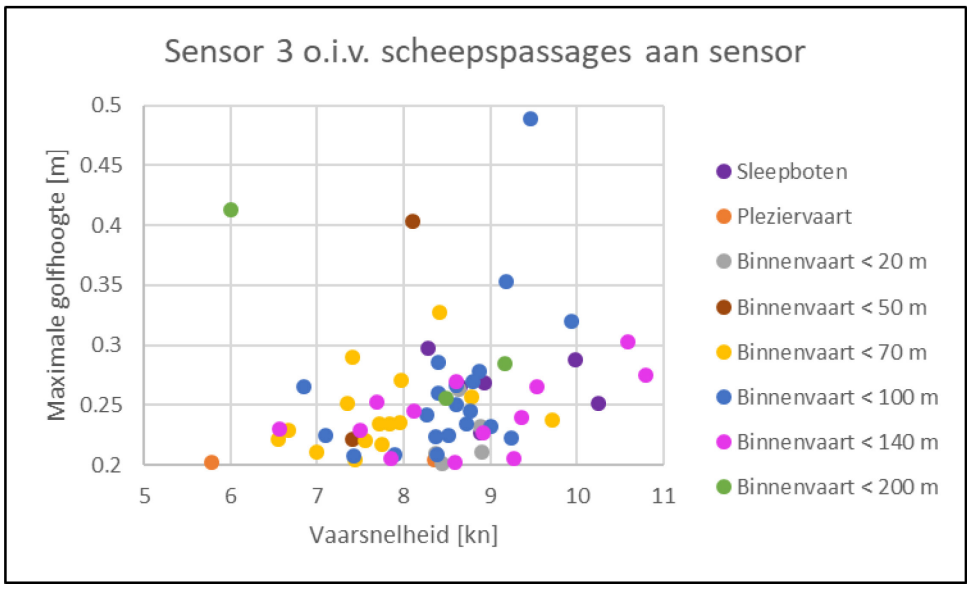


Figuur 25 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid sleepboot naar Westsluis (Verwilligen *et al.*, 2019)

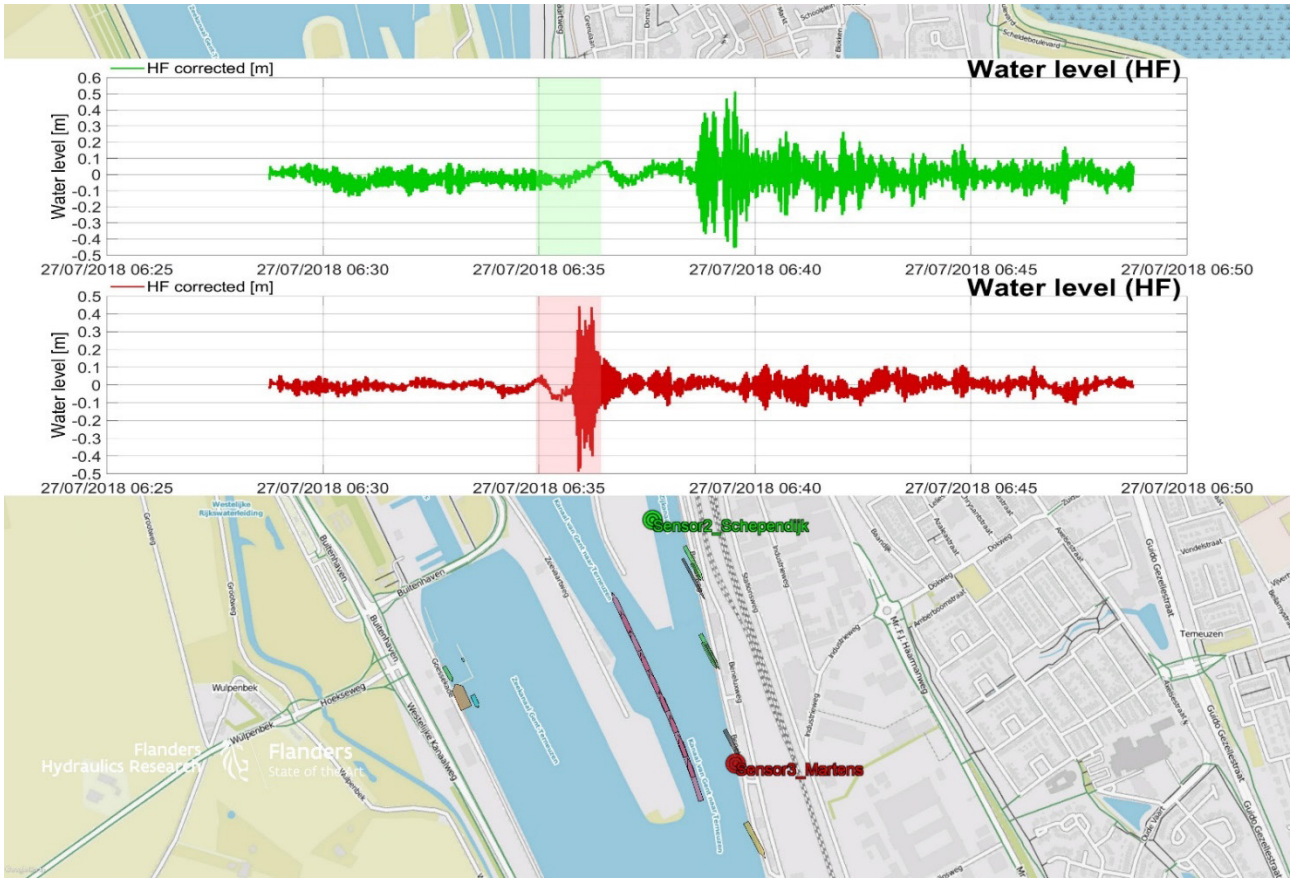
4.2.2 Scheepvaart rechtstreeks langs sensor 3

Het merendeel van de significante scheepsgolven te sensor 3 werd veroorzaakt door scheepvaart die langs de sensor passeerde. Het aandeel zeevaart is hierin verwaarloosbaar. 67 van deze significante golven konden toegeschreven worden aan een unieke passage van een schip.

In Figuur 26 wordt de maximale golfhoogte te sensor 3 weergegeven per scheepsklasse en per scheepssnelheid. De resultaten vertonen een belangrijke variatie die deels ingegeven is door de verschillende diepgangen waarbij deze schepen voeren en waarvoor geen gegevens beschikbaar waren. Toch valt op dat het merendeel van de belangrijkste scheepsgolven te sensor 3 gegenereerd werden door schepen die ook op vandaag reeds passeren aan de Vismijn (zij het met veel lagere frequentie dan te Terneuzen). Zo werd de grootste golfhoogte te sensor 3 gegenereerd door een binnenschip met lengte 90 m, breedte 10 m aan snelheid 9.5 kn (zie Figuur 27). Uit de AIS-analyse van de Vismijn blijkt dat deze binnenschepen aan gelijkaardige snelheden passeren aan de Vismijn (zie Figuur 5). Ook sleepboten bij snelheden tussen 8 kn en 10.5 kn blijken aanleiding te geven tot significante golven te sensor 3. Uit de AIS-analyse van de Vismijn blijkt dat grote sleepboten (zie Figuur 10) de Vismijn sporadisch passeren aan gelijkaardige snelheden.



Figuur 26 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid van de passerende scheepvaart (Verwilligen *et al.*, 2019)



Figuur 27 – Scheepgolven te sensor 3 (rood) en 2 (groen) door binnenschip (90 m x 10 m) aan 9.5 kn (Verwilligen *et al.*, 2019)

5 Conclusie

Op basis van de AIS-gegevens voor de periode oktober 2018 tot en met december 2019, werden de scheepspassages ter hoogte van de Vismijn geanalyseerd. Hieruit bleken voornamelijk binnenschepen met lengte ca. 90 m en sleepboten de Vismijn aan hoge snelheid te passeren. Rekening houdend met de resultaten uit een meetcampagne naar scheepsgolven te Terneuzen (Verwilligen *et al.*, 2019) kan aangenomen worden dat deze scheepspassages op vandaag aanleiding geven tot de grootste waterstandsschommelingen aan de Vismijn. Op basis van diezelfde meetcampagne wordt aangetoond dat de waterstandsschommelingen van zeevaart, kleiner zijn dan deze van sleepboten. Er kan aangenomen dat deze conclusie ook zal gelden bij de realisatie van de Nieuwe Sluis Zeebrugge waarbij snelvarende sleepboten en binnenschepen maatgevend zullen zijn voor de optredende waterstandsschommelingen eerder dan de maximale zeevaart voor de Nieuwe Sluis. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de passages van sleepboten en binnenschepen aan de Vismijn op heden erg beperkt zijn in voorkomen. Bij realisatie van de Nieuwe Sluis kan een belangrijke toename van deze trafiek langs de Vismijn verwacht worden.

De hinder van afgemeerde schepen aan de Vismijn is echter niet rechtstreeks bepaald door de waterstandsschommelingen van passerende vaart. De horizontale krachten op een afgemeerd schip aan de Vismijn worden bepaald door een combinatie van de scheepsgolven en retourstroom opgewekt door het passerende schip. Mogelijks wordt de maximale zeevaart naar de Nieuwe Sluis Zeebrugge dus wel maatgevend voor de horizontale krachten op afgemeerde schepen en voor het ligcomfort in de Vismijn. Om hierover een inschatting te maken wordt een vervolgonderzoek voorgesteld waarin de hinder van afgemeerde vissersschepen door een passerend ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge beoordeeld wordt op basis van een dynamische berekening van de troskrachten.

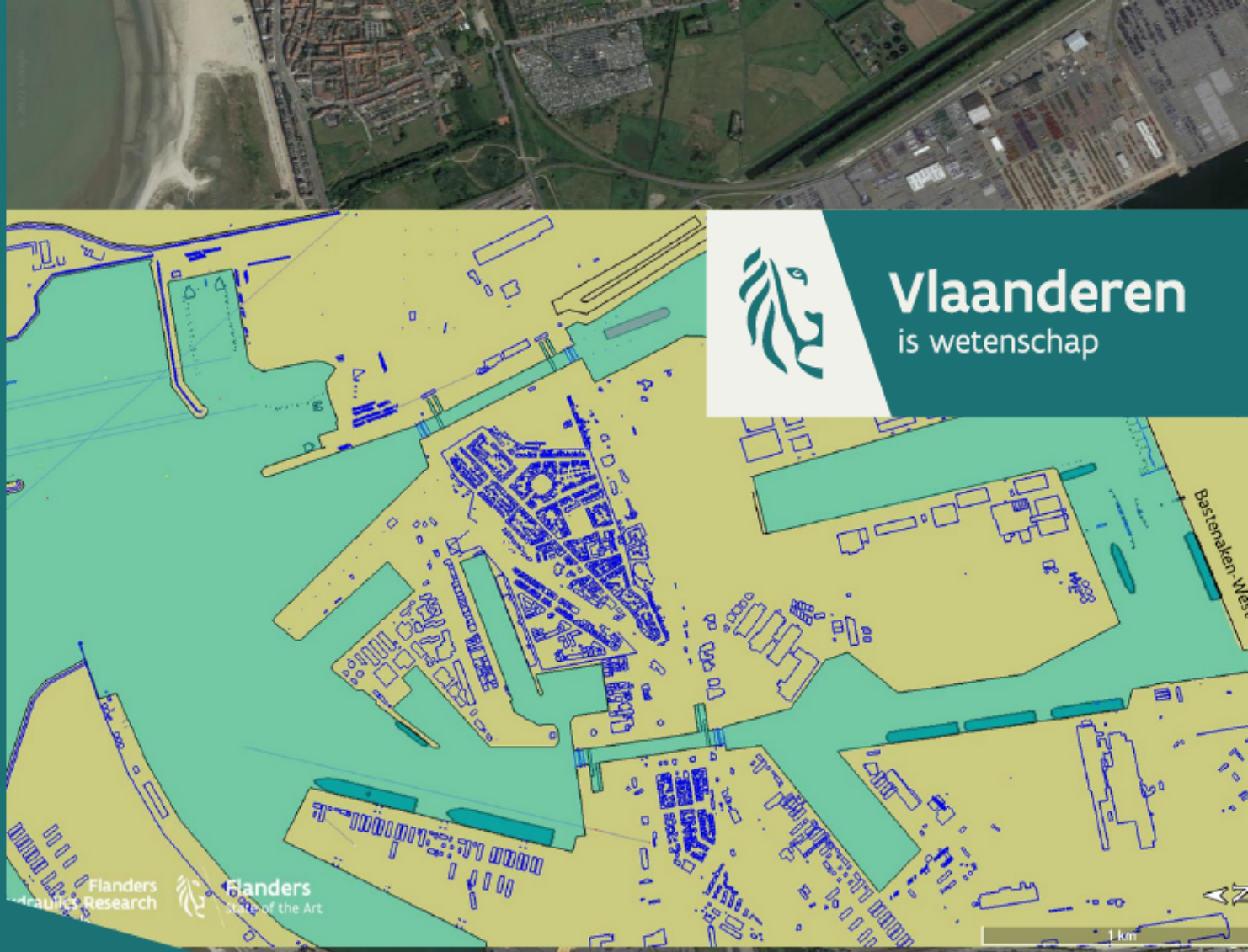
Referenties

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2019). Zijkanaal A (Terneuzen): golfslagmetingen en relatie tot scheepvaart. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 18_081_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vlaamse Overheid. (2019). Besluit van de Vlaamse Regering houdende de definitieve vaststelling van het voorkeursbesluit betreffende het complexe project `Verbetering van de nautische toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge'. Belgisch Staatsblad

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.waterbouwkundiglaboratorium.be



Vlaanderen
is wetenschap

20_011_1
WL rapporten

Nautische optimalisatie
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 1
Simulatiestudie Varianten Visart

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Nautische optimalisatie
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 1 –
Simulatiestudie Varianten Visart

Verwilligen, J.; Eloot, K.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

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 2022
D/2022/3241/131

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Eloot, K. (2022). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge: Deelrapport 1 – Simulatiestudie Varianten Visart. Versie 6.0. WL Rapporten, 20_011_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2022R20_011_1
Trefwoorden (3-5):	Vaarsimulaties, vaarwegontwerp, sluis, RoRo-ferry		
Kennisdomeinen:	Havens en vaarwegen > Manoeuvreergedrag > Wind > Simulaties Havens en vaarwegen > Scheepsbeweging > Ontwerp vaarweg en haven > Simulaties		
Tekst (p.):	68	Bijlagen (p.):	88
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verwilligen, J.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Eloot, K.	Getekend door:Katrien Eloot (Signature) Getekend op:2022-08-26 11:20:24 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Katrien Eloot
Projectleider:	Verwilligen, J.	Getekend door:Jeroen Verwilligen (Signat Getekend op:2022-08-26 13:27:25 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Jeroen Verwilligen

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sign Getekend op:2022-08-29 13:00:18 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Abdelkarim Bellafkih

Abstract

In de periode januari 2020 tot oktober 2020 werden binnen het Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) verschillende varianten gedefinieerd voor de realisatie van een zeesluis op de locatie Visart. In eerste instantie werden varianten gedefinieerd in overeenstemming tussen de opdrachtgever en het havenbedrijf MBZ. Hierbij werd uitgegaan van twee varianten (0 en 1) voor de buitenhaven en drie varianten voor de binnenhaven (A, B en C). Op basis van de vaarsimulaties met RoRo-ferries werden optimalisaties doorgevoerd aan de varianten voor de Achterhaven, welke resulteerden in de varianten D, E en F. Hierbij stelt variant E het minimale ontwerp voor vereist voor de toegankelijkheid van de sluis door het ontwerpschip (265 m x 40 m) voor de sluis. Variant F (mits gecombineerd met afgemeerde schepen die maximaal 32.2 m breed zijn) stemt overeen met het minimale ontwerp waarbij er scheepsontmoetingen uitgevoerd kunnen worden in de nabijheid van de sluis. Het ontwerpschip voor ontmoetingen betrof het langste schip dat op heden naar de Achterhaven vaart (265 m x 32.2 m).

Voor de buitenhaven toonden de simulaties een uitgesproken voorkeur aan voor variant 1. Voorgestelde optimalisaties aan deze variant betreffen de aanpassing van de bestaande lichtenlijn en het voorzien van een afgescheiden vaarweg voor kleine pleziervaart.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VIII
Lijst van de figuren IX
1 Inleiding 1
1.1 Opdrachtspecificatie 1
1.2 Varianten Buitenhaven 2
1.3 Varianten Achterhaven 3
1.4 Methodologie 5
2 Studieschepen 6
2.1 Ontwerpschip Manoeuvreerstudie Nieuwe Sluis Zeebrugge 6
2.2 Ontwerpschip Ontmoetingen Verbindingskanaal 7
2.3 Sleepboten 8
3 Simulatieomgevingen 9
3.1 Aannames ontwikkelingen vaargebieden 9
3.1.1 Ontwikkelingen Buitenhaven 9
3.1.2 Ontwikkelingen Achterhaven 9
3.2 Bathymetrie, waterstanden en tijcondities 9
3.3 Windcondities 10
3.4 Geleidingsconstructies 11
3.5 Sluisfendering 13
3.6 Afgemeerde schepen 13
4 Uitvoering en analyse 14
4.1 Organisatie 14
4.2 Uitgevoerde simulaties 14
4.3 Analyse en verwerking 16
4.3.1 Beoordeling door loodsen 16
4.3.2 Grafieken 16
4.3.3 KMZ-output 17
5 Resultaten Achterhaven 18
5.1 Variant A 18

5.1.1 Simulatie VA_05 20
5.1.2 Simulatie VA_08 20
5.2 Variant B 22
5.2.1 Simulatie VB_01 23
5.2.2 Simulatie VB_02 23
5.2.3 Simulatie VB_03 24
5.2.4 Simulatie VB_04 24
5.2.5 Simulatie VB_07 25
5.3 Variant C 26
5.3.1 Simulatie VC_06 27
5.4 Variant D 28
5.4.1 Simulatie VD_09 30
5.4.2 Simulatie VD_10 30
5.4.3 Simulatie VD_11 30
5.4.4 Simulatie VD_12 31
5.4.5 Simulatie VD_13 31
5.4.6 Simulatie VD_14 32
5.4.7 Simulatie VD_15 32
5.4.8 Simulatie VD_16 32
5.5 Variant E 34
5.6 Variant F (ontmoetingen) 35
5.6.1 Simulatie VF_17 36
5.6.2 Simulatie VF_18 37
5.6.3 Simulatie VF_19 38
6 Resultaten Buitenhaven 43
6.1 Variant 0 43
6.1.1 Simulatie V0_01 45
6.1.2 Simulatie V0_02 46
6.1.3 Simulatie V0_03 46
6.1.4 Simulatie V0_04 47
6.1.5 Simulatie V0_05 47
6.1.6 Simulatie V0_17 48
6.1.7 Simulatie V0_18 50
6.2 Variant 1 51
6.2.1 Simulatie V1_06 53
6.2.2 Simulatie V1_07 53

6.2.3 Simulatie V1_08 54
6.2.4 Simulatie V1_09 54
6.2.5 Simulatie V1_10 55
6.2.6 Simulatie V1_11 55
6.2.7 Simulatie V1_12 55
6.2.8 Simulatie V1_13 56
6.2.9 Simulatie V1_14 56
6.2.10 Simulatie V1_15 57
6.2.11 Simulatie V1_16 58
7 Samenvatting en conclusies 62
7.1 Manoeuvre sluisinvaart 62
7.2 Achterhaven 63
7.3 Buitenhaven 64
7.4 Algemene opmerkingen sluisontwerp 66
7.5 Vervolgonderzoek 66
8 Referenties 68
Bijlage 1 Pilot Card simulatieschepen B1
Car Carrier NSZ (NSZ) B1
Odyssea (Mark-V) B3
Bijlage 2 Standaardgrafieken B5
Bijlage 3 Handleiding gebruik KMZ-bestanden B85

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Algemene kenmerken ontwerpschepen voor manoeuvreerstudie CP NSZ 6
Tabel 2 – Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen voor terreinklasse 3..... 11
Tabel 3 – Overzicht uitgevoerde simulaties en condities..... 14
Tabel 4 – Aantal uitgevoerde simulaties per variant van de Achterhaven 18
Tabel 5 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant A (Achterhaven)..... 40
Tabel 6 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant B (Achterhaven)..... 40
Tabel 7 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant C (Achterhaven)..... 41
Tabel 8 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant D (Achterhaven)..... 41
Tabel 9 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant F (Achterhaven) 42
Tabel 10 – Aantal uitgevoerde simulaties per variant van de Buitenhaven..... 43
Tabel 11 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant 0 (Buitenhaven) 60
Tabel 12 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant 1 (Buitenhaven) 61

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Projectgebied Nieuwe Sluis Zeebrugge met terminologie toegepast in rapport 1
Figuur 2 – Weergave varianten 0 (geel) en 1 (blauw) aangeleverd door aMT (begin 2020) 2
Figuur 3 – Weergave variant A voor Achterhaven (rood) vergeleken met Visart-ontwerp uit onderzoeksfase (groen) 4
Figuur 4 – Weergave variant B voor Achterhaven 4
Figuur 5 – Weergave variant C voor Achterhaven 5
Figuur 6 – Visualisaties 3D-model CarCar_265_400_NSZ 7
Figuur 7 – Visualisaties 3D-model Odyssea 7
Figuur 8 – Windroos te Zeebrugge (2010 – 2019) voor alle windsterktes (links) en voor windsterktes vanaf 5 Bft (rechts) 11
Figuur 9 – Sluisgeleiding op het Kielkanaal (Duitsland) te sluis Brunsbüttel als inspiratie voor ontwerp in simulaties 12
Figuur 10 – Sluisgeleiding (200 m) zoals toegepast tijdens de simulaties 12
Figuur 11 – Variant A (Achterhaven) 19
Figuur 12 – Variant A (Achterhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken 19
Figuur 13 – Contact tussen achterschip en oostelijke oever voorhaven bij sluisuitvaart in simulatie VA_08 21
Figuur 14 – Variant B (Achterhaven) 22
Figuur 15 – Sluisnadering in simulatie VB_04 25
Figuur 16 – Sluisnadering in simulatie VB_07 26
Figuur 17 – Variant C (Achterhaven) 27
Figuur 18 – Eindpositie schip in sluis in simulatie VC_06 28
Figuur 19 – Variant D (Achterhaven) 29
Figuur 20 – Variant D (Achterhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken 8° 29
Figuur 21 – Alternatieve uitvoering oostelijke oever Verbindingskanaal zoals onderzocht in simulatie VD_16 33
Figuur 22 – Variant E (Achterhaven) 34
Figuur 23 – Variant F (Achterhaven) 36
Figuur 24 – Ontmoeting tussen twee schepen in simulatie VF_17 37
Figuur 25 – Ontmoeting tussen twee schepen in simulatie VF_18 38
Figuur 26 – Ontmoeting tussen twee schepen in simulatie VF_19 39
Figuur 27 – Variant 0 (Buitenhaven) 44
Figuur 28 – Variant 0 (Buitenhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken 45
Figuur 29 – Sluisnadering in simulatie V0_01 46
Figuur 30 – Sluisnadering langs geleidingsconstructie in simulatie V0_05 48

Figuur 31 – Sluisnadering in simulatie V0_17 49

Figuur 32 – Sluisnadering in simulatie V0_17 (2) 49

Figuur 33 – Ruimtebeslag in simulatie V0_18 50

Figuur 34 – Variant 1 (Buitenhaven) 52

Figuur 35 – Variant 1 (Buitenhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken 52

Figuur 36 – Sluiscontact in simulatie V1_07 54

Figuur 37 – Simulatie V1_15: toepassing van noodsteiger voor scheiding zeevaart en pleziervaart in voorhaven 58

Figuur 38 – Simulatie V1_16: toepassing van noodsteiger voor scheiding zeevaart en pleziervaart in voorhaven met vooropgestelde lichtenlijn 59

Figuur 39 – Presentation of Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (full simulation) B85

Figuur 40 – Presentation of Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (time selection) B86

Figuur 41 – Presentation of the simulation trajectories in the left panel B87

Figuur 42 – Presentation of Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (PLAY functionality) B88

Figuur 43 – Layers menu in Google Earth™ B88

1 Inleiding

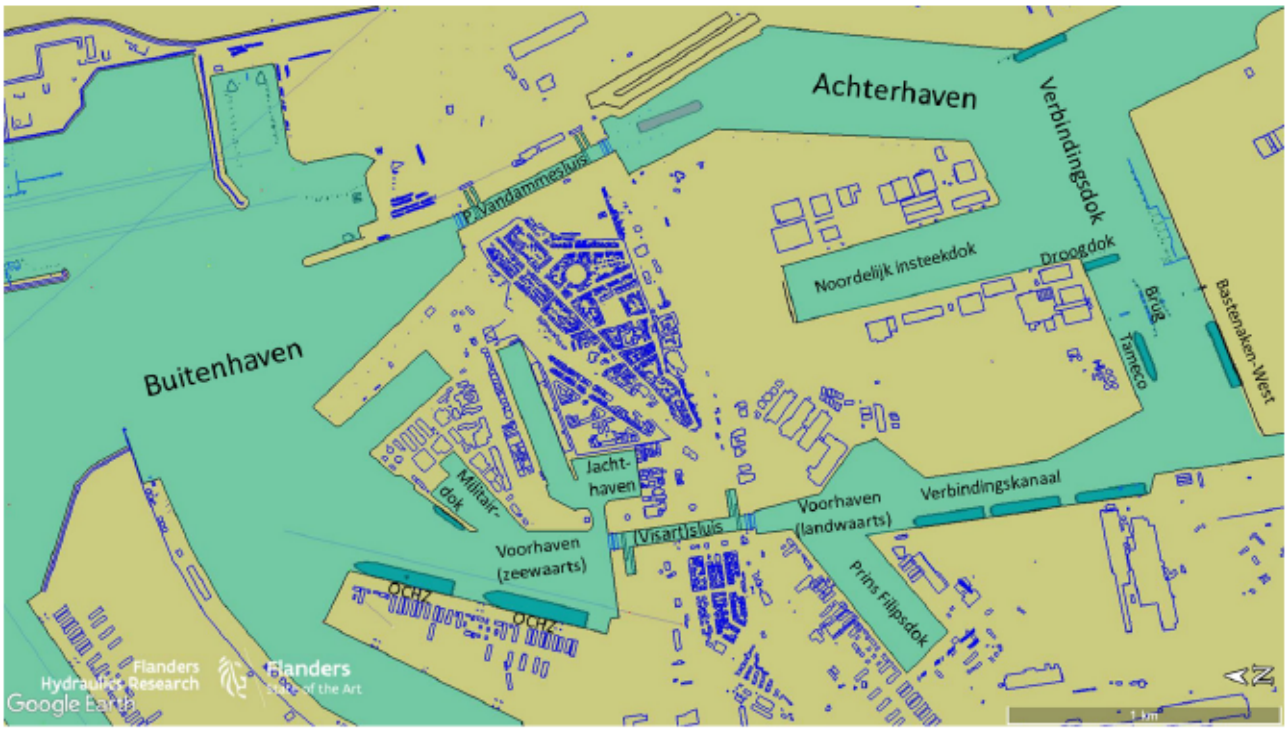
1.1 Opdrachtspecificatie

Op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) onderzoekt het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de nautische optimalisatie van de voorkeurslocatie 'Visart' vastgelegd door de Vlaamse Regering voor Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) (Vlaamse Overheid, 2019).

Nadat de resultaten uit een eerste deskstudie (Verwilligen *et al.*, 2020) besproken werden met de beide betrokken loodswezens (DAB Loodswezen en CVBA Brabo) werd beslist om in 2020 een eerste realtime simulatiestudie uit te voeren.

De uitgevoerde simulatiestudie bevat een beoordeling van verschillende ontwerpvarianten voor zowel Buitenhaven als Achterhaven te Zeebrugge. Voor de Achterhaven werden bovendien zowel de enkele vaart door het nautische ontwerpschip, als sluisuitwisseling tussen kleinere scheepstypes in rekening gebracht.

Voor een overzicht van het projectgebied, met aanduiding van de relevante locaties en bijhorende naamgeving in het rapport, wordt verwezen naar Figuur 1.



Figuur 1 – Projectgebied Nieuwe Sluis Zeebrugge met terminologie toegepast in rapport

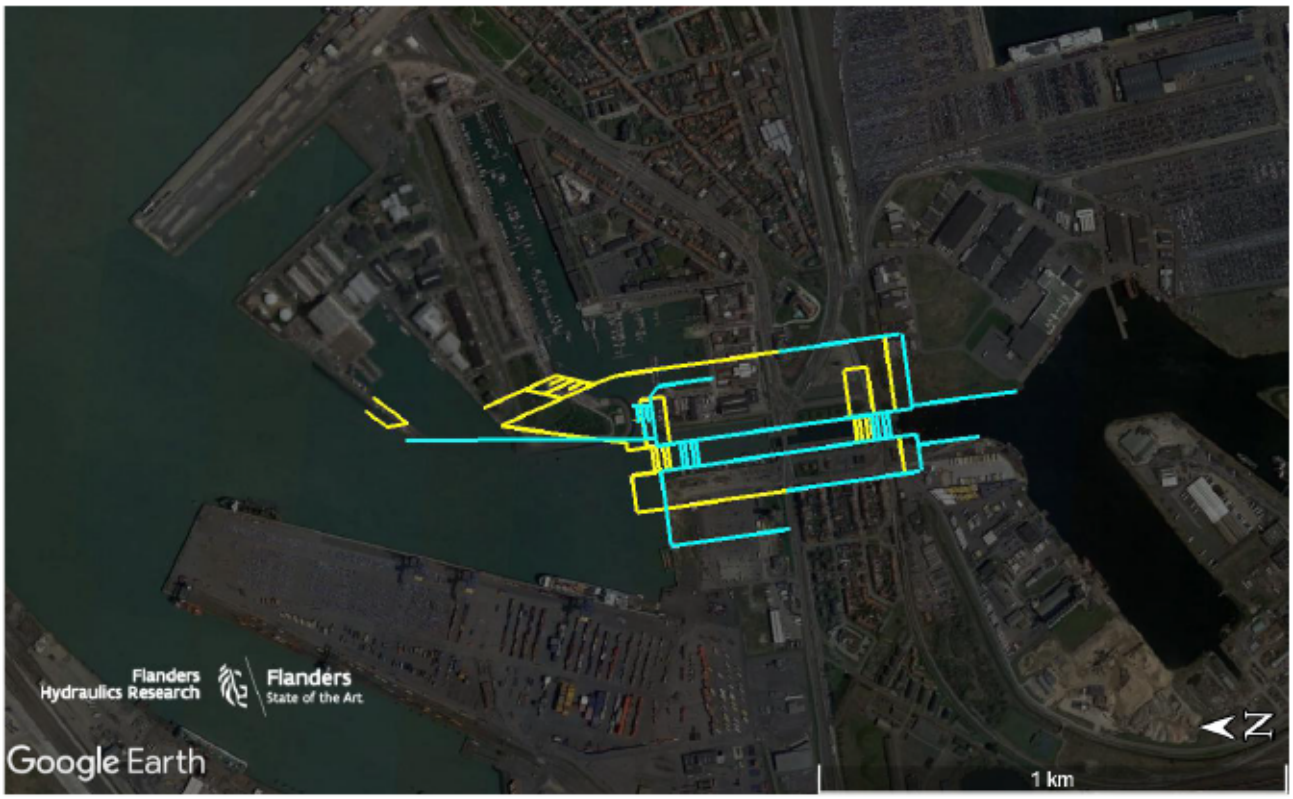
1.2 Varianten Buitenhaven

De basis voor de nautische optimalisatie van CP NSZ betroffen twee ontwerpen welke begin 2020 gedefinieerd werden door aMT (zie Figuur 2). Deze varianten onderscheiden zich voornamelijk in de Buitenhaven.

De nulvariant (**V0**, geel) stemt overeen met het basisalternatief uit het voorkeursbesluit voor CP NSZ. In variant 0 wordt de toegang van de jachthaven verlegd naar het Militair Dok. De positie van de sluis verschuift hierbij 63 m in afwaartse (noordelijke) richting. De korte afstand tot de tegenoverliggende kaai OCHZ en de bijhorende beperkte afstand om het schip naar de sluis op te lijnen, wordt in variant 0 gecompenseerd door een bredere voorhaven waardoor er ingesneden wordt in zowel de oever aan het Visserskruis als in een deel van de noordelijke havendam van het Militair Dok.

Een variant op het basisalternatief (**V1**, blauw) veronderstelt het behoud van de bestaande ingang tot de jachthaven (Prins Albertdok). Hiertoe werd het afwaartse sluishoofd gepositioneerd ter hoogte van de zuidelijke havendam van de jachthaven. Een kleinere oeverinname ter hoogte van het Visserskruis dan in variant 0 wordt voorzien aangezien de sluis zich op een zuidelijkere positie bevindt en er aldus een langere voorhaven ontstaat.

In Verwilligen *et al.* (2020) werd opgemerkt dat beide varianten voor de buitenhaven onvoldoende ruimte bieden voor de sleepbootassistentie van een schip aan de oostelijke zijde, waardoor er rekening houdend met de conclusie uit het SHIP-project (Vos *et al.*, 2012 en Vos *et al.*, 2012), een beperkte toegankelijkheid van de sluis verwacht werd bij sterke westelijke windcondities. In het onderzoek werd de meerwaarde onderzocht van een geleidingsconstructie aansluitend op de oostelijke kolkmuur.



Figuur 2 – Weergave varianten 0 (geel) en 1 (blauw) aangeleverd door aMT (begin 2020)

1.3 Varianten Achterhaven

De varianten voor de Achterhaven worden in de simulatiestudie steeds gecombineerd met variant 1 voor de Buitenhaven aangezien deze variant overeenstemt met de meest zuidelijke positie van het bovenhoofd. De sluisvarianten werden bovendien gecombineerd met enkele besliste ontwikkelingen in de Achterhaven (zie §3.1.2).

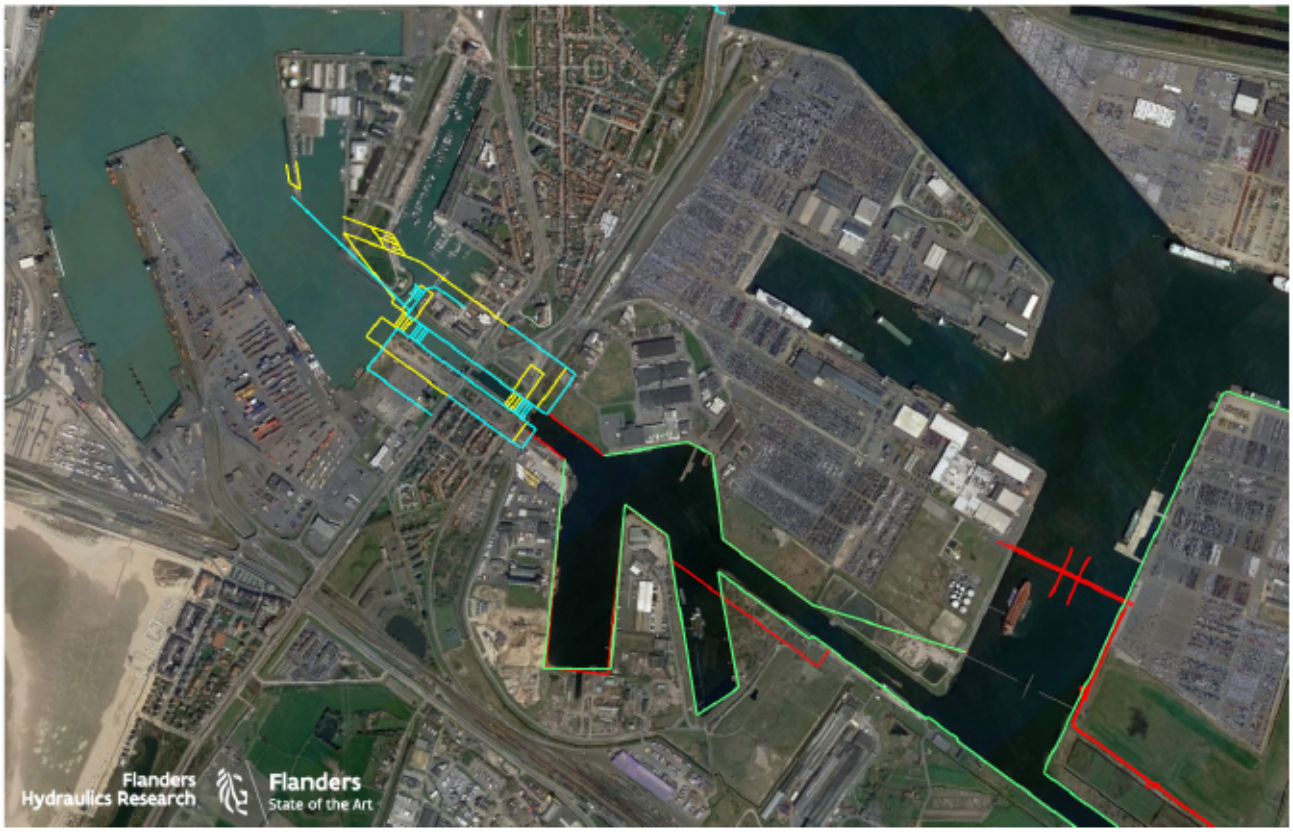
De gekozen sluislocatie Visart impliceert een grote afstand tussen de sluis en het Verbindingsdok. Het kanaal tussen sluis en Achterhaven (verder *Verbindingskanaal* genoemd) dient hiertoe verbreed te worden. Voor het ontwerp van het Verbindingskanaal wordt in eerste instantie uitgegaan van het Visart-ontwerp toegepast in de onderzoeksfase (Vos *et al.*, 2017) welke gepaard gaat met een doorvaartbreedte van ca. 90 m wat overeenkomt met het basisalternatief uit het voorkeursbesluit voor CP NSZ. In tegenstelling tot de onderzoeksfase wordt nu aangenomen dat er over een beperkte lengte, afmeerkaaien voorzien worden aan de westelijke oever, zoals vooropgesteld door het havenbedrijf MBZ. Het aldus bekomen ontwerp voor de binnenhaven wordt aangeduid met **variant A** (zie Figuur 3).

In Verwilligen *et al.* (2020) werd aangetoond dat een breedte gelijk aan 90 m voor het Verbindingskanaal en voor de opwaartse voorhaven van de sluis, een erg kleine waarde is. Tijdens de simulatiestudie werden bijgevolg ook enkele varianten voor de binnenhaven onderzocht met een grotere breedte van het Verbindingskanaal.

In **variant B** (zie Figuur 4) wordt een verruiming van het Verbindingskanaal in westelijke richting vooropgesteld. Hierbij wordt de voorhaven van de sluis zodanig verbreed in westelijke richting, opdat aan deze zijde een duwende sleepboot zou kunnen assisteren. Bovendien wordt de westelijke kaaimuur voor afgemeerde schepen zoals voorzien in Alternatief A, doorgetrokken tot aan de sluis. Alternatief B zal gesimuleerd worden zowel met als zonder geleidingsconstructie aan de oostzijde van de sluis. Over de volledige lengte van het Verbindingskanaal (uitgezonderd aansluitend op de sluis) bedraagt de breedte minimaal 145 m, waarbij de westelijke kaaimuur deels ingenomen wordt door afgemeerde schepen (breedte 40 m).

In **variant C** (zie Figuur 5) wordt de westelijke uitbreiding uit variant B gecombineerd met een beperkte oostelijke uitbreiding van het Verbindingskanaal die als initieel doel had om bij belangrijke westelijke windcondities een duwende sleepboot aan de oostzijde toe te passen. Hiervoor wordt een minimale oostelijke verbreding van de voorhaven met 40 m vereist geacht. Alternatief C dient tijdens de sluismanoeuvres de assistentie van een duwende sleepboot aan beide zijden toe te laten. Dit was één van de aanbevelingen uit voorafgaand simulatieonderzoek naar het SHIP-project (Vos *et al.*, 2012 en Vos *et al.*, 2012). De breedte van het Verbindingskanaal bedraagt in variant C 185 m (opnieuw beperkt door afgemeerde schepen aan de westelijke kaaimuur). Variant C stemt in feite overeen met het alternatief *Visart-Oost* uit de onderzoeksfase. Het alternatief *Visart-Oost* werd in het voorkeursbesluit weggeschreven, derhalve kan variant C niet als redelijk alternatief worden meegenomen. Variant C wordt enkel onderzocht om de vergelijking te kunnen maken met variant B met geleidingsconstructie. Zo kan variant B met geleidingsconstructie geëvalueerd worden tegenover de nautisch gunstiger/wenselijker situatie waarbij er voldoende water is aan de oostkant.

Na uitvoering van zowel de eerste als de tweede simulatiedag werden er bijkomende varianten gedefinieerd voor de Achterhaven. Deze varianten worden besproken in de rapportering van de simulatieresultaten voor de Achterhaven (zie H5). Initieel werd hierbij uitgegaan van de optimalisering van eenrichtingsvaart voor het nautische ontwerpschip van NSZ. Op een laatste simulatiedag werden echter ook varianten voor het Verbindingskanaal onderzocht welke ontmoetingen dienen toe te laten tussen schepen met een kleinere scheepsbreedte.



Figuur 3 – Weergave variant A voor Achterhaven (rood) vergeleken met Visart-ontwerp uit onderzoeksfase (groen)



Figuur 4 – Weergave variant B voor Achterhaven

1.4 Methodologie

Op de simulatoren in het WL werden vaarsimulaties uitgevoerd door kustloodsen (DAB Loodswezen) en havenloodsen (CVBA Brabo). De sleepboten werden bediend door een ervaren sleepbootkapitein (Boluda Towage NV). Verschillende varianten werden onderzocht waarbij de simulaties begeleid, geanalyseerd en gerapporteerd werden door een onderzoeker van het WL.

De te onderzoeken varianten werden door WL geïmplementeerd in de simulator op basis van plannen aangeleverd door aMT, gecombineerd met de ontwerpafspraken vastgelegd op twee overlegmomenten (17/12/2019 en 16/01/2020) in aanwezigheid van de betrokken loodsdiensten, afdeling Maritieme Toegang en het havenbedrijf MBZ. Op basis van tussentijdse resultaten uit de simulatiestudie, werden er bijkomende varianten gedefinieerd welke eveneens geïmplementeerd werden in de simulator en meegenomen werden in het onderzoek.

Doel van het onderzoek was om de operationele limieten te bepalen voor verschillende ontwerpvarianten (zie §0 en §1.3). Hiervoor worden onderstaande variabelen onderzocht:

- sluismanoeuvres door ontwerpschip NSZ (in- en uitvaart);
- toegevoegde waarde geleidingsconstructies;
- windlimieten;
- sleepbootassistentie;
- ontmoetingen in het Verbindingskanaal (Achterhaven) tussen schepen met kleinere afmetingen.



Figuur 5 – Weergave variant C voor Achterhaven

2 Studieschepen

2.1 Ontwerpschip Manoeuvreerstudie Nieuwe Sluis Zeebrugge

Het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge werd vastgelegd in de selectiefase en betreft een RoRo-ferry die de maximale lengte voor de Achterhaven (265 m) combineert met de maximale breedte voor de Achterhaven (40 m). Het simulatieschip werd gemodelleerd in Vos *et al.* (2017) en wordt opnieuw toegepast in de huidige studie. Tabel 1 presenteert de belangrijkste eigenschappen van het ontwerpschip voor CP NSZ. Aangezien niet alle RoRo-ferries uitgerust zijn met een hekschroef, werd deze tijdens de simulatiestudie niet toegepast.

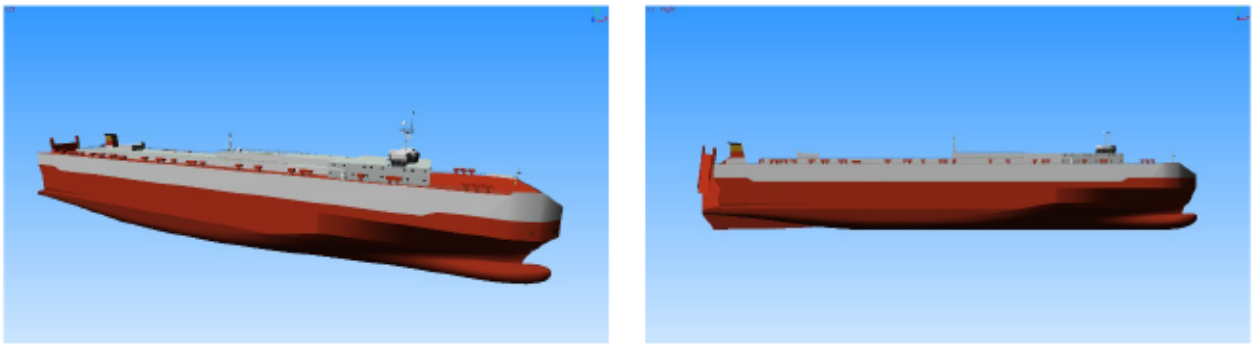
Een uitgebreid overzicht van de scheepseigenschappen wordt weergeven in de Pilot Card in Bijlage 1.

Figuur 6 toont enkele visualisaties van het 3D-model van het schip zoals gemodelleerd in de simulator.

De aandacht wordt gevestigd op de verschillende afmetingen van de ontwerpschepen toegepast voor de manoeuvreersimulaties en van het maximale schip voor het sluisontwerp. Dit laatste betreft een Neo Panamax schip met afmetingen 366 m x 49 m x 15.3 m.

Tabel 1 – Algemene kenmerken ontwerpschepen voor manoeuvreerstudie CP NSZ

Parameter	CP NSZ	Ontmoetingen Verbindingskanaal
Scheepsnaam [-]	CarCar_265_400_NSZ	Odyssea
Scheepstype [-]	NSZ	Mark-V
L_{oa} [m]	265	265
L_{pp} [m]	247	247
B [m]	40	32.2
T [m]	9.5	11.0
Massa [ton]	45781	42659
Aantal schroeven	1	1
Aantal roeren	1	1
Vermogen boegschroef [pk]	2800	2800
Vermogen hekschroef [pk]	2800	2800
Awx [m^2]	1442	988
Awy [m^2]	7916	7294

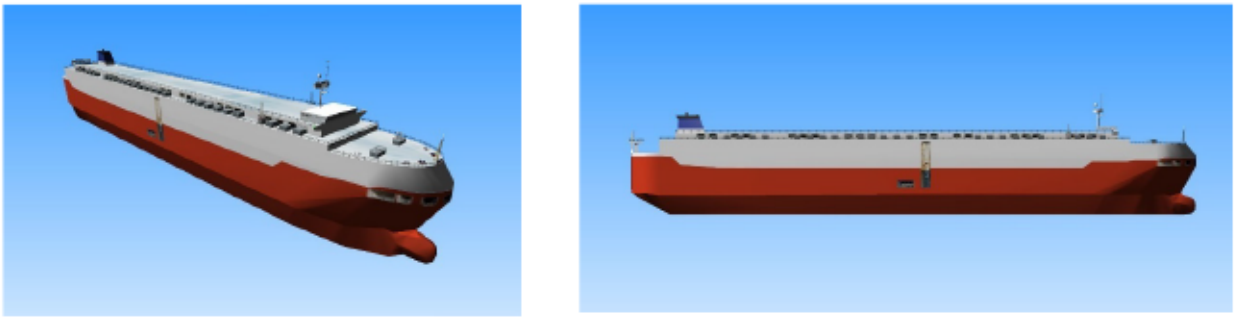


Figuur 6 – Visualisaties 3D-model CarCar_265_400_NSZ

2.2 Ontwerpschip Ontmoetingen Verbindingskanaal

Op een laatste simulatiedag werden ontmoetingen in het Verbindingskanaal onderzocht. Hierbij werden de twee scheepsmanoeuvreersimulatoren van WL met elkaar gekoppeld opdat twee schepen in een zelfde omgeving gesimuleerd konden worden. Zoals bepaald door de opdrachtgever (aMT) en de haven (MBZ) werden ontmoetingen in het Verbindingskanaal uitgevoerd met het langste schip dat op vandaag de Achterhaven aandoet. Het betreft een RoRo-ferry van het type Mark-V die een lengte gelijk aan 265 m combineert met een breedte gelijk aan 32.2 m (scheepsnaam in simulator is Odyssea). Het maatgevende schip voor ontmoetingen ging dus gepaard met een kleinere breedte (32.2 m) dan het ontwerpschip voor NSZ (40.0 m). Voor beide schepen worden de belangrijkste eigenschappen weergegeven in Tabel 1. Doordat een Mark-V schip een bestaand scheepstype is dat steeds uitgerust is met zowel boeg- als hekschroef konden beide toegepast worden tijdens de simulaties.

Visualisaties van het 3D-model van het schip Odyssea worden weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 – Visualisaties 3D-model Odyssea

2.3 Sleepboten

Sleepboten werden tijdens de simulatiestudie bediend door een ervaren sleepbootkapitein (Boluda Towage NV) door middel van een vereenvoudigde bedieningsconsole. Hierbij werden de sleepboten gesimuleerd door middel van een realistische vectormodellering met verschillende invloedsparameters (snelheid, sleeprichting, etc.).

Bij de start van de simulatie wordt het gebruik van sleepboten beslist in overleg tussen de deelnemende loodsen, de sleepbootkapitein en de projectleider. Er worden sleepboten ter beschikking gesteld met een bollard pull gelijk aan 65 ton en 80 ton overeenkomstig de minimale vereisten uit de concessie voor sleepdiensten Zeebrugge (NV Maatschappij van de Brugse Zeehaven, 2019).

Als basisconfiguratie voor de sleepboten werd uitgegaan van een voorboot met BP 65 ton en een achterboot met BP 80 ton. Indien deze sleepbootconfiguratie gepaard ging met onvoldoende reserves, dan werd deze aangepast.

3 Simulatieomgevingen

In volgend hoofdstuk wordt beschreven op welke manier de verschillende ontwerpvarianten gemodelleerd werden in een simulatieomgeving.

3.1 Aannames ontwikkelingen vaargebieden

3.1.1 Ontwikkelingen Buitenhaven

Er worden in de Buitenhaven geen belangrijke ontwikkelingen verondersteld die een impact hebben op de toegankelijkheid van de Visart-site. Onderstaande bijkomende obstructies werden toegevoegd aan de Buitenhaven:

- afgemeerde containerschepen aan OCHZ (scheepsbreedte 51.2 m);
- afgemeerd marineschip met breedte 18.0 m aan buitenzijde Militair dok

3.1.2 Ontwikkelingen Achterhaven

Het havenbedrijf MBZ voorziet verschillende ontwikkelingen welke interfereren met de toegankelijkheid van het Verbindingskanaal. Deze aanpassingen werden opgenomen in de alternatieven voor de Achterhaven.

Het betreffen:

1. de constructie van afmeerkaaien aan westelijke oever Verbindingskanaal;
2. de bouw van een nieuwe brug over het Verbindingsdok met doorvaarbreedte 55 m met bijhorende navigatielichten in het verlengde van de bruggeleidingen;
3. de installatie van een droogdok in het Verbindingsdok ten noordoosten van de brug;
4. de ontwikkeling van een RoRo-terminal in het Verbindingsdok ten zuidwesten van de brug (Bastenaken-West);
5. de verbreding van het zuidelijke Boudewijnkanaal met inrichting RoRo-terminals op de oostelijke oever (deze ontwikkeling werd enkel geïmplementeerd in variant C).

Bijkomend werd bij het onderzoek naar ontmoetingen in het Verbindingskanaal (variant F) ook aan de oostzijde van het Verbindingskanaal een kaaimuur ingetekend op basis van mogelijke ontwikkelingen door MBZ.

3.2 Bathymetrie, waterstanden en tijcondities

Het projectgebied werd verdiept volgens de ontwerpdieptes welke golden bij de start van het onderzoek (begin 2020). Hierbij werd tot aan de waterlijn uitgegaan van een maximale verdieping van het projectgebied, behalve in de hieronder bepaalde gevallen:

- Buitenhaven
  - -15.1 m TAW in Buitenhaven
  - -3.0 m TAW in jachthaven (Prins Albertdok)
- Achterhaven
  - -15.1 m TAW in Verbindingskanaal
  - -4.2 m TAW in Prins Filipsdok
  - -4.7 m TAW in Oud-Ferrydok
  - -3.7 m TAW aan Vismijn
  - -15.1 m TAW in Verbindingsdok

Samenvattend kan gesteld worden dat de vaaromgevingen naar NSZ, gepaard gingen met een diepte gelijk aan -15.1 m TAW. Rekening houdend met een dokpeil gelijk aan +3.4 m TAW (Achterhaven) en een gemiddelde tijvariatie tussen +0.56 m TAW en +4.21 m TAW (Buitenhaven), stemmen de ontwerpdieptes overeen met ruime kielspelingen voor de diepgangen van ontwerpschepen gedefinieerd voor de manoeuvreersimulaties (d.i. 9.5 m tot 11.0 m). Anderzijds stemt de ontwerpdiepte -15.1 m TAW overeen met een tijafhankelijke toegankelijkheid van het ontwerpschip voor de sluis (diepgang 15.3 m).

Bij aanvang van de studie werd verondersteld dat de stroomsnelheden in de afwaartse voorhaven van de sluis erg beperkt zijn. Bijgevolg werd als maatgevende tijconditie een laagwater conditie geselecteerd bij een waterstand gelijk aan 0 m LAT (= -0.23 m TAW).

Simulaties uitgevoerd naar varianten van de Achterhaven werden uitgevoerd bij een waterstand overeenkomstig het dokpeil (+3.4 m TAW).

In de Project Onderzoeksnota van 10 november 2020 (Vlaamse Overheid, 2020) wordt ook een alternatieve diepte voor het Verbindingskanaal vermeld (-13.1 m TAW). Rekening houdend met het dokpeil (+3.4 m TAW) stemt deze alternatieve bodemdiepte overeen met een waterdiepte gelijk aan 16.5 m. Deze waterdiepte is ruim voor het nautische ontwerpschip, dat gepaard gaat met een maximale diepgang gelijk aan 11.0 m. De toepassing van de alternatieve diepte voor de Achterhaven (-13.1 m TAW) zal bijgevolg geen invloed hebben op de conclusies uit voorliggend onderzoek. Met betrekking tot het ontwerpschip voor de sluis (diepgang 15.3 m) stemt de verminderde bodemdiepte overeen met een kielspeling gelijk aan 1.2 m (8%) welke overeenstemt met de minimale kielspeling in vergelijkbare (niet tijgebonden) vaaromgevingen.

3.3 Windcondities

Simulaties werden uitgevoerd bij belangrijke windcondities waarvan aangenomen kan worden dat zij de sluismanoeuvres door het ontwerpschip dienen te faciliteren.

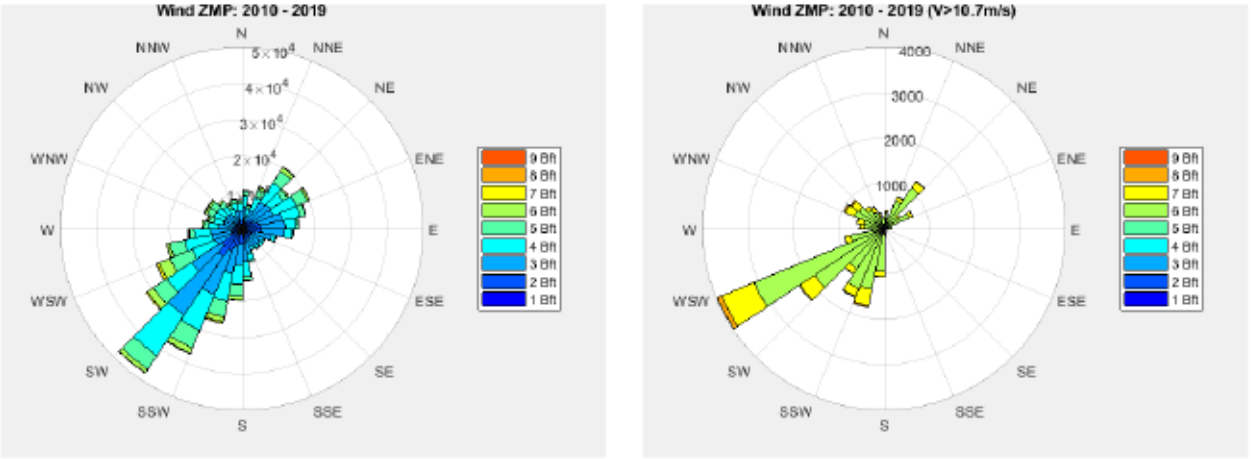
Uit Figuur 8 blijkt dat de dominante windrichting voor de hogere Beaufort-klasses westzuidwestelijk georiënteerd is. Deze windrichting gaat bovendien gepaard met een dwarse invalshoek ten opzichte van de sluis en is nautisch ongunstig. Beide factoren (frequentie van voorkomen en oriëntatie ten opzichte van de sluis) leidden ertoe dat het merendeel van de simulaties uitgevoerd werd bij een westzuidwestelijke windrichting bij een kracht gelijk aan 6 Bft.

De wind werd gesimuleerd door middel van een uniform windveld (dus geen afscherming van bruggen, afgemeerde schepen of gebouwen) en met een variërende vlagerigheid. De windconditie werd gedefinieerd op basis van de synoptisch gemiddelde waarde voor de windsnelheid en de windrichting, gecombineerd met een ruwheidsfactor welke de vlagerigheid van het windveld bepaalt. De vlagerigheid werd berekend op basis van een Von Karmanspectrum, waarvan de spreiding afhankelijk is van de terreinruwheid volgens de ruwheidsklassen van Davenport (Davenport, 1967). Voor de simulatieomgeving Zeebrugge werd de ruwheidsklasse 3[1] toegepast.

Om de windcondities te relateren aan de Beaufortschaal werd de synoptisch gemiddelde windsnelheid bepaald als de gemiddelde windsnelheid welke geldt voor de Beaufortklasse. Ten gevolge van de vlagerigheid echter zal de effectieve windsnelheid in de simulatieomgeving niet steeds overeenkomen met de ingestelde Beaufortklasse. Zo kan, bij het optreden van windvlagen, de windsnelheid kortstondig waarden aannemen overeenkomstig een hogere beaufortklasse. De procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen wordt weergegeven in Tabel 2. Voor een gekozen Beaufortklasse van 6 Bft tijdens de simulaties zal bijvoorbeeld volgens Tabel 2 gedurende 16 % van de tijd de windsnelheid overeenkomen met 7 Bft. Omdat het evalueren van de windsterkte voor de toegankelijkheid van scheepvaart in werkelijkheid

[1] De Davenport ruwheidsklasse 3 wordt beschreven als: open ruimte, zeer korte begroeiing, enkele alleenstaande hindernissen (hoogte < 10% van de afstand tot het meetpunt). Vb. vliegveld.

gebaseerd wordt op de geregistreerde windsnelheden op de windmeters van de schepen of VTS, blijken tijdens simulaties de gemiddelde windklassen sterker te zijn dan in werkelijkheid. Een gemiddelde windkracht van 6 Bft tijdens de simulaties zal dus door de loodsen door de pieken mogelijks als een 7 Bft klasse geïnterpreteerd worden. Deze laatste opmerking moet men begrijpen als enerzijds een objectieve meting van de windkracht met de verdeling zoals in Tabel 2 en de subjectieve beoordeling van de windkracht door een waarnemer bij het volgen van de windmeter. In het laatste geval zal een waarnemer vooral de hoge windsnelheden waarnemen. Objectivering is echter noodzakelijk om hiermee om te gaan.



Figuur 8 – Windroos te Zeebrugge (2010 – 2019) voor alle windsterktes (links) en voor windsterktes vanaf 5 Bft (rechts)

Tabel 2 – Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen voor terreinklasse 3

Gemiddelde windsnelheid		Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen						
Bft	m/s	3 Bft	4 Bft	5 Bft	6 Bft	7 Bft	8 Bft	9 Bft
5	9.4	0.2	16.5	61.3	19.0	0.1	0.0	0.0
6	12.3	0.0	0.06	15.8	67.9	16.2	0.0	0.0

3.4 Geleidingsconstructies

Met name voor de alternatieven in de Buitenhaven werd de meerwaarde van een geleidingsconstructie voor sluismanoeuvres onderzocht. Ook in variant B voor de Achterhaven werd de optionele toepassing van een geleidingsconstructie onderzocht.

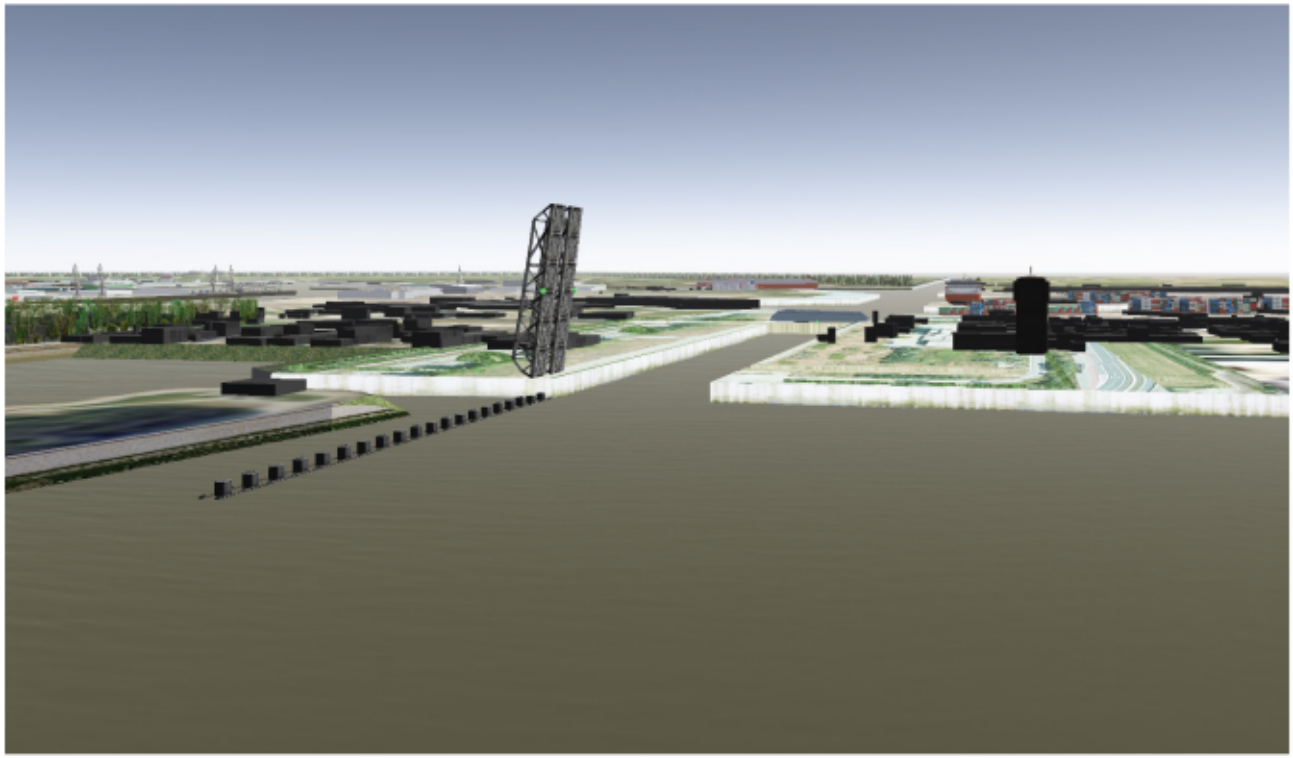
Voor toepassing van de geleidingsconstructies in de simulator werd gebruik gemaakt van een ontwerp bestaande uit drijframen welke via schokdempende constructies verbonden worden met buispalen. Hierbij dienden de geleidingsconstructies te Brunsbüttel (DE) als voorbeeld (zie Figuur 9). De botskarakteristieken van deze geleidingsconstructies worden gekozen in overeenstemming met deze van drijframen in sluizen (de bijkomende demping door schokdempende constructies werd niet gemodelleerd).

Er werden varianten van de geleidingsconstructie voorzien met lengte 150 m en 200 m (zie Figuur 10) welke op verschillende manieren gecombineerd werden.

Voor de eerder genoemde varianten (0, 1 en B) werden buitenbeelden en botskarakteristieken gemodelleerd opdat simulaties uitgevoerd konden worden met en zonder de geleidingsconstructies.



Figuur 9 – Sluisgeleiding op het Kielkanaal (Duitsland) te sluis Brunsbüttel als inspiratie voor ontwerp in simulaties



Figuur 10 – Sluisgeleiding (200 m) zoals toegepast tijdens de simulaties

3.5 Sluisfendering

Er werd in deze simulatiestudie geen sluisfendering in rekening gebracht (met uitzondering van de geleidingsconstructies in de voorhaven). De botskarakteristieken van de sluis werden gedefinieerd in overeenstemming met de betonnen sluismuren.

3.6 Afgemeerde schepen

Tijdens de simulatiestudie werden er schepen afgemeerd op onderstaande locaties:

- OCHZ: containerschepen met breedte 51.2 m
- Buitenzijde Militair Dok: marineschip met breedte 18.0 m
- Tameco-steiger (NW Verbindingsdok): tanker met breedte 32.2 m
- RoRo-terminal Bastenaken-West (ZW Verbindingsdok): RoRo-Ferry met breedte 40 m
- NO Verbindingsdok: droogdok met lengte 138 m

De varianten voor de Achterhaven worden uitgerust met kaaimuren langsheen het Verbindingsdok. In varianten A, B, C, D en E worden schepen afgemeerd aan de westelijke oever van het Verbindingskanaal, terwijl in variant F er schepen afgemeerd werden aan de beide zijden van het Verbindingskanaal. De kaaimuren in het Verbindingskanaal werden voorzien voor RoRo-ferries met breedte variërend tussen 32.2 m en 40.0 m. Schepen afgemeerd langs het Verbindingskanaal respecteerden steeds een voldoende afstand tot de sluis. Dit was noodzakelijk om de sluismanoeuvres niet te hinderen.

Tijdens de simulatiestudie werd opgemerkt dat bij belangrijke aflandige wind, afgemeerde schepen gedurende lange tijd opgedrukt worden door sleepboten. Het bijhorende ruimtebeslag door deze sleepboten wordt niet in rekening gebracht in de simulatiestudie.

4 Uitvoering en analyse

4.1 Organisatie

Er werden in het kader van deze studie vier simulatiedagen georganiseerd in juni 2020 en een halve simulatiedag in oktober 2020. Gedurende twee simulatiedagen in juni, werd de Buitenhaven onderzocht en werden er 18 simulaties uitgevoerd door kustloodsen van DAB Loodswezen. Op twee andere dagen in juni, werd de toegankelijkheid van de Achterhaven onderzocht door middel van 16 simulaties uitgevoerd door havenloodsen uit Zeebrugge. Bovendien werden er in oktober 2020 ook ontmoetingen gesimuleerd in de Achterhaven. Hiervoor werden er gedurende een halve simulatiedag drie simulaties uitgevoerd met gekoppelde simulatoren.

Tijdens alle simulaties werd een sleepbootkapitein (Boluda Towage NV) ingezet om een realistische toepassing van de sleepboten te garanderen. In geval van gekoppelde simulaties, werden de sleepboten van het opvarende schip (sluisuitvaart) bediend door de projectleider van WL.

4.2 Uitgevoerde simulaties

Een overzicht van de condities waarbij de simulaties uitgevoerd werden, wordt weergegeven in Tabel 3. De simulaties worden chronologisch genummerd met een afzonderlijke nummering voor de Achterhaven en de Buitenhaven.

De naamgeving van de simulaties bevat bovendien de identificatiecode van de gesimuleerde ontwerpvarianten (d.i. V1, V2, VA, VB, VC, VD en VF).

Voor gekoppelde simulaties in de Achterhaven worden de simulaties op beide simulatoren vermeld in Tabel 3. Deze simulaties kregen eenzelfde naam, maar onderscheiding zich in het vaartraject naar of van de sluis.

Tabel 3 – Overzicht uitgevoerde simulaties en condities

Locatie	Datum	Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]
Achterhaven	11/06/20	VB_01	Uit	NSZ	65+80	32.2	6	WZW
Achterhaven	11/06/20	VB_02	Uit	NSZ	65+80	32.2	6	WZW
Achterhaven	11/06/20	VB_03	In	NSZ	65+80	32.2	6	WZW
Achterhaven	11/06/20	VB_04	In	NSZ	65+80	32.2	6	WZW
Achterhaven	11/06/20	VA_05	In	NSZ	65+80	40	6	WZW
Achterhaven	11/06/20	VC_06	In	NSZ	65+80	40	6	WZW
Achterhaven	11/06/20	VB_07	In	NSZ	65+80	40	6	O
Achterhaven	11/06/20	VA_08	Uit	NSZ	65+80	40	6	NW
Achterhaven	19/06/20	VD_09	In	NSZ	65+80	40	6	WZW

Locatie	Datum	Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]
Achterhaven	19/06/20	VD_10	Uit	NSZ	65+80	40	6	WZW
Achterhaven	19/06/20	VD_11	In	NSZ	65+80	40	6	O
Achterhaven	19/06/20	VD_12	In	NSZ	65+80	40	6	NO
Achterhaven	19/06/20	VD_13	In	NSZ	65+80	40	6	NW
Achterhaven	19/06/20	VD_14	Uit	NSZ	80+80	40	6	NW
Achterhaven	19/06/20	VD_15	Uit	NSZ	80+80	40	6	NO
Achterhaven	19/06/20	VD_16	In	NSZ	65+80	40	6	WZW
Achterhaven	29/10/20	VF_17	In	Mark-V	65+80	40	5	WZW
Achterhaven	29/10/20	VF_18	In	Mark-V	65+80	40	5	WZW
Achterhaven	29/10/20	VF_19	In	Mark-V	65+80	32.2	6	WZW
Achterhaven	29/10/20	VF_17	Uit	Mark-V	65+80	40	5	WZW
Achterhaven	29/10/20	VF_18	Uit	Mark-V	65+80	40	5	WZW
Achterhaven	29/10/20	VF_19	Uit	Mark-V	65+80	32.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V0_01	In	NSZ	65+80	51.2	5	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V0_02	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V0_03	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V0_04	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V0_05	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V1_06	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V1_07	In	NSZ	65+80	51.2	6	NO
Buitenhaven	12/06/20	V1_08	In	NSZ	80+80+65	51.2	6	WZW
Buitenhaven	12/06/20	V1_09	In	NSZ	65+80	51.2	6	NW
Buitenhaven	26/06/20	V1_10	In	NSZ	65+80	51.2	5	WZW
Buitenhaven	26/06/20	V1_11	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	26/06/20	V1_12	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	26/06/20	V1_13	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW
Buitenhaven	26/06/20	V1_14	In	NSZ	65+80	51.2	6	O
Buitenhaven	26/06/20	V1_15	In	NSZ	65+80	51.2	6	O
Buitenhaven	26/06/20	V1_16	In	NSZ	65+80	51.2	6	O
Buitenhaven	26/06/20	V0_17	In	NSZ	65+80	51.2	6	O
Buitenhaven	26/06/20	V0_18	In	NSZ	65+80	51.2	6	WZW

4.3 Analyse en verwerking

De simulaties leiden tot onderstaande output:

- Beoordeling van de simulatie door loodsen en sleepbootkapitein;
- Overzichtsgrafieken met tijdsevolutie van de belangrijkste parameters;
- KMZ-weergave voor geanimeerde replay van simulatie.

De output van de simulaties wordt hieronder in meer detail gepresenteerd.

4.3.1 Beoordeling door loodsen

Na elke simulatie werd door de onderzoeker een nabespreking gevoerd met de loodsen en sleepbootkapitein waarbij het uitgevoerde manoeuvre geëvalueerd werd. Behalve een mondelinge bespreking van het manoeuvre werd de simulatie cijfermatig beoordeeld op reserve en moeilijkheidsgraad. Hiervoor werd onderstaande waardeschaal gehanteerd:

- Reserves:
    1. gelukt met veel reserve;
    2. gelukt met voldoende reserve;
    3. gelukt met weinig reserve;
    4. ten einde gebracht met incidenten (geen schade)
    5. niet gelukt met schade;
    6. niet gelukt/opgegeven.
- Moeilijkheidsgraad:
    1. het werd vlot uitgevoerd;
    2. het werd normaal uitgevoerd;
    3. meer dan normale moeilijkheid;
    4. het was moeilijk;
    5. het was uiterst moeilijk;
    6. onuitvoerbaar.

Bovendien werd een ja/neen vraag gesteld of het gesimuleerde manoeuvre ook in realiteit uitgevoerd zou worden.

Bij de bespreking van de simulaties worden deze beoordelingen in tabelvorm voorgesteld per scenario.

4.3.2 Grafieken

Het verloop van de belangrijkste parameters tijdens de simulatie wordt weergegeven aan de hand van grafieken (zie Bijlage 2). In deze grafieken worden op twee pagina's de belangrijkste parameters voorgesteld in functie van de tijd:

- Pagina 1: Manoeuvreercondities:
    - Snelheid
        - langsscheepse snelheid van het schip gemeten over de grond [kn];
        - dwarsscheepse snelheid van het schip gemeten over de grond (positief naar stuurboord) [kn];
        - giersnelheid van het schip gemeten over de grond (positief over stuurboord) [°/min];

- Roerwerking
  - stand hoofdroer (positief naar bakboord) [°];
- Schroefwerking
  - schroeftoerental van hoofdschroef [rpm];
- Boegschroef en hekschroef
  - Toerental boegschroef (positief naar stuurboord) [rpm];
  - Toerental hekschroef (positief naar stuurboord) [rpm];
- Sleepbootassistentie
  - Stuwkracht geleverd door elk van de sleepboten die deelnamen aan de simulatie [ton]

- Pagina 2: Omgevingscondities:
  - Stroom
    - langsscheepse stroomsnelheid [kn];
    - dwarsscheepse stroomsnelheid (positief naar stuurboord) [kn];
    - giersnelheid van de stroom (positief over stuurboord) [°/min];
  - Relatieve wind
    - relatieve windsnelheid [m/s];
    - windrichting t.o.v. schip (positief naar stuurboord) [°];
  - Absolute wind
    - absolute windsnelheid [m/s];
    - windrichting t.o.v. Noorden (positief in wijzerzin) [°];
  - Waterdiepte
    - Diepte midscheeps [m]

4.3.3 KMZ-output

De meeste intuïtieve manier om het verloop van de simulaties voor te stellen is een presentatie van de simulaties in Google Earth™ door middel van de KMZ-bestanden die digitaal toegevoegd werden aan dit rapport. In deze KMZ-bestanden wordt het vaartraject weergegeven samen met dezelfde grafieken welke deel uit maken van Pagina 1: Manoeuvreercondities, beschreven in §4.3.2.

Bijlage 3 biedt een handleiding bij het gebruik van de KMZ-bestanden in Google Earth™.

5 Resultaten Achterhaven

Er werden tijdens deze studie 19 simulaties uitgevoerd in verschillende varianten van de Achterhaven. Drie simulaties betroffen gekoppelde simulaties waarbij ontmoetingen onderzocht werden in variant F. Variant E betreft een variant die niet gesimuleerd werd, maar welke opgesteld werd op basis van de simulaties uitgevoerd in variant D. De verdeling van de uitgevoerde simulaties over de verschillende varianten wordt weergeven in Tabel 4.

Tabel 4 – Aantal uitgevoerde simulaties per variant van de Achterhaven

Locatie	Variant	Simulaties sluisvaart	Gekoppelde simulaties
Achterhaven	A	2	0
Achterhaven	B	4	0
Achterhaven	C	1	0
Achterhaven	D	8	0
Achterhaven	E	0	0
Achterhaven	F	0	3

5.1 Variant A

Variant A (zie Figuur 10) stemt overeen met de voorkeursvariant Visart zoals bekomen in de onderzoeksfase die gecombineerd werd met een westelijke kaaimuur in het Verbindingskanaal zoals vooropgesteld door MBZ.

De voorkeursvariant uit de onderzoeksfase ging gepaard met een beschikbare vaarwegbreedte in het Verbindingskanaal gelijk aan 90 m. In variant A werd aan de westelijke oever een 570 m lange kaaimuur ingetekend voor schepen tot 40 m breed. Doordat deze kaaimuur ingetekend werd rekening houdend met een veiligheidsafstand tot de afgemeerde schepen, bedroeg de breedte van het Verbindingskanaal hier 107 m, gemeten van de oostelijke oever (verticaal uitgevoerd) tot de rand van de afgemeerde schepen. Hierbij dient echter ook rekening gehouden te worden met de landtong die noordelijk aansluit op de afmeerplaatsen. De dwarsafstand tussen de landtong en de oostelijke oever uit variant A bedraagt slechts 93 m.

Bovendien gaat de voorhaven aansluitend op de sluis gepaard met een breedte gelijk aan 84 m welke voornamelijk aan de oostzijde gepaard gaat met een erg beperkte ruimte voor de sluismanoeuvres. Aan oostelijke zijde bedraagt de openingshoek van de voorhaven slechts 1° (zie Figuur 11) ten opzichte van 10.7° aan de westzijde.

Variant A werd slechts in twee simulaties onderzocht. De bijhorende condities worden voorgesteld in Tabel 5. Voor de simulaties uitgevoerd naar de Achterhaven werd een afzonderlijke beoordeling gegeven voor de toegankelijkheid van de brug in het Verbindingsdok en voor de toegankelijkheid van de sluis.



Figuur 11 – Variant A (Achterhaven)



Figuur 12 – Variant A (Achterhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken

5.1.1 Simulatie VA_05

Simulatie 05 betreft een sluisinvaart naar variant A bij de windconditie die het meest onderzocht werd in deze simulatiestudie. Dit is een westzuidwestelijke windrichting met kracht zes Beaufort.

De simulatie werd aangevat ter hoogte van het Noordelijk Insteekdok (zie startpositie schip weergegeven in Figuur 10). Het naderen van de sluis vereist achtereenvolgens het passeren van de brug over het Verbindingsdok, het varen door het Verbindingskanaal en het invaren van de sluis. Deze twee laatste manoeuvres gingen in deze simulatie gepaard met een belangrijke dwarswind.

Net als in de meeste andere simulaties werd de gangbare sleepbootassistentie, bestaande uit één voorboot met kracht 65 ton en één achterboot met kracht 80 ton, toegepast.

Tijdens de simulatie werd de aanloop naar de brug verstoord doordat de loods een foutieve roerhendel hanteerde. Hierdoor werd het roer lange tijd maximaal naar stuurboord toegepast, terwijl de loods dacht dat hij het roer reeds midscheeps geplaats had. In deze simulatie was het contact tussen schip en de brug uitsluitend het gevolg van de foutieve handeling van de loods en is deze niet toe te schrijven aan de simulatiecondities. Ondanks het contact met de brug, werd - rekening houdend met de resultaten van andere simulaties – gesteld dat de brugpassage bij een westzuidwestelijke wind met kracht 6 Bft gepaard gaat met voldoende reserves en een normale moeilijkheidsgraad.

Het varen in het Verbindingskanaal werd uitgevoerd aan een vaarsnelheid gelijk aan ca. 5 kn waarbij een belangrijk gebruik van de achterste sleepboot opvalt. De dwarswind werd gecompenseerd door de toepassing van een opstuurhoek (drifthoek), door de boegschroef herhaaldelijk toe te passen naar bakboord en door het toepassen van 50% van de kracht van de voorboot.

Bij het naderen van het Verbindingskanaal werd opgemerkt dat de insprong van de westelijke kaaimuur gerealiseerd dient te worden door middel van een uitloophelling (bijvoorbeeld parallel aan de oostelijke oever). De passeerafstand tussen de boeg en rechte hoek van de insprong bedroeg slechts 15 m. Verder werd gesteld dat de beschikbare ruimte in het Verbindingskanaal onvoldoende is en dat hier op de limiet gevaren werd.

Bij het oplijnen naar en invaren van de sluis werd de achterboot onder een beperkte hoek naar bakboord gebruikt om de dwarswind te compenseren. Deze techniek zou in realiteit ook gebruikt worden. Het schip voer de sluis in met een opstuurhoek ten opzichte van de wind. Hierdoor bleef het achterschip oostelijk van de boeg. De beperkte overbreedte aan de oostelijke zijde van de voorhaven wordt door de loodsen problematisch bevonden en laat niet toe om de gewenste opstuurhoek tot de sluis toe te passen. Hoewel in simulatie 05 het schip de sluis kon invaren zonder contact te maken, toont het gelijktijdige gebruik van maximaal boegschroef, voorboot en achterboot, dat de reserves in deze simulatie onaanvaardbaar waren.

Er werd geconcludeerd dat de simulatie niet realistisch is. Deze conclusie is in eerste instantie ingegeven door de beperkte breedte van de voorhaven in oostelijke richting. Ook de breedte in het Verbindingskanaal werd onvoldoende bevonden.

5.1.2 Simulatie VA_08

In Simulatie 08 werd een sluisuitvaart gesimuleerd. Bij de start van sluisuitvaart ligt het schip stil in de sluis tegen de benedenwindse kolkwand. In simulatie 08 werd een noordwestelijke windrichting onderzocht. Hierdoor werd de simulatie opgestart met het schip tegen de oostelijke kolkwand. De windrichting heeft een eerder beperkte dwarscomponent ten opzichte van de sluis, maar gaat gepaard met een belangrijke dwarswind tot de brug.

Ondanks de beperkte dwarswind bij het uitvaren van de sluis, bleek er in simulatie 08 toch contact op te treden tussen het achterschip en de oostelijke oever van de voorhaven (zie Figuur 12). Hierbij dient

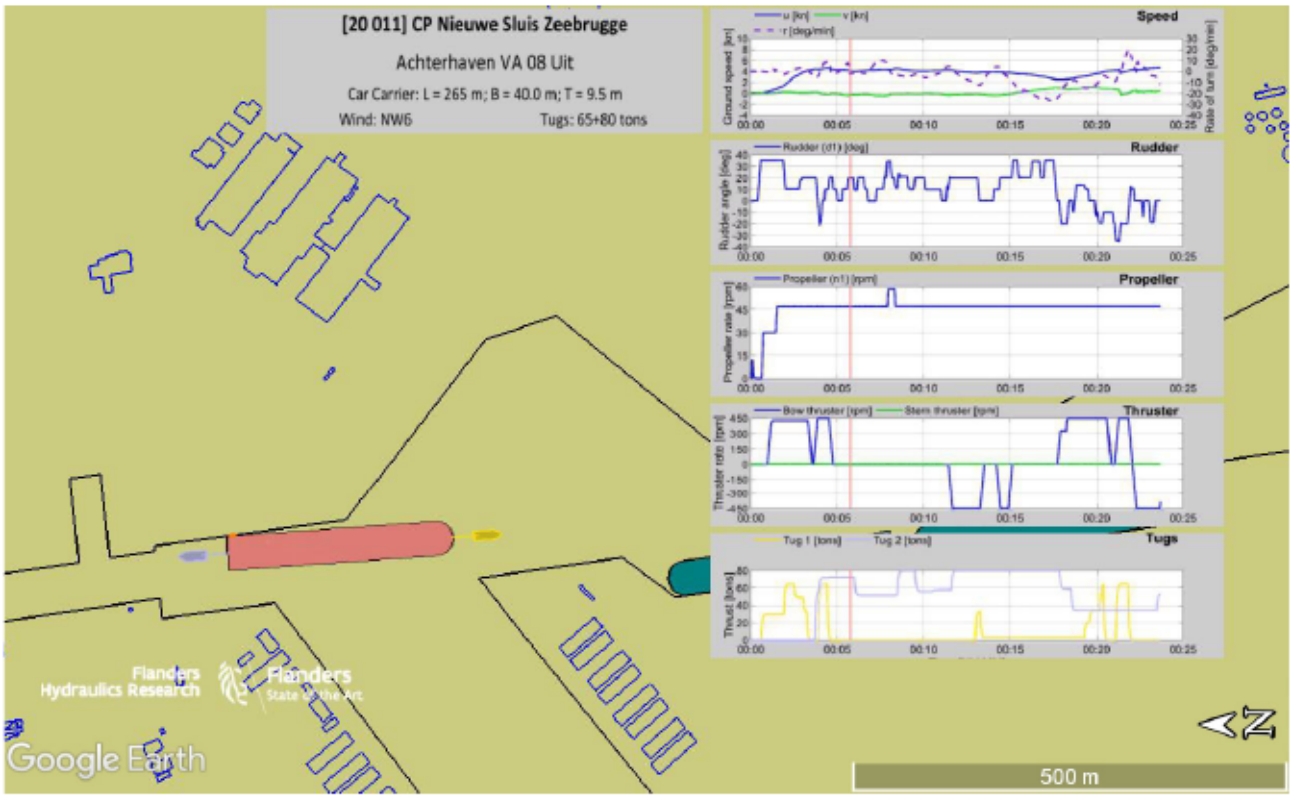
opgemerkt te worden dat er voorafgaand aan dit contact, slechts een erg beperkte toepassing van de beschikbare hulpmiddelen toegepast werd. Men kan stellen dat een er nog voldoende marge was op het roer (maximaal tot 20° gebruikt) of de achterste sleepboot (enkel recht achteruit gebruikt) om het achterschip op te werken tegen de wind en het contact te vermijden. Desondanks illustreert het contact het gebrek aan ruimte aan de oostelijke zijde van de voorhaven.

Ook bij het invaren van het Verbindingskanaal werd op relatief korte afstand gevaren van de afgemeerde schepen (18 m). Er werd herhaald dat de beschikbare breedte van het Verbindingskanaal onvoldoende is.

De noordwestelijke wind is een ongunstige windrichting ten opzichte van de brug over het Verbindingsdok. Hoewel het schip op een gecontroleerde en eerder vlotte manier (ca. 3 kn) de brug nadert, bleek het niet mogelijk om de brug te passeren zonder contact te maken met de zuidelijke geleiding.

De eerdere bezwaren bij de beschikbare ruimte in de voorhaven werden bevestigd (zie §5.1.1) voor een minder ongunstige windrichting. De simulatie bevestigde de onaanvaardbaar kleine ruimte aan de oostelijke zijde van de voorhaven.

Voor de toegankelijkheid van de brug over het Verbindingsdok werd geconcludeerd dat een brugpassage niet uitvoerbaar is bij een dwarse windrichting met windkracht 6 Bft of hoger.



Figuur 13 – Contact tussen achterschip en oostelijke oever voorhaven bij sluisuitvaart in simulatie VA_08

5.2 Variant B

Variant B (zie Figuur 13) verschilt van variant A in de uitvoering van de westelijke oever van het Verbindingskanaal. In variant B wordt de kaaimuur in het Verbindingskanaal verlengd in zowel noordelijke (tot aan de voorhaven van de sluis) als zuidelijke (tot aan het Verbindingsdok) richting. De beschikbare afstand voor het afmeren van schepen wordt beperkt tot 400 m opwaarts het sluishoofd.

Behalve de afwezigheid van de landtong wordt er in variant B ook bijkomende breedte van het Verbindingskanaal gegeneerd door enkele simulaties uit te voeren met afgemeerde schepen met breedte 32.2 m in plaats van 40.0 m. Ook werd onderzocht of aan oostelijke zijde de aanwezigheid van een geleidingsconstructie wenselijk zou zijn.

Merk op dat variant B geen oplossing biedt voor het belangrijkste knelpunt uit variant A: de oostelijke oever van de voorhaven is in beide varianten identiek.

Er werden vijf simulaties uitgevoerd in variant B waarvan één gewenningsvaart[2]. Het betroffen twee sluisuitvaarten en drie sluisinvaarten. In drie simulaties werd bovendien de meerwaarde van een geleidingsconstructie onderzocht en op de laatste simulatie na, werd de breedte van de afgemeerde schepen in het Verbindingskanaal beperkt tot 32.2 m.



Figuur 14 – Variant B (Achterhaven)

[2] Een gewenningsvaart betreft de eerste simulatie die uitgevoerd werd door de loodsen die deelnamen aan het onderzoek. Deze eerste simulatie heeft vaak afwijkende resultaten ten gevolge van de onbekende condities die onderzocht worden en mogelijks ook door beperkte simulatorervaring van de deelnemers.

5.2.1 Simulatie VB_01

Simulatie VB_01 betrof de eerste simulatie naar de Achterhaven die binnen deze studie uitgevoerd werd. Door de beperkte ervaring van de loodsen met zowel het (fictieve) schip, de vaaromgeving en de positiebepaling op simulator werd deze simulatie beschouwd als een gewenningssimulatie. De resultaten van simulatie 01 werden in hoge mate bepaald door onvoldoende aandacht voor het ophouden van het achterschip tegen de wind en door de moeilijkere positiebepaling van het schip door de onbekendheid van de omgeving enerzijds en door de beperktere oriëntatiekenmerken in de omgeving anderzijds.

Er werden aan simulatie VB_01 geen conclusies verbonden.

5.2.2 Simulatie VB_02

Simulatie VB_02 betrof eveneens een sluisuitvaart bij windconditie WZW6. Nu echter werd, rekening houdend met de erg beperkte oostelijke breedte van de voorhaven, een geleidingsconstructie van 200 m voorzien in het verlengde van de oostelijke kolkmuur. Bij een sluisuitvaart bij belangrijke westelijke wind zou het schip langs deze geleidingsconstructie kunnen glijden tot wanneer het ruimere vaarwater ter hoogte van de Vismijn bereikt werd (hierbij werd abstractie gemaakt van eventuele dieptebeperkingen in de Vismijn).

Ondanks de beschikbaarheid over een geleidingsconstructie, achten de loodsen het niet wenselijk om contact te houden met deze geleiding. Een uitvoering glijdend langs een geleidingsconstructie zal immers steeds aanleiding geven tot (verf-)schade aan het schip en zal in realiteit vermeden worden.

In simulatie VB_02 werd getracht om door een intensief gebruik van de hulpmiddelen het schip tegen de wind op te werken om een contact met de geleiding (en dus ook de oostelijke oever) te vermijden. Zo werd reeds in de sluis de voorboot tot volle kracht toegepast over stuurboord, waardoor het schip tot tegen de bovenwindse kolkmuur verplaatst werd (en zelf een zacht contact maakte met het achterschip).

Door de hoge uitvaarpositie uit de sluis, werd er op ruime afstand van de geleidingsconstructie gevaren. De vaart in het Verbindingskanaal werd uitgevoerd aan 4 kn. Doordat de landtong in het Verbindingskanaal verwijderd werd en doordat de breedte van de afgemeerde schepen beperkt werd tot 32.2 m, was de beschikbare breedte van het Verbindingskanaal in simulatie VB_02 gelijk aan 115 m. Om het schip door middel van het roer op te houden tegen de wind, bleek het roer gecombineerd te moeten worden met een schroeftoerental overeenkomstig telegraafstand Slow Ahead (getuige hiervan de herhaaldelijk maximale roerhoeken naar bakboord tijdens de doorvaart van het Verbindingskanaal). Om te vermijden dat het schip vervolgens te veel zou versnellen, diende een belangrijk achterwaarts gebruik van de achterste sleepboot toegepast te worden. Tijdens de vaart door het Verbindingskanaal werd de achterboot intensief gebruikt (tussen 75% en 100%). Ook de voorboot werd continu op 50% van de beschikbare kracht toegepast.

De positie van het schip in het Verbindingskanaal was gunstig, de loodsen oordelen dat de beschikbare vaarwegbreedte in het Verbindingskanaal (breedte 115 m) een passage mogelijk maakt, maar dat deze gepaard gaat met weinig reserves en een meer dan normale moeilijkheidsgraad.

Het naderen van de brug verliep vlot (ca. 4 kn) en werd door de loods positief onthaald (in die zin dat het aanlopen van de brug vanuit het Verbindingskanaal vlotter uitgevoerd kon worden dan oorspronkelijk gedacht). Toch trad tijdens de brugpassage een contact op tussen het schip en de zuidelijke bruggeleiding. De loods schreef dit contact echter toe aan een moeilijkere positionering op simulator en stelde dat de brugpassage in realiteit aanvaardbaar zou zijn. Door de korte oplijnafstand tot de brug bij afvaart wordt echter een lagere vaarsnelheid aangeraden tijdens het bochten en tijdens het oplijnen tot de brug (zie simulatie VA_08, §5.1.2). In simulatie VB_02 werd geoordeeld dat het brugmanoeuvre gepaard ging met weinig reserves en een meer dan normale moeilijkheidsgraad.

5.2.3 Simulatie VB_03

In simulatie VB_03 werden dezelfde condities onderzocht als in simulatie VB_02, maar voor een sluisinvaart. De simulatie werd aangevat op een positie in het Noordelijk Insteekdok waardoor het naderen van de brug op een gelijkaardige manier (bochtend) uitgevoerd diende te worden als in geval van de sluisuitvaart onderzocht in simulatie VB_02. Een belangrijk verschil is vanzelfsprekend dat in simulatie VB_03 het schip de wind op kop heeft wat een gunstigere conditie is dan de rugwind uit simulatie VB_02.

In simulatie VB_03 werd de brug genaderd aan een snelheid gelijk aan 3 kn. Eénmaal een gunstige positie en koers ten opzichte van de brug bekomen werd, werd de snelheid opgebouwd tot 4.5 kn. De passage van de brug kon in simulatie VB_03 gunstig uitgevoerd worden. Er werd gesteld dat bij de westzuidwestelijke wind een passage van de brug van oost naar west gepaard ging met een normale moeilijkheidsgraad en voldoende reserves.

Het schip opdraaien naar het Verbindingskanaal werd uitgevoerd aan een vaarsnelheid gelijk aan 3 tot 4 kn maar de vaarsnelheid werd vervolgens opgebouwd tot 6 kn waarbij de boeg tot op 14 m van de afgemeerde schepen passeerde. De vaarsnelheid tot 6 kn werd te hoog geacht voor een vaart door het Verbindingskanaal, te meer omdat het afbouwen van de snelheid aanleiding geeft tot onvoldoende controle over het schip (kleine schroeftoerentallen verminderen de effectiviteit van het roer en de stuurbaarheid van het schip).

Ook voor het invaren van de sluis wenste de loods geen gebruik te maken van de beschikbare geleidingsconstructie. Doordat getracht werd om het achterschip vrij te houden van de geleiding, landde de boeg tegen de oostelijke kolkmuur op het ogenblik dat de boeg zich ca. een kwart in de sluis bevond. Vervolgens maakte ook het achterschip een hard contact met de geleidingsconstructie. De sluisinvaart werd bijgevolg uitgevoerd zonder gebruik te maken van de geleidingsconstructie maar kon op die manier niet op een gecontroleerde manier uitgevoerd worden. De loodsen oordeelden dat de ongecontroleerde sluisinvaart deels veroorzaakt werd door de te hoge vaarsnelheid in het Verbindingskanaal. Bijgevolg werden de condities uit deze simulatie herhaald in een volgende simulatie.

5.2.4 Simulatie VB_04

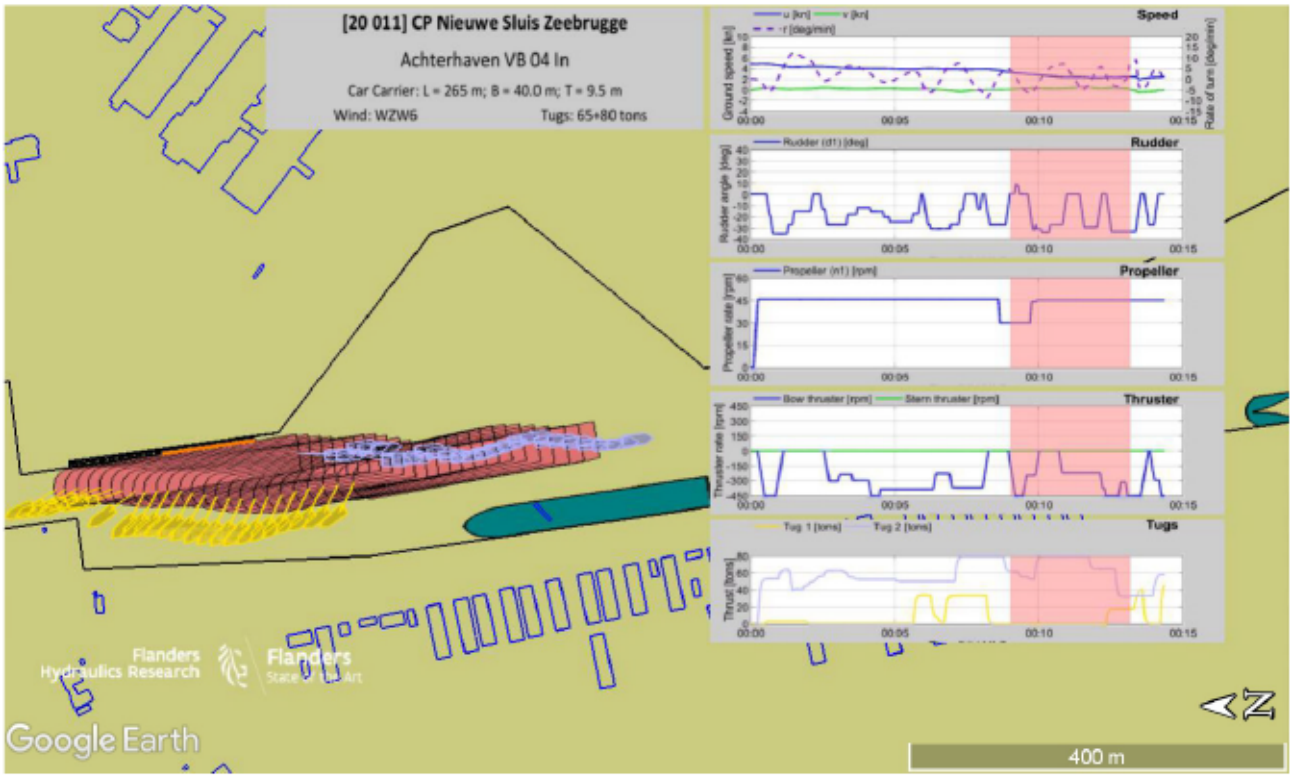
In simulatie VB_04 werd de sluisinvaart uit simulatie VB_03 hernomen. De simulatie werd aangevat bij het opdraaien naar het Verbindingskanaal waarbij een vaarsnelheid gelijk aan 5 kn ingesteld werd. Er werd geen initiële zwaaibeweging verondersteld.

Tijdens het varen in het Verbindingskanaal verminderde de loods de vaarsnelheid tot 4 kn. Er werd herhaald dat de beschikbare breedte in het Verbindingskanaal (115 m) een passage toelaat, maar gepaard gaat met weinig reserves.

De sluis werd hoog aan de wind genaderd (zie Figuur 14), om op die manier meer reserve te behouden bij het invaren van de sluis. Wanneer de boeg de sluis bereikt, kan de voorste sleepboot slechts een kleine hoek ten opzichte van de wind hanteren. Hierdoor dient het evenwicht tussen boeg en wind mogelijks gecompenseerd te worden door het achterschip te laten doorzwaaien naar de benedenwindse zijde van de sluis. Door de aanwezigheid van de geleidingsconstructie (en de onmiddellijk daarachter liggende oostelijke grens van de voorhaven) is deze uitvoering niet mogelijk en landde het schip tegen het geleidingswerk.

Na uitvoering van de simulaties 02, 03 en 04 werd geconcludeerd dat de havenloodsen de toepassing van een geleidingswerk voor het uitvoeren van de sluismanoeuvres onwenselijk achten. De sluismanoeuvres vereisen voldoende ruimte in de voorhaven van de sluis om het schip op een varende manier op te lijnen en te positioneren naar de sluis. De beperkte ruimte aan de oostelijke zijde van de voorhaven faciliteert dit gewenste sluismanoeuvre niet. Er werd geconcludeerd dat variant B (zowel met als zonder geleidingsconstructie) geen aanvaardbaar sluisinvaarten toelaat bij een westelijke wind met kracht 6 Bft.

Bovendien werd opgemerkt dat de positie van het meest noordelijk afgemeerde schip hinderlijk was voor de sluisinvaart. Er werd gesteld dat er geen schepen afgemeerd mogen worden tot minimaal twee scheepslengtes (=530 m) van de sluis.



Figuur 15 – Sluisnadering in simulatie VB_04

5.2.5 Simulatie VB_07

In simulatie VB_07 werd een sluisinvaart gesimuleerd bij een oostenwind met kracht 6 Bft. De breedte in het Verbindingskanaal was beperkt tot 107 m doordat de afgemeerde schepen een breedte gelijk aan 40 m hadden.

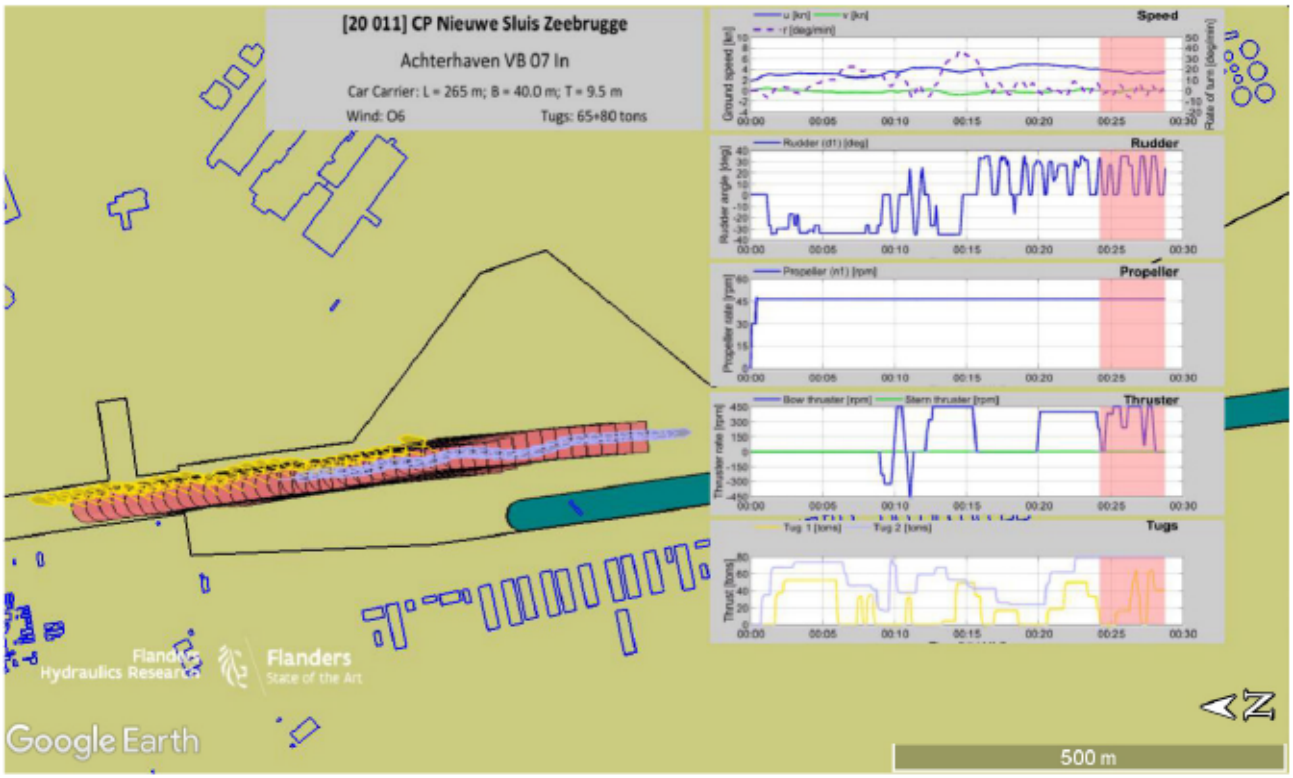
Ook bij oostenwind (beperkte dwarscomponent ten opzichte van de brug) kon een aanvaardbare passage van de brug gerealiseerd werden. Dit vereiste wel een korte passeerafstand tot het droogdok (13 m) maar deze werd door de loods aanvaardbaar geacht. Eenzelfde (gunstige) beoordeling werd gegeven als voor de westzuidwestelijke windrichting voor wat betreft de passage van de brug.

De vaart door het Verbindingskanaal werd uitgevoerd aan 4 tot 5 kn en ging bij het invaren van het kanaal gepaard met een afstand tot de oostelijke oever gelijk aan 12 m. Er werd gesteld dat de breedte van het Verbindingskanaal (in deze simulatie 107 m) onvoldoende was. De loodsen stellen dat een minimale breedte gelijk aan 130 m vereist zou zijn.

De voorhaven van de sluis wordt ook voor oostelijke windrichting door de loodsen ongunstig geacht doordat deze niet toelaat om hoog aan de wind de sluis te naderen. In simulatie 07 kon nochtans een gunstige sluisinvaart uitgevoerd worden door toepassing van een intensief gebruik van de sleepboten, de boegschroef, het roer en de schroef en door het schip zo goed als mogelijk op te lijnen naar de sluis (dus zonder drifthoek). Uit Figuur 15 blijkt dat de sluisinvaart uitgevoerd kon worden met een minimale ruimte-inname in de voorhaven, maar door een intensief gebruik van de hulpmiddelen. Er werd geconcludeerd dat de sluisinvaart bij windconditie O6 uitvoerbaar is, maar gepaard gaat met weinig reserves en een meer dan normale moeilijkheidsgraad. De eerder gunstige resultaten in simulatie 07 zijn mede het resultaat van de ervaring die in de eerdere simulaties opgebouwd werd.

In meerdere simulatiestudies die door WL uitgevoerd werden, bleek een uitgelijnde sluisinvaart (zoals gehanteerd in simulatie 07) de geprefereerde uitvoering. Echter dient de ruimte in de voorhaven de mogelijkheid te bieden om de positie te compenseren door gepaste bewegingen van het achterschip en een

voldoende bewegingsvrijheid voor de sleepboten. Rekening houdend met de beschikbare ruimte ter hoogte van de Pierre Vandammesluis wordt gesteld dat de minimale openingshoek van de voorhaven 8° dient te bedragen.



Figuur 16 – Sluisnadering in simulatie VB_07

5.3 Variant C

Variant C bouwt verder op variant B en voorziet behalve in een westelijke uitbreiding van het Verbindingskanaal ook in een oostelijke verruiming van zowel Verbindingskanaal als voorhaven van de sluis.

De positie van de oostelijke oever werd ingetekend op de positie van het alternatief Visart-Oost zoals niet weerhouden werd in de onderzoeksfase van CP NSZ.

De breedte van het Verbindingskanaal in variant C bedraagt 150 m ten opzichte van schepen met breedte 40.0 m afgemeerd aan de westelijke kaaimuur. De oostelijke openingshoek van de voorhaven bedraagt in variant C 10.3° (ten opzichte van 1.0° in varianten A en B).

Variant C werd bovendien gecombineerd met de geplande ontwikkeling van het Boudewijnkanaal ten zuiden van het Verbindingsdok. Deze ontwikkeling heeft echter geen impact op de manoeuvres die in deze studie gesimuleerd worden.

Doordat variant C overeenstemt met een niet-weerhouden variant uit de onderzoeksfase werd er slechts één simulatie in deze variant uitgevoerd.



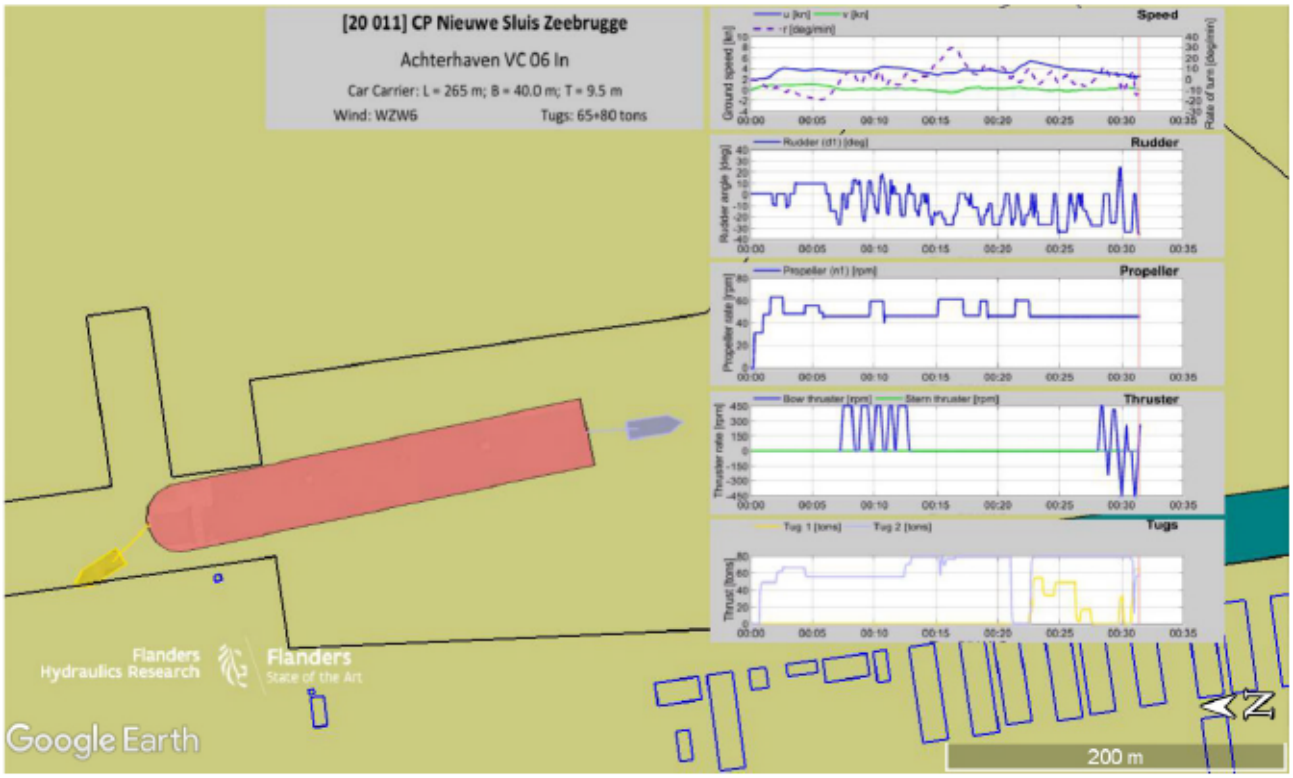
Figuur 17 – Variant C (Achterhaven)

5.3.1 Simulatie VC_06

Variant C werd slechts in één simulatie onderzocht. In simulatie 06 werd net als het merendeel van de andere simulaties windconditie WZW 6 gedefinieerd.

De grote breedte van het Verbindingskanaal geeft aanleiding tot opvallend ruime passeerafstanden en werd uitgevoerd zonder toepassing van de boegschroef. De boegschroef werd wel gehanteerd bij de brugpassage en tijdens het sluismanoeuvre.

De sluis werd genaderd vanuit een hoge positie. Wanneer de boeg de sluis bereikte, werd het achterschip naar stuurboord bewogen om de boeg tegen de wind in te bewegen. Het achterschip neemt in dit manoeuvre een oostelijke positie ten opzichte van de sluis in (zie Figuur 17), welke niet beschikbaar is in de varianten A en B. De eindpositie in simulatie VC_06 (zie Figuur 17) is illustratief voor de vereiste oostelijke openingshoek van de voorhaven. Een contact tussen de boeg van het schip en de benedenwindse sluishoek kon in deze simulatie niet vermeden worden, waardoor een gepaste fendering (bvb. wielfenders) op deze locatie vereist is. Er dient verder opgemerkt te worden dat een stabiele sluisinvaart waarbij het schip opgelijnd blijft met de sluis steeds te verkiezen is. De situatie weergegeven in Figuur 17 is dus niet wenselijk maar wel realistisch (bij extreme dwarswind) en dient gefaciliteerd te worden door de afmetingen van de voorhaven.



Figuur 18 – Eindpositie schip in sluis in simulatie VC_06

5.4 Variant D

Op de eerste simulatiedag werden de varianten A, B en C onderzocht. Hieruit bleek dat de voorhaven van de sluis een minimale openingshoek van 8° diende te hebben ten opzichte van de sluiskolk en dat een minimale breedte van 130 m vereist geacht werd voor het Verbindingskanaal. Hoewel variant C voldoet aan deze vereisten, gaat deze variant gepaard met een groot ruimtebeslag aan de oostelijke oever en meer bepaald ter hoogte van de Vismijn. Om een aanvaardbare variant te bekomen met beperktere inname van de oostelijke oever werd variant D ontwikkeld (zie Figuur 18).

Variant D wordt gekenmerkt door onderstaande ontwerpkeuzes:

- de noordelijke kaaimuur van de Vismijn werd ingesneden volgens een openingshoek van 8° ten opzichte van de oostelijke kolkmuur (zie Figuur 19).
- de oostelijke oever van het Verbindingsdok werd parallel aan de sluisas getekend, in het verlengde van de noordelijke hoek van de Vismijn (welke ingesneden werd volgens de bovenvermelde methode).
- De landtong tussen het Prins Filipsdok en de nieuwe kaaimuur op de westelijke oever wordt behouden
- De kaaimuur op de westelijke oever wordt in zuidelijke richting verlengd tot de aansluiting op het verbindingsdok zoals toegepast in variant B. Hierdoor ontstaat een beschikbare kaailengte gelijk aan 890 m.

De ligging van de oostelijke oever van het Verbindingsdok gaat in variant D gepaard met een beschikbare breedte van het Verbindingsdok gelijk aan 136 m ten opzichte van de 40.0 m brede afgemeerde schepen en gelijk aan 122 m ten opzichte van de landtong.

Variant D vormde het onderwerp van alle acht simulaties uitgevoerd op de tweede simulatiedag naar de Achterhaven. De onderzochte condities en bijhorende beoordeling van deze simulaties worden weergegeven in Tabel 8.



Figuur 19 – Variant D (Achterhaven)



Figuur 20 – Variant D (Achterhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken 8°

5.4.1 Simulatie VD_09

Simulatie 09 was de eerste simulatie die uitgevoerd werd op de tweede simulatiedag naar de Achterhaven. Eén van de twee loodsen die op de tweede simulatiedag deelnam, nam eerder ook deel aan de eerste simulatiedag.

De simulatie werd uitgevoerd bij de windconditie WZW6.

Net als in eerder onderzochte varianten bij dezelfde windconditie bleek een zuidwestelijke windrichting een aanvaardbare brugpassage toe te laten bij een windkracht tot en met 6 Bft. Ook de vaart in het Verbindingskanaal (beschikbare breedte 136 m) kon uitgevoerd worden bij aanvaardbare vaarsnelheid en zonder gebruik te maken van boegschroef of voorste sleepboot. Dit resultaat is gunstiger dan tijdens simulaties in eerdere varianten. Toch stelde de loods dat de beschikbare breedte in het Verbindingskanaal smal aanvoelde en dat de achterste sleepboot onder een hoek tegen de wind ingezet diende te worden. Ook blijkt duidelijk dat de westelijke vaarwegbeperking ter hoogte van de landtong tot gevolg heeft dat het schip een oostelijkere (en dus benedenwindse) vaarpositie aanneemt wanneer de voorhaven van de sluis bereikt wordt. Er werd gesteld dat de landtong niet toelaat om de sluis op de gewenste manier te naderen. De lage naderingspositie tot de sluis impliceerde tijdens de sluisinvaart een contact met de oostelijke sluishoek.

De aanwezigheid van de landtong op korte afstand van de sluis en het daaruit volgende harde contact met de sluis, resulteerde in een opvallend negatieve beoordeling van deze conditie. Er werd wel genuanceerd dat deze negatieve beoordeling volledig ingegeven is door de aanwezigheid van de landtong. Een verwijdering van de landtong (en dus het noordelijk verlengen van de westelijke kaaimuur (zie variant B)) wordt vereist geacht. Ook een gepaste fendering van de sluishoeken (bestaande uit een rol- of wielfender in lijn met de drijframen) wordt vereist geacht.

Doordat deze simulatie de eerste van de dag betrof, werden dezelfde condities ook later nog gesimuleerd in simulatie VD_16.

5.4.2 Simulatie VD_10

Simulatie 10 betrof een sluisuitvaart bij dezelfde condities als simulatie 09. Deze simulatie was de eerste simulatie uitgevoerd door deze loods.

Het uitvaren van de sluis werd gunstig uitgevoerd, maar ondanks de ruimere breedte van het Verbindingskanaal in variant D, voer het schip in simulatie 10 toch op korte afstand (12 m) van de oostelijke oever. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat tijdens de vaart door het Verbindingskanaal er geen sleepboten en geen boegschroef ingezet werden. Uit eerdere simulaties is bekend dat het gebruik van (minimaal) de achterste sleepboot (al dan niet met een hoek tegen de wind) noodzakelijk was voor de vaart door het Verbindingskanaal. De kleine afstand tot de oostelijke oever in simulatie 10 kan bijgevolg toegeschreven worden aan de beperkte ervaring van de loods in de simulatiestudie.

Bij het opdraaien naar de brug werd een ruime bocht uitgevoerd waardoor het schip te zuidelijk uitkwam. De positie van het schip diende gecorrigeerd te worden door de vaarsnelheid af te bouwen tot bijna 0 kn. Na een positionering van het schip op korte afstand van de brug, kon een aanvaardbare brugpassage gerealiseerd worden. De beperkte vlotheid van het brugmanoeuvre kan opnieuw toegeschreven worden aan de beperkte ervaring van de loods in deze simulatie.

Uiteindelijk wordt de simulatieomgeving wel positief beoordeeld door de loodsen.

5.4.3 Simulatie VD_11

In simulatie 11 werd een sluisinvaart bij oostelijke wind onderzocht. Bij deze windrichting is de aanwezigheid van de landtong niet nadelig om een hoge naderingspositie tot de sluis te realiseren.

Door een ongelukkige opeenvolging van visualisatie-instellingen op de scheepsbrug, was het simulatorbeeld verstoord tijdens het brugmanoeuvre. Hierdoor kon het schip niet goed gepositioneerd worden ten opzichte van de brug en trad er, behalve een te hoge passagesnelheid, ook een contact op met de bruggeleiding. Door de foutieve weergave van het buitenbeeld op de simulator werd de brugpassage in simulatie 11 niet beoordeeld. Op basis van eerdere simulaties met een gunstige brugpassage bij oostelijke wind, is echter bekend dat deze windconditie een aanvaardbare brugpassage toelaat (zie §5.2.5).

Doordat de oostenwind het schip verzet naar het westen, werd in het Verbindingskanaal op een oostelijke positie gevaren. De kleine afstand tot de (bovenwindse) oostelijke oever (9 m) wordt hier niet als een onveilige situatie beschouwd, maar was net de intentie van de loods.

Het naderen en invaren van de sluis werd positief beoordeeld. Hoewel het schip tot op korte afstand van de westelijke sluishoek voer, trad er geen contact op tussen het schip en sluisconstructie. De simulatie werd stopgezet wanneer het schip zich voor de helft binnen de sluis bevond. Het invaren van de sluis kreeg een positieve beoordeling.

5.4.4 Simulatie VD_12

Simulaties 12 tot 15 werden uitgevoerd bij windrichtingen die een kleinere dwarscomponent tot de sluis hadden, maar een grotere dwarscomponent ten opzichte van de brug in het Verbindingsdok. De gesimuleerde windkracht bedroeg steeds 6 Bft. Ten opzichte van de eerdere simulaties bij westzuidwestelijke of oostelijke wind, verschuift het knelpunt in deze simulaties van de sluis naar de brug.

Simulatie 12 betrof een sluisinvaart bij noordoostelijke wind. De simulatie vatte aan in het Noordelijke Insteekdok. Enerzijds door de rugwind en anderzijds doordat de loods een ruime bocht wou maken naar de brug (om zo reeds een opstuurhoek te hebben tegen de wind) kwam het schip op korte afstand van steiger 504 terecht. Er diende een crash stop manoeuvre uitgevoerd te worden om contact met de steiger te vermijden. Vervolgens werd het schip gepositioneerd naar de brug en werd de vaarsnelheid terug opgebouwd. Uiteindelijk werd de brugpassage uitgevoerd aan een vaarsnelheid gelijk aan 5.5 kn. De afstand tussen het schip en de zuidelijke (benedenwindse) bruggeleiding was erg beperkt (< 1 m).

De hoge vaarsnelheid en de kleine afstand tot de brug, gecombineerd met het crash stop manoeuvre en het intensieve gebruik van hulpmiddelen illustreren de beperkte reserves waarmee deze brugpassage uitgevoerd werd. Toch oordeelde de loods dat de brugpassage bij een noordoostelijke wind gepaard ging met een normale moeilijkheidsgraad. Deze beoordeling wordt echter tegengesproken door de simulatieresultaten.

De vaart door het Verbindingskanaal en de sluisnadering werden gunstig uitgevoerd. Toch werd ook in deze simulatie bij noordoostenwind opgemerkt dat de aanwezigheid van de landtong in de voorhaven hinderlijk was.

De dwarscomponent ten opzichte van de sluis (oriëntatie 350°) van een noordoostelijke wind is slechts weinig kleiner dan voor een oostelijke wind. Ook in simulatie 12 was er bijgevolg een belangrijk gebruik van boegschroef en voorboot noodzakelijk om de boeg op te houden tegen de wind. Bij de sluisinvaart trad er een licht contact op met de westelijke sluishoek. Met uitzondering van de aanwezigheid van de landtong, werd de beschikbare ruimte in de voorhaven voldoende geacht voor een sluisinvaart bij noordoostenwind.

5.4.5 Simulatie VD_13

In simulatie 13 werd een afvaart onderzocht bij een noordwestelijke windrichting.

Ondanks de gunstige naderingspositie tot de brug (op korte afstand van het droogdok) en het intensieve gebruik van de beschikbare hulpmiddelen kon in simulatie 13 tot tweemaal toe (éénmaal met de boeg en éénmaal met het hek) niet vermeden worden dat het schip landde op de zuidelijke geleiding van de brug. De brugpassage bij een noordwestelijke wind met kracht 6 Bft werd dan ook onaanvaardbaar geacht door de uitvoerende loods.

Door de gunstigere oriëntatie van de wind ten opzichte van de sluis, kon de vaart in het Verbindingskanaal en de sluisinvaart op een gunstige manier uitgevoerd worden. De vereiste inzet van boegschroef en voorboot blijft wel hoog tijdens de sluisinvaart. Bijgevolg werden de beschikbare reserves voor sluisinvaart als weinig beoordeeld.

5.4.6 Simulatie VD_14

In simulatie 14 werd de noordwestelijke windconditie gecombineerd met een sluisuitvaart. Gegeven de ongunstige beoordeling van de brugpassage uit simulatie 13, werd in simulatie 14 de kracht van de voorboot verhoogd tot 80 ton. Simulatie 14 werd bijgevolg uitgevoerd door twee sleepboten met kracht 80 ton.

Rekening houdend met de resultaten uit de vorige simulatie werd de brug genaderd aan een erg lage snelheid (< 2 kn). Eenmaal het schip een gunstige positie ten opzichte van de brug had, werd het schip versneld om uiteindelijk aan ca. 5 kn door de brug te varen. Tijdens de brugpassage werd zo een groot schroefgebruik, gecombineerd met maximale roerhoeken en maximaal gebruik van de boegschroef en de voorboot. Het schip bleef uiteindelijk net vrij (afstand niet waarneembaar) van de zuidelijke bruggeleiding. De combinatie van deze factoren deed de loods besluiten dat, zelfs middels deze erg gecontroleerde brugnadering de passage van de brug risicovol is bij een noordwestelijke wind met kracht 6 Bft. De passage van de brug werd dan ook negatief beoordeeld.

5.4.7 Simulatie VD_15

In simulatie 15 werd een sluisuitvaart gesimuleerd bij een windconditie NO6 en werd de kracht van de voorboot opnieuw verhoogd tot 80 ton.

De brugpassage werd op een gelijkaardige wijze uitgevoerd als in simulatie 14, maar in simulatie 15 kon een contact met de zuidelijke bruggeleiding niet vermeden worden. Het harde contact tussen het schip (midscheeps) en de brug gaf aanleiding tot de beoordeling ‘niet gelukt met schade‘. Net als bij de noordwestelijke windconditie in simulatie 14 werd geconcludeerd dat de passage van de brug risicovol is bij een noordoostelijke wind.

Samenvattend kan, na uitvoering van simulaties 12 tot en met 15, gesteld worden dat de brugpassage niet aanvaardbaar is voor windkrachten vanaf 6 Bft voor windrichtingen met een belangrijke dwarse component ten opzichte van de brug. Voor langs gerichte winden (WZW of O) is een brugpassage wel veilig uitvoerbaar tot windkracht 6 Bft. Op basis van het gevoerde onderzoek wordt besloten dat een brugpassage enkel aanvaardbaar is bij windkracht 6 Bft indien de windrichting minder dan 20° afwijkt van de oriëntatie van de brugopening (250.7°).

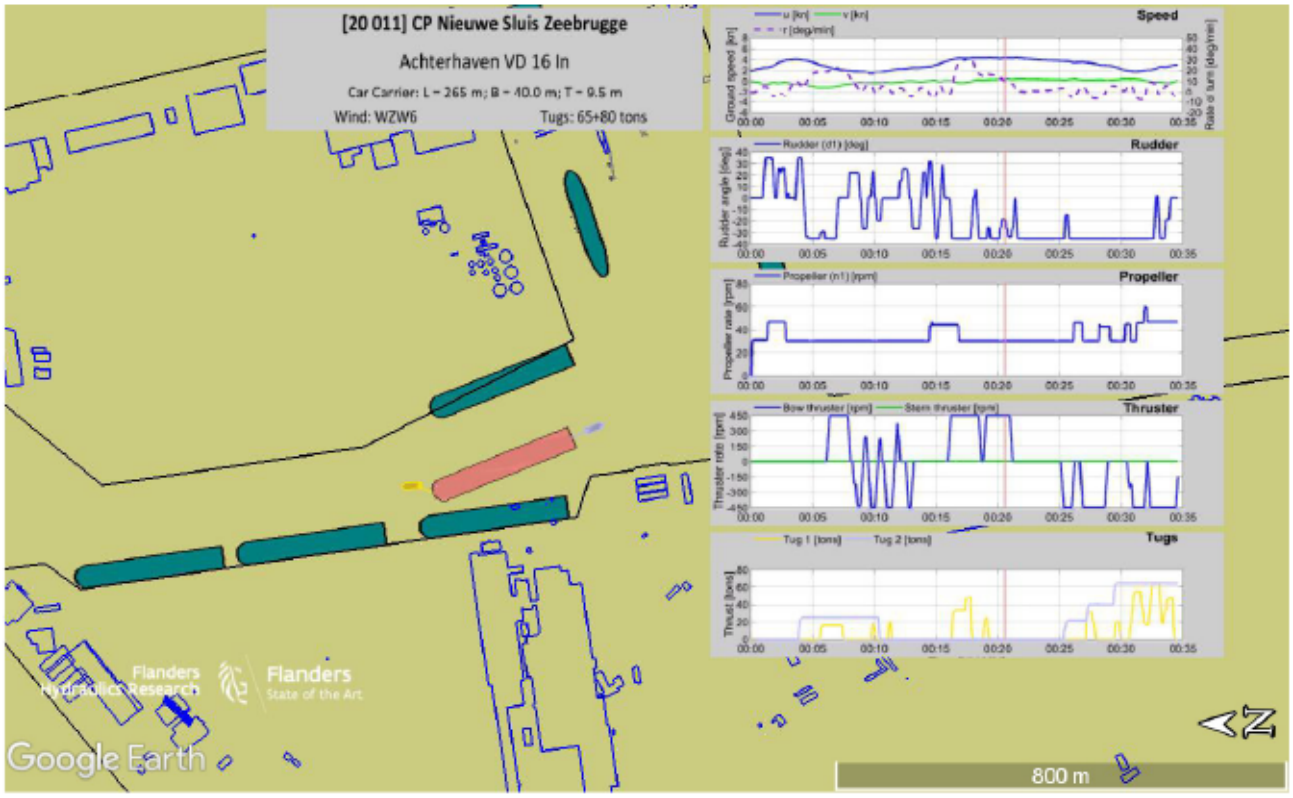
5.4.8 Simulatie VD_16

In simulatie 16 werden de condities uit simulatie 09 herhaald. De afvaart werd uitgevoerd bij een windconditie WZW6. Er werd in deze simulaties wel een bijkomende hindernis geplaatst aan de oostelijke oever van het Verbindingskanaal (zie Figuur 20). De aansluiting van het Verbindingskanaal op het Verbindingsdok werd met 40 m versmald door op deze locatie een schip af te meren. Het bijkomend afgemeerde schip werd deels op de oever afgemeerd om een andere uitvoering van de oostelijke oever te onderzoeken.

De alternatieve uitvoering van de oostelijke oever gaf aanleiding tot een korte afstand tussen het schip en de afgemeerde schepen aan de westelijke kaaimuur (22 m, zie Figuur 20) en werd ongunstig beoordeeld.

Voor de sluisinvaart werd herhaald dat de aanwezigheid van de landtong in de voorhaven nadelig is voor de sluisinvaart bij westelijke winden. Mits verwijderen van de landtong werd geoordeeld dat de voorhaven een aanvaardbare sluisinvaart toelaat. De beoordeling ‘gelukt met weinig reserves’ is voornamelijk ingegeven

door de belangrijke inzet van de hulpmiddelen die nodig is om in het Verbindingskanaal en tijdens de sluisnadering de dwarswind op het schip te compenseren.



Figuur 21 – Alternatieve uitvoering oostelijke oever Verbindingskanaal zoals onderzocht in simulatie VD_16

5.5 Variant E

Op basis van de simulaties uitgevoerd naar variant D werd besloten dat variant D een nautisch aanvaardbaar ontwerp is mits het verwijderen van de landtong aanwezig in de voorhaven van de sluis. Door in variant D deze aanpassing uit te voeren wordt variant E (zie Figuur 21) bekomen. Hoewel variant E (net als de eerdere varianten B en C) gepaard gaat met een verlenging in noordelijke richting van de westelijke kaaimuur, kunnen er aan deze kaaimuurverlenging geen bijkomende schepen afgemeerd worden. Er wordt gesteld dat er pas schepen afgemeerd mogen worden op minimaal 530 m afstand van de sluis. De beschikbare breedte van het Verbindingskanaal (gemeten tussen de verticale oostelijke oever en de afgemeerde schepen aan de westelijke oever) bedraagt 136 m.



Figuur 22 – Variant E (Achterhaven)

5.6 Variant F (ontmoetingen)

Tijdens de eerste twee simulatiedagen naar de Achterhaven werd het Visart-ontwerp geoptimaliseerd voor de toegankelijkheid van het nautische ontwerpschip voor NSZ. Hierbij werd echter opgemerkt dat variant E geen scheepsontmoetingen toelaat in het vaargebied tussen de sluis en de brug. Zowel de breedte van het Verbindingskanaal als de beperkte ruimte ten westen van de brug in het Verbindingsdok laten geen scheepsontmoetingen toe.

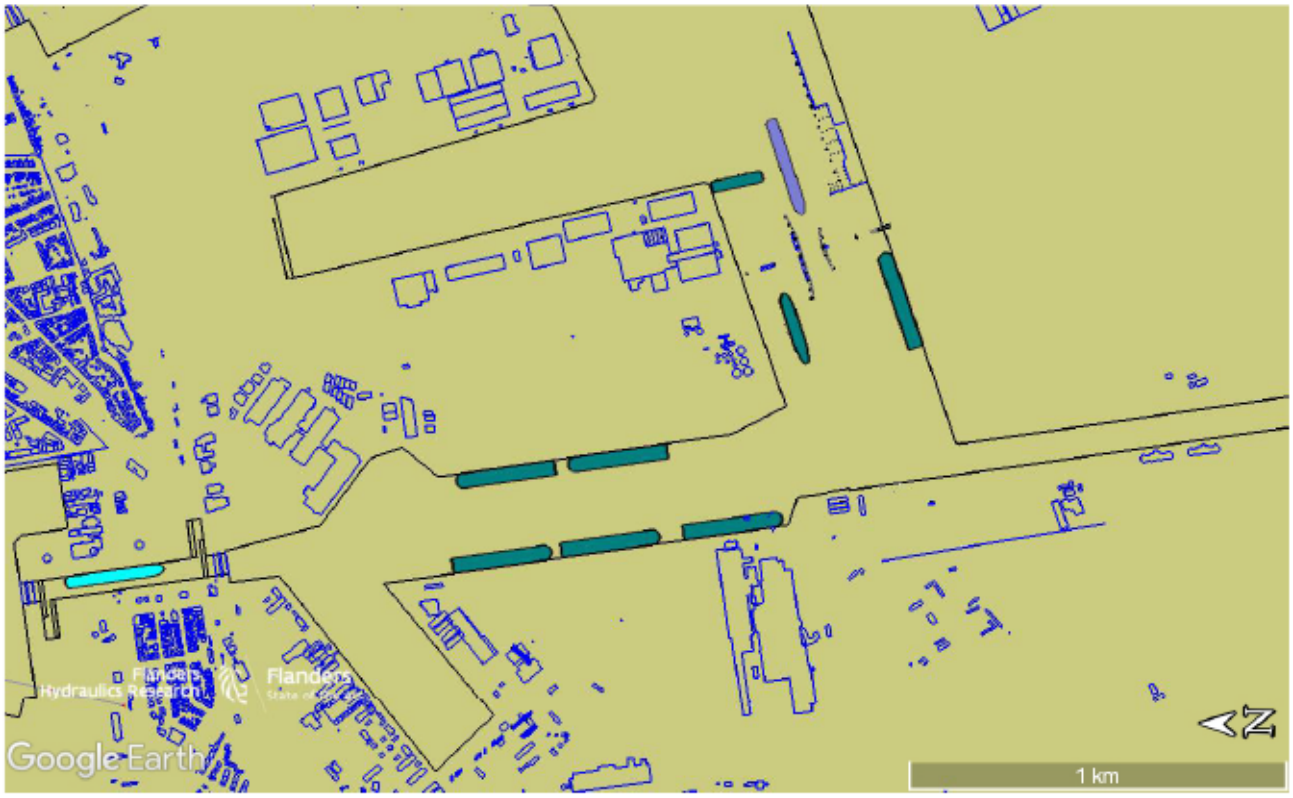
Indien zich bijgevolg de (plausibele) situatie voordoet, waarbij een afvarend schip de sluis wil invaren, terwijl er nog een opvarend schip in de sluis ligt, dan zal dit in variant E een belangrijke tijd in beslag nemen. Eerst dient het opvarende schip de volledige opvaart tot voorbij de brug uitgevoerd te hebben, vervolgens kunnen de twee schepen elkaar kruisen op een positie ten oosten van de brug en kan het afvarende schip de brug passeren en naar de sluis varen. Op basis van de uitvoeringstijden in de simulaties kan aangenomen worden dat de tijd tussen het uitvaren van de sluis door een opvarend schip (boeg uit sluis) en de tijd tussen het invaren van de sluis door een afvarend schip (boeg in sluis) ca. 60 minuten in beslag neemt. Gedurende deze tijd is de sluis onbenut. De afwezigheid van ontmoetingen in de voorhaven van de sluis of het Verbindingskanaal heeft bijgevolg een belangrijke impact op de capaciteit van de sluis.

Een bijkomend simulatieonderzoek werd uitgevoerd, waarbij het ontwerp van het Verbindingskanaal aangepast werd opdat op deze locatie twee schepen elkaar kunnen kruisen. Er werd besloten om voor deze ontwerpeis een maatgevend schip met een kleinere breedte te hanteren (zie §2.2). De mogelijkheid tot scheepsontmoetingen in het Verbindingskanaal verkort de tijd voor het wisselen van schip in de sluis tot 20 minuten (zijnde de tijdsduur waarop de boeg van het uitvarende schip de sluis verlaat tot het tijdstip waarop de boeg van het invarende schip de boeg bereikt).

Het uitvoeren van ontmoetingen in het Verbindingskanaal door twee schepen met afmetingen 265 m x 32.2 m, vereist een grotere vaarwegbreedte dan deze voorzien in variant E. In samenspraak met de haven (MBZ) werd besloten om de extra breedte te creëren aan de oostelijke oever van het Verbindingskanaal door het realiseren van een oostelijke kaaimuur in het Verbindingskanaal.

In variant F (zie Figuur 22) werd de oostelijke kaaimuur van het Verbindingskanaal op 260 m, dwars van de westelijke kaaimuur geplaatst. Aan beide kaaimuren werden schepen afgemeerd, waarbij gevarieerd werd tussen scheepsbreedtes 40 m en 32.2 m. Op die manier werd een beschikbare vaarwegbreedte (tussen de afgemeerde schepen) gelijk aan 180 m of 196 m bekomen.

De condities waarbij de simulaties naar variant F uitgevoerd werden en de bijhorende beoordeling door de loodsen, wordt weergegeven in Tabel 9. Drie gekoppelde simulaties werden uitgevoerd gedurende één halve simulatiedag in oktober 2020.



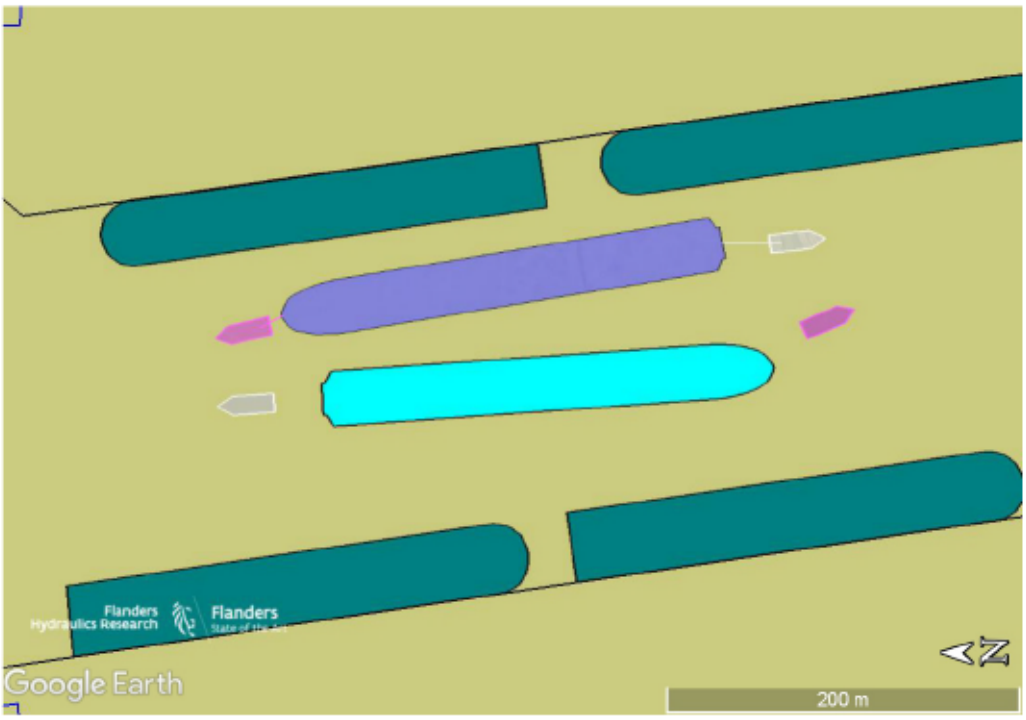
Figuur 23 – Variant F (Achterhaven)

5.6.1 Simulatie VF_17

Simulatie 17 werd uitgevoerd met schepen met breedte 40 m afgemeerd aan zowel de oostelijke als de westelijke oever van het Verbindingskanaal. Op deze manier bedroeg de beschikbare breedte van het Verbindingskanaal 180 m. De simulatie werd uitgevoerd bij een windconditie WZW5.

Bij gekoppelde simulatoren, bevindt zich op elke simulator één loods. Dit impliceert dat de loods een groter aantal handelingen zelf dient uit te voeren. Simulatie 17 betrof de eerste simulatie die door de opvarende (=sluisuitvaart) loods uitgevoerd werd. De resultaten zijn sterk bepaald door de beperkte ervaring van de loods in de vaaromgeving. Als gevolg hiervan werd na de sluisuitvaart slechts in beperkte mate het schip opgewerkt tegen de wind, waardoor het schip een relatief centrale vaarpositie aannam in het Verbindingskanaal. Het opvarende schip voer op ruime afstand van de afgemeerde schepen (> 50 m) waardoor de beschikbare passeerbreedte voor het afvarende schip beperkt was tot slechts 75 m. Deze afstand was onvoldoende om het afvarende schip veilig te laten passeren. Uiteindelijk bedroeg de afstand tussen het afvarende schip en de afgemeerde schepen slechts 12 m, terwijl de afstand tussen de twee varende schepen onderling 22 m bedroeg. Deze afstanden werden niet aanvaardbaar geacht, maar werden toegeschreven aan de ongunstige positie van het opvarende schip, dat gegeven de westzuidwestelijke windrichting een hogere positie zou moeten aannemen in het Verbindingskanaal. Gedurende de vijf minuten voorafgaand aan de ontmoeting bleek de loods op het opvarende schip geen gebruik te maken van sleepboten noch boeg- of hekschroef, wat aangeeft dat de loods weinig intentie had om het schip op te werken naar een meer westelijke positie. De centrale positie van het schip in de vaarweg had voornamelijk te maken met de moeizame positionering op simulator. Deze had zowel te maken met de beperkte ervaring van de loods op simulator als met beperktere visualisatie op sim 225.

Doordat de resultaten van simulatie 17 in grote mate bepaald werden door de moeizame positionering van het schip door de opvarende loods, werd er geen beoordeling verbonden aan deze simulatie. De condities uit simulatie 17 werden hernomen in simulatie 18.



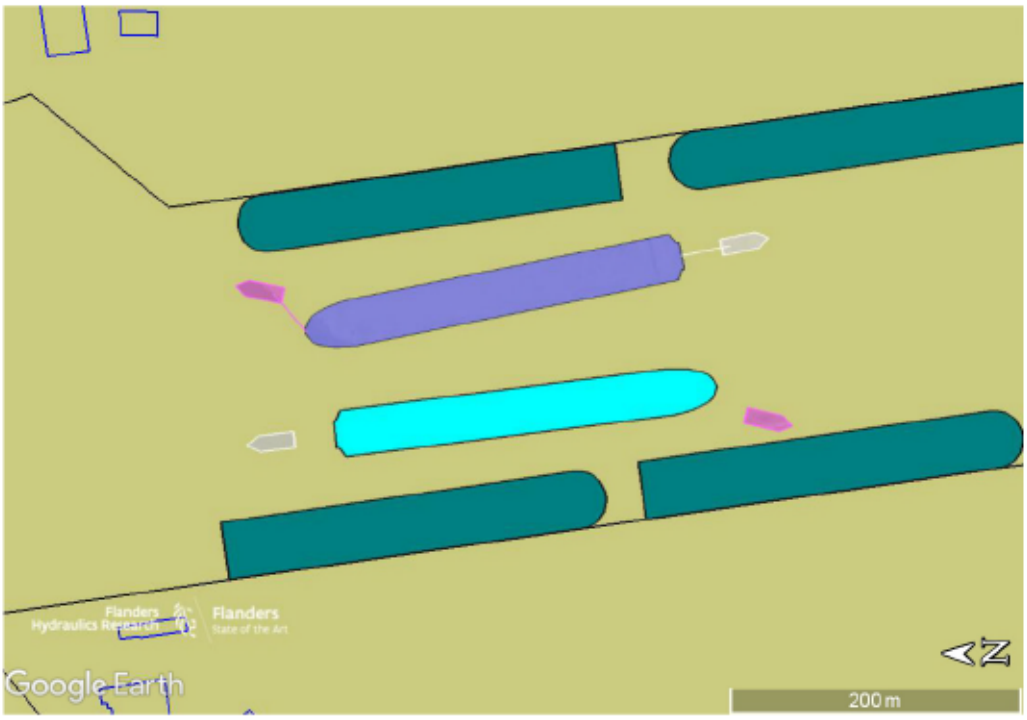
Figuur 24 – Ontmoeting tussen twee schepen in simulatie VF_17

5.6.2 Simulatie VF_18

In simulatie 18 werden dezelfde condities gesimuleerd als in simulatie 17. De loodsen wisselden van schip en dus van simulator. Hierdoor bediende de loods met de meeste ervaring op simulator, nu het schip op de simulator met de meest beperkte visualisatie.

In simulatie 18 resulteerde de ontmoeting in een aanvaardbare passeerafstand tussen beide schepen gelijk aan 37 m (zie Figuur 24). Zowel het opvarende als het afvarende schip voeren hierbij op korte afstand tot de afgemeerde schepen (respectievelijk 26 m en 23 m).

De vaartrajecten zoals uitgevoerd in deze simulaties werden beschouwd als realistisch in de gegeven simulatieomgeving. Zowel de onderlinge afstand tussen de varende schepen, als de afstanden tot de afgemeerde schepen kunnen beschouwd worden als de meest gunstige waarden die bekomen kunnen worden in de onderzochte simulatieomgeving. Hierbij werd echter opgemerkt dat de vaarafstand tot de afgemeerde schepen te kort is. De simulatie toont aan dat een ontmoeting mogelijk is, maar de loodsen stelden dat deze gepaard gaat met onvoldoende reserves in ruimte. Er werd dan ook gesteld dat de simulatie gepaard ging met weinig reserves en een moeilijk manoeuvre betrof. De beschikbare vaarwegbreedte werd dan ook niet voldoende geacht voor de gunstige uitvoering van de vooropgestelde ontmoeting.



Figuur 25 – Ontmoeting tussen twee schepen in simulatie VF_18

5.6.3 Simulatie VF_19

In simulatie 19 werd de windkracht verhoogd tot 6 Beaufort. Rekening houdend met de opmerkingen uit de vorige simulatie werd de breedte van het Verbindingskanaal verhoogd door aan beide oevers schepen af te meren met breedte 32.2 m. Hierdoor bedroeg de beschikbare breedte van het Verbindingskanaal 196 m.

De grotere breedte van het Verbindingskanaal laat toe om de aanvaardbare afstanden te realiseren in deze simulatie (zie Figuur 25). De afstand tussen de ontmoetende schepen bedroeg 38 m. Het opvarende schip respecteerde een minimale afstand gelijk aan 32 m tot de westelijk afgemeerde schepen en het afvarende schip een minimale afstand gelijk aan 36 m tot de oostelijk afgemeerde schepen.

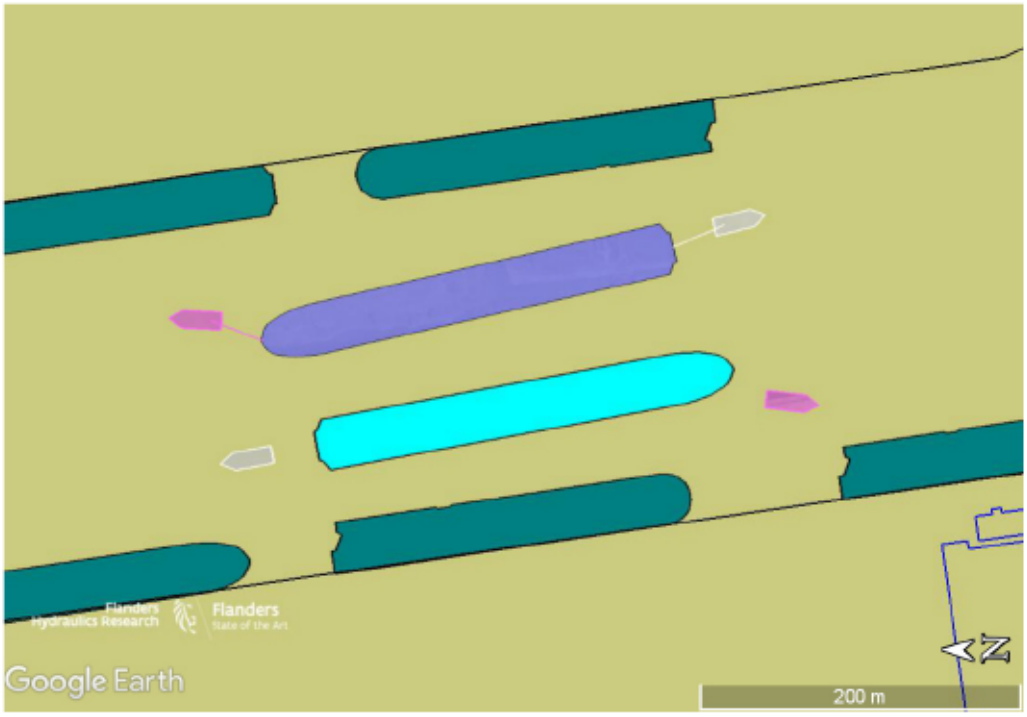
In het Verbindingskanaal werd een beschikbare ruimte gelijk aan 196 m tussen twee afgemeerde schepen voldoende geacht voor het kruisen van twee RoRo-ferries met lengte 265 m en breedte 32.2 m. Met ander woorden: variant F volstaat indien de breedte van de afgemeerde schepen beperkt wordt tot 32.2 m.

Indien aan de oevers geen afgemeerde schepen afgemeerd zouden worden dan kan aangenomen worden dat de rand van de vaarweg op breedte 196 m overeen dient te stemmen met een diepte noodzakelijk voor de ontwerpdiepgang voor een schip in het Verbindingskanaal. De overgang tot de nautisch gegarandeerde diepte van het Verbindingskanaal kan dan gerealiseerd worden volgens een oeverhelling ¼. Hierbij wordt aangenomen dat de nautische gegarandeerde diepte maximaal 10% meer bedraagt dan de ontwerpdiepgang.

De overbreedte voor de afmeerzones is afhankelijk van de maximale breedte van de ontwerpschepen voor deze kaaimuren. Indien er, zoals in de simulatiestudie van uitgegaan wordt, aan zowel westelijke als oostelijke oever schepen afgemeerd kunnen worden met breedte 40 m, dan dient de breedte tussen beide parallelle kaaimuren minimaal 276 m (= 40 m + 196 m + 40 m) te bedragen.

De aslijn van het Verbindingskanaal ligt bij voorkeur in het verlengde van de aslijn van de sluis. In variant F is hier echter niet aan voldaan. In variant F bedraagt de dwarsafstand tussen de aslijn van de sluis en de oostelijke kaaimuur 146.5 m, ten opzichte van 113.5 m tot de westelijke kaaimuur. In variant F bedraagt de

excentriciteit van het Verbindingskanaal ten opzichte van de sluis bijgevolg 16.5 m. De excentriciteit van het Verbindingskanaal ten opzichte van de sluis dient geminimaliseerd worden. De excentriciteit toegepast in variant F (16.5 m) kan beschouwd worden als een maximale waarde.



Figuur 26 – Ontmoeting tussen twee schepen in simulatie VF_19

Tabel 5 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant A (Achterhaven)

							Sluis			Brug Verbindingsdok		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
VA_05	In	NSZ	65+80	40	6	WZW	3	3	Nee	2	2	Ja
VA_08	Uit	NSZ	65+80	40	6	NW	3	3	Nee	4	3	Neen

Tabel 6 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant B (Achterhaven)

							Sluis			Brug Verbindingsdok		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
VB_01	Uit	NSZ	65+80	32	6	WZW	*	*	*	*	*	*
VB_02[3]	Uit	NSZ	65+80	32	6	WZW	3	3	Ja	3	3	Ja
VB_03[3]	In	NSZ	65+80	32	6	WZW	3	3	Nee	2	2	Ja
VB_04[3]	In	NSZ	65+80	32	6	WZW	3	3	Nee	*	*	*
VB_07	In	NSZ	65+80	40	6	O	3	3	Ja	2	2	Ja

[3] Simulatie werd uitgevoerd met geleidingsconstructie die echter niet toegepast werd in de simulatie

Tabel 7 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant C (Achterhaven)

							Sluis			Brug Verbindingsdok		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
VC_06	In	NSZ	65+80	40	6	WZW	2	2	JA	2	2	Ja

Tabel 8 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant D (Achterhaven)

							Sluis			Brug Verbindingsdok		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
VD_09	In	NSZ	65+80	40	6	WZW	5	4	Ja[4]	2	2	Ja
VD_10	Uit	NSZ	65+80	40	6	WZW	3	3	*	3	2	Ja
VD_11	In	NSZ	65+80	40	6	O	3	2	Ja	*	*	*
VD_12	In	NSZ	65+80	40	6	NO	3	2	Ja	3	2	Ja
VD_13	In	NSZ	65+80	40	6	NW	3	2	Ja	5	5	Neen
VD_14	Uit	NSZ	80+80	40	6	NW	2	2	Ja	3	5	Neen
VD_15	Uit	NSZ	80+80	40	6	NO	2	2	Ja	5	5	Neen
VD_16	In	NSZ	65+80	40	6	WZW	3	3	Ja	*	*	*

[4] Op voorwaarde dat landtong verwijderd wordt

Tabel 9 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant F (Achterhaven)

							Sluis		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Wind-kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
VF_17	In	Mark-V	65+80	40	5	WZW	*	*	*
VF_18	In	Mark-V	65+80	40	5	WZW	3	4	Ja
VF_19	In	Mark-V	65+80	32.2	6	WZW	3	3	Ja
VF_17	Uit	Mark-V	65+80	40	5	WZW	*	*	*
VF_18	Uit	Mark-V	65+80	40	5	WZW	3	4	Ja
VF_19	Uit	Mark-V	65+80	32.2	6	WZW	3	3	Ja

6 Resultaten Buitenhaven

Er werden tijdens deze studie 18 simulaties uitgevoerd in twee varianten van de Buitenhaven. Het betroffen allen simulaties uitgevoerd met het nautische ontwerpschip voor CP NSZ (zie §2.1) als enige varende schip (er werden dus geen ontmoetingen gesimuleerd). De verdeling van de uitgevoerde simulaties over de twee varianten wordt weergeven in Tabel 10. Voor beide varianten werd bovendien onderzocht of de aanwezigheid van een geleidingsconstructie in de voorhaven een meerwaarde zou betekenen voor de sluismanoeuvres.

Simulaties naar de buitenhaven werden uitgevoerd door tweemaal twee kustloodsen van DAB Loodswezen, waardoor vier kustloodsen rechtstreeks betrokken waren bij de simulatiestudie. Net als bij de simulaties naar de Achterhaven werden de sleepboten bediend door een ervaren sleepbootkapitein van Boluda Towage NV.

In tegenstelling tot de simulaties voor de Achterhaven, werden er gedurende de simulatiestudie geen bijkomende ontwerpvarianten gedefinieerd voor de Buitenhaven. Wel worden er aanbevelingen geformuleerd met betrekking tot de verdere detaillering van de voorhaven.

Tabel 10 – Aantal uitgevoerde simulaties per variant van de Buitenhaven

Locatie	Variant	Simulaties sluisvaart
Buitenhaven	0	7
Buitenhaven	1	11

6.1 Variant 0

Variant 0 voor de Buitenhaven (zie Figuur 26) stemt overeen met het basisalternatief uit het voorkeursbesluit voor CP NSZ en wordt verder gecombineerd met afgemeerde schepen aan de kaai OCHZ met breedte 51.2 m en een 18 m breed marineschip aan de buitenzijde van het Militair dok.

Varianten 0 en 1 gaan gepaard met eenzelfde aslijn voor de sluis, maar variant 0 stemt overeen met een sluishoofd dat zich 63 m noordelijker bevindt. De beperktere lengte van de voorhaven wordt gecompenseerd door een grotere openingshoek van de voorhaven (15.9°).

Voor een schip met breedte 40 m bedraagt de beschikbare lengte van de voorhaven[5] 623 m. Rekening houdend met het uit te voeren bochtmanoeuvre in de voorhaven en een minimale afstand die het schip steeds in acht zal nemen tot het afgemeerde schip, kan gesteld worden dat het schip slechts opgelijnd kan worden naar de sluis op het ogenblik dat de afstand tussen de sluis en de scheepsboeg ongeveer één scheepslengte bedraagt. Doordat de beschikbare afstand om het schip naar de sluis op te lijnen erg klein was, werd er in de simulatiestudie onderzocht of een geleidingsconstructie in het verlengde van de oostelijke kolkmuur het sluismanoeuvre kan faciliteren. Bij een sluisinvaart met geleidingsconstructie wordt het schip doorgaans met behulp van een duwboot tegen de geleidingsmuur gedrukt om vervolgens langs deze

[5] De lengte van de voorhaven wordt gemeten van de sluistoegang tot het achterschip van het nautische ontwerpschip in lijn met de sluisas en rakend aan de afgemeerde schepen aan OCHZ.

geleiding de sluis in te glijden. Bekende sluizen met een dergelijke sluisinvaart betreffen de Neo-Panamax sluizen in Panama en de Charles De Gaulle sluis te Duinkerke (Frankrijk).

De condities waarbij simulaties uitgevoerd werden naar de variant 0 worden weergegeven in Tabel 11. Deze tabel bevat eveneens de beoordeling van de simulaties door de loodsen. Alle simulaties uitgevoerd naar variant 0 betroffen sluisinvaarten.



Figuur 27 – Variant 0 (Buitenhaven)



Figuur 28 – Variant 0 (Buitenhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken

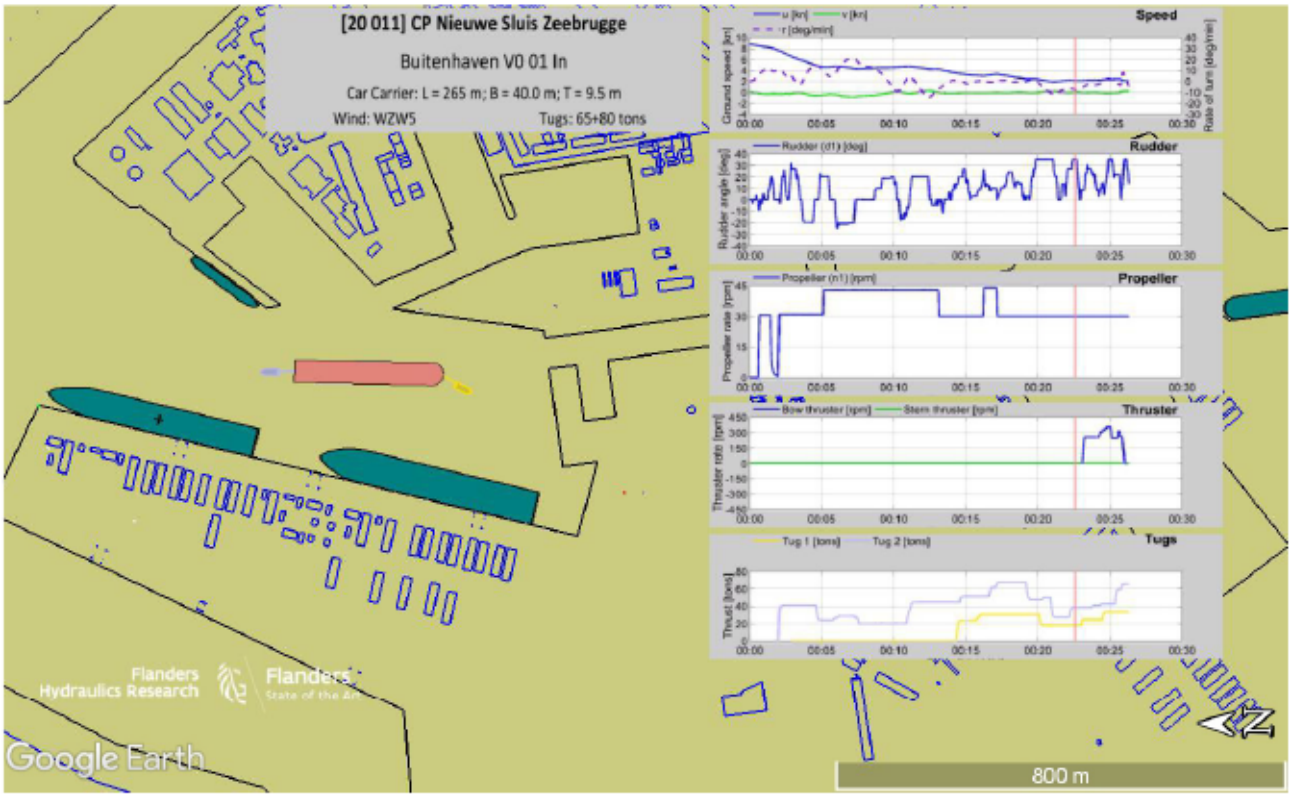
6.1.1 Simulatie V0_01

Simulatie 01 betrof de eerste simulatie uitgevoerd naar de Buitenhaven. De simulatie werd uitgevoerd bij windconditie WZW5. In deze simulatie werd optimaal gebruik gemaakt van de ruime openingshoek van de voorhaven. De voorhaven werd genaderd door op relatief korte afstand van het Militair dok te varen (passeerafstand tot het afgemeerde schip bedroeg een aanvaardbare 39 m). Als gevolg hiervan had het schip nog een belangrijke giersnelheid (ca. 9°/min) wanneer de boeg zich op slechts 180 m van de sluis bevond (zie Figuur 28). De naderingspositie naar de sluis illustreert de beperkte afmetingen van de voorhaven om het schip over een voldoende lange afstand op te lijnen naar de sluis.

Uiteindelijk ging de sluisinvaart gepaard met een hard contact tussen de scheepsboeg en de oostelijke sluishoek.

Hoewel deze simulatie een eerste simulatie betrof en dus doorgaans als gewenningsvaart behandeld zou worden, oordeelde de loodsen dat de sluisinvaart uitgevoerd werd, zoals dat ook in realiteit uitgevoerd zou worden. Toch werd gesteld dat in een volgende simulatie de bocht minder scherp aangesneden zou worden. De afstand om het schip op te lijnen werd door de loodsen te kort geacht om een evenwichtssituatie te vinden tussen de windkrachten enerzijds en de manoeuvreerhulpmiddelen anderzijds. Anderzijds werd geoordeeld dat bij een windkracht gelijk aan 5 Beaufort de sluisinvaart uitgevoerd kon worden met voldoende reserves en een normale moeilijkheidsgraad. Dit is een opvallend positieve beoordeling rekening houdend met het harde contact tijdens de sluisinvaart.

De loodsen stelden dat, gegeven de korte afstand om het schip op te lijnen, een geleidingsconstructie in deze variant aangewezen zou zijn.



Figuur 29 – Sluisnadering in simulatie V0_01

6.1.2 Simulatie V0_02

In simulatie 02 werden dezelfde condities onderzocht als in simulatie 01, maar werd de windkracht verhoogd tot 6 Beaufort.

Zoals aangekondigd in de vorige simulatie, werd het bochtmanoeuvre naar de sluis nu ruimer uitgevoerd, waardoor het schip nu op ruimere afstand van de sluis opgelijnd kan worden. Tijdens de sluisnadering was een belangrijk gebruik van sleepboten en boegschroef noodzakelijk om het schip stabiel te houden tegen de wind. Uiteindelijk kan het schip de sluis ingevaren worden zonder contact te maken met de sluis.

Het belangrijke gebruik van sleepboten en boegschroef deed de loodsen besluiten dat de sluisinvaart gepaard ging met weinig reserves en een meer dan normale moeilijkheidsgraad. Deze beoordeling is grotendeels ingegeven door de belangrijke windkrachten, maar is eveneens een gevolg van de beperkte ruimte in de voorhaven. Ten opzichte van de aanloop naar de Pierre Vandammesluis is het nu niet mogelijk om de sluis hoog aan de wind te naderen of om het schip over een lange afstand op te lijnen naar de sluis.

De loodsen herhaalden dat een geleidingsconstructie volgens hun een meerwaarde zou betekenen.

6.1.3 Simulatie V0_03

Rekening houdend met de opmerkingen uit de simulaties 01 en 02 werden in simulatie 03 dezelfde condities onderzocht als in simulatie 02, maar werd er een 150 m lange geleidingsconstructie voorzien in het verlengde van de oostelijke kolkmuur. Er dient opgemerkt te worden dat de loodsen geen ervaring hadden met sluisinvaart langsheen een geleidingsconstructie.

In simulatie 03 werd een eerste poging ondernomen om de sluis in te varen met behulp van de geleidingsconstructie. Echter in deze simulatie werd de bocht te ruim genomen, waardoor het schip te hoog aan de wind de sluis naderde. Deze uitgangspositie was ongunstig ten opzichte van de geleiding, waardoor de simulatie afgebroken werd. Er werden aan deze simulatie geen conclusies verbonden.

6.1.4 Simulatie V0_04

In simulatie 04 werd een nieuwe poging uitgevoerd om de sluis in te varen in aanwezigheid van een 150 m lange geleidingsconstructie. De geleidingsconstructie kon in simulatie 04 op een gunstige wijze genaderd worden, maar de bewegingsvrijheid om het schip te positioneren naar de sluis is erg beperkt.

Wanneer de boeg zich reeds aan het sluishoofd bevond, maakte het schip voor het eerst contact met de geleiding. Dit gebeurde midscheeps. Vervolgens treedt er ook een contact op tussen de boeg van het schip en de sluiskolk. Dit laatste contact zou opgevangen moeten worden door een gepaste fendering van de sluishoek.

De loodsen oordeelden echter dat de landing van het schip op de geleidingsconstructie onvoldoende gecontroleerd uitgevoerd kon worden. De aanwezigheid van de geleidingsconstructie zorgt ervoor dat de bocht in de voorhaven nog scherper wordt, waarbij op korte afstand van het afwaartse uiteinde van de geleidingsconstructie gevaren dient te worden.

In simulatie 04 werd de sluisnadering uitgevoerd aan ca. 2.5 kn. De loodsen stelden echter dat voor een gecontroleerde landing op de geleidingsconstructie een nog lagere vaarsnelheid nodig is. De loodsen betwijfelden of de beschikbaarheid van een geleidingsconstructie de vlotheid van de sluismanoeuvres ten goede zou komen.

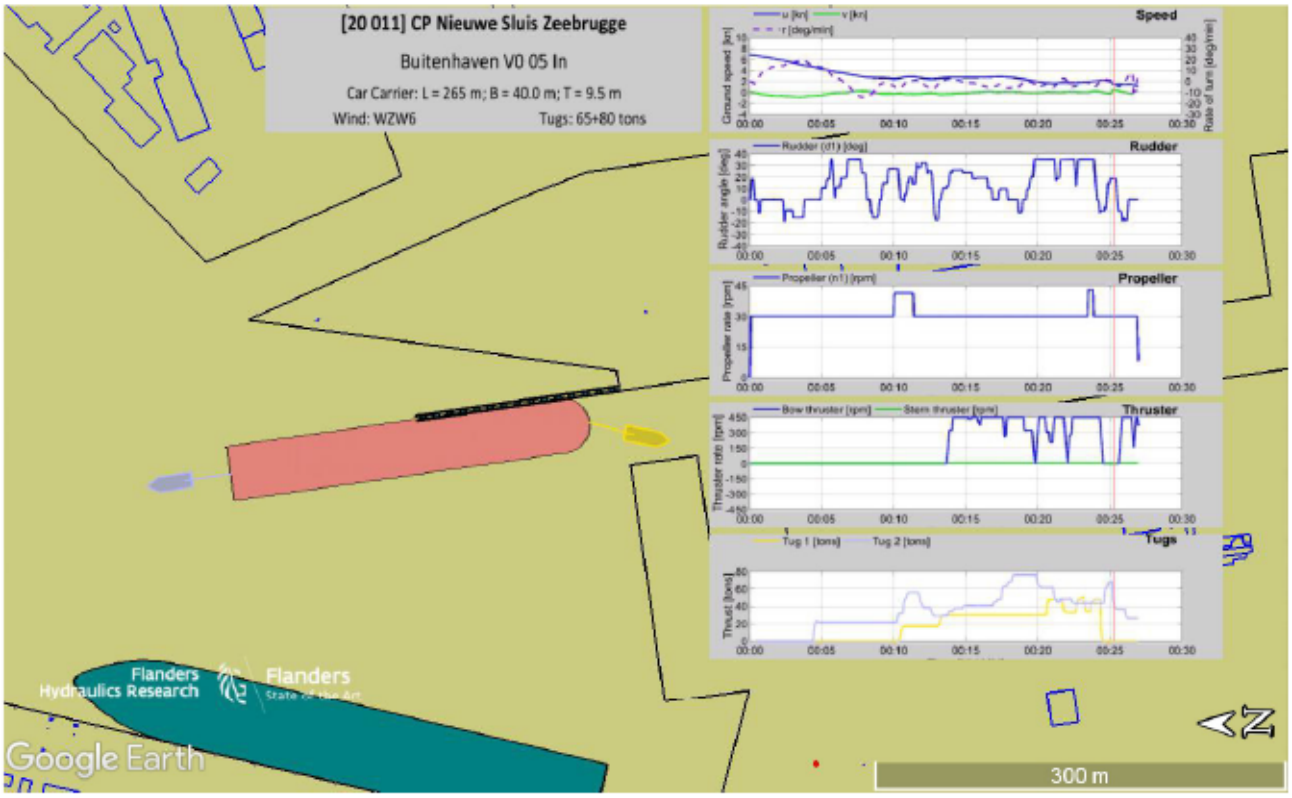
De eerste ervaringen met de geleidingsconstructie zijn niet positief. De loodsen beoordeelden de sluisinvaart met geleidingsconstructie negatiever dan simulatie 02 uitgevoerd zonder geleidingsconstructie.

6.1.5 Simulatie V0_05

In simulatie 05 werd nogmaals een sluisinvaart uitgevoerd bij windconditie WZW6 en in aanwezigheid van een 150 m lange geleidingsconstructie. Rekening houdend met de resultaten uit de vorige simulatie werd de sluisnadering aan erg lage snelheid uitgevoerd. Zo bedroeg de vaarsnelheid slechts 2 kn wanneer het schip zich op 200 m van het geleidingswerk bevond en daalde de snelheid tijdens de sluisaanloop verder tot 1.6 kn.

Het schip landde midscheeps op de geleidingsconstructie wanneer de boeg zich op ca. 45 m van het sluishoofd bevond (zie Figuur 29). Vervolgens wordt het contact met het geleidingswerk verloren, maar kan het schip uiteindelijk toch gecontroleerd langs de geleiding de sluis invaren. Er wordt echter gesteld dat de geleidingsconstructie niet bijdraagt aan een gecontroleerde sluisinvaart en dat de geleidingsconstructie een nadelige invloed heeft op de vlotheid van het manoeuvre. Andere voorbeelden van sluisinvaart langs een geleidingsconstructie (Neo-Panamax sluizen in Panama en de Charles De Gaulle sluis te Duinkerke) worden uitgevoerd met behulp van een duwboot die het schip tegen de geleiding drukt. De loodsen achten het echter niet wenselijk om de sleepboten op die manier in te zetten. De loodsen zouden een geleidingsconstructie verkiezen waartegen de boeg gecontroleerd kan glijden aan een vaarsnelheid gelijk aan ca. 3 kn. Een dergelijke uitvoering komt voor in de binnenvaart (met name bij het varen met (lege) duwbakken) maar is ongebruikelijk voor zeevaart (zou een zeer robuuste constructie met grote demping vereisen) en in het bijzonder voor RoRo-schepen (waarbij de uitwaaierende boeg aanleiding geeft tot een grote kans op (verf-)schade aan schip). Er zijn noch bij WL noch bij de loodswezens praktijkvoorbeelden bekend van een dergelijke uitvoering.

Simulatie 05 werd opnieuw minder gunstig beoordeeld als een gelijkaardige simulatie uitgevoerd zonder geleidingsconstructie. Door de lage vaarsnelheid werd geacht dat de manoeuvreerreserves gelijkaardig waren, maar werd gesteld dat de moeilijkheidsgraad van het manoeuvre hoger is met dan zonder geleidingsconstructie.



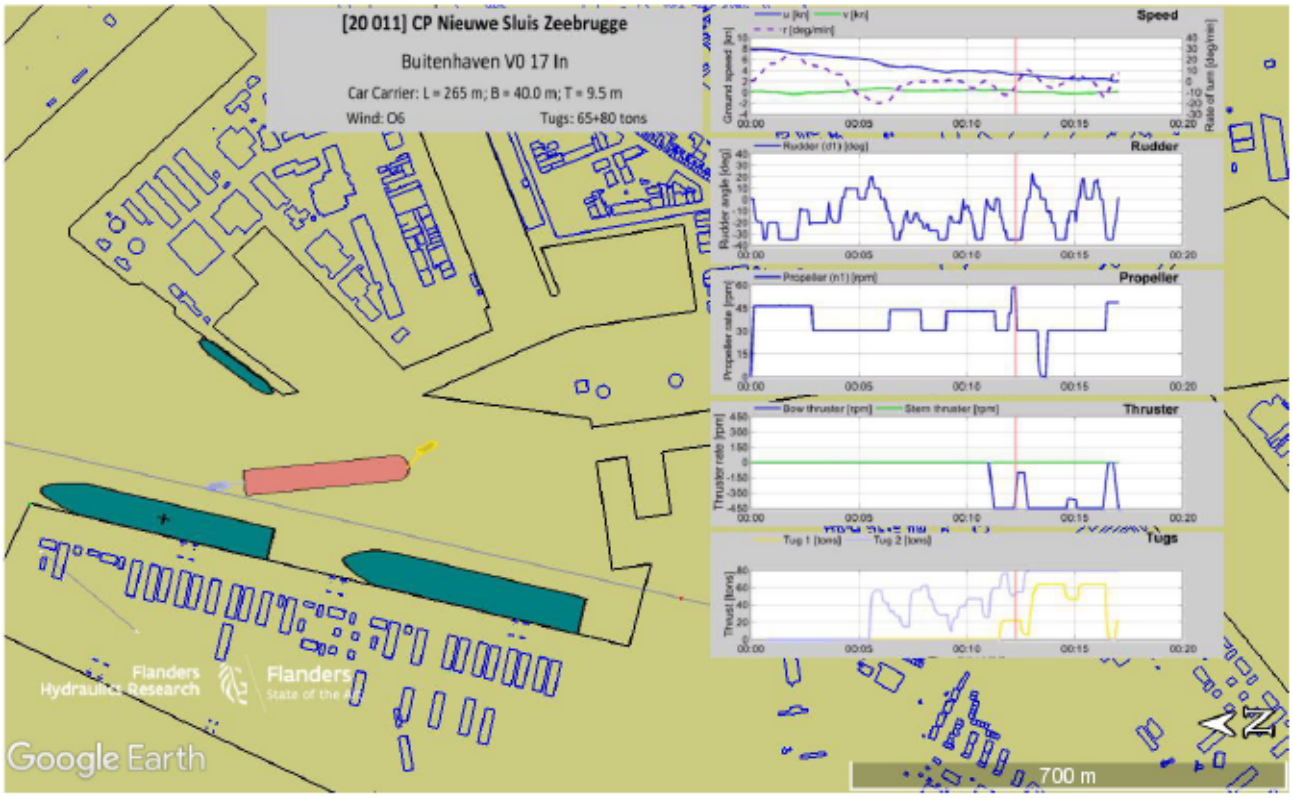
Figuur 30 – Sluisnadering langs geleidingsconstructie in simulatie V0_05

6.1.6 Simulatie V0_17

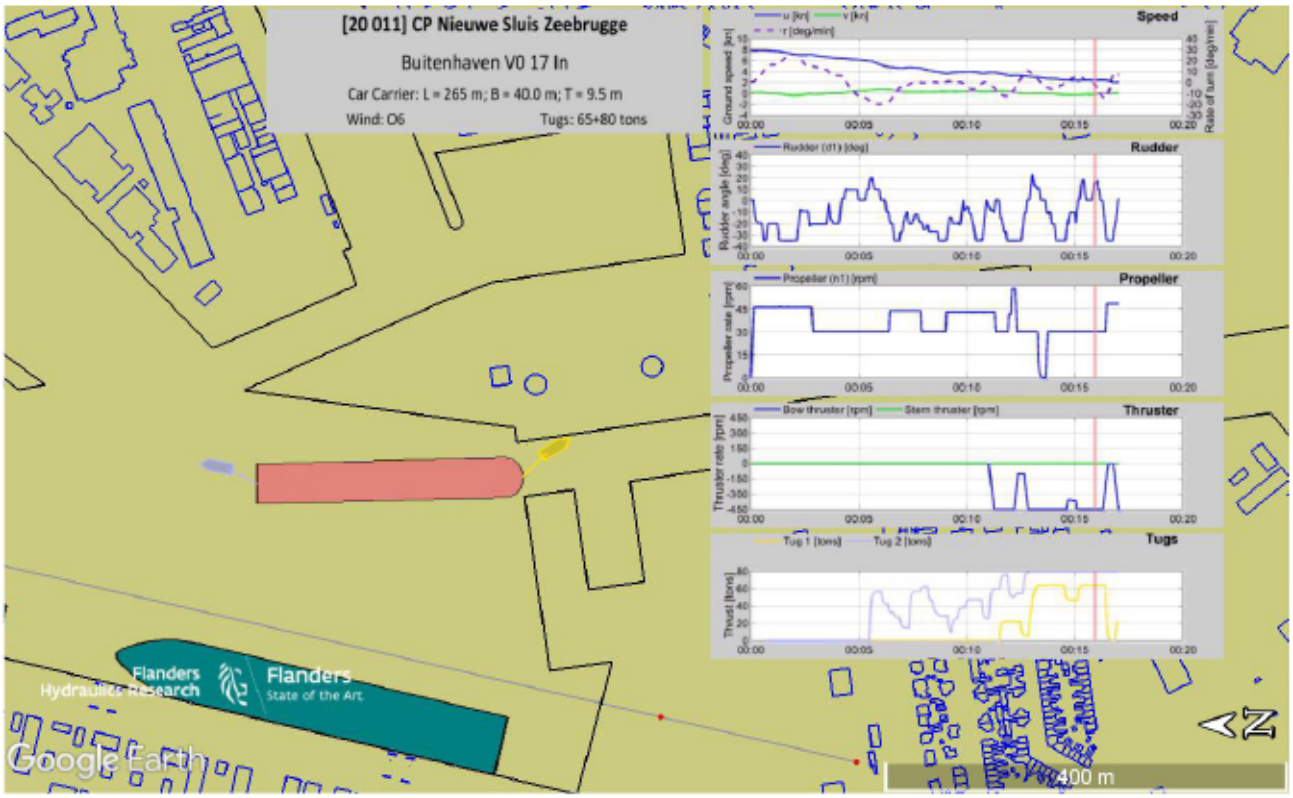
Op de tweede simulatiedag werden er twee simulaties uitgevoerd naar variant 0. Het betroffen simulaties zonder geleidingsconstructie bij twee ongunstige windrichtingen ten opzichte van de sluis.

In simulatie 17 werd een sluisinvaart gesimuleerd bij een oostelijke wind met kracht 6 Beaufort. Ondanks dat simulatie 17 de eerste simulatie was naar variant 0 op de tweede simulatiedag, kan gesteld worden dat de loodsen reeds de nodige ervaring opgebouwd hadden in de eerdere simulaties naar variant 1. Om de oplijn-afstand naar de sluis te maximaliseren werd dan ook een ruime bocht uitgevoerd naar de sluis. De afstand tot de afgemeerde schepen aan OCHZ bleef aanvaardbaar (42 m) en het schip kon opgelijnd worden naar de sluis wanneer de boeg zich op 290 m van het sluishoofd bevond (zie Figuur 30). Opnieuw werd echter opgemerkt dat deze afstand erg beperkt is om zowel de vaarsnelheid af te bouwen als om het schip te controleren ten opzichte van de wind. Het oplijnen van het schip naar de sluis ging dan ook gepaard met een maximale inzet van beide sleepboten en de boegschroef. Wanneer de boeg de sluis bereikte (zie Figuur 31) week de koers van het schip in belangrijke mate af van de sluisoriëntatie waardoor een maximaal gebruik van boegschroef en voorste sleepboot noodzakelijk was om de boeg tegen de wind te bewegen. Hierdoor landde het schip uiteindelijk op de bovenwindse sluishoek. Hoewel deze landing gecontroleerd beschouwd kan worden en opgevangen kan worden door een gepaste fendering op de sluishoek, worden de vereiste positiecorrecties op korte afstand van de sluis (of zelfs tijdens de sluisinvaart) als ongunstig beoordeeld.

Er werd gesteld dat de afstand van de voorhaven onvoldoende is voor een gecontroleerde sluisaanloop. De kortere lengte van de voorhaven in variant 0 ten opzichte van variant 1, wordt dan ook als een belangrijk nadeel gezien van variant 0. Er werd gesteld dat sluisinvaart naar variant 0 bij een belangrijke dwarswind een moeilijk manoeuvre betreft. Dit is een minder gunstige beoordeling dan wat aanvaardbaar geacht wordt bij ontwerp van vaarwegen.



Figuur 31 – Sluisnadering in simulatie V0_17



Figuur 32 – Sluisnadering in simulatie V0_17 (2)

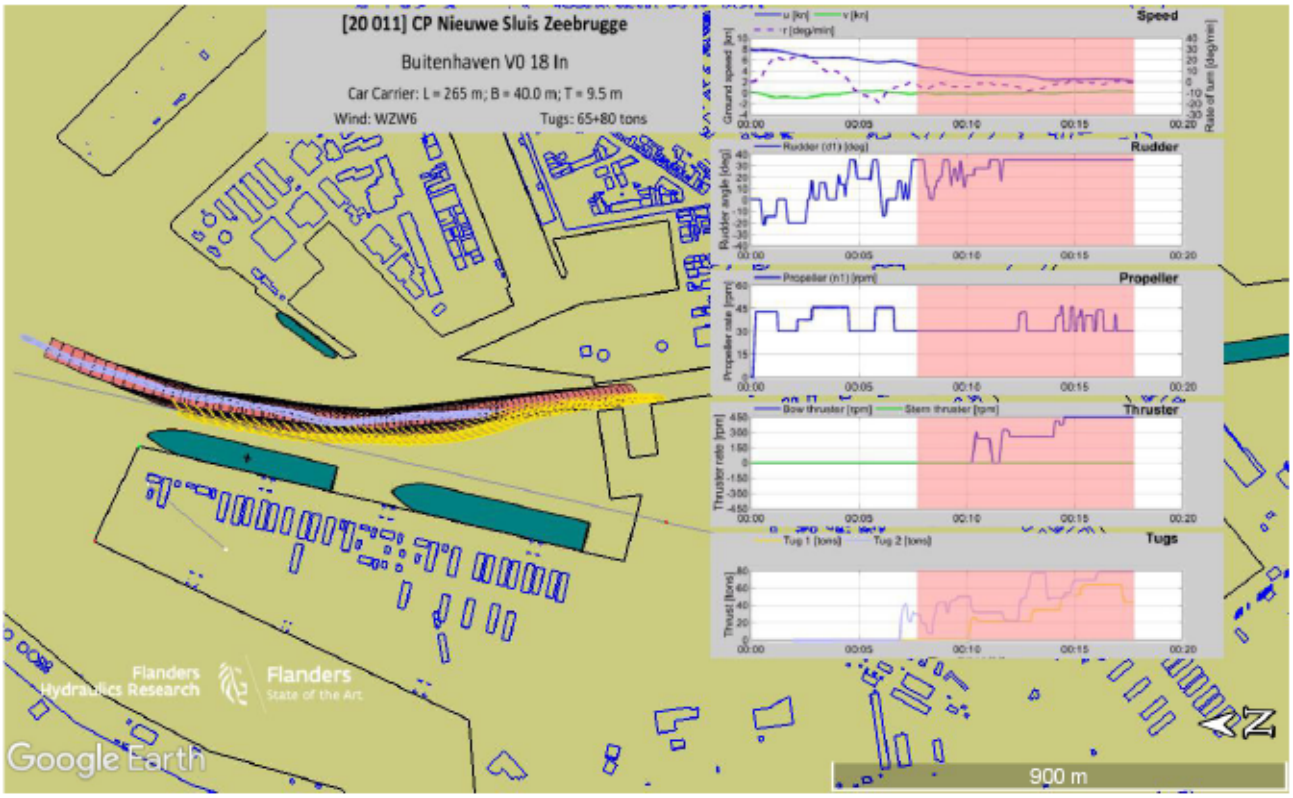
6.1.7 Simulatie V0_18

In simulatie 18 werd de sluisinvaart onderzocht zonder geleidingsconstructie bij een westzuidwestelijk wind met kracht 6 Beaufort. Dit zijn dezelfde simulatiecondities als op de eerste simulatiedag onderzocht in simulatie V0_02.

Mede door de ervaring opgebouwd gedurende de simulatiedag, kende simulatie 18 een gunstig verloop waarbij de sluis ingevaren kon worden zonder contacten met de sluishoeken. Dit had grotendeels te maken met de ervaring die de loods opgebouwd hadden met betrekking tot controleren van de windeffecten. Zo werd tijdens de sluisnadering de achterste sleepboot recht achteruit toegepast en lag het roer continu maximaal over bakboord. De snelheid werd bijgevolg gecontroleerd door de achterboot, terwijl de dwarse positie van het achterschip gecontroleerd werd door herhaaldelijke schroefstoten die de effectiviteit van het roer verhoogden. De dwarse positie van de boeg werd gecontroleerd door gebruik van voorboot en boegschroef welke beide gelijktijdig en voor langere periode op vol vermogen toegepast werden.

Zoals reeds meermaals vermeld is de beschikbare oplijnlengte naar de sluis maatgevend voor het slagen van het manoeuvre. Bijgevolg wordt de voorhaven volgens een ruime bocht uitgevoerd. Mits het aanpassen van de huidige lichtenlijn (193°) aan OCHZ (zie verder), kan hierbij een aanvaardbare afstand tot de daar afgemeerde schepen gerealiseerd worden. Anderzijds impliceert deze uitvoering dat de oostelijke uitbreiding van de voorhaven, zoals in variant 0 voorzien (zie Figuur 27) geen meerwaarde biedt voor de sluismanoeuvres. Figuur 32 illustreert de westelijke vaarpositie van het schip tijdens de sluisinvaart in simulatie 18 en het beperkte ruimtebeslag in het oostelijke deel van de voorhaven.

Simulatie 18 kan beschouwd worden als het ideale manoeuvre in de gesimuleerde condities. Op basis van de eerdere ervaringen met variant 1 werd op basis van de kortere lengte van de voorhaven in variant 0 eenzelfde beoordeling gegeven als in simulatie 17. Dit om aan te tonen dat de kortere oplijnafstand in variant 0 een significant nadeel betreft ten opzichte van variant 1.



Figuur 33 – Ruimtebeslag in simulatie V0_18

6.2 Variant 1

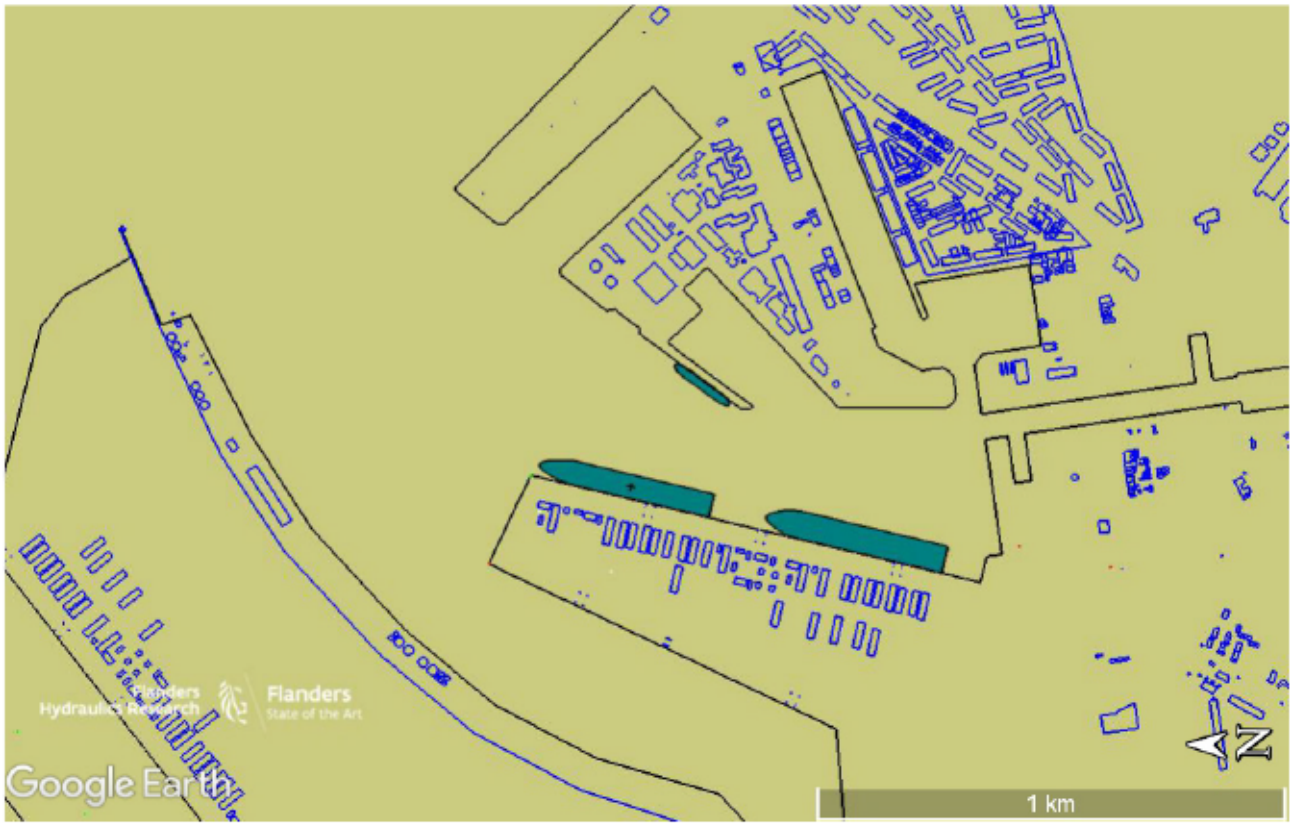
Variant 1 (zie Figuur 33) verschilt van variant 0 door een zuidelijke verplaatsing (63 m) van het benedenhoofd van de sluis. Deze verplaatsing wordt verwezenlijkt door enerzijds een beperking van de kolklengte[6] en anderzijds een zuidelijke verplaatsing van het bovenhoofd.

De zuidelijke positie van het benedenhoofd, laat toe dat de huidige toegang tot de jachthaven behouden kan blijven. De oostelijke openingshoek van de voorhaven is in variant 1 (10.7°, zie Figuur 34) kleiner dan in variant 0 (15.9°). Voor een schip met breedte 40 m bedraagt de beschikbare lengte van de voorhaven 686 m (d.i. 63 m meer dan beschikbaar in variant 0).

Er worden in de voorhaven gelijkaardige schepen afgemeerd. Door de kleinere openingshoek van de voorhaven, wordt er ook in beperktere mate ingesneden in het Militair dok, waardoor het daar afgemeerde schip een meer westelijke positie aanneemt dan in variant 0.

Ook in variant 1 werden er verschillende geleidingsconstructies onderzocht. Een overzicht van de uitgevoerde condities en de beoordeling door loodsen wordt weergegeven in Tabel 12.

[6] De aanpassing van de kolklengte heeft geen impact op de toegankelijkheid van de sluis voor het ontwerpschip zoals toegepast voor de manoeuvreersimulaties. De impact van de kleinere kolklengte op de capaciteit van de sluis werd niet onderzocht in voorliggend onderzoek.



Figuur 34 – Variant 1 (Buitenhaven)



Figuur 35 – Variant 1 (Buitenhaven): detail voorhaven van de sluis met weergave openingshoeken

6.2.1 Simulatie V1_06

Simulatie 06 werd uitgevoerd bij een westzuidwestelijke wind met kracht 6 Bft en volgde op simulatie 05 welke uitgevoerd werd bij dezelfde condities, maar dan in variant 0.

De loodsen merkten duidelijk de grotere afstand in de voorhaven om het schip op te lijnen. De ruimte in de voorhaven werd optimaal gebruikt met gelijkaardige passeerafstanden tot de schepen aan OCHZ en het Militair dok.

Variant 1 wordt duidelijk comfortabeler bevonden dan variant 0. Er wordt gesteld dat een openingshoek van de voorhaven gelijk aan 8 to 9° voldoende moet zijn voor het sluismanoeuvre.

Er wordt gesteld dat de simulatie gepaard ging met weinig reserves en een normale moeilijkheidsgraad, maar dit had voornamelijk te maken met de windconditie. Voor het schip toegepast in de simulatiestudie wordt een dwarswind met kracht 6 Bft als maximale windconditie beschouwd. Dit geldt evenzeer voor de manoeuvres naar de Pierre Vandammesluis en is niet ingegeven door het vaarwegontwerp.

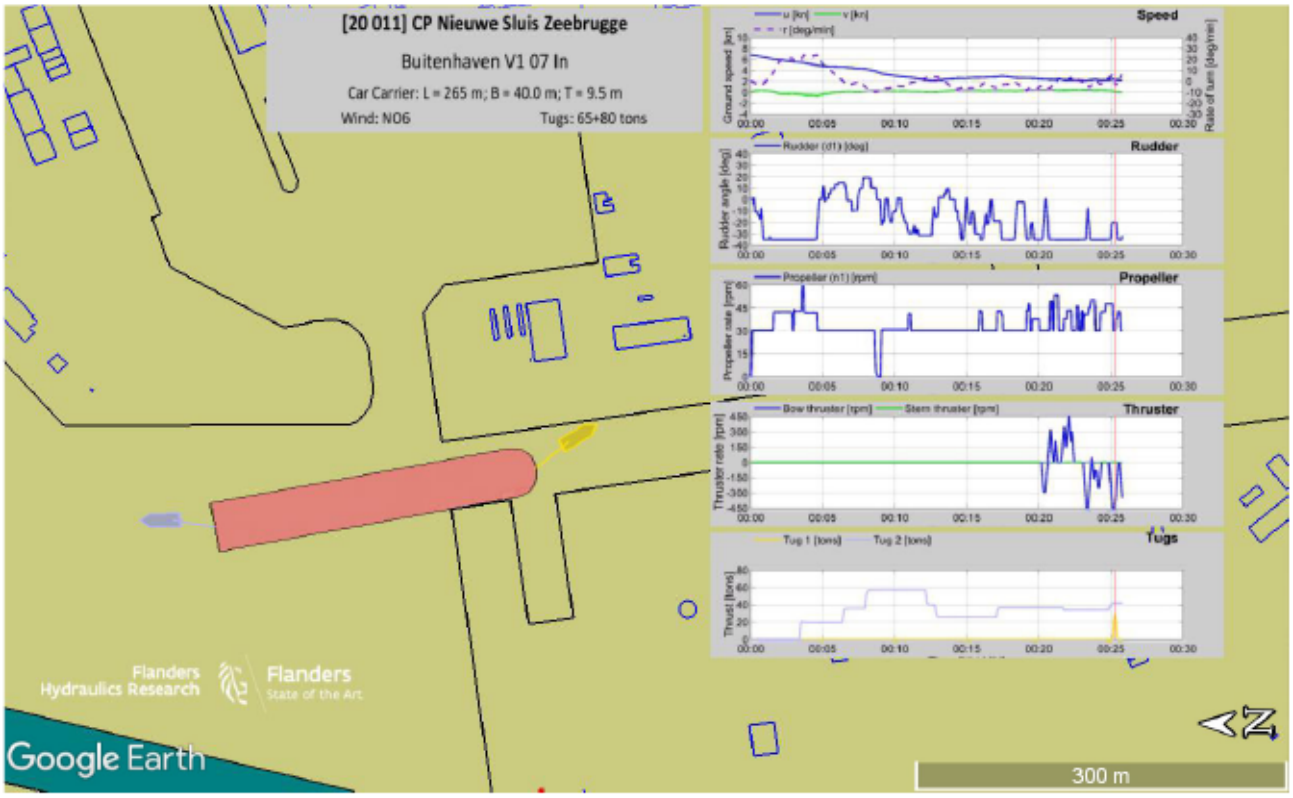
6.2.2 Simulatie V1_07

Simulatie 07 werd uitgevoerd bij een noordoostelijke windrichting. Bij deze windconditie wordt er op kortere afstand van het militair dok gepasseerd (36 m), maar gegeven de windrichting is deze afstand zeker aanvaardbaar.

De sluis werd ingevaren onder een constante opstuurhoek. Het oplijnen van het schip naar de sluis werd uitgevoerd zonder gebruik te maken van de voorste sleepboot. Dit illustreert ook de beperktere dwarskrachten door een noordoostelijke windrichting dan voor de eerder onderzochte westzuidwestelijke windrichting.

Eénmaal de boeg zich in de sluis bevond, diende het achterschip tegen de wind opgewerkt te worden en diende ook de voorboot kortstondig toegepast te worden om te vermijden dat de boeg zou verlijeren. Het schip maakte hierbij contact met de benedenwindse sluishoek (zie Figuur 35).

Ondanks het opvallend gematigder gebruik van de sleepboten, werd simulatie 07 bij noordoostelijke wind op dezelfde manier beoordeeld als simulatie 06 uitgevoerd bij westzuidwestelijke wind.



Figuur 36 – Sluiscontact in simulatie V1_07

6.2.3 Simulatie V1_08

In simulatie 08 werd de meerwaarde onderzocht van een derde sleepboot (80 ton) bij een westzuidwestelijke windconditie met kracht 6 Beaufort. De sleepbootconfiguratie was als volgt: de voorboot had een kracht gelijk aan 80 ton. Achteraan werden twee sleepboten vastgemaakt, waarvan een 80 ton sleepboot aan bakboord (voor het controleren van de vaarsnelheid) en een 65 ton sleepboot aan stuurboord (om het achterschip tegen de wind te trekken).

De extra sleepboot gaf aanleiding tot een erg gecontroleerde sluisinvaart, waarbij elk van de sleepboten slechts tot maximaal 75% ingezet werd. De controle van de positie van het achterschip blijkt erg belangrijk om het schip gecontoleerd naar de sluis te brengen. De beschikbaarheid over een bijkomende sleepboot die het achterschip ophoudt tegen de wind werd dan ook als positief ervaren.

Eerder werd opgemerkt dat de sluisinvaart langs een geleidingsconstructie ook de beschikbaarheid over drie sleepboten zou vereisen. Hiervoor is immers een duwboot vereist om het schip tegen de geleiding te houden. Op basis van simulatie 08 werd echter geoordeeld dat de toepassing van een derde vastgemaakte sleepboot te verkiezen valt boven een duwboot (al dan niet gecombineerd met geleidingsconstructie).

De bijkomende reserves door de beschikbaarheid van een extra sleepboot resulteerden in een gunstigere beoordeling van de manoeuvreerreserves in deze simulatie.

6.2.4 Simulatie V1_09

Simulatie 09 werd uitgevoerd bij noordwestenwind en opnieuw met de standaard sleepbootconfiguratie bestaande uit twee sleepboten.

Een noordwestelijke windrichting stemt overeen met een rugwind met een eerder beperkte dwarscomponent ten opzichte van de sluis. Bij het naderen van de voorhaven (opwaarts de bocht naar de

voorhaven) valt de wind wel dwars op het schip en werd opgemerkt dat het schip moeilijk te sturen is door het loefgierige karakter van het schip. Mede hierdoor werd de voorhaven op relatief korte afstand (35 m) van de afgemeerde schepen aan OCHZ uitgevoerd. De sluisnadering en -invaart kon gecontroleerd uitgevoerd worden. De rugwind vereiste een belangrijk gebruik van de achterste sleepboot, maar dit werd ook bij andere windcondities opgemerkt. Het gebruik van de voorste sleepboot was beperkt tot 25%.

De simulatie kreeg eenzelfde beoordeling als de andere sluisinvaarten in variant 1 waarbij eveneens een windkracht van 6 Beaufort gecombineerd werd met twee sleepboten.

6.2.5 Simulatie V1_10

Simulatie 10 betrof de eerste simulatie uitgevoerd op de tweede simulatiedag naar de Buitenhaven. In tegenstelling tot de eerste simulatiedag, werden de eerste simulaties uitgevoerd naar variant 1 en werd pas later op de dag variant 0 gesimuleerd.

Hoewel doorgaans de eerste simulatie van de dag als gewenningssimulatie beschouwd werd, bleek simulatie 10 geen afwijkende uitvoering te vertonen. Bijgevolg werd deze simulatie mee opgenomen in de beoordeling.

Simulatie 10 werd uitgevoerd bij een westzuidwestenwind met kracht 5 Beaufort.

Het schip voerde een ruime bocht uit naar de voorhaven en nam daarna een erg centrale positie in in de voorhaven. Vervolgens werd het naderen en invaren van de sluis erg gecontroleerd uitgevoerd door een uitgebalanceerd gebruik van de beschikbare hulpmiddelen.

Hoewel de eerste simulatie van de dag, ging simulatie 10 gepaard met een erg gunstige uitvoering. De loods onthaalde het ontwerp van de voorhaven en de beschikbare ruimte positief. Het moeilijkste aspect is het sluismanoeuvre, waarbij in een volgende simulatie een hogere vaarpositie aangenomen zou worden.

De simulatie werd beoordeeld als geslaagd met voldoende reserves en normale moeilijkheid.

6.2.6 Simulatie V1_11

In simulatie 11 werden dezelfde condities gesimuleerd als tijdens simulatie 06 op de eerste simulatiedag. Een westzuidwestenwind met kracht 6 Beaufort werd onderzocht zonder geleidingsconstructie.

In simulatie 11 trachtte de loods om het schip zodanig op te lijnen opdat de boeg op ca. 5 m van de westelijke kolkmuur zou blijven. Door een vrij abrupte snelheidsdaling op korte afstand van de sluis (gecombineerd met een verminderd gebruik van de voorste sleepboot), wordt de evenwichtssituatie verloren en landde de boeg uiteindelijk op de benedenwindse sluishoek.

Het verschil tussen een windkracht 5 en 6 Beaufort blijkt een belangrijke invloed te hebben op het gebruik van middelen, waardoor er weinig reserves beschikbaar zijn bij windkracht 6 Beaufort. Toch kon de simulatie aanvaardbaar uitgevoerd worden.

6.2.7 Simulatie V1_12

In simulatie 12 werd de meerwaarde van een geleidingsconstructie in variant 1 onderzocht. De lengte van de geleidingsconstructie bedroeg 200 m en werd uitgelijnd op de oostelijke kolkmuur. De gesimuleerde windconditie betrof opnieuw WZW6.

Uiteindelijk werd de geleidingsconstructie naar de sluis niet rechtstreeks toegepast in simulatie 12. De loods stelde wel dat de aanwezigheid van de geleidingsconstructie helpt om het schip op te lijnen doordat je een referentie hebt op korte afstand van het schip. Anderzijds beperkt de geleidingsconstructie de beschikbare

ruimte voor het uitvoeren van de manoeuvres en zijn er andere/betere hulpmiddelen die het oplijnen van het schip kunnen faciliteren[7].

Men kan stellen dat de geleiding in simulatie 12 geen meerwaarde betekende voor het manoeuvre. De simulatie werd op dezelfde manier beoordeeld als de voorgaande simulatie uitgevoerd zonder geleidingswerk.

6.2.8 Simulatie V1_13

In simulatie 13 worden de condities uit simulatie 12 herhaald.

Opnieuw werd de sluis ingevaren zonder gebruik te maken van de geleiding. In simulatie 13 werd de sluis vanuit een hogere positie genaderd, door bij het invaren van de voorhaven langer in de lichtenlijn te blijven varen. Vanuit de hoge naderingspositie kon het schip erg gecontroleerd naar de sluis gebracht worden zonder contact met de sluisconstructie of met het geleidingswerk.

Er werd gesteld dat een gunstige (lees: voldoende hoog aan de wind) naderingspositie naar de sluis en een gepaste passeerafstand tot de afgemeerde schepen gerealiseerd kan worden door het voorzien van een nieuwe lichtenlijn in de voorhaven. De lichtenlijn kan de huidige lichtenlijn (193°) vervangen en dient parallel te lopen aan de OCHZ-kaaimuur op een dwarsafstand van de kaai gelijk aan 150 m[8]. Bij westelijke dwarswind dient de voorhaven ingevaren te worden met de bakboordzij op de lichtenlijn, bij oostelijke dwarswind met de stuurboordzij op de lichtenlijn en indien geen belangrijke dwarswind dan dient de voorhaven ingevaren te worden centraal op de lichtenlijn.

Rekening houdend met de uitvoering van de sluisinvaarten bij westzuidwestenwind in simulaties 12 en 13 wordt de meerwaarde van een geleidingsconstructie in de voorhaven beperkt geacht. Er wordt gesteld dat de aanwezigheid van de geleidingsconstructie zelf nadelig is bij oostenwind.

6.2.9 Simulatie V1_14

Rekening houdend met de opmerkingen uit simulatie 13, werd in simulatie 14 de sluisinvaart onderzocht in aanwezigheid van een 200 m lang geleidingswerk en bij een oostelijke windrichting.

De oostelijke wind leidde tot een erg korte passeerafstand tot de schepen aan OCHZ (13 m) welke niet aanvaardbaar geacht wordt. De beschikbaarheid over de eerder vermelde lichtenlijnen en de vermelde uitvoering bij oostenwind, zullen een aanvaardbare afstand tot OCHZ faciliteren.

Het naderen van de sluis werd op relatief ruime afstand van de geleidingsconstructie uitgevoerd. Toch wordt opgemerkt dat de aanwezigheid van de geleidingsconstructie de bewegingsruimte voor de voorste sleepboot beperkt en de mogelijkheden beperkt om de boeg tegen de wind op te trekken. De geleidingsconstructie verhindert bovendien dat het schip de sluis kan naderen vanop een hoge positie.

Hoewel de loodsen aanvankelijke voorstander waren van de geleidingsconstructie, werd er geconcludeerd dat de geleidingsconstructie een te grote beperking inhoudt voor het ruimtegebruik door schip en sleepboten. Bovendien vereist de aanwezigheid van de geleidingsconstructie dat het bochtmanoeuvre naar de voorhaven op een kortere afstand uitgevoerd dient te worden en verhindert het de gewenste oostelijke invaart van de voorhaven bij oostelijke windrichtingen.

De moeilijkheidsgraad van een sluisinvaart bij oostelijke wind en in aanwezigheid van een geleidingsconstructie wordt dan ook als moeilijk beoordeeld.

---

[7] Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan Lock Approach Mode in Full SNMS. Deze werd niet toegepast tijdens de simulatiestudie.

[8] Deze lichtenlijn werd niet gesimuleerd in de simulatieomgeving. De beschikbare lichtenlijn in de simulatieomgeving betreft de huidige lichtenlijn.

6.2.10 Simulatie V1_15

Op basis van de eerdere simulaties met geleidingsconstructie in het verlengde van de kolk in variant 1 en variant 0 wordt een dergelijke constructie ongewenst geacht.

Anderzijds dient de voorhaven te voorzien in een uitwijklocatie waar het schip in geval van calamiteiten kan afmeren. Een zogenaamde noodsteiger zou gerealiseerd kunnen worden langs de oostelijke oever van de voorhaven.

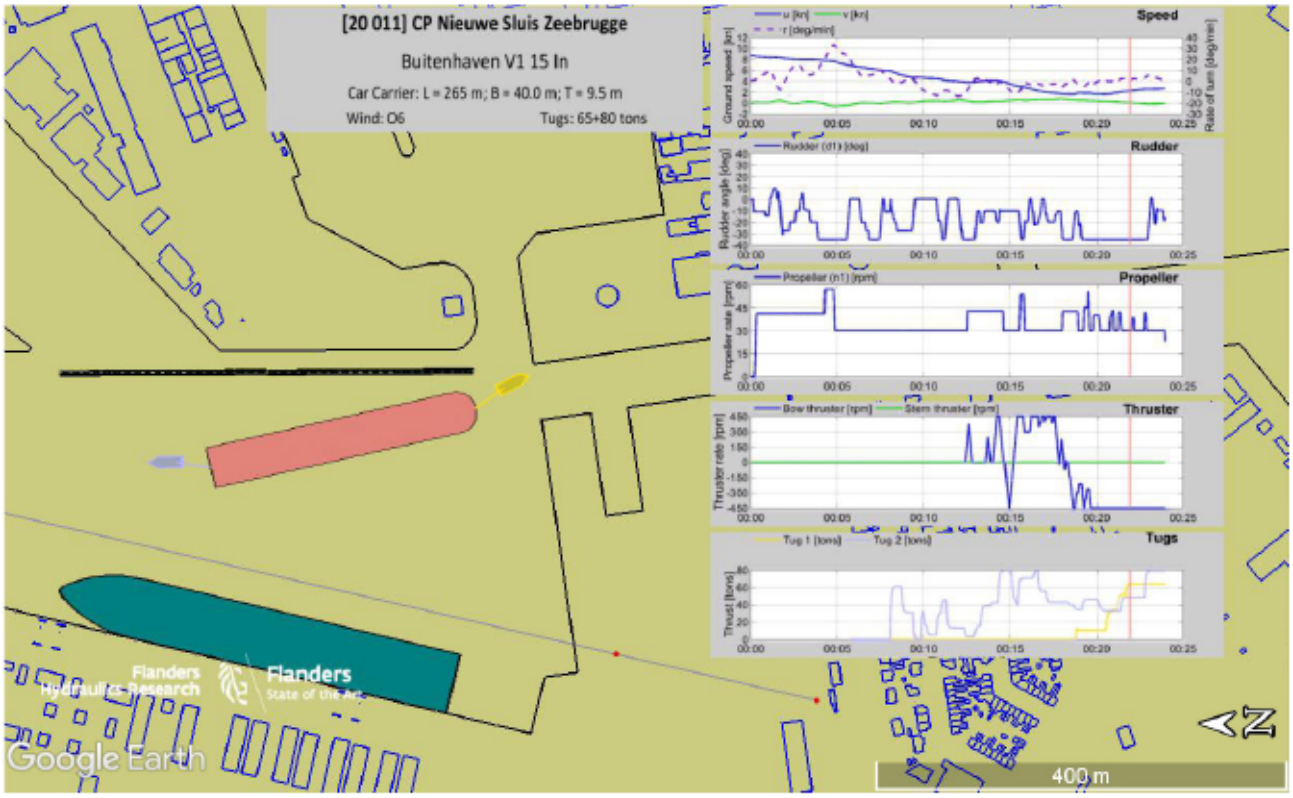
In variant 1 opereren zeevaart richting sluis en pleziervaart richting jachthaven in dezelfde vaaromgeving. Doordat de aanwezigheid van pleziervaart in de voorhaven niet toegestaan kan worden tijdens de sluismanoeuvres wordt de mogelijkheid onderzocht of aan de oostzijde van de voorhaven een aparte vaarweg voor pleziervaart voorzien kan worden (dit is een zogenaamd fietspad voor de pleziervaart). De scheiding tussen de voorhaven van de sluis en het fietspad voor de pleziervaart kan dan gerealiseerd worden door middel van een nader te dimensioneren noodsteiger.

In simulatie 15 werd een dergelijk concept gerealiseerd door de constructie die oorspronkelijk bedoeld was als geleidingsconstructie te positioneren in de voorhaven als noodsteiger. De zuidelijke rand van de noodsteiger werd uitgelijnd in het verlengde van de oostelijke kolkmuur (hier zou in realiteit een rolfender voorzien moeten worden om contacten op te vangen). De noodsteiger werd vanuit dit punt onder een openingshoek van 8° ten opzichte van de sluisoriëntatie gepositioneerd (zie Figuur 36).

Simulatie 15 werd uitgevoerd bij oostenwind aangezien bij deze windconditie het schip een oostelijke (hoge) naderingspositie ten opzichte van de sluis wil realiseren. Men kan dus aannemen dat bij deze windconditie een bijkomende obstructie in het oosten van de voorhaven het meest nadelig zal zijn.

In simulatie 15 wordt de voorhaven nu wel op een hoge positie ingevaren die zich nog meer naar bakboord bevindt, dan overeenkomstig de vooropgestelde positie in de nieuwe lichtenlijn (zie §6.2.8). De noordelijke kop van de noodsteiger werd op die manier op erg korte afstand (3 m) gepasseerd. Doordat de zuidelijke rand van de noodsteiger in simulatie 15 overeenstemt met het verlengde van de oostelijke kolk, gelden hiervoor dezelfde nadelen met betrekking tot manoeuvreerruimte voor schip en sleepboten als bij de simulaties uitgevoerd met een geleidingsconstructie. Een belangrijk verschil is wel dat in simulatie 15 de ruimtebeperking in het verlengde van de sluis beperkt is tot ca. 58 m. Toch werd opnieuw opgemerkt dat de zuidelijke rand van de noodsteiger een nadelige impact heeft op de beschikbare ruimte voor de voorste sleepboot.

De sluisinvaart kan uitgevoerd worden zonder contact met de sluisconstructie maar toch bleek het ontwerp van de noodsteiger zoals voorzien in simulatie 15 onvoldoende ruimte te laten voor de sluismanoeuvres. Er werd gesteld dat de noodsteiger zodanig gepositioneerd dient te worden opdat de gewenste openingshoek van de voorhaven (8°) gerealiseerd kan worden vanaf het sluishoofd.



Figuur 37 – Simulatie V1_15: toepassing van noodsteiger voor scheiding zeevaart en pleziervaart in voorhaven

6.2.11 Simulatie V1_16

In simulatie 16 werd een alternatieve uitvoering van de geleidingsconstructie naar de sluis onderzocht (zie Figuur 37). Rekening houdend met de opmerkingen uit simulatie 15 werd de noodsteiger nu uitgelijnd volgens een openingshoek gelijk aan 8° ten opzichte van de oostelijke sluishoek. Op deze manier wordt een smaller fietspad voor de pleziervaart bekomen dan in simulatie 15. Eventuele aanpassingen aan de oostelijke oever van de voorhaven om een fietspad met aanvaardbare breedte te bekomen dienen in vervolgonderzoek bepaald te worden. In het noorden van de voorhaven wordt de scheiding tussen pleziervaart en zeevaart aangegeven door de positie van een dukdalf in het verlengde van het militair dok en enkele gele boeien langsheen de nieuwe kaaimuur aan de buitenzijde van het militair dok.

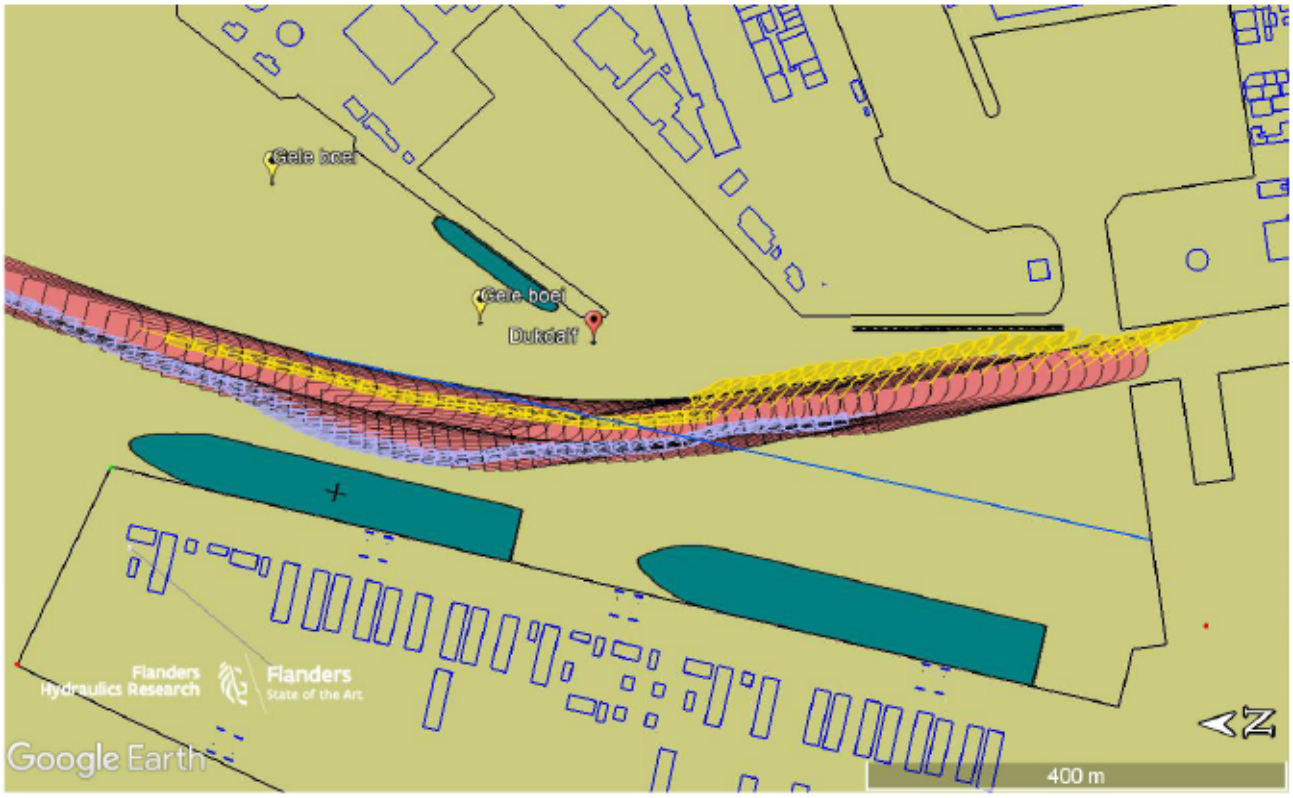
Door tussen de noodsteiger en het sluishoofd een vrije ruimte van ca. 50 m te laten, blijft er buiten het fietspad ook nog een tweede (ruimere) toegang tot de jachthaven behouden.

Behalve de inrichting van de voorhaven ter scheiding van zeevaart en pleziervaart, wordt in Figuur 37 ook de lichtenlijn ingetekend welke in §6.2.8 aanbevolen werd. Deze lichtenlijn was echter niet beschikbaar tijdens de simulatie.

In §6.2.8 werd aanbevolen om bij oostelijke windrichtingen de voorhaven in te varen met de stuurboordzij in de nieuwe lichtenlijn. Zoals weergegeven in Figuur 37 werd in simulatie 16 de voorhaven ingevaren met de bakboordzijde in de vooropgestelde lichtenlijn. Bijgevolg komt het schip op korte afstand van de afgemeerde schepen van OCHZ terecht (20 m). Er werd gesteld dat opgebouwde ervaring (op simulator of in realiteit) en de beschikbaarheid over de vooropgestelde lichtenlijn de vaarpositie in de voorhaven zal optimaliseren.

De te lage invaarpositie van de voorhaven leidde tot een minder gunstige sluisinvaart dan in eerdere simulaties. Toch werd het concept van de voorhaven zoals weergegeven in Figuur 37 positief beoordeeld. De openingshoek van 8° tussen de noodsteiger en de sluis biedt voldoende ruimte voor de voorste sleepboot.

De hoeken van de sluis dienen voorzien te worden van een gepaste fendering (bijvoorbeeld wielfenders), maar een bijkomende rolfender aan de uiteinden van de noodsteiger lijkt in dit ontwerp niet noodzakelijk.



Figuur 38 – Simulatie V1_16: toepassing van noodsteiger voor scheiding zeevaart en pleziervaart in voorhaven met vooropgestelde lichtenlijn

Tabel 11 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant 0 (Buitenhaven)

								Sluis		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Geleidings-constructie [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
V0_01	In	NSZ	65+80	52		5	WZW	2	2	Ja
V0_02	In	NSZ	65+80	52		6	WZW	3	3	Ja
V0_03	In	NSZ	65+80	52	150	6	WZW	0	0	0
V0_04	In	NSZ	65+80	52	150	6	WZW	4	4	0
V0_05	In	NSZ	65+80	52	150	6	WZW	3	4	0
V0_17	In	NSZ	65+80	52		6	O	3	4	Ja
V0_18	In	NSZ	65+80	52		6	WZW	3	4	Ja

Tabel 12 – Uitgevoerde simulatiecondities en beoordeling voor variant 1 (Buitenhaven)

								Sluis		
Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten [BP tons]	Afgemeerde schepen [m]	Geleidings-constructie [m]	Wind-Kracht [Bft]	Wind-richting [-]	Reserves [-]	Moeilijk-heids-graad [-]	Aanvaard-baarheid [-]
V1_06	In	NSZ	65+80	52		6	WZW	3	3	Ja
V1_07	In	NSZ	65+80	52		6	NO	3	3	Ja
V1_08	In	NSZ	80+80+65	52		6	WZW	2	3	Ja
V1_09	In	NSZ	65+80	52		6	NW	3	3	Ja
V1_10	In	NSZ	65+80	52		5	WZW	2	2	Ja
V1_11	In	NSZ	65+80	52		6	WZW	3	3	Ja
V1_12	In	NSZ	65+80	52	200	6	WZW	3	3	Ja
V1_13	In	NSZ	65+80	52	200	6	WZW	3	3	Ja
V1_14	In	NSZ	65+80	52	200	6	O	3	4	Ja
V1_15	In	NSZ	65+80	52	*400*[9]	6	O	3	3	Ja
V1_16	In	NSZ	65+80	52	*200*[9]	6	O	3	3	Ja

[9] Lengtes van een geleidingsconstructie weergeven in cursief duiden op een toepassing als noodsteiger eerder dan geleidingsconstructie

7 Samenvatting en conclusies

Op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) onderzoekt het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de nautische optimalisatie van de voorkeurslocatie 'Visart' vastgelegd door de Vlaamse Regering voor Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) (Vlaamse Overheid, 2019).

Nadat de resultaten uit een eerste deskstudie (Verwilligen *et al.*, 2020) besproken werden met de beide betrokken loodswezens (DAB Loodswezen en CVBA Brabo) werd beslist om in 2020 een eerste realtime simulatiestudie uit te voeren. De simulaties werden uitgevoerd op de scheepsmanoeuvreersimulatoren van WL.

De uitgevoerde simulatiestudie bevat een beoordeling van verschillende ontwerpvarianten voor zowel Buitenhaven als Achterhaven te Zeebrugge. Voor de Achterhaven werd bovendien zowel de enkele vaart door het nautische ontwerpschip, als sluisuitwisseling tussen kleinere scheepstypes in rekening gebracht.

Het nautische ontwerpschip voor CP NSZ betreft een RoRo-ferry met de grootste lengte (265 m) en de grootste breedte (40.0 m) van de huidige vloot door de Pierre Vandammesluis. Een RoRo-ferry met dergelijke afmetingen komt in werkelijkheid (nog) niet voor, maar werd ontwikkeld op basis van gelijkaardige schepen. Een afzonderlijk ontwerpschip werd gedefinieerd voor de eis met betrekking tot ontmoetingen in de Achterhaven. Er werd gesteld dat ontmoetingen op korte afstand van de sluis georganiseerd moeten kunnen worden voor de twee langste schepen die op heden door de Pierre Vandammesluis varen. Deze ontmoetingen werden gesimuleerd met een RoRo-ferry van het type Mark-V welke een lengte gelijk aan 265 m combineert met een breedte gelijk aan 32.2 m.

Vrijwel alle simulaties werden uitgevoerd met de beschikbaarheid over twee sleepboten, waarbij een 65 ton sleepboot vooraan vastgemaakt werd en een 80 ton sleepboot achteraan. De bediening van de sleepboten werd uitgevoerd door een ervaren sleepbootkapitein van Boluda Towage NV.

Het merendeel van de simulaties werd uitgevoerd bij een windkracht gelijk aan 6 Beaufort. De windrichting werd gevarieerd, maar er werden voornamelijk westzuidwestelijke windrichtingen geselecteerd, dit op basis van de frequentie van voorkomen (zie §3.3) en de nadelige richting ten opzichte van de sluisoriëntatie.

7.1 Manoeuvre sluisinvaart

Bij het uitvoeren van een sluisinvaart is een stabiele uitlijning van het schip naar de sluis een cruciale factor. Desalniettemin dient de beschikbare ruimte in de voorhaven van de sluis gebeurlijke afwijkingen op een uitgelijnde positie te faciliteren. Met name in de Buitenhaven gaan de twee varianten gepaard met een beperkte lengte en dus met een beperkte afstand om het schip op te lijnen naar de sluis.

Een stabiele uitlijning van het schip naar de sluis vereist het stabiliseren van de (dwarse) scheepspositie van het schip ten opzichte van de wind. Bij een dwarse wind met kracht 6 Bft, bleek uit de simulaties een belangrijke inzet van de beschikbare hulpmiddelen vereist om de windkrachten te compenseren. Door het loefgierige karakter van de RoRo-ferries bleek voornamelijk de controle van het achterschip belangrijk voor een stabiele uitlijning van de sluis. Op basis van de simulaties bleken onderstaande uitvoeringsmethode tot de meest gecontroleerde sluisaanloop te leiden.

Het roer wordt continu ingesteld op de maximale hoek waarmee het achterschip in de richting van de wind bewogen wordt. Het schroeftoerental wordt gevarieerd om de dwarse positie van het achterschip te controleren (hogere toerentallen geven een hogere kracht op het roer). De achterste sleepboot wordt recht achteruit toegepast voor het controleren van de vaarsnelheid van het schip. Een voorbeeld van een dergelijke uitvoering wordt gegeven in simulatie V0_18 (zie §6.1.7 op p. 50)

Deze methode heeft als belangrijk voordeel dat de functies van de beschikbare hulpmiddelen eenduidig zijn. Tijdens het oplijnen worden de schroef en het roer enkel toegepast om het achterschip uit te lijnen tot de sluis (dwarse positie), terwijl de achterste sleepboot enkel toegepast wordt voor de controle van de langsscheepse vaarsnelheid.

Los van de toegepaste inzet van de hulpmiddelen dient gesteld te worden dat de gesimuleerde windconditie een limietconditie betrof voor de toegankelijkheid van het nautische ontwerpschip (zowel voor de huidige P. Vandammesluis als voor de sluisvarianten voor NSZ). Uit de simulaties blijkt een beperkte reserve in hulpmiddelen bij een dwarse windrichting met kracht 6 Bft waardoor de inzet van een derde sleepboot wenselijk geacht wordt. Met uitzondering van één simulatie echter werden de sluisinvaarten uitgevoerd met beschikbaarheid over twee sleepboten (wat de gebruikelijke sleepbootassistentie is). Indien een derde sleepboot beschikbaar gesteld zou worden, dan verkiezen de loodsen om deze als een tweede achterboot toe te passen. Hierbij wordt één achterboot recht achteruit gebruikt voor het controleren van de vaarsnelheid, en één achterboot zo dwars mogelijk gebruikt voor de controle over de dwarse positie van het achterschip. Een voorbeeld van een toepassing van drie sleepboten bij een sluisinvaart wordt weergegeven in simulatie V1_08 (zie §6.2.3 o p. 54).

7.2 Achterhaven

De Visart-locatie stemt overeen met een grote afstand tot het Verbindingsdok. De vaarweg tussen het Verbindingsdok en de Visartsluis dient verruimd te worden om grotere zeeschepen te ontvangen. Deze vaarweg wordt verder het Verbindingskanaal genoemd en stemt overeen met het noordelijke deel van het Boudewijnkanaal.

De simulaties naar varianten in de Achterhaven werden gecombineerd met een aantal besliste of mogelijke ontwikkelingen in de haven. De belangrijkste zijn:

1. de constructie van afmeerkaaien aan de westelijke oever Verbindingskanaal;
2. de bouw van een nieuwe brug over het Verbindingsdok met doorvaarbreedte 55 m;
3. de installatie van een droogdok in het Verbindingsdok ten noordoosten van de brug;
4. de ontwikkeling van een RoRo-terminal in het Verbindingsdok ten zuidwesten van de brug (Bastenaken-West);
5. de verbreding van het zuidelijke Boudewijnkanaal met inrichting RoRo-terminals op de oostelijke oever (deze ontwikkeling werd enkel geïmplementeerd in variant C).

Bijkomend werd bij het onderzoek naar ontmoetingen in het Verbindingskanaal (variant F) ook aan de oostzijde van het Verbindingskanaal een kaaimuur ingetekend op basis van mogelijke ontwikkelingen door MBZ.

In eerste instantie werden simulaties uitgevoerd naar de voorkeursvariant Visart zoals gedefinieerd in de onderzoeksfase (Variant A). De beperkte breedte van de voorhaven aan de oostelijke zijde van de sluis maakt echter dat deze variant nautisch niet aanvaardbaar is. De simulaties tonen aan dat de voorhaven van de sluis een minimale openingshoek van 8° dient te maken ten opzichte van de sluis. Deze eis vereist een inname van de oostelijke oever van het Verbindingskanaal.

Tijdens een iteratief proces werd het vaarwegontwerp voor de voorhaven van de sluis en het Verbindingskanaal geoptimaliseerd totdat een nautisch aanvaardbaar ontwerp bekomen werd voor de enkele vaart door het ontwerpschip van CP NSZ. Dit ontwerp betreft variant E (zie Figuur 21 op p. 34) welke gepaard gaat met een breedte van het Verbindingskanaal gelijk aan 136 m (gemeten tussen de afgemeerde schepen en de oostelijke oever). De voorhaven van de sluis dient vrij te zijn van afgemeerde schepen tot op een langsafstand van twee scheepslengtes (d.i. 530 m) tot de sluis.

Het vaarwegontwerp volgens variant E laat een enkele vaart toe door het ontwerpschip van CP NSZ. Ontmoetingen tussen dergelijke schepen in op- en afvaart kunnen echter pas uitgevoerd worden ten oosten

van de brug over het Verbindingsdok. Dit maakt dat de tijd tussen de sluisuitvaart door een opvarend schip en de sluisinvaart door een afvarende schip ca. 60 minuten bedraagt. Deze hoge wisseltijden in de sluis hebben een nadelig effect op de sluiscapaciteit.

Om hieraan tegemoet te komen werden er gekoppelde simulaties uitgevoerd in een aangepaste ontwerpvariant (variant F met verschillende breedtes afgemeerde schepen) en met een aangepast ontwerpschip (zie eerder).

In het Verbindingskanaal werd een beschikbare ruimte gelijk aan 196 m tussen afgemeerde schepen aan beide oevers voldoende geacht voor het kruisen van twee RoRo-ferries met lengte 265 m en breedte 32.2 m. Het ontwerp van de voorhaven (aansluitend op de sluis) blijft hierbij identiek aan variant E. De mogelijkheid tot kruisen in het Verbindingskanaal reduceert de tijd tussen de sluisuitvaart door een opvarend schip en de sluisinvaart door een afvarende schip tot ca. 20 minuten.

Er werden voor het Verbindingskanaal uiteindelijk twee aanvaardbare varianten bekomen. Het betreffen variant E voor de enkele vaart door een RoRo-ferry met afmetingen 265 m x 40 m, en variant F voor ontmoetingen tussen twee RoRo-ferries met afmetingen 265 m x 32.2 m.

Indien de oevers niet ingericht zouden worden als kaaimuren voor afgemeerde schepen, dan kan aangenomen worden dat de rand van de vaarweg op breedte 196 m overeen dient te stemmen met een diepte noodzakelijk voor de ontwerpdiepgang voor een schip in het Verbindingskanaal. De overgang tot de nautisch gegarandeerde diepte van het Verbindingskanaal kan dan gerealiseerd worden volgens een oeverhelling ¼.

De overbreedte voor de afmeerzones is afhankelijk van de maximale breedte van de ontwerpschepen voor deze kaaimuren. Indien er, zoals in de simulatiestudie van uitgegaan wordt, aan zowel westelijke als oostelijke oever schepen afgemeerd kunnen worden met breedte 40 m. Dan dient de breedte tussen beide parallelle kaaimuren minimaal 40 m + 196 m + 40 m = 276 m te bedragen.

De aslijn van het Verbindingskanaal ligt bij voorkeur in het verlengde van de aslijn van de sluis. In variant F is hier echter niet aan voldaan. In variant F bedraagt de excentriciteit van het Verbindingskanaal ten opzichte van de sluis 16.5 m. De excentriciteit van het Verbindingskanaal ten opzichte van de sluis dient geminimaliseerd te worden maar de excentriciteit toegepast in variant F (16.5 m) kan beschouwd worden als een maximale waarde.

Met betrekking tot het ontwerp van de kaaimuren van de voorhaven (oostzijde) wordt verder opgemerkt dat deze voorzien dienen te worden van een horizontale fendering. De oostelijke oever van de voorhaven doet dienst als noodsteiger voor de Achterhaven.

Met betrekking tot de toegankelijkheid van de brug over het Verbindingsdok wordt geconcludeerd dat brugpassages door het ontwerpschip van CP NSZ mogelijk zijn tot een windkracht gelijk aan 5 Beaufort. Windkracht 6 Bft blijkt mogelijk indien de windrichting maximaal 20° afwijkt van de voorligging van de brug (d.i. 250.7°).

7.3 Buitenhaven

Simulaties naar de Buitenhaven werden uitgevoerd naar twee varianten die begin 2020 gedefinieerd werden door aMT (zie Figuur 2 op p. 2).

De nulvariant (V0) stemt overeen met het basisalternatief uit het voorkeursbesluit voor CP NSZ. In variant 0 wordt de toegang van de jachthaven verlegd naar het Militair Dok. De positie van het benedenhoofd van de sluis bevindt zich 63 m meer afwaarts (noordelijk) dan in variant 1. De korte afstand tot de tegenoverliggende kaai OCHZ en de bijhorende beperkte afstand om het schip naar de sluis op te lijnen, wordt in variant 0 gecompenseerd door een bredere voorhaven waardoor er ingesneden wordt in zowel de oever aan het Visserskruis als in een deel van de noordelijke havendam van het Militair Dok.

Een variant op het basisalternatief (V1) veronderstelt het behoud van de bestaande ingang tot de jachthaven (Prins Albertdok). Hiertoe werd het afwaartse sluishoofd gepositioneerd ter hoogte van de opwaartse havendam van de jachthaven. Een kleinere oostelijke oeverinname wordt voorzien dan in variant 0.

Tijdens de simulaties werden beide varianten gecombineerd met verschillende ontwerpen van geleidingsconstructies om de sluismanoeuvres te faciliteren.

De 63 m langere voorhaven in variant 1 bleek een significant voordeel te zijn vergeleken met de korte voorhaven uit variant 0. Doordat de invaart van de voorhaven zodanig uitgevoerd wordt opdat het schip over een zo lang mogelijke afstand in lijn kan liggen met de sluis, bleek de oostelijke uitbreiding van de voorhaven in variant 0 geen meerwaarde te vormen. Ook het voorzien van een geleidingsconstructie in het verlengde van de oostelijke kolkmuur bleek een eerder nadelige invloed te hebben op de sluismanoeuvres en werd bijgevolg niet weerhouden.

Praktijkvoorbeelden van sluisinvaart langs een geleidingsconstructie (Neo-Panamax sluizen in Panama en de Charles De Gaulle sluis te Duinkerke) worden uitgevoerd met behulp van een duwboot die het schip tegen de geleiding drukt. De loodsen achten het echter niet wenselijk om de sleepboten op die manier in te zetten. De loodsen zouden een geleidingsconstructie verkiezen waartegen de boeg gecontroleerd kan glijden aan een vaarsnelheid gelijk aan ca. 3 kn. Een dergelijke uitvoering komt voor in de binnenvaart (met name bij het varen met duwbakken) maar is ongebruikelijk voor zeevaart (dit zou een zeer robuuste constructie met grote demping vereisen) en in het bijzonder voor RoRo-schepen (waarbij de uitwaaierende boeg aanleiding geeft tot een grote waarschijnlijkheid op (verf-)schade aan schip). Er zijn noch bij WL noch bij de loodswezens praktijkvoorbeelden bekend van een dergelijke uitvoering. Wanneer in een latere simulatie een bijkomende sleepboot aangeboden werd, dan werd verkozen om deze als tweede achterboot te gebruiken, boven de combinatie van een duwboot en een geleidingsconstructie.

De combinatie van een duwboot met een geleidingsconstructie werd door de loodsen als ongewenst beoordeeld en werd bijgevolg niet verder onderzocht in de simulatiestudie. Indien geen duwboot toegepast wordt, dan biedt een geleidingsconstructie geen meerwaarde voor de sluisinvaart.

De simulaties tonen een uitgesproken voorkeur voor variant 1. In deze variant bevindt de monding van de jachthaven zich onmiddellijk afwaarts het sluishoofd. Hierbij gelden onderstaande aandachtspunten:

- De verkeersstroom naar de sluis door zeevaart en naar de jachthaven door pleziervaart dient zoveel als mogelijk van elkaar gescheiden te worden.
- Bij afgaand getij worden op heden belangrijke uitstroomsnelheden waargenomen uit de jachthaven. Dergelijke dwarsstroom op korte afstand van de sluis (zoals voorzien in variant 1) is nadelig voor een sluisinvaart. Hoewel de verdieping van het onderzoeksgebied de dwarsstroom aan de Visartsluis zal verminderen is er bijkomend onderzoek vereist over de mogelijke hinder voor sluismanoeuvres. De stroomsnelheden in de voorhaven bij de ontwerpdieptes uit variant 1 dienen gemodelleerd te worden over een representatieve tijcyclus om de impact op de sluismanoeuvres te bepalen.

Tijdens de uitvoering van sluismanoeuvres door zeevaart, dient de voorhaven van de sluis vrij te zijn van andere scheepvaart (inclusief pleziervaart). Indien de pleziervaart naar de jachthaven dezelfde vaarweg deelt als de zeevaart naar de sluis, dan zal dit een belangrijke beperking vormen voor de toegankelijkheid van de jachthaven. Om dit te vermijden werd er in variant 1 een alternatief uitgewerkt waarbij de verkeersstromen van elkaar gescheiden worden door aan de oostzijde van de voorhaven een smal toegangskanaal naar de jachthaven te voorzien. Dit toegangskanaal wordt in voorliggend rapport het fietspad voor pleziervaart genoemd. Het fietspad voor pleziervaart wordt in variant 1 gerealiseerd door een noodsteiger te voorzien aan de oostzijde van de sluis (zie Figuur 37 op p. 59). De noodsteiger werd uitgelijnd volgens een openingshoek gelijk aan 8° ten opzichte van de oostelijke sluishoek. De vereiste breedte van het fietspad voor de pleziervaart dient bepaald te worden op basis van het gewenste ontwerpschip en vereist mogelijks een aanpassing aan de oostelijke oever van de voorhaven. In het noorden van de voorhaven wordt de scheiding tussen pleziervaart en zeevaart aangegeven door de positie van een dukdalf in het verlengde van het militair dok en enkele gele boeien langsheen de nieuwe kaaimuur aan de buitenzijde van het Militair dok

(zie Figuur 37 op p. 59). Door tussen de noodsteiger en het sluishoofd een vrije ruimte van ca. 50 m te laten, blijft er buiten het fietspad ook nog een tweede (ruimere) toegang tot de jachthaven behouden. In simulatie V1_16 werd dit ontwerp van de voorhaven onderzocht en werd de aanvaardbaarheid voor de sluismanoeuvres bevestigd.

Met betrekking tot de invaart van de voorhaven wordt gesteld dat een aanpassing van de bestaande lichtenlijn (193°) vereist is. De nieuwe lichtenlijn dient parallel te lopen aan de OCHZ-kaaimuur op een dwarsafstand van de kaai gelijk aan 150 m. Bij westelijke dwarswind dient de voorhaven ingevaren te worden met de bakboordzij op de lichtenlijn, bij oostelijke dwarswind met de stuurboordzij op de lichtenlijn en indien geen belangrijke dwarswind dan dient de voorhaven ingevaren te worden centraal op de lichtenlijn. De positie van de lichtenlijn wordt eveneens aangeduid in Figuur 37 op p. 59.

De Visart-locatie van CP NSZ stemt overeen met een beperkte lengte van de voorhaven, waardoor de afstand om het schip op te lijnen beperkt is. De beschikbaarheid over een Full SNMS positiebepalingssysteem met Lock Approach Mode is hierbij een belangrijk hulpmiddel om het schip nauwkeurig te positioneren tot de sluis. De beschikbaarheid over een dergelijk systeem wordt sterk aanbevolen voor de sluisinvaart door maatgevende schepen.

De beperkte lengte van de voorhaven impliceert eveneens dat hier geen kruisend verkeer mogelijk is. Schepen van en naar de sluis kunnen elkaar slechts ontmoeten afwaarts OCHZ. De tijd tussen het ogenblik dat een afvarend schip de sluis verlaat (boeg uit sluis) en een opvarend schip de sluis invaart (boeg in sluis) bedraagt hierdoor ca. 30 minuten.

7.4 Algemene opmerkingen sluisontwerp

Met betrekking tot het sluisontwerp werden onderstaande opmerkingen geformuleerd:

1. De sluishoeken dienen beschermd te worden door een gepaste fendering (vb. wielfenders)
2. Ondanks de beperking van de nuttige breedte van de kolk, wordt de aanwezigheid van drijframen in de sluis door de meeste loodsen wenselijk geacht. Indien aanwezig dan dient de fendering van de sluishoeken hieraan aangepast te worden.
3. De ledverlichting van het sluisplateau dient afgestemd te worden op de manoeuvres (de huidige led-verlichting op de Pierre Vandammesluis zou hinderlijk zijn voor de sluisinvaarten).
4. De sluisbruggen en -deuren dienen voorzien te worden van referentiemerken (en lichten) die het midden van de sluis aanduiden.
5. Vanuit nautisch standpunt is het aanbevolen om de basculebruggen aan de oostzijde te plaatsen, dit om een plotse verandering in windkrachten te beperken bij de dominante windrichting (westelijk).

7.5 Vervolgonderzoek

Op basis van de simulatiestudie worden onderstaande aanbevelingen geformuleerd voor bijkomende onderzoek:

- De aanbevelingen in voorliggende rapport dienen toegepast te worden om een nautische optimalisatie door te voeren van het Visart-ontwerp voor CP NSZ inclusief een fenderingsplan voor de sluis.
- Voor het Visart-ontwerp van CP NSZ dienen de stroomsnelheden in de voorhaven bepaald te worden voor een springtij-cyclus. Speciale aandacht dient uit te gaan naar de uitstroom van de jachthaven bij afgaand getij. Een correcte definitie van de aansluiting van de jachthaven op de voorhaven en het bijhorende diepteprofiel is dan ook van belang.
- Een simulatiestudie naar het nautische geoptimaliseerd Visart-ontwerp voor CP NSZ. Detaillering van sluisontwerp, fendering en stroomcondities.

- Voor het nautisch ontwerpschip bedragen de vaarsnelheden in het Verbindingskanaal 4 tot 5 kn. De hinder van varende scheepvaart op de afgemeerde schepen aan de kaaimuren langs het Verbindingskanaal, dient onderzocht te worden. De focus light hierbij op een beoordeling van de verwachte troskrachten ten gevolge van scheepspassages en de bijhorende aanvaardbaarheid.
- De hinder van scheepvaart in het Verbindingskanaal op afgemeerde vissersboten ter hoogte van de Vismijn dient onderzocht te worden. Hierbij dienen naast de passage van het nautische ontwerpschip ook de impact van snel varende schepen (bvb. sleepboten) onderzocht te worden. Behalve troskrachten dienen ook golfslag aan de kaaimuur en de bijhorende scheepsbewegingen van afgemeerde schepen onderzocht te worden.

8 Referenties

Davenport, A. (1967). Gust Loading Factors. *J. Struct. Div. Proc. ASCE 93*(*ST3*): 11–34

NV Maatschappij van de Brugse Zeehaven. (2019). Concessie van openbare dienst: Sleepdiensten in de haven van Brugge-Zeebrugge en haar toegangswegen

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2020). Nieuwe Sluis Zeebrugge (NSZ): deelrapport 2. Nautisch advies Varianten Visart 2019. Versie 5.0. *WL Rapporten*, 17_002_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vlaamse Overheid. (2019). Besluit van de Vlaamse Regering houdende de definitieve vaststelling van het voorkeursbesluit betreffende het complexe project `Verbetering van de nautische toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge', Belgisch S

Vlaamse Overheid. (2020). Geactualiseerde Project Onderzoeksnota (PON). Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge. Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge. 1.6. Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken: Zeebrugge

Vos, S.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2017). Nieuwe Sluis Zeebrugge (NSZ): nautische screening alternatieven met vaarsimulaties. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 17_002_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=317286

Vos, S.; Eloot, K.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2012). Haven van Zeebrugge: toegankelijkheid van de SHIP zone met beperkte open getijzone en sluis: simulatiestudie. Versie 2.0. *WL rapporten*, 801_09. Waterbouwkundig Laboratorium

Bijlage 1 Pilot Card simulatieschepen

Car Carrier NSZ (NSZ)

carCar_265_400_NSZ_95 PRINCIPLE CHARACTERISTICS
based on fast-time simulations

Name	carCar_265_400_NSZ_95.shi	
Project	20_011	
Main Dimensions		
L_{OA}	[m]	265
L_{PP}	[m]	246.96
B	[m]	40
T	[m]	9.5
m	[ton]	4.58E+04
$A_{wind\ frontal}$	[m²]	1442
$A_{wind\ lateral}$	[m²]	7916
Propeller		
#	[-]	1
n_{max}	[1/s]	1.4
CPP		No
Rotation	Right	
Thruster		
Bow thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2800
Max Propeller Rate	[°/min]	450
Stern Thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2800
Max Propeller Rate	[°/min]	450
Rudders		
#	[-]	1
d_{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	23.3



Manoeuvring speeds				
	RPM	UKC=300%	UKC=20%	
	[-]	[kn]	[kn]	
Manoeuvring Full Ahead	84	17.9	17.8	
Half Ahead	66	14.0	13.9	
Slow Ahead	48	10.2	10.1	
Dead Slow Ahead	30	6.4	6.3	

Stopping specifications				
	Time		Distance	
UKC=300%	[s]	[mm:ss]	[m]	
From Man. Full Ahead to Full Astern	310	05:10	1818	
From Slow Ahead to to Full Astern	119	01:59	351	

Turning specifications				
	Advance	Transfer	Tact Diam	
UKC=300%	[m]	[m]	[m]	
Manoeuvring Full Ahead	658	311	750	
Slow Ahead	636	310	744	
UKC=20%				
Manoeuvring Full Ahead	677	459	941	
Slow Ahead	655	460	930	

ZigZag 20/20				
	1st Overshoot	2nd Overshoot	Period	
UKC=300%	[deg]	[deg]	[s]	
Manoeuvring Full Ahead	-164.5	-163.9	241	
Slow Ahead	-167.4	-166.4	397	
UKC=20%				
Manoeuvring Full Ahead	-174.5	-174.5	201	
Slow Ahead	-175.9	-175.9	331	

Odyssea (Mark-V)

Odyssea PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast-time simulations

Name	Odyssea.shi
Project	20_011

Main Dimensions			
L_{OA}	[m]	265	
L_{PP}	[m]	246.96	
B	[m]	32.2	
T	[m]	11	
m	[ton]	42659	
$A_{wind\ frontal}$	[m²]	988	
$A_{wind\ lateral}$	[m²]	7294	

Propeller		
#	[-]	1
n_{max}	[1/s]	0.92
CPP		No
Rotation	Right	

Thruster		
Bow thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2500
Max Propeller Rate	[°/min]	450
Stern Thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2500
Max Propeller Rate	[°/min]	450

Rudders		
#	[-]	1
d_{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	23.3





Manoeuvring speeds			
	RPM	UKC=300%	UKC=20%
	[-]	[kn]	[kn]
Manoeuvring Full Ahead	55	12.0	12.0
Half Ahead	45	9.8	9.8
Slow Ahead	35	7.6	7.6
Dead Slow Ahead	25	5.5	5.5

Stopping specifications			
	Time		Distance
UKC=300%	[s]	[mm:ss]	[m]
From Man. Full Ahead to Full Astern	279	04:39	980
From Slow Ahead to to Full Astern	161	02:41	333

Turning specifications			
	Advance	Transfer	Tact Diam
UKC=300%	[m]	[m]	[m]
Manoeuvring Full Ahead	655	350	789
Slow Ahead	643	351	788
UKC=20%			
Manoeuvring Full Ahead	733	524	1019
Slow Ahead	720	525	1017

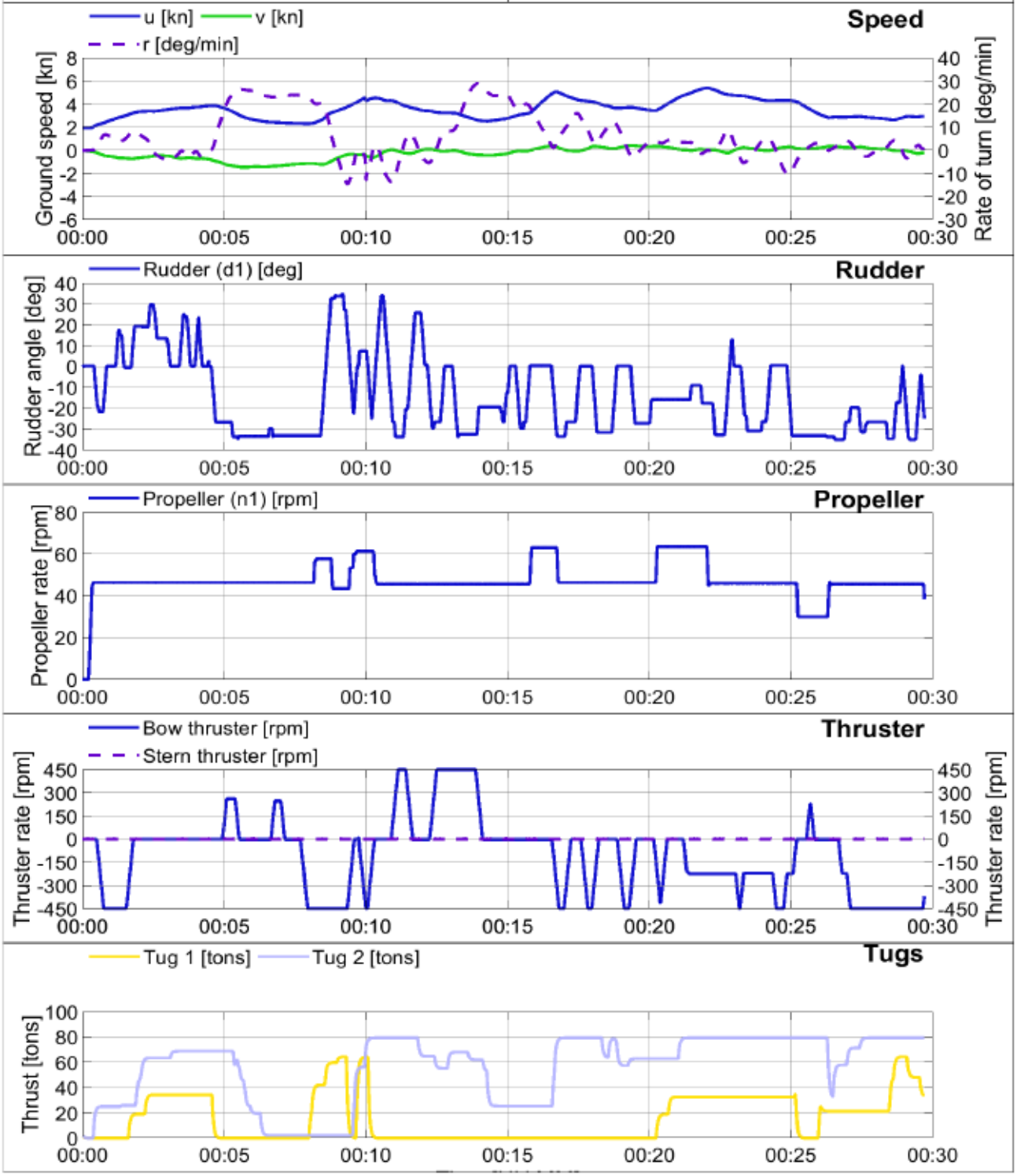
ZigZag 20/20			
	1st Overshoot	2nd Overshoot	Period
UKC=300%	[deg]	[deg]	[s]
Manoeuvring Full Ahead	11.4	12.7	342
Slow Ahead	10.0	11.4	519
UKC=20%			
Manoeuvring Full Ahead	3.4	3.4	324
Slow Ahead	2.8	2.8	494

Bijlage 2 Standaardgrafieken

CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

Manoeuvreereigenschappen

Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m	Tugs: 65+80 tons
Simulatie: Achterhaven VA 05	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -

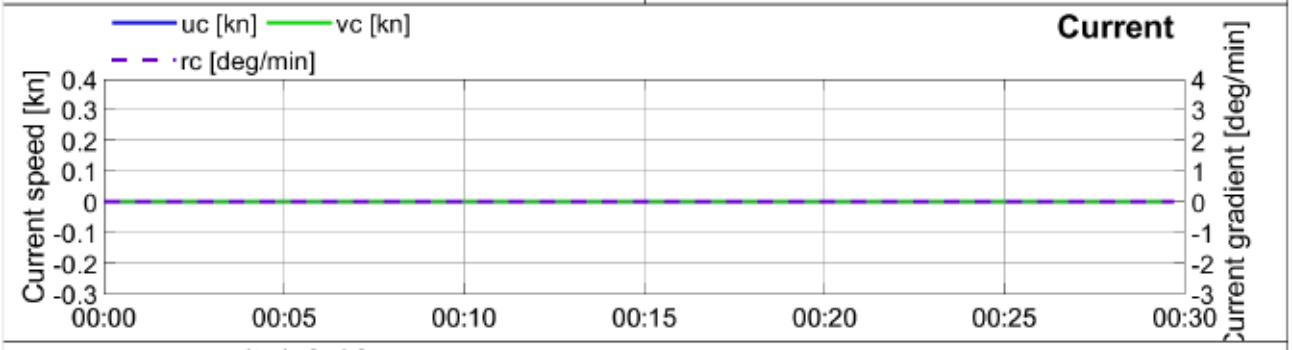


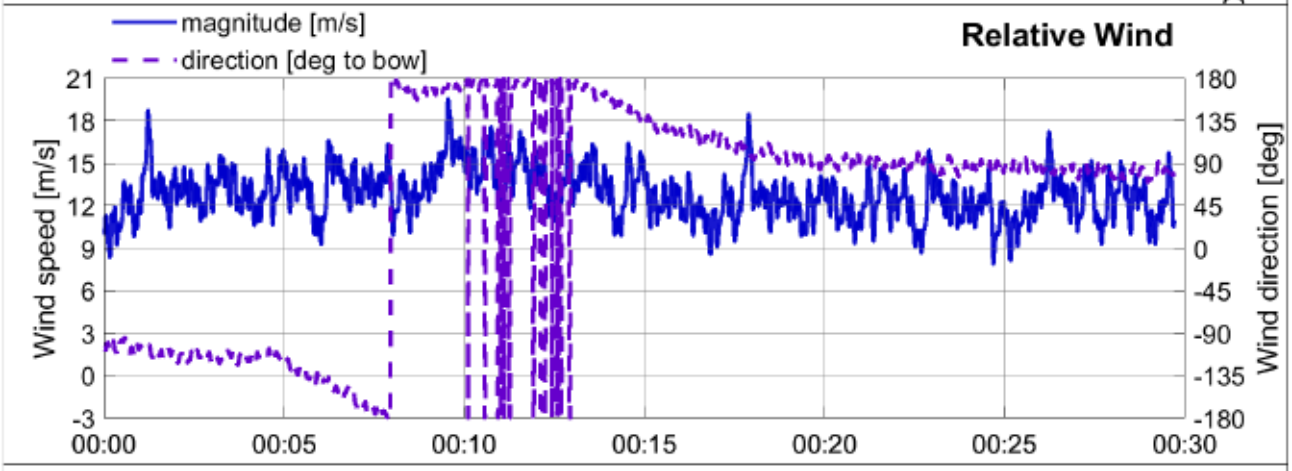
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

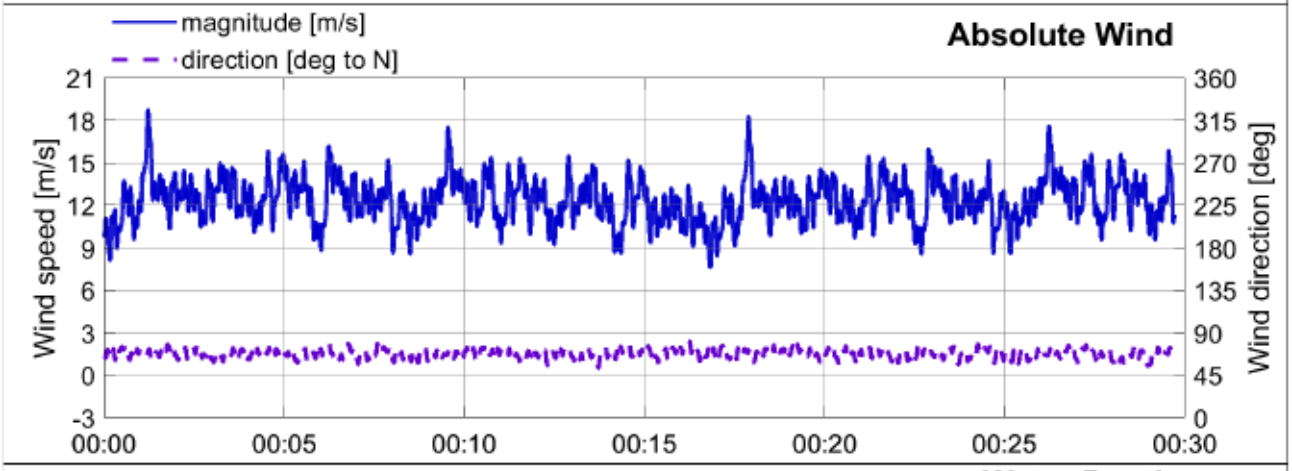
Omgevingscondities

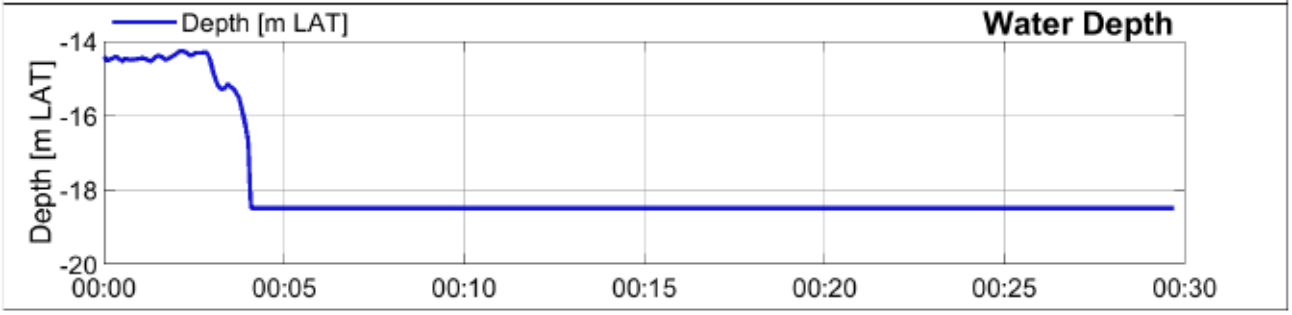
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VA 05	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







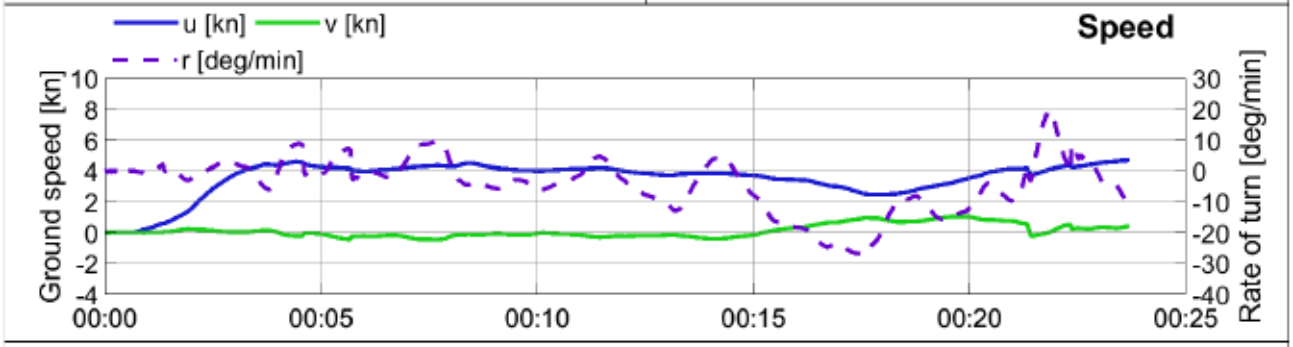


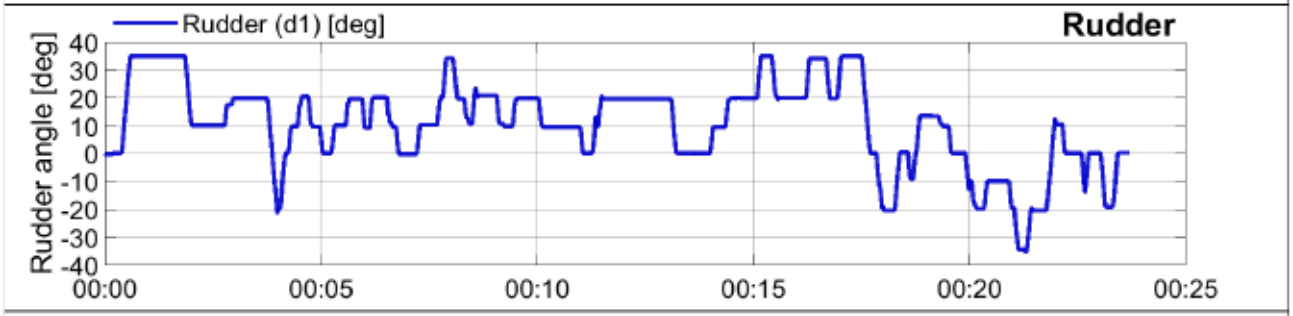
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

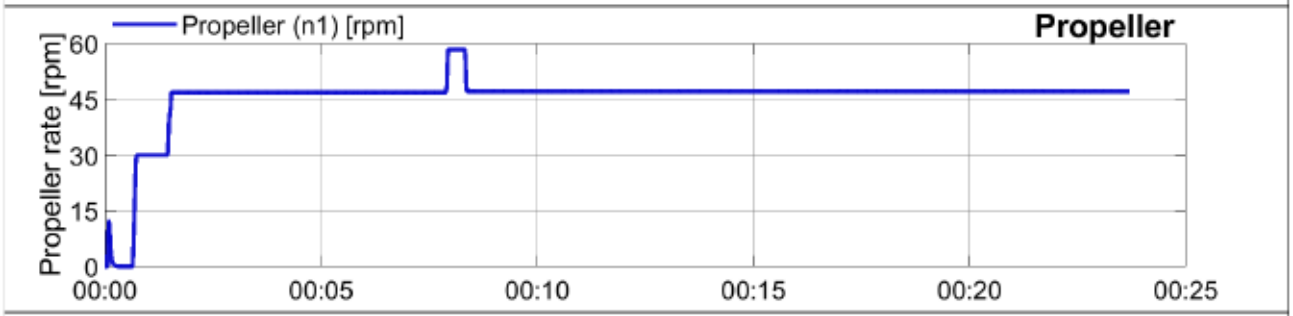
Manoeuvreereigenschappen

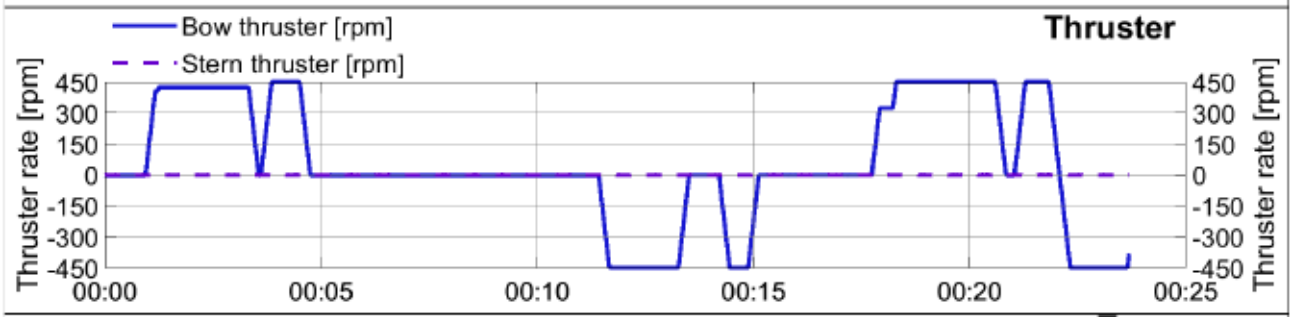
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

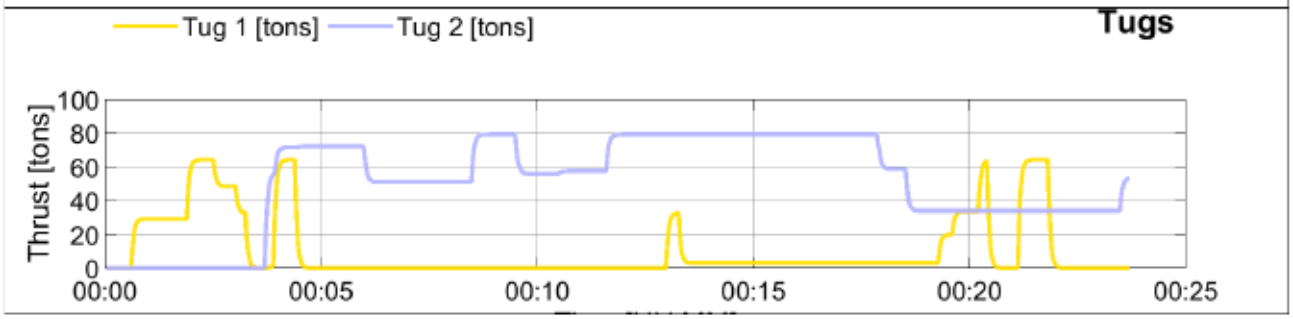
Simulatie: Achterhaven VA 08	Wind: NW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









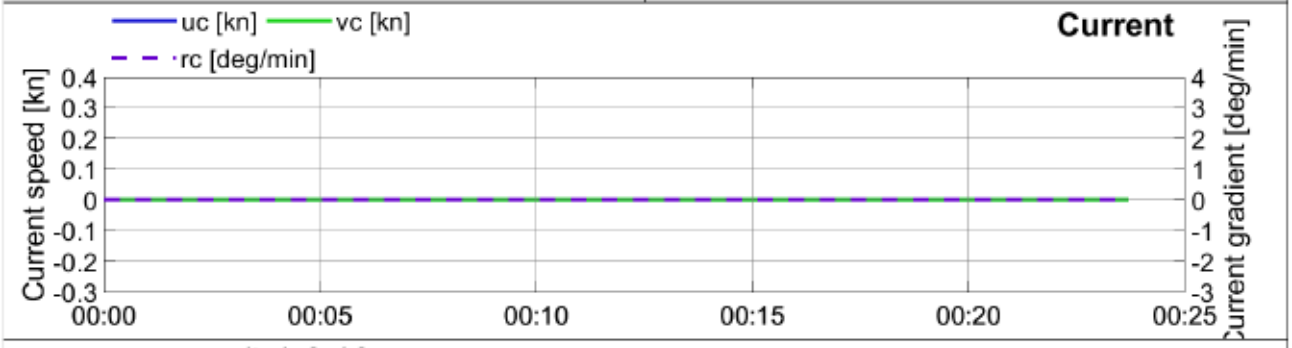


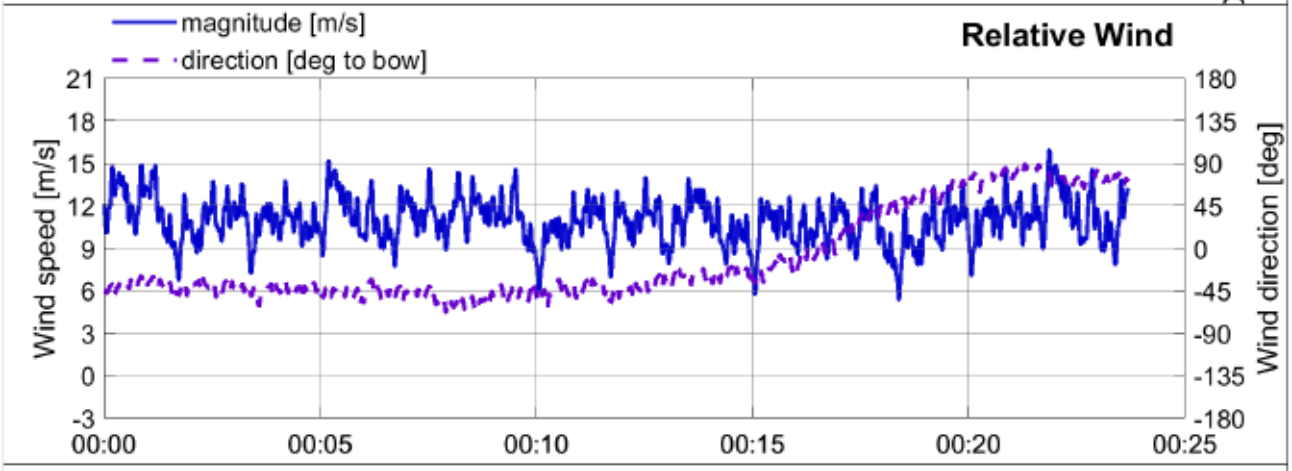
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

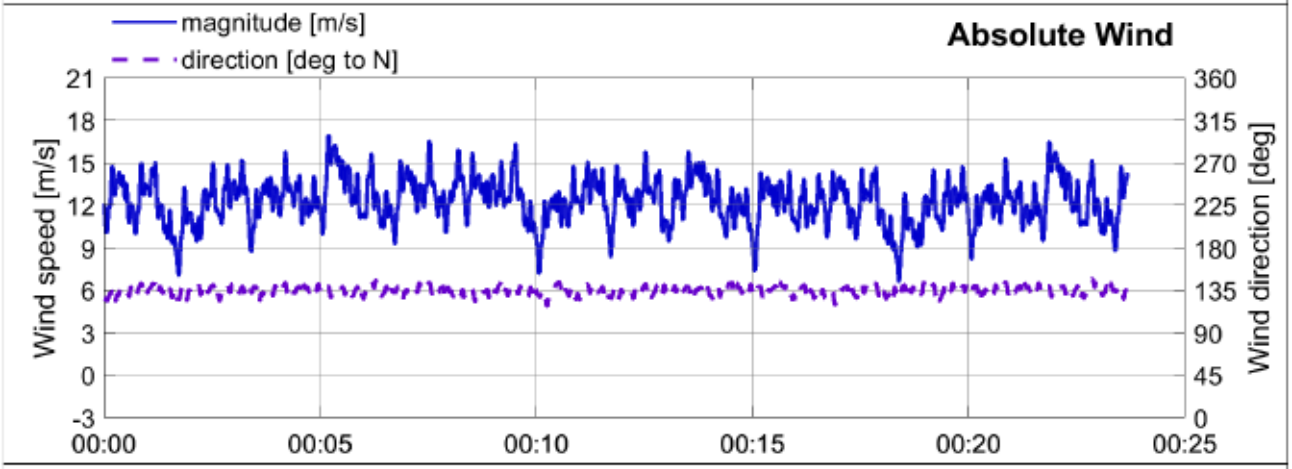
Omgevingscondities

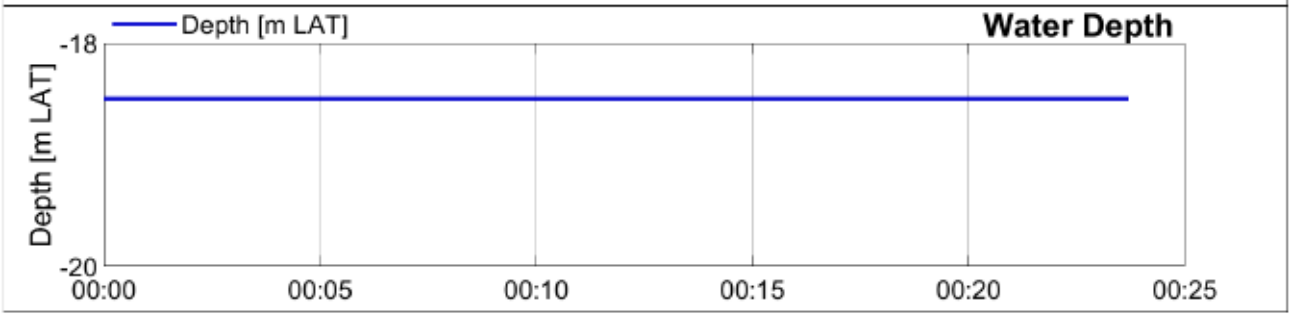
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VA 08	Wind: NW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







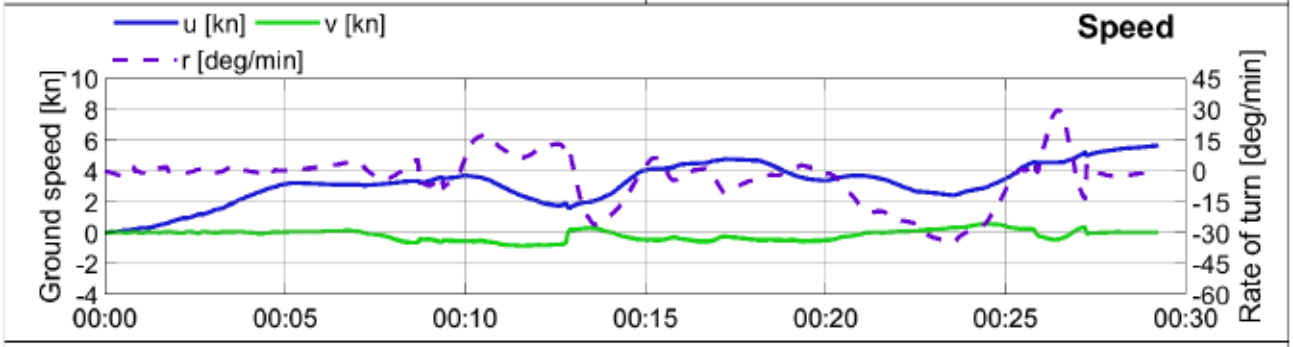


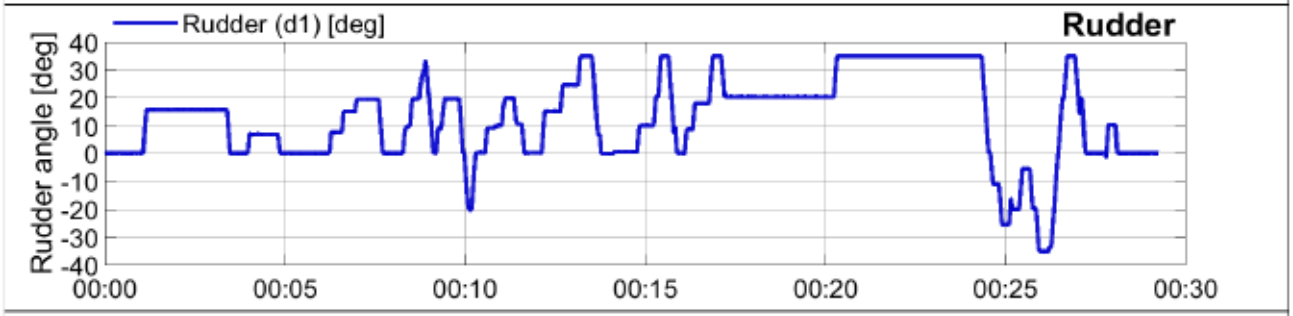
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

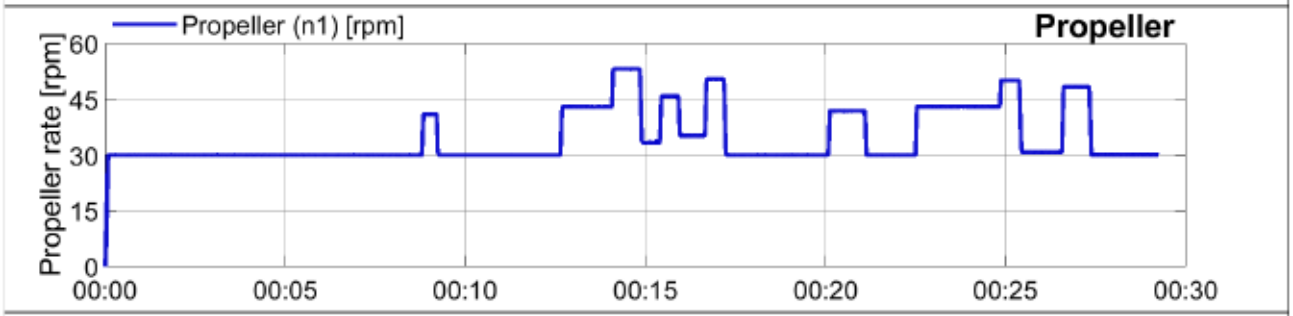
Manoeuvreereigenschappen

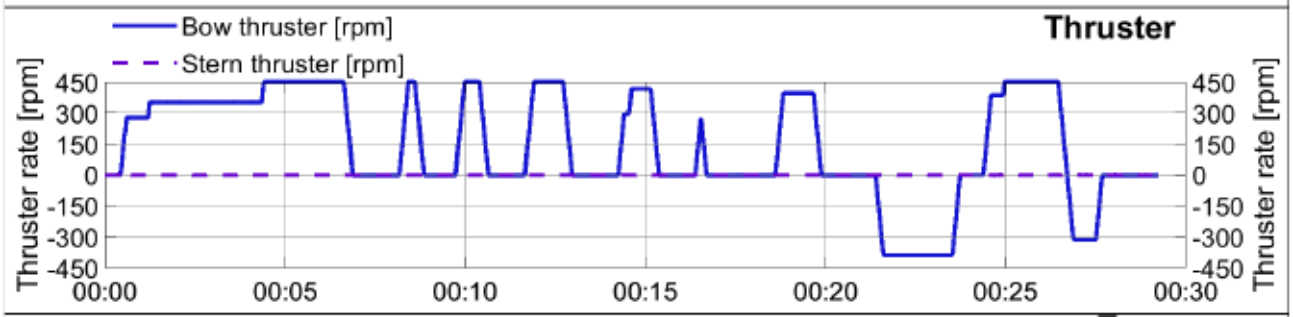
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

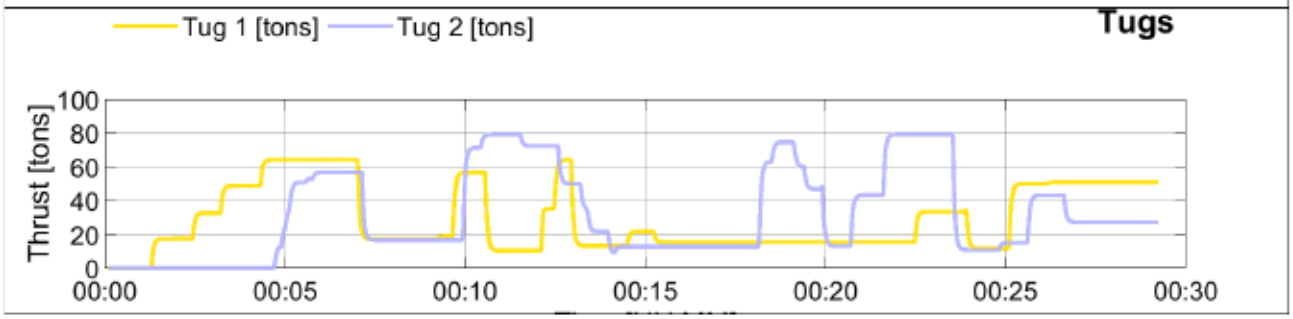
Simulatie: Achterhaven VB 01	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: -









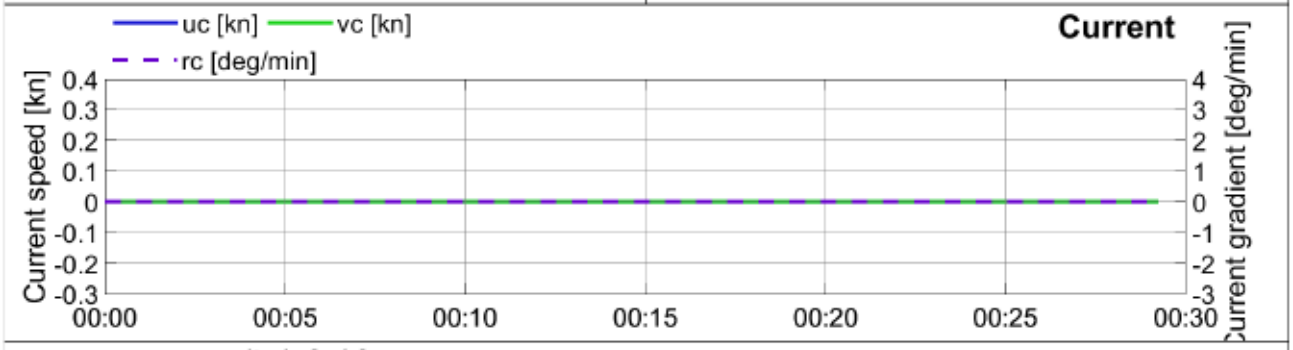


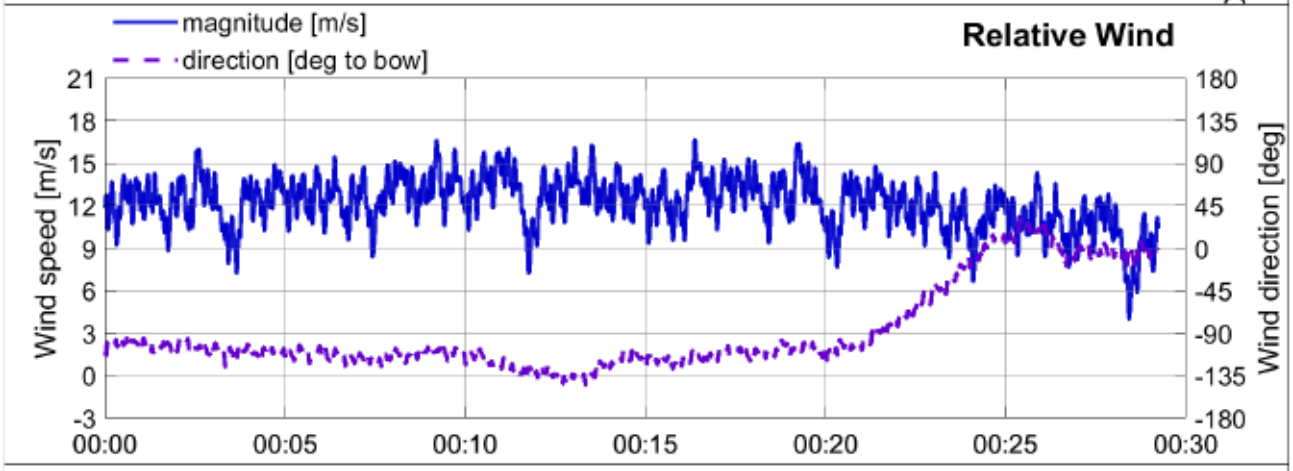
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

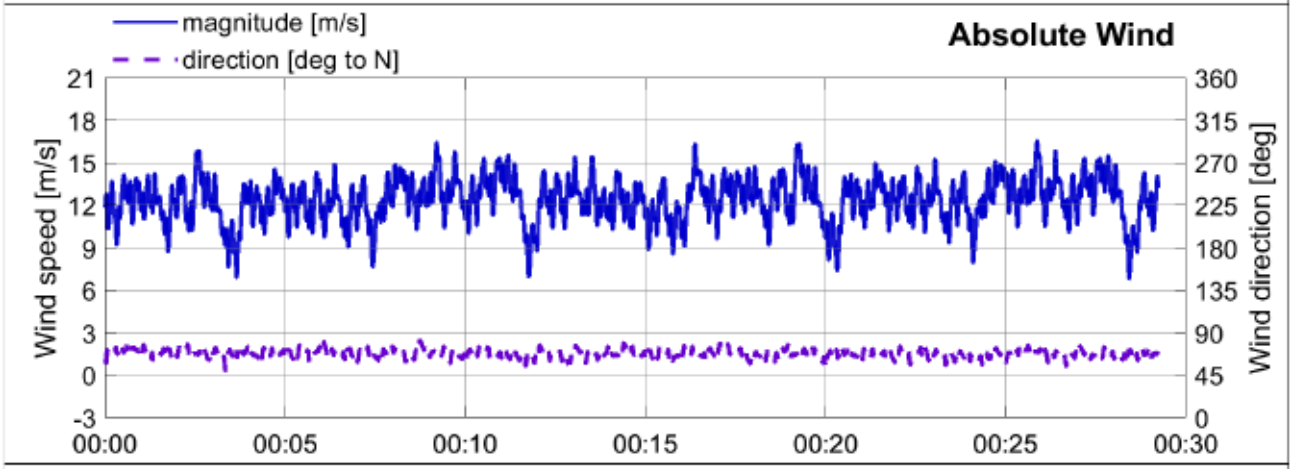
Omgevingscondities

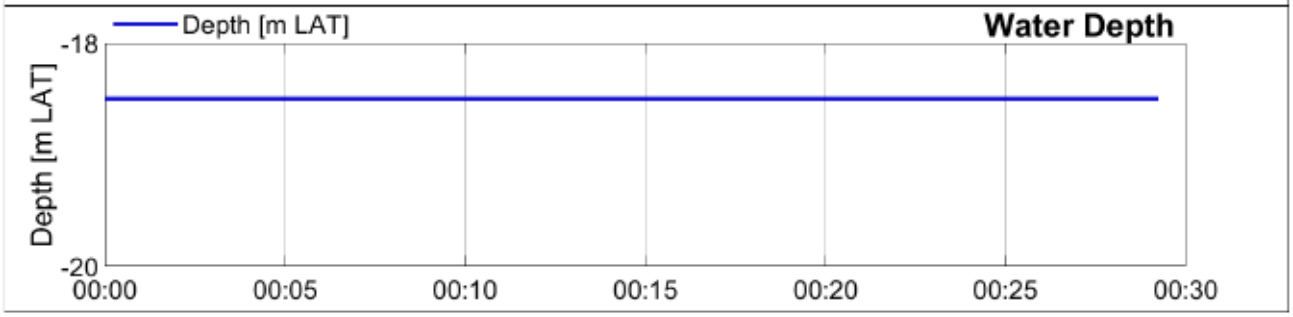
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VB 01	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: -







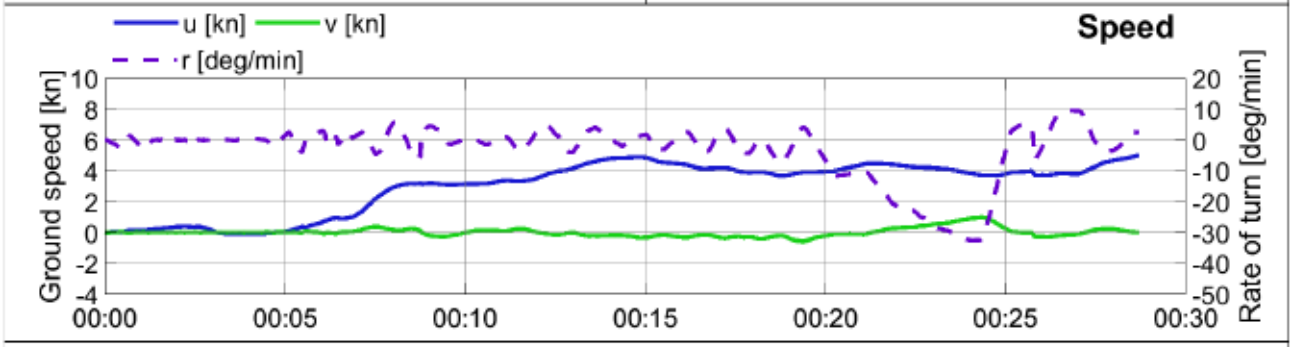


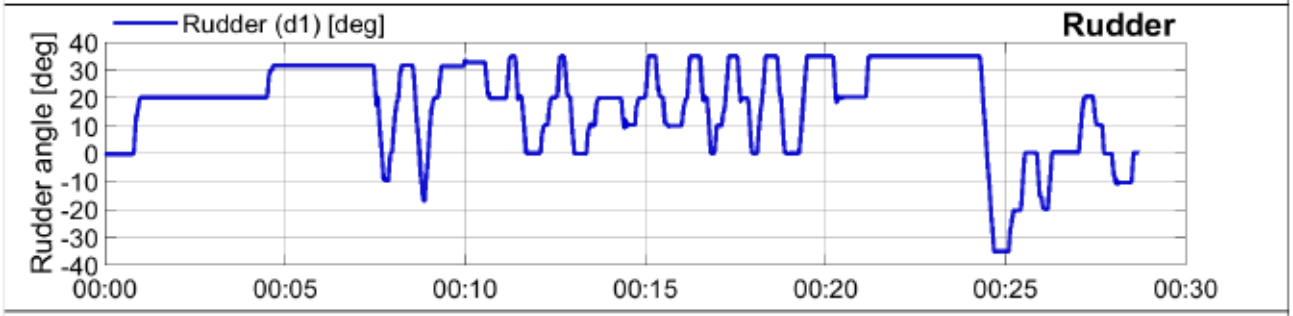
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

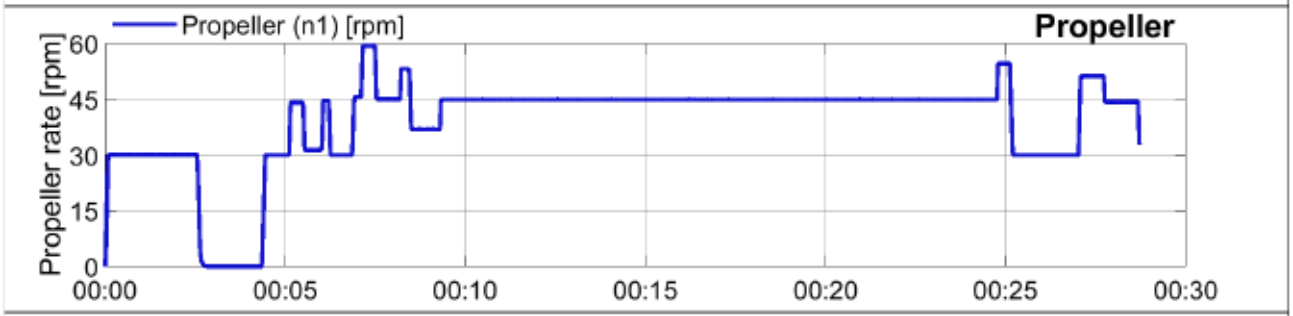
Manoeuvreereigenschappen

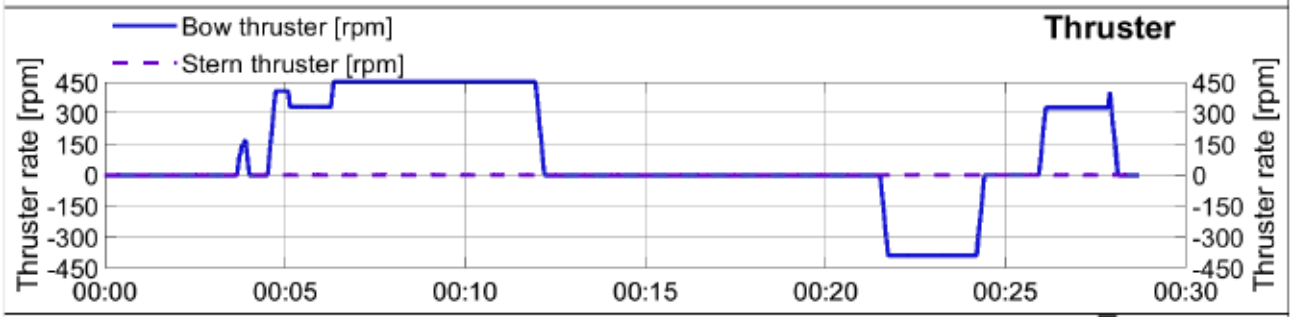
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

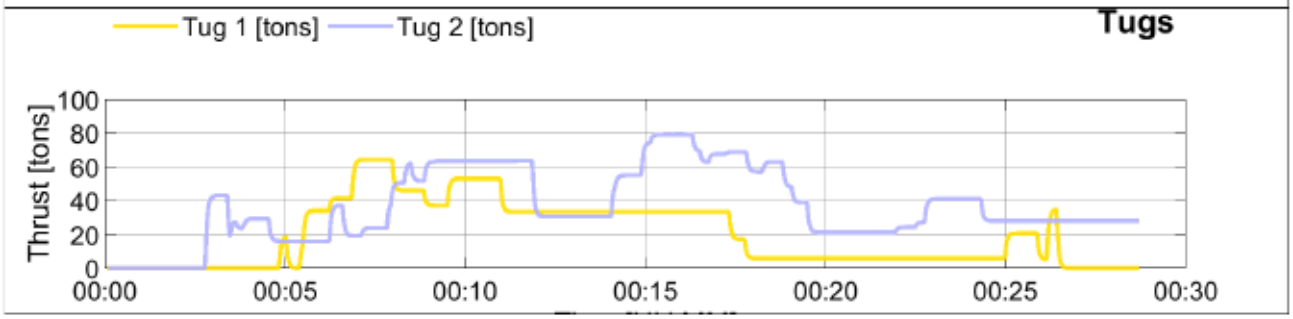
Simulatie: Achterhaven VB 02	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









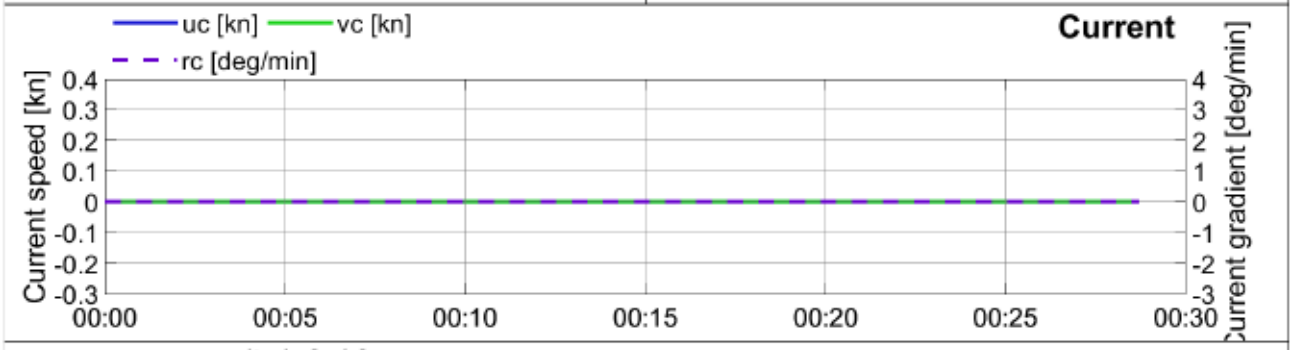


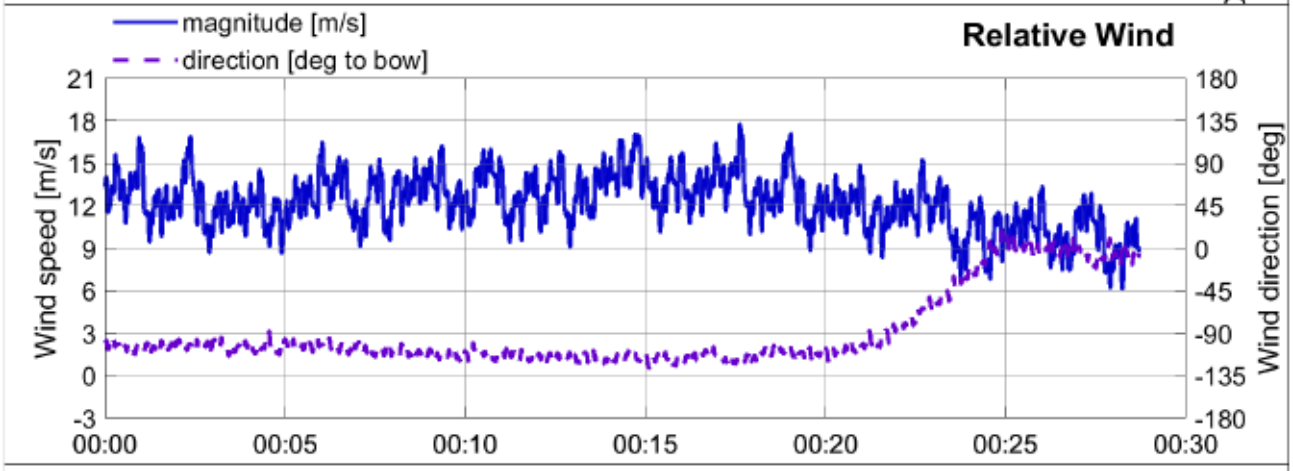
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

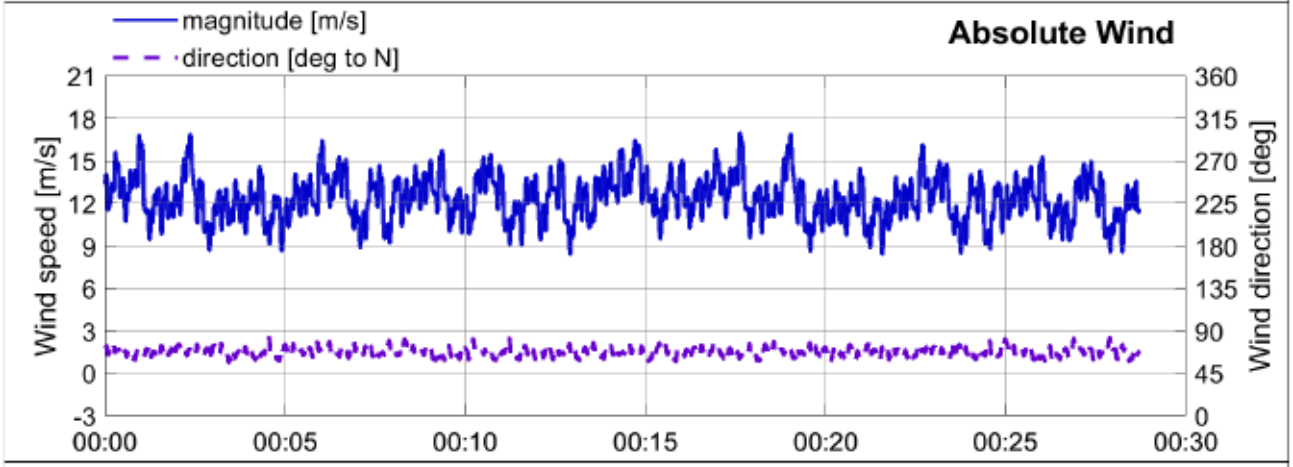
Omgevingscondities

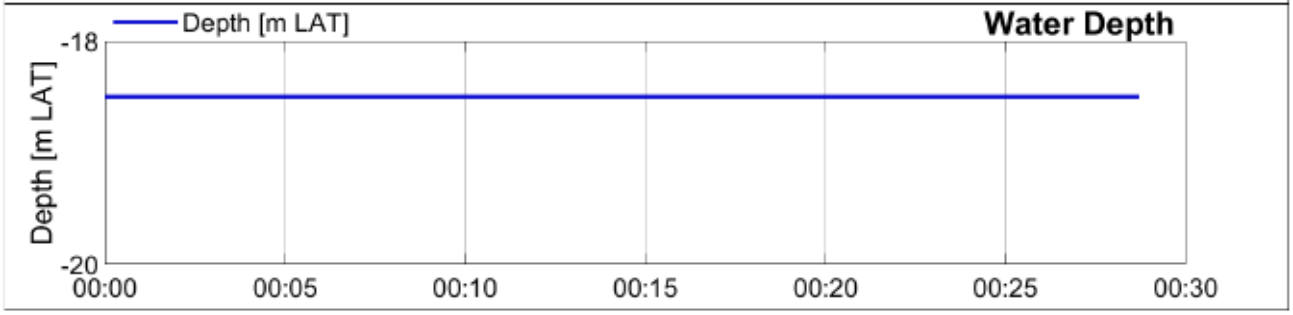
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VB 02	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m







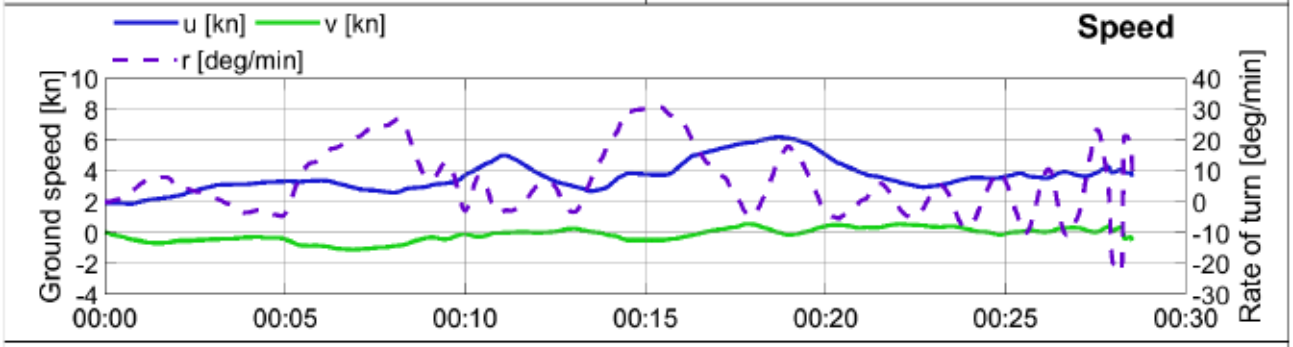


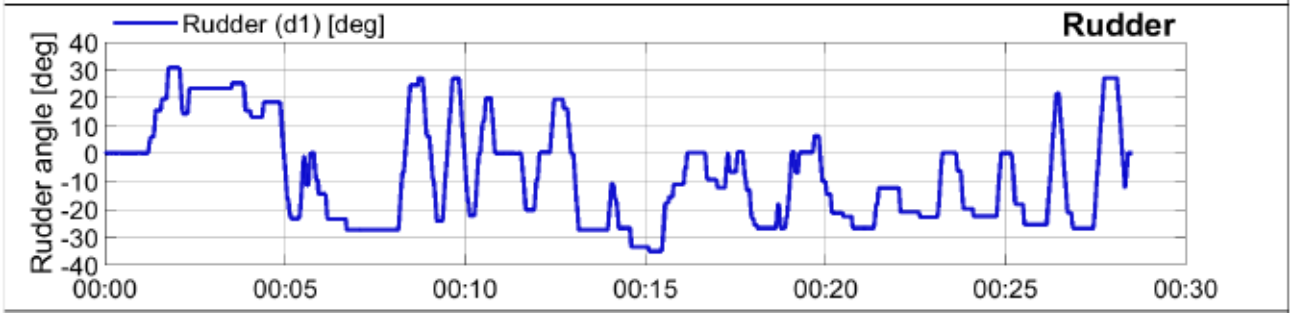
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

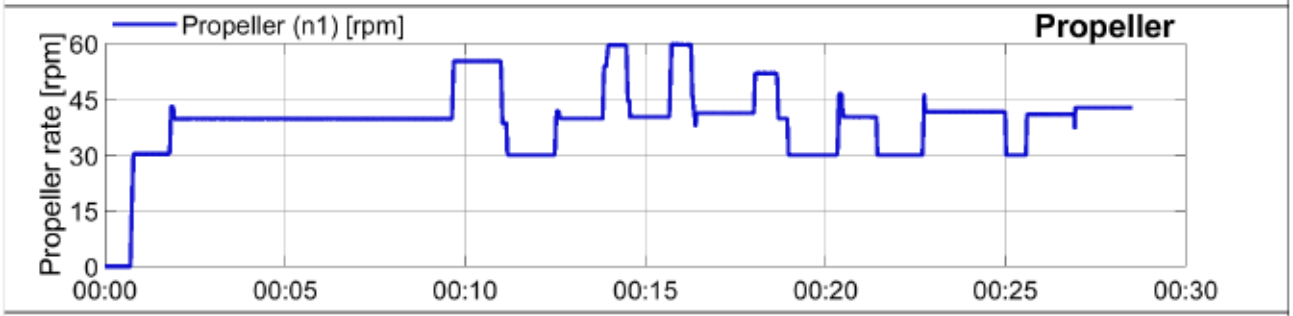
Manoeuvreereigenschappen

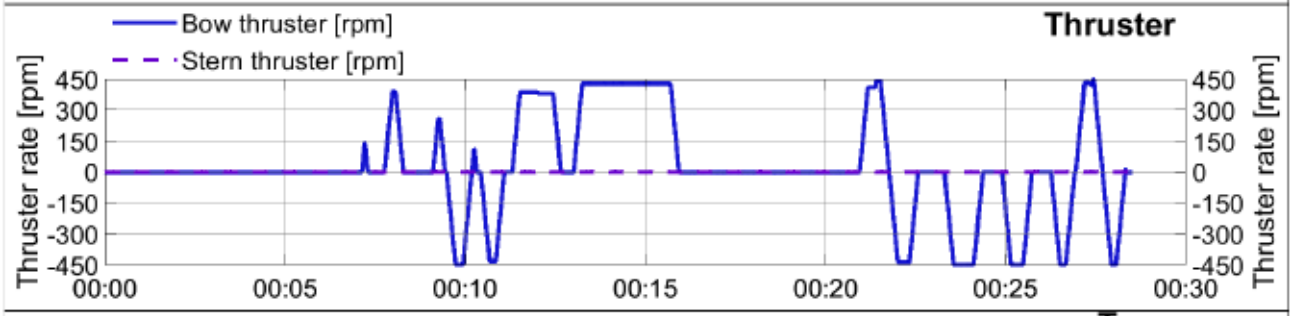
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

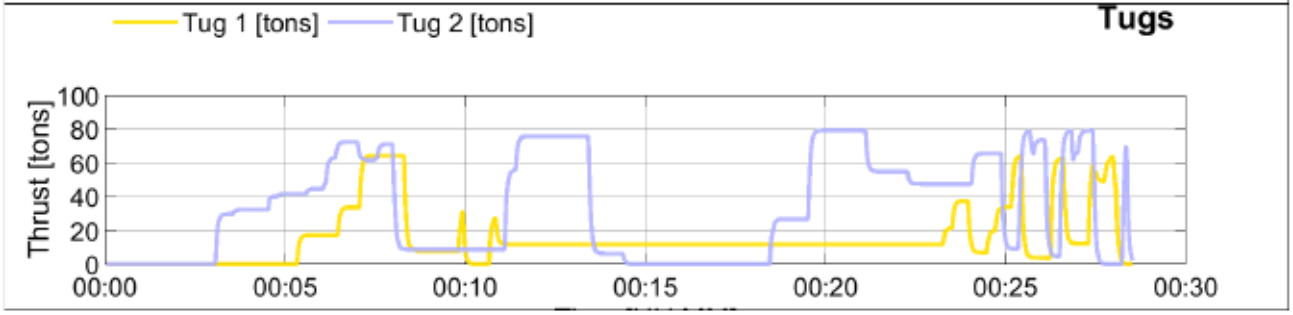
Simulatie: Achterhaven VB 03	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









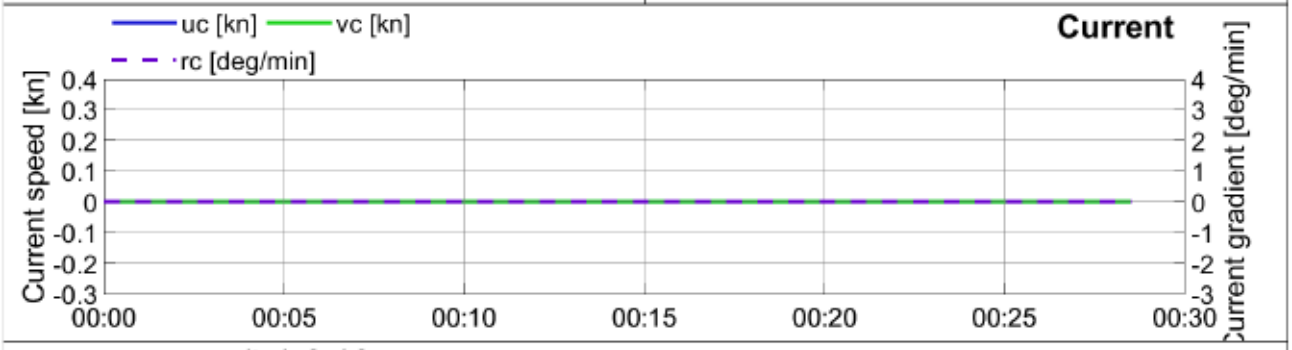


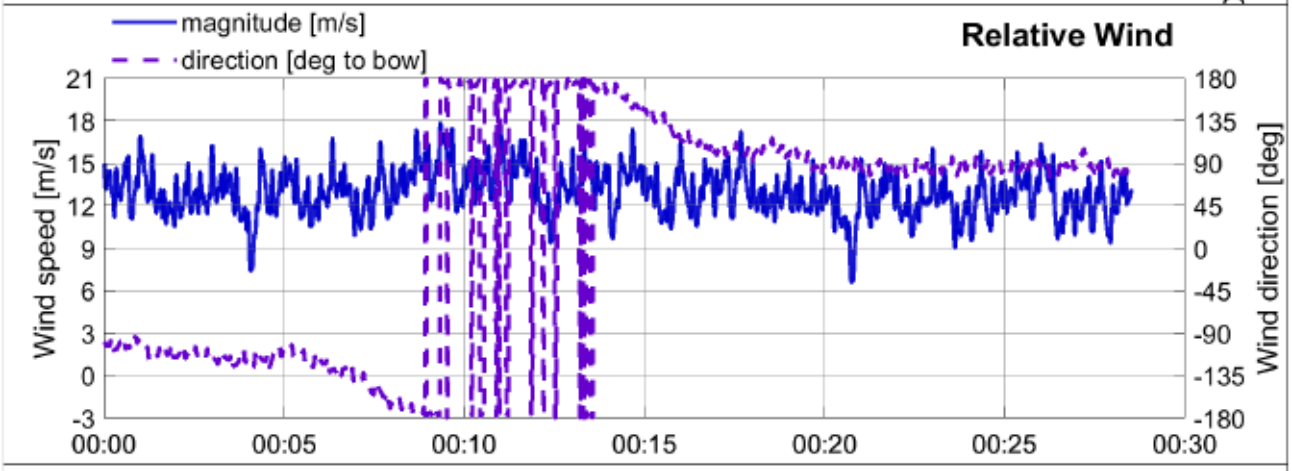
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

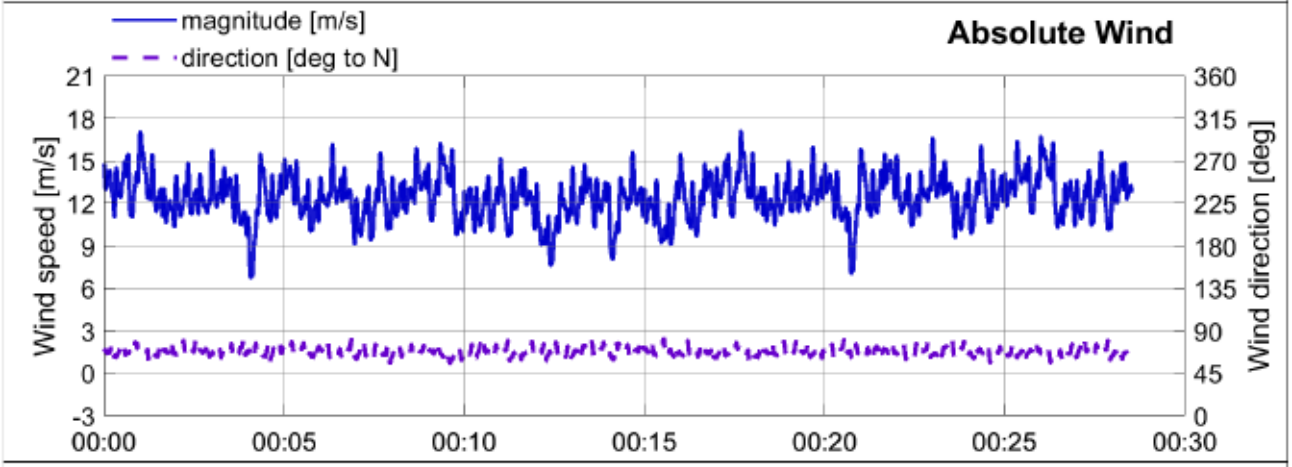
Omgevingscondities

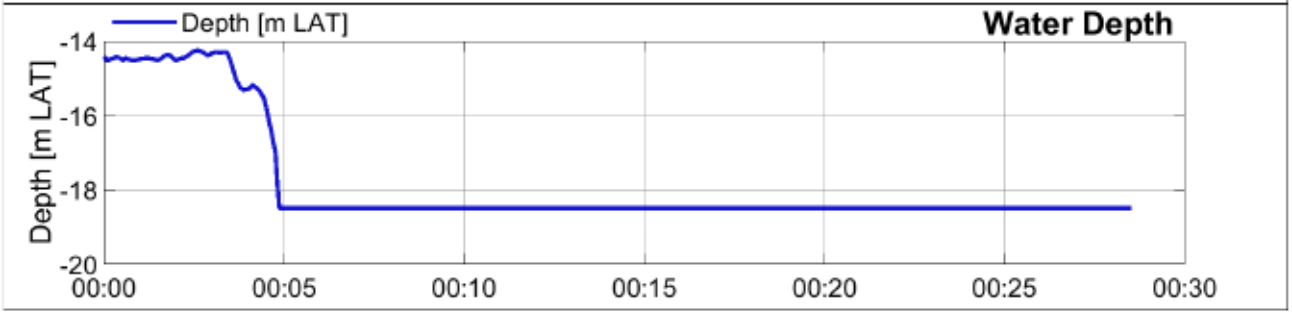
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VB 03	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m







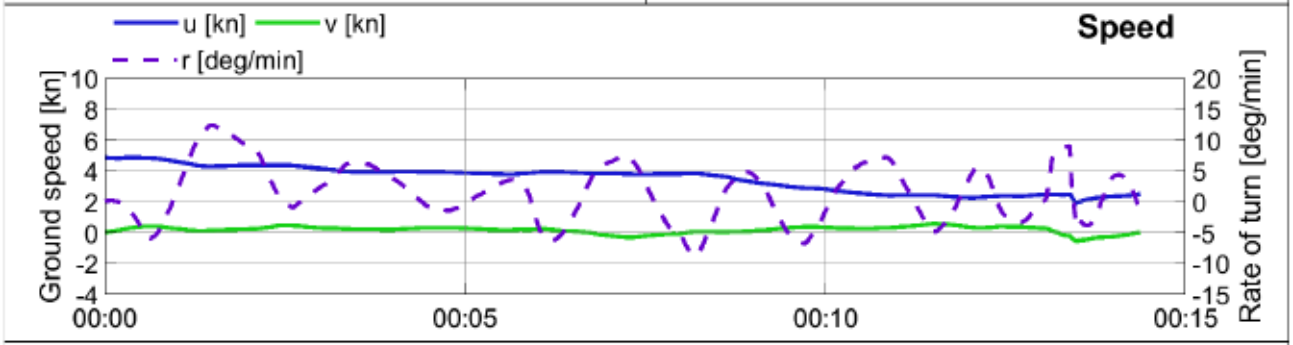


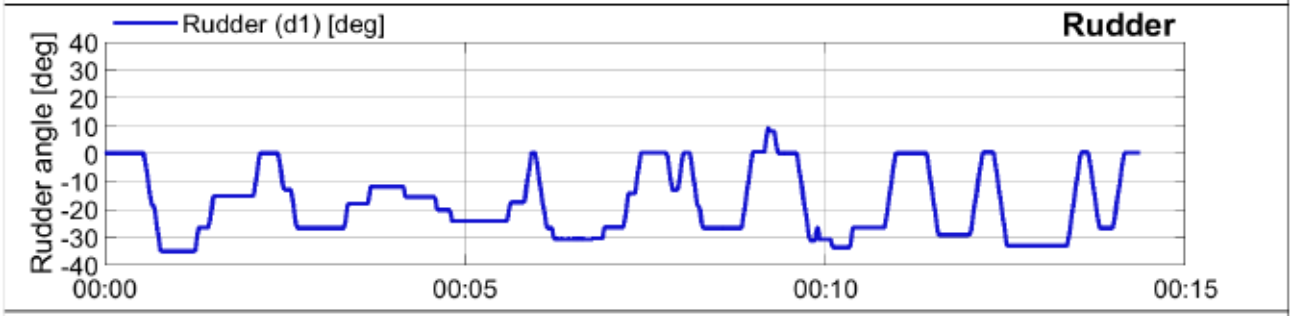
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

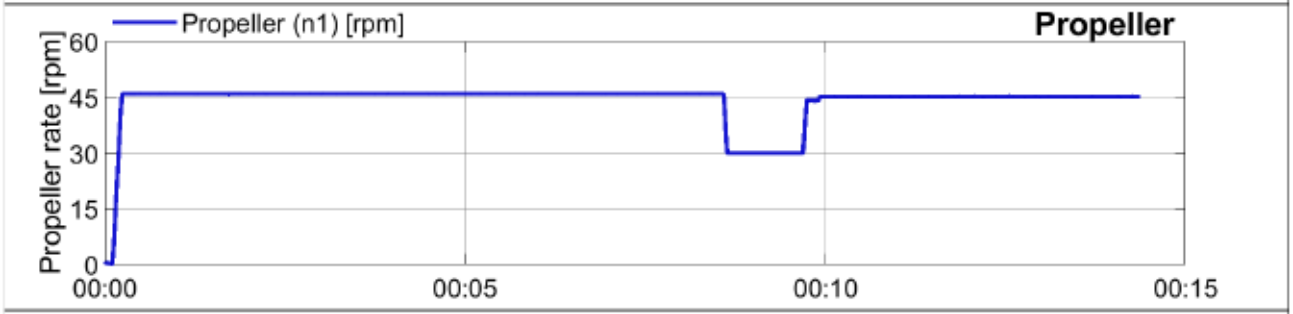
Manoeuvreereigenschappen

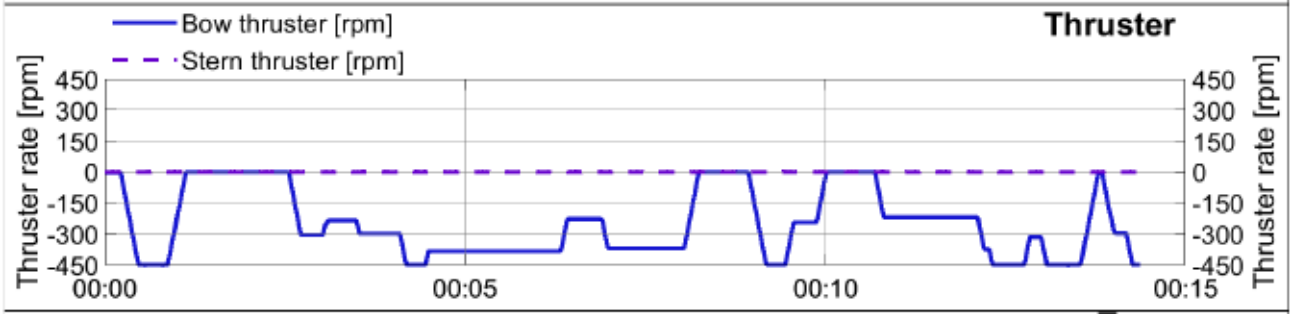
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

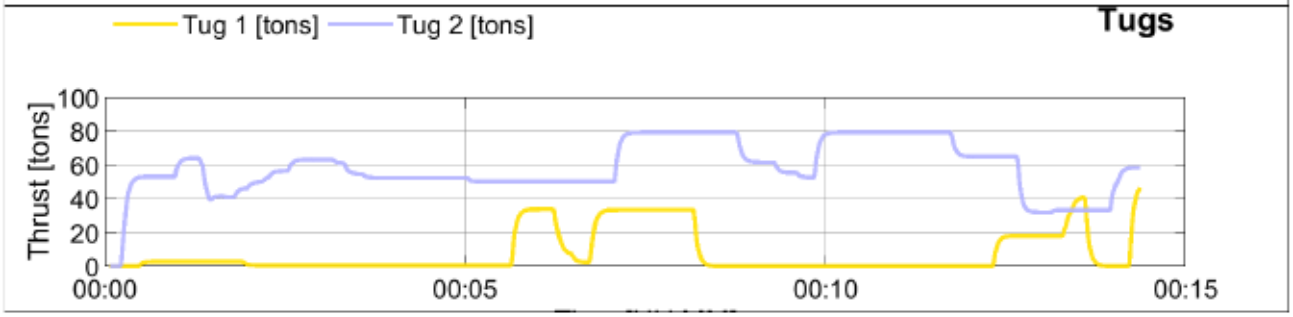
Simulatie: Achterhaven VB 04	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









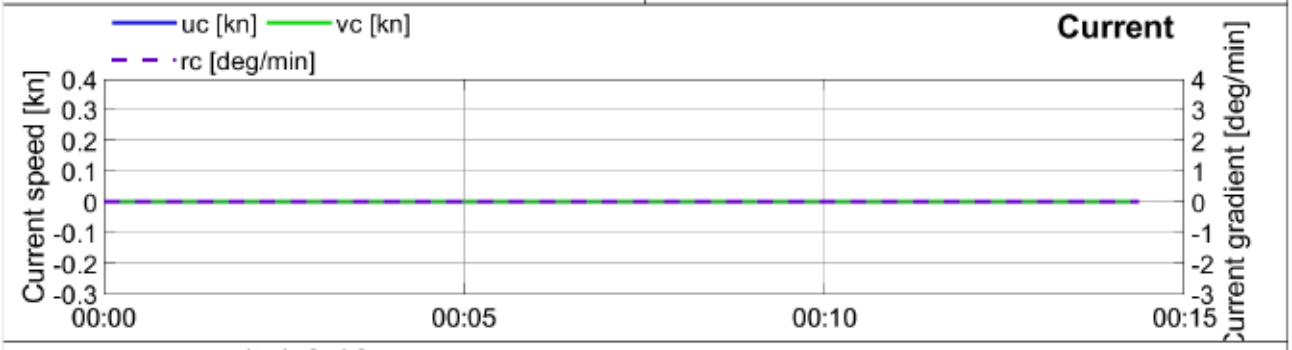


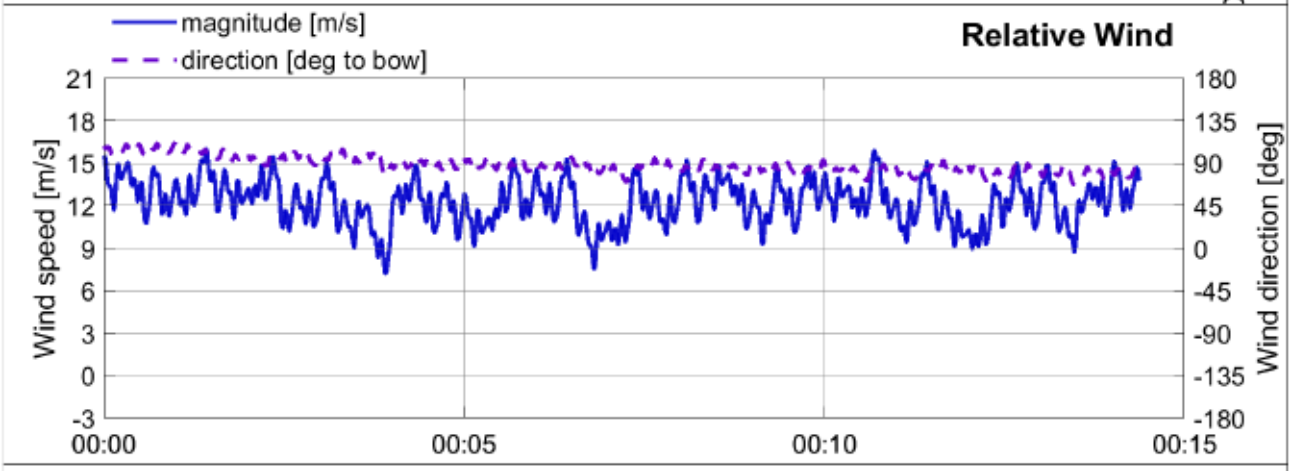
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

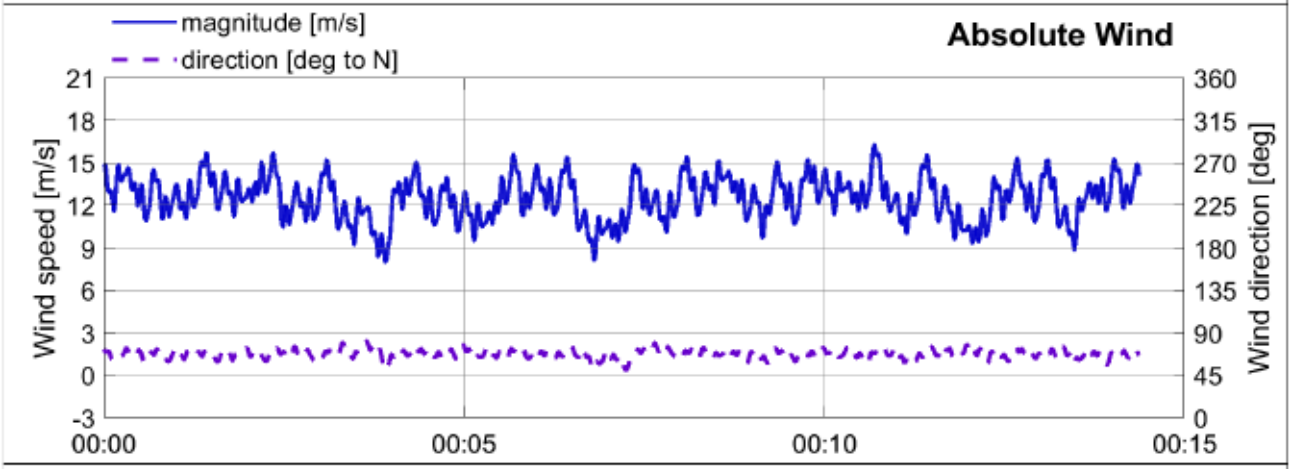
Omgevingscondities

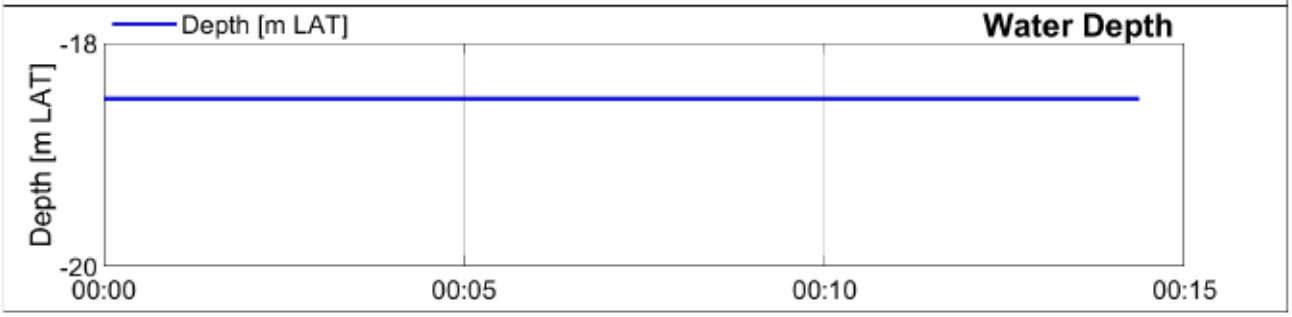
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VB 04	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 32 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m







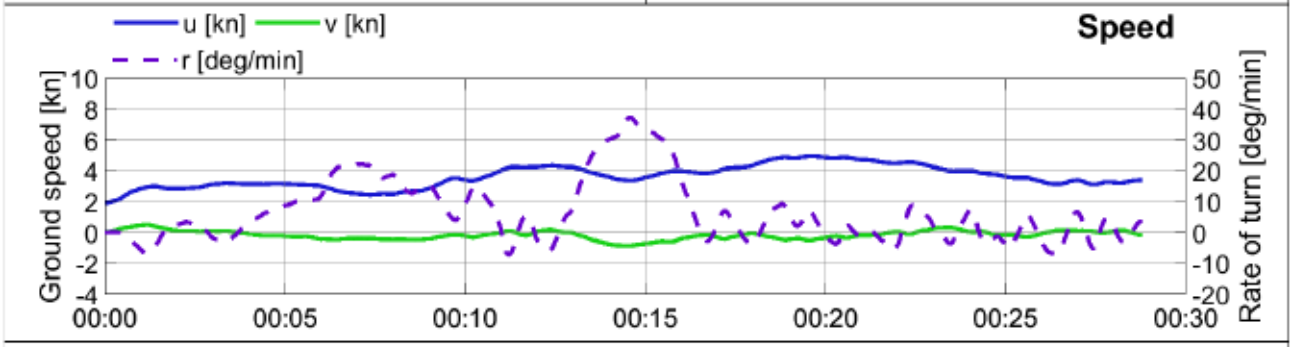


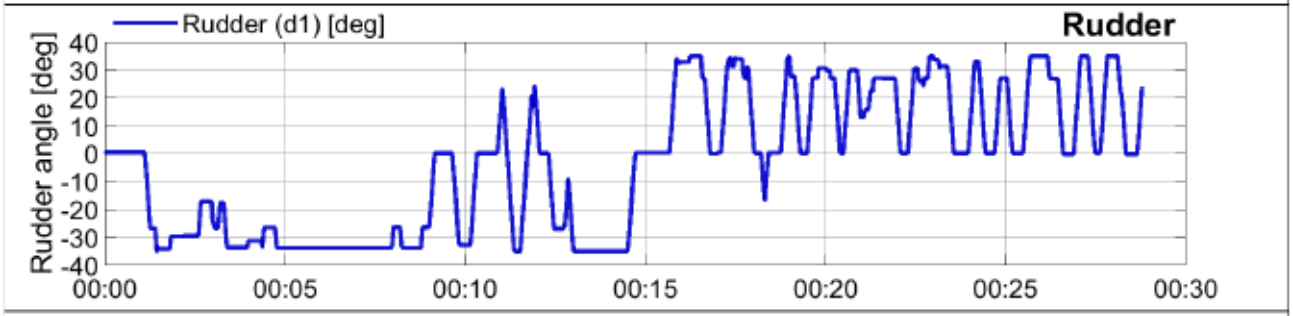
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

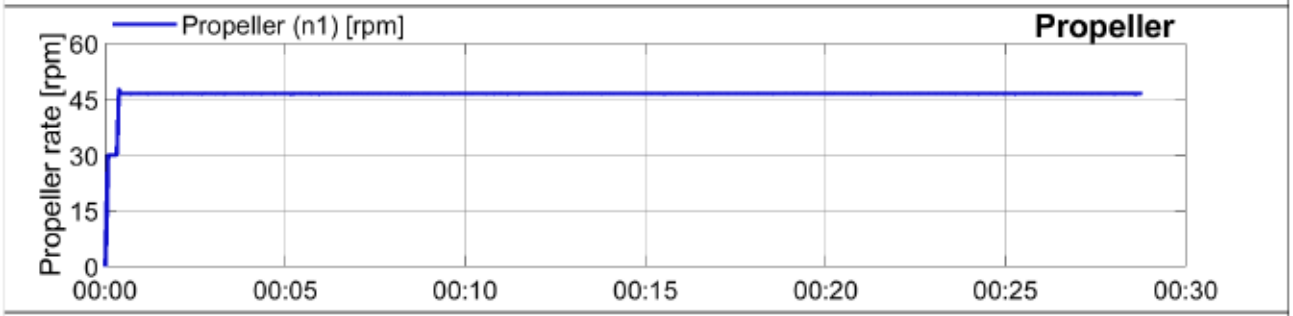
Manoeuvreereigenschappen

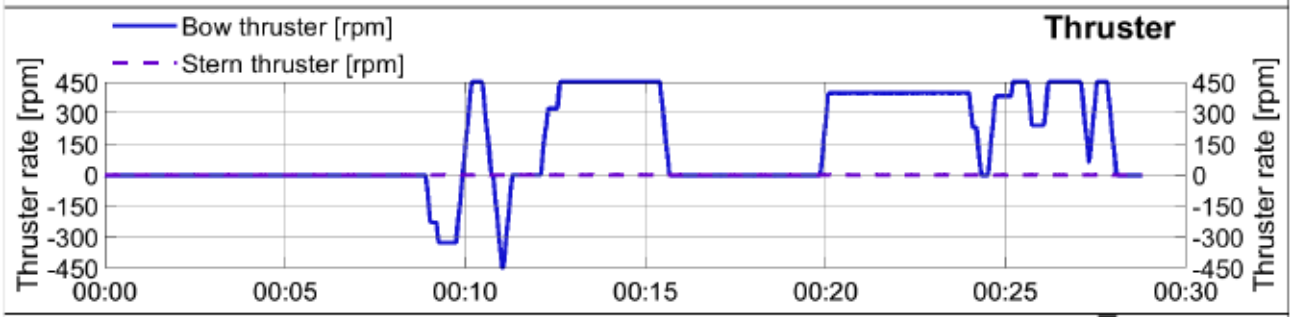
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

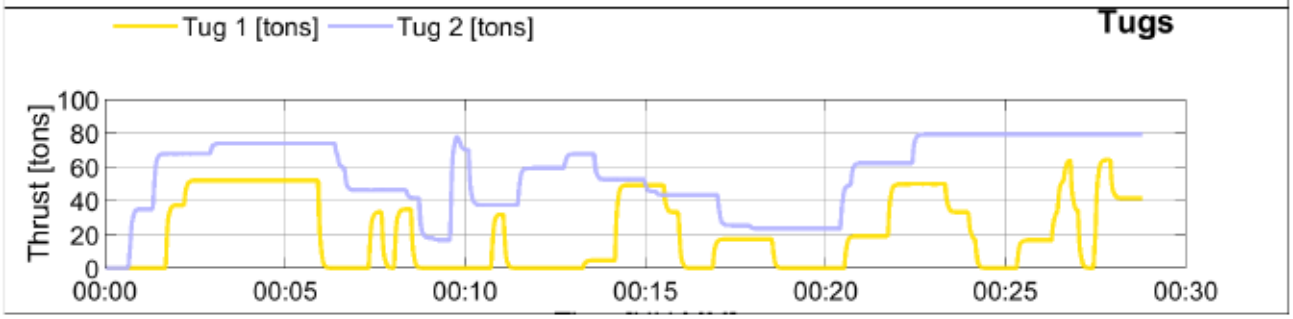
Simulatie: Achterhaven VB 07	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









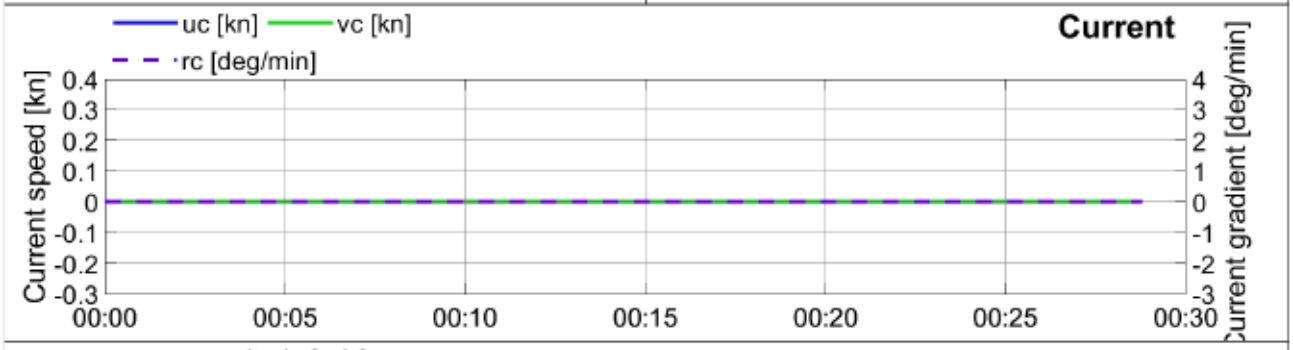


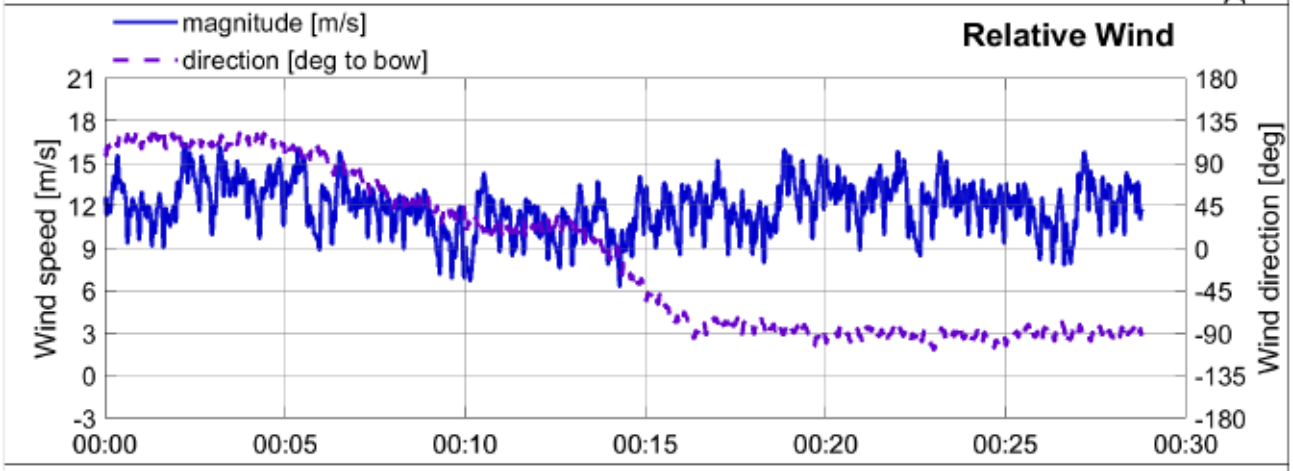
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

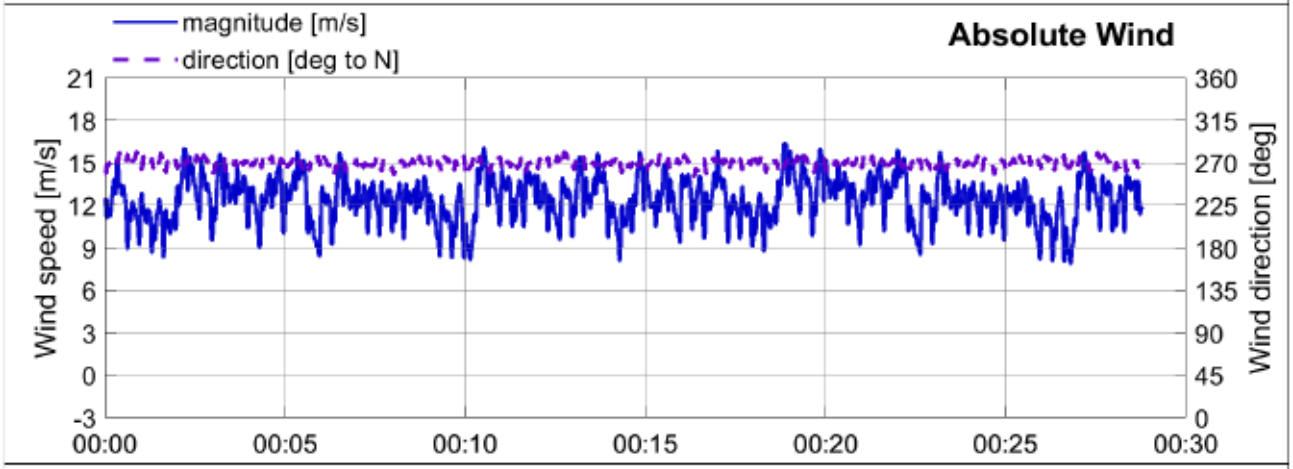
Omgevingscondities

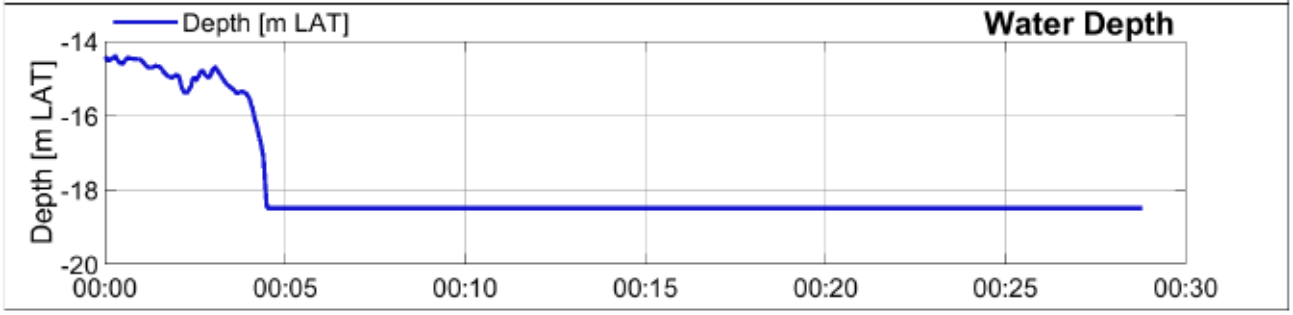
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VB 07	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







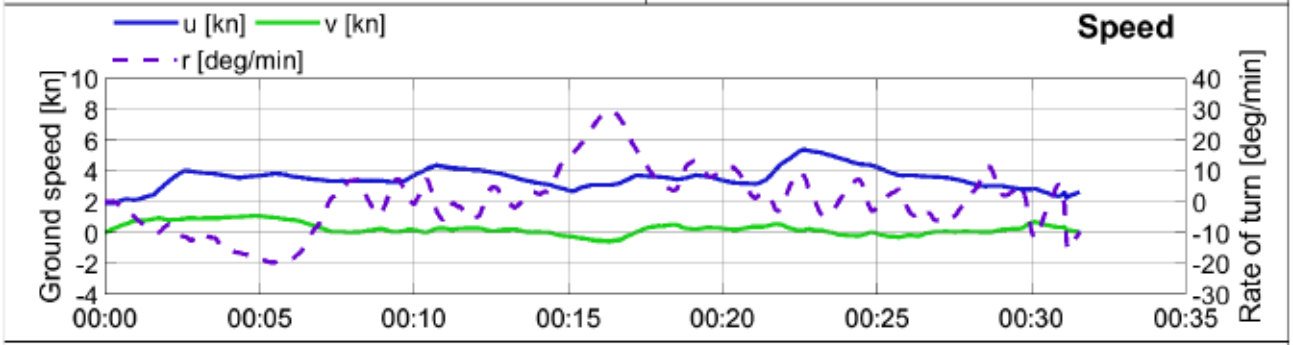


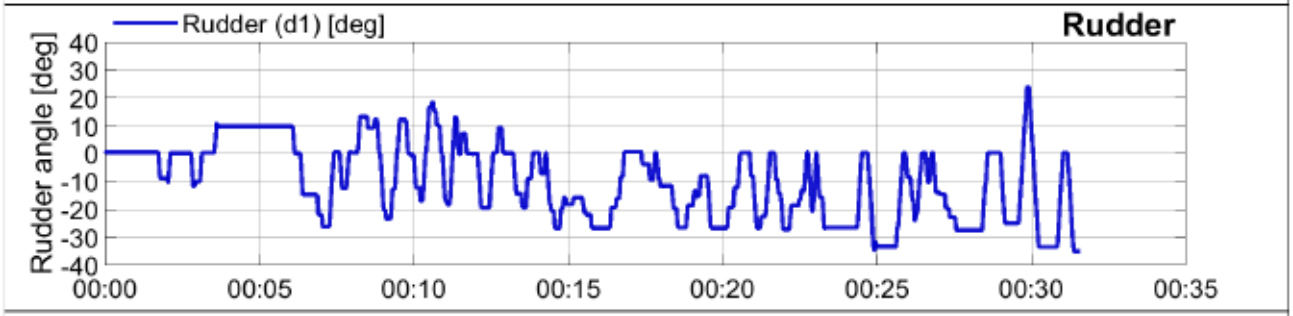
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

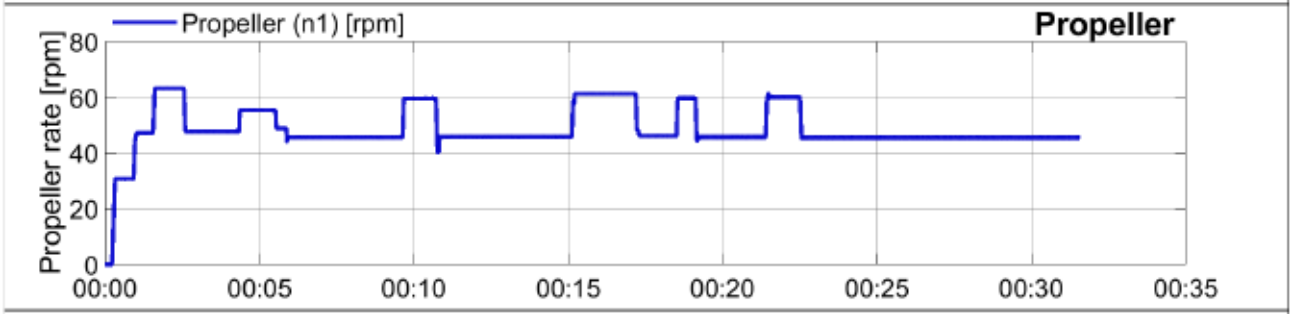
Manoeuvreereigenschappen

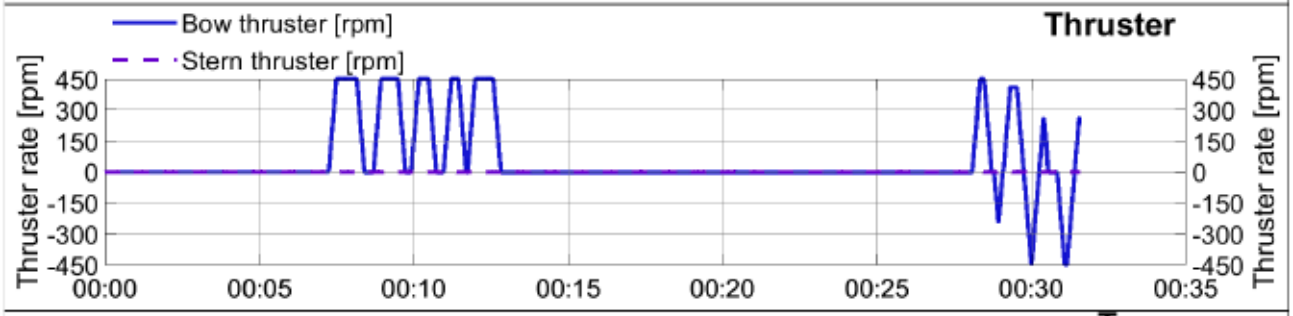
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

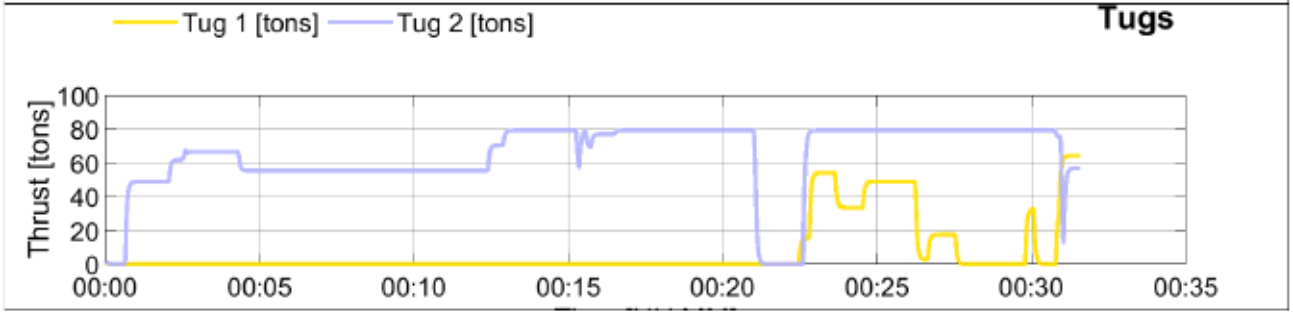
Simulatie: Achterhaven VC 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









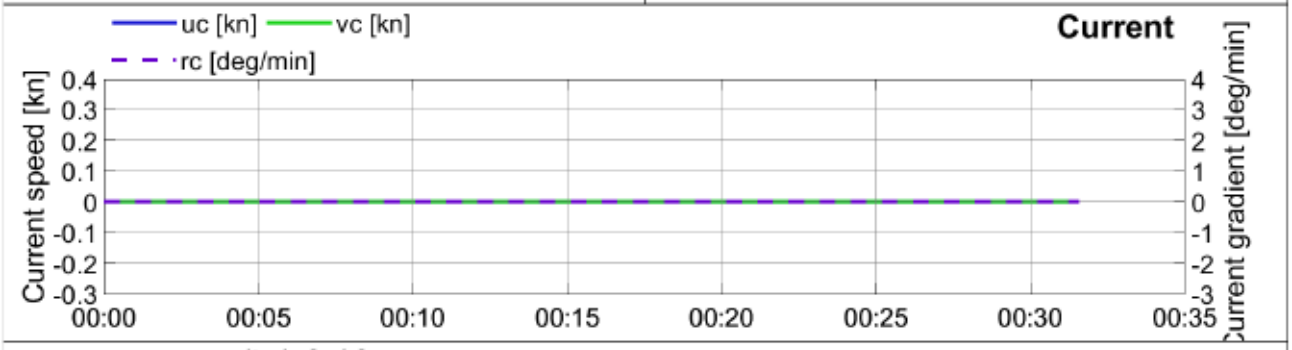


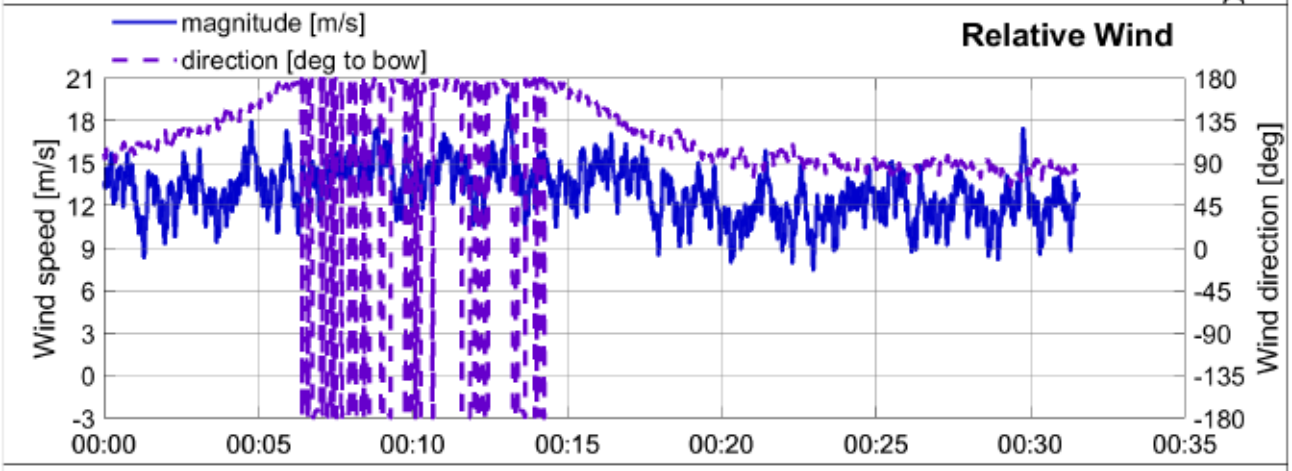
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

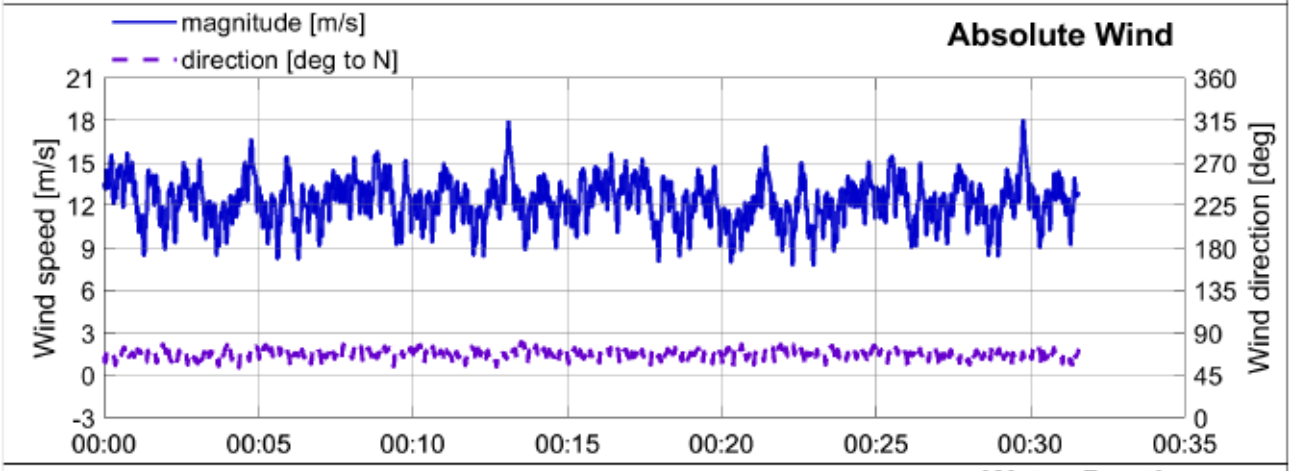
Omgevingscondities

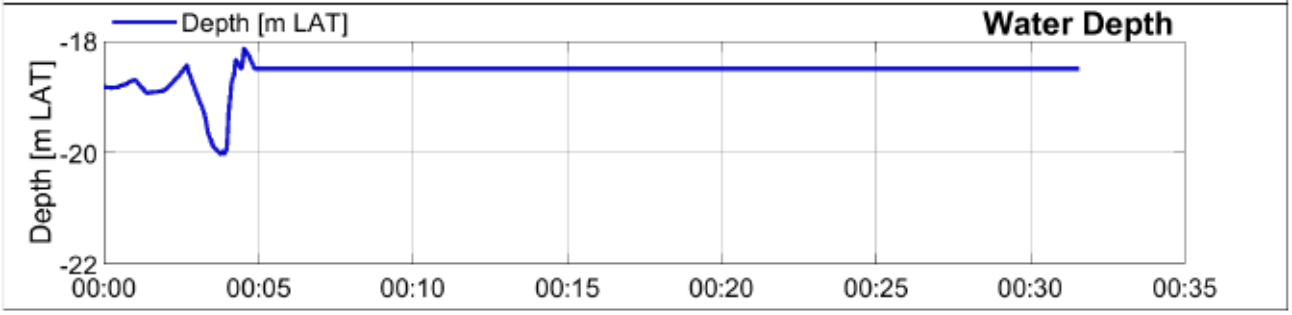
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VC 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 11/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







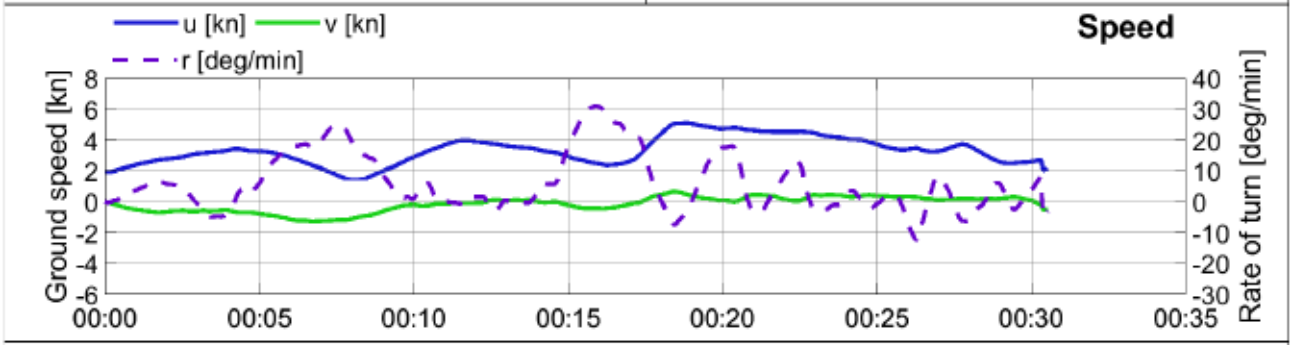


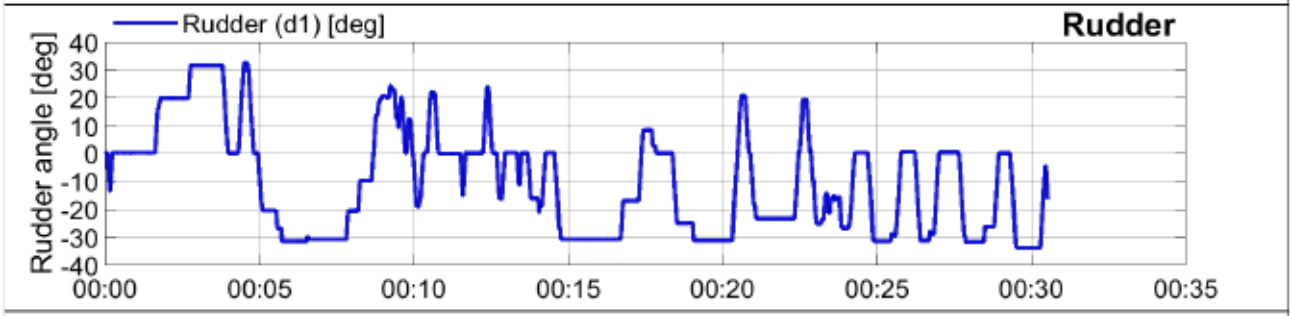
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

Manoeuvreereigenschappen

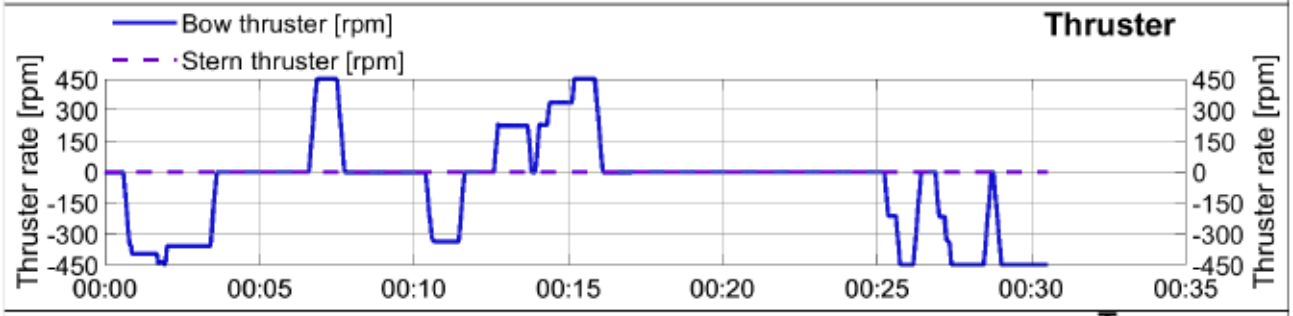
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

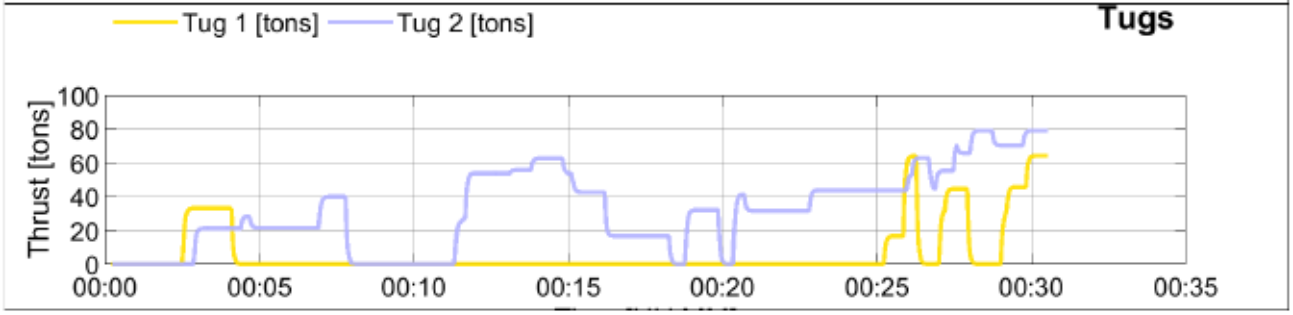
Simulatie: Achterhaven VD 09	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









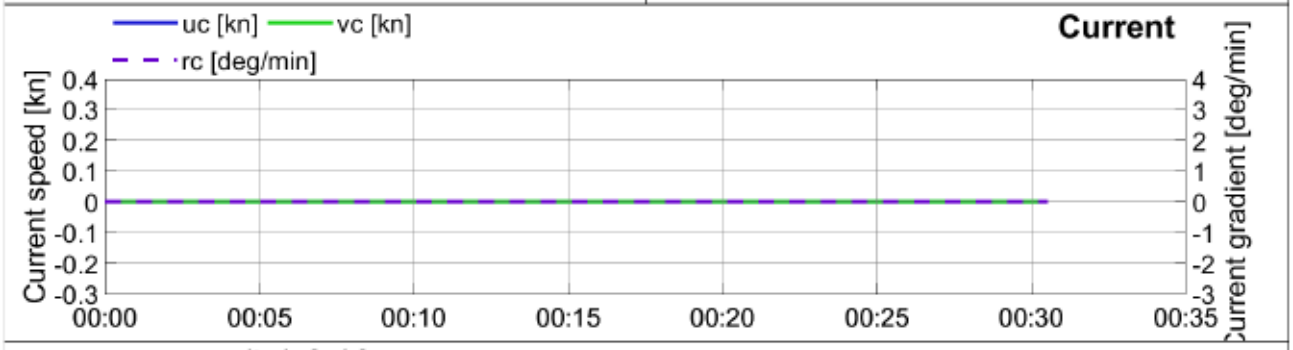


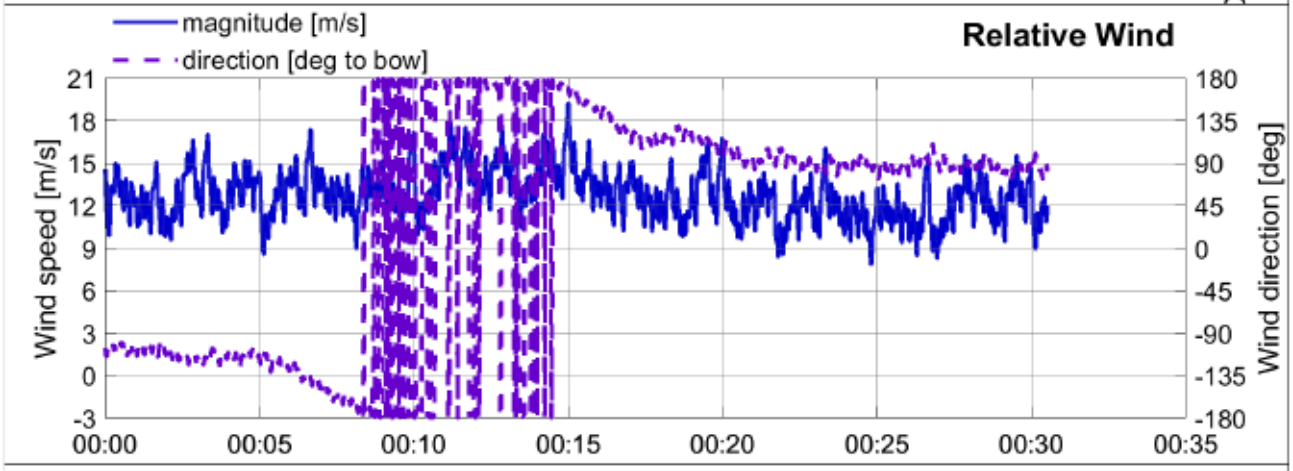
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

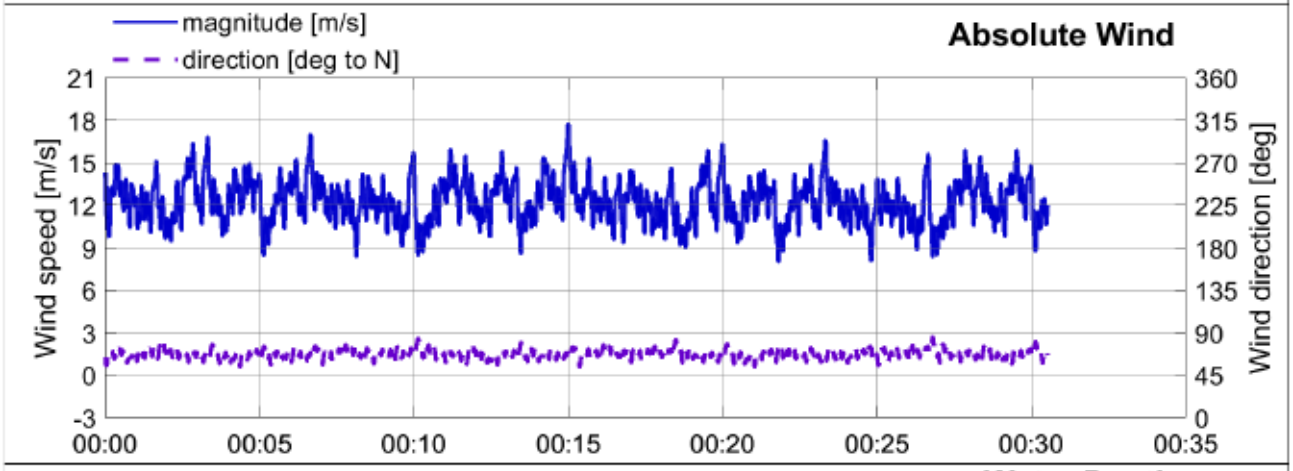
Omgevingscondities

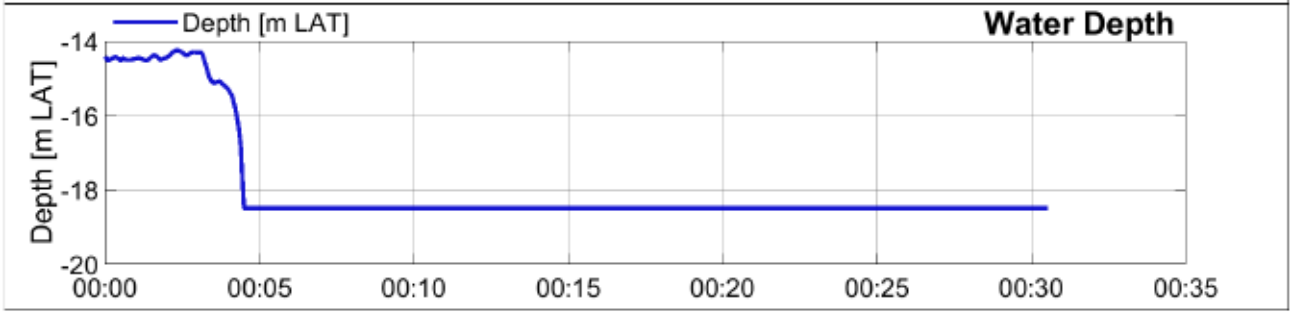
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 09	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







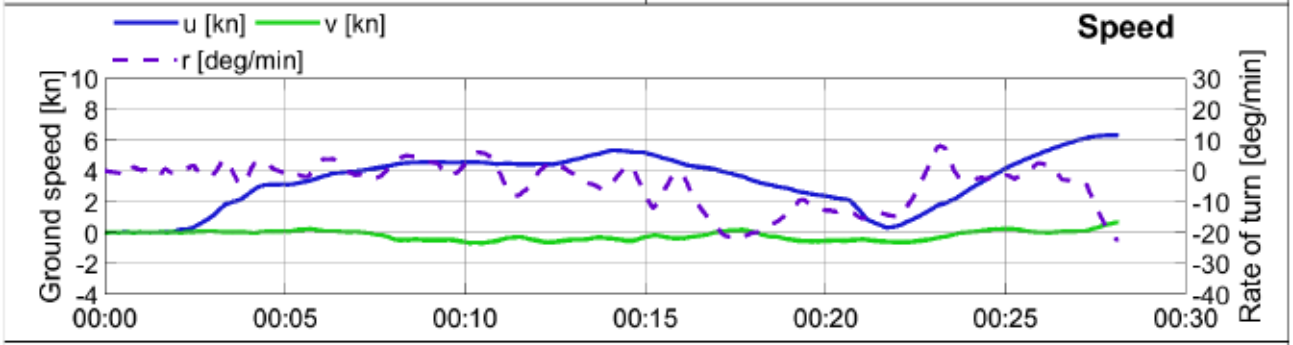


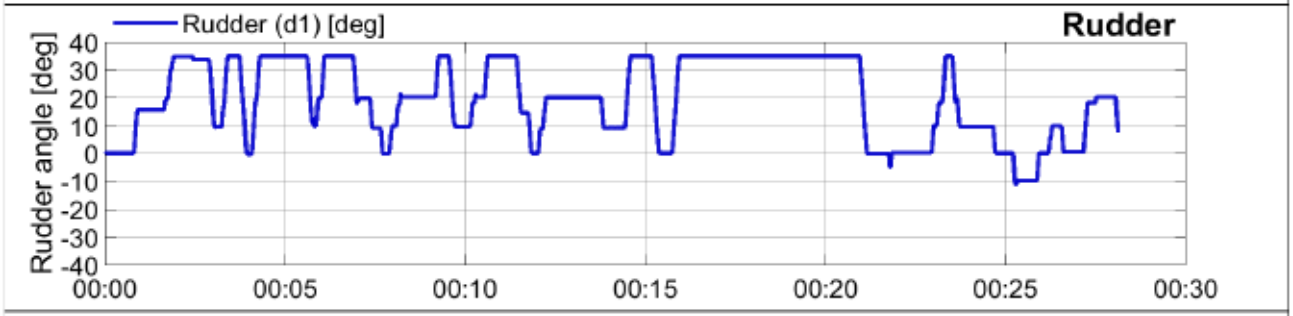
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

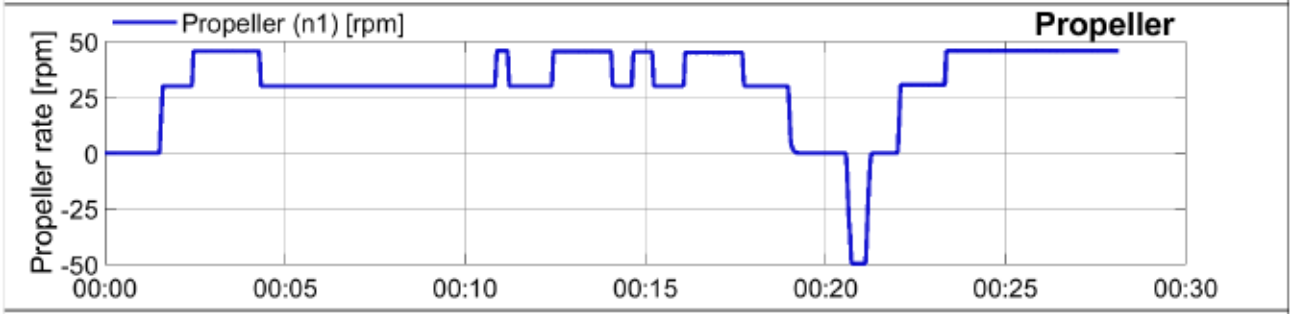
Manoeuvreereigenschappen

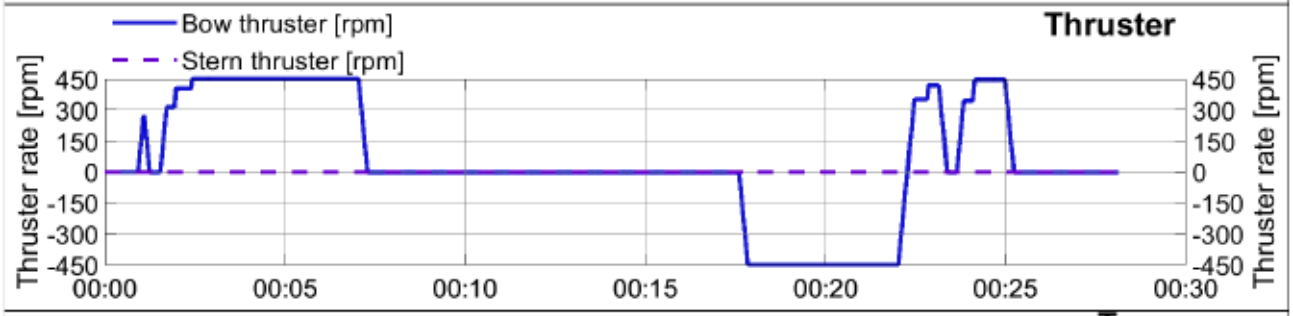
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

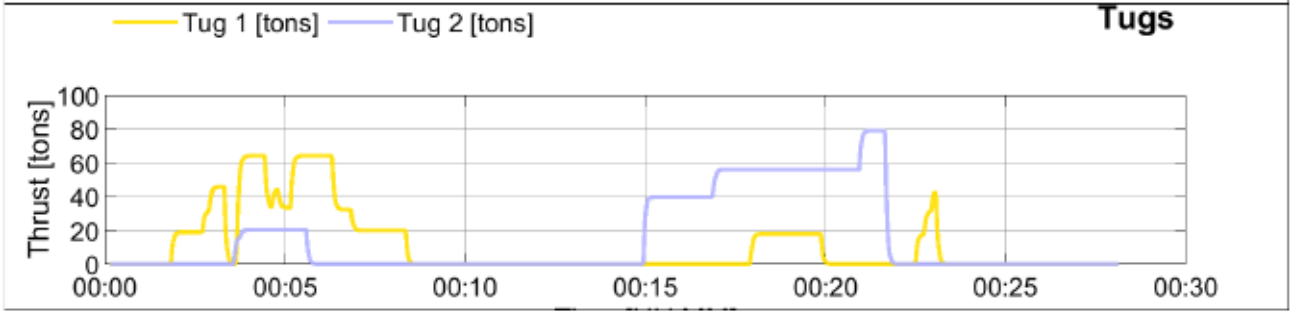
Simulatie: Achterhaven VD 10	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









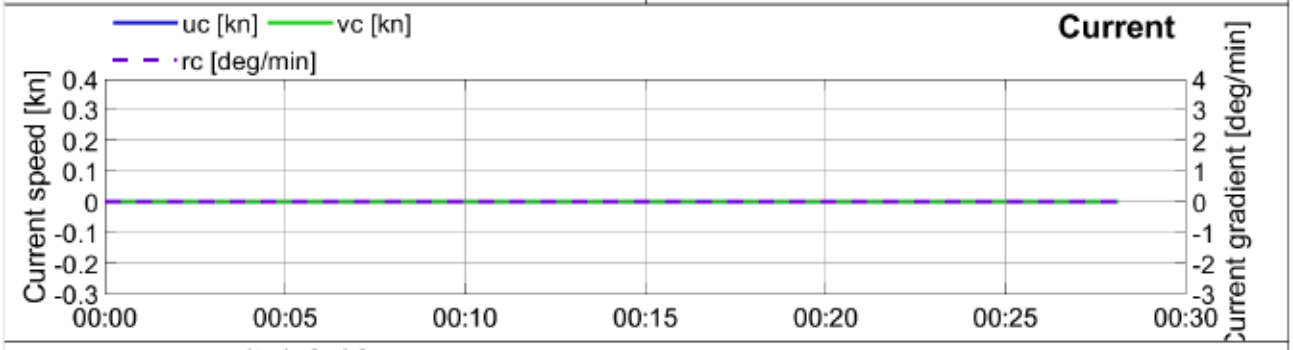


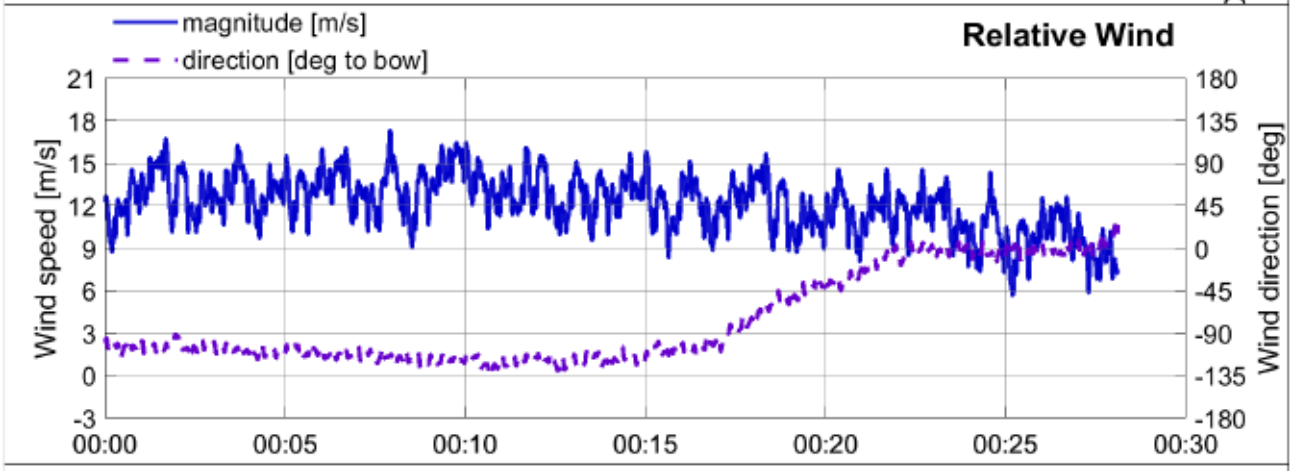
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

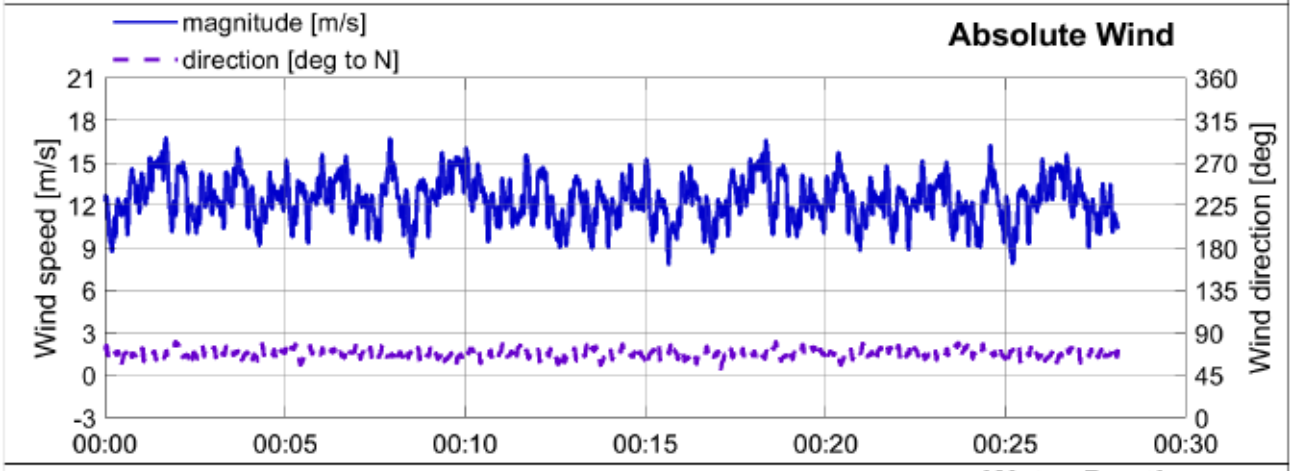
Omgevingscondities

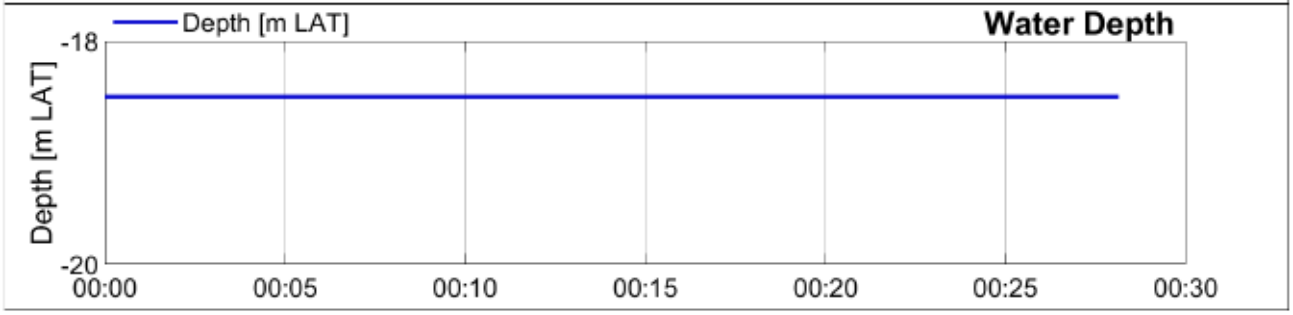
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 10	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







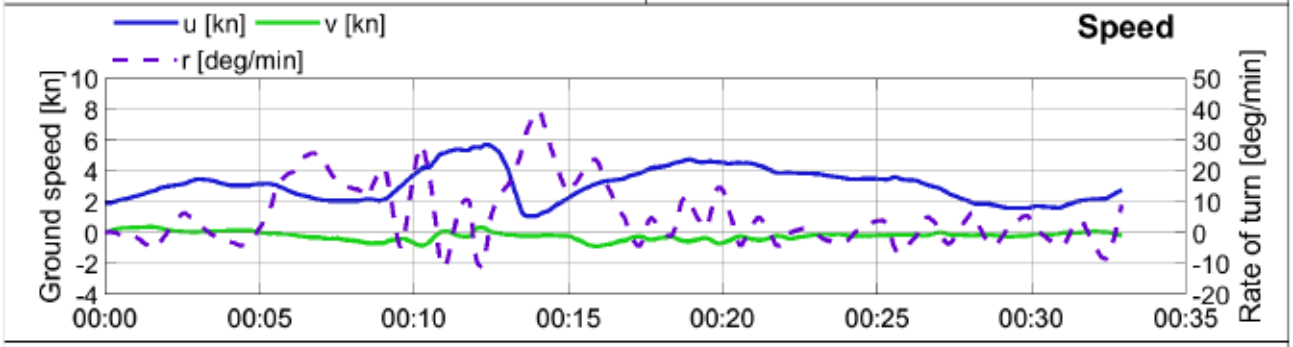


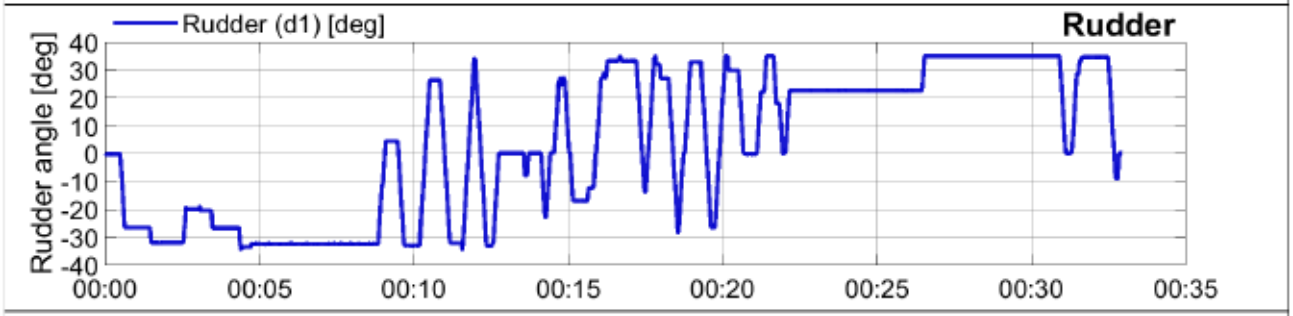
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

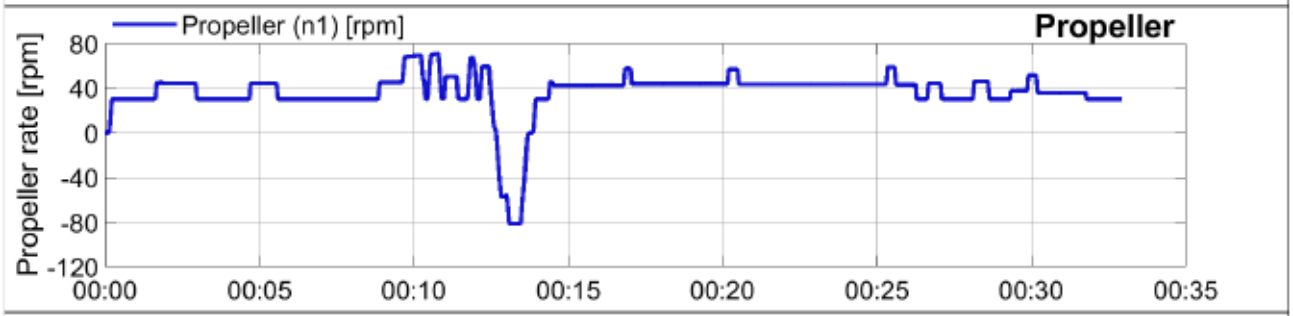
Manoeuvreereigenschappen

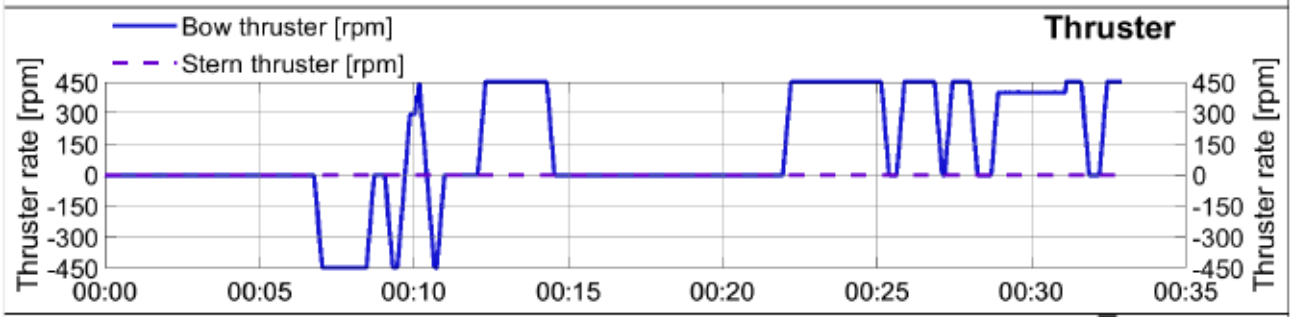
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

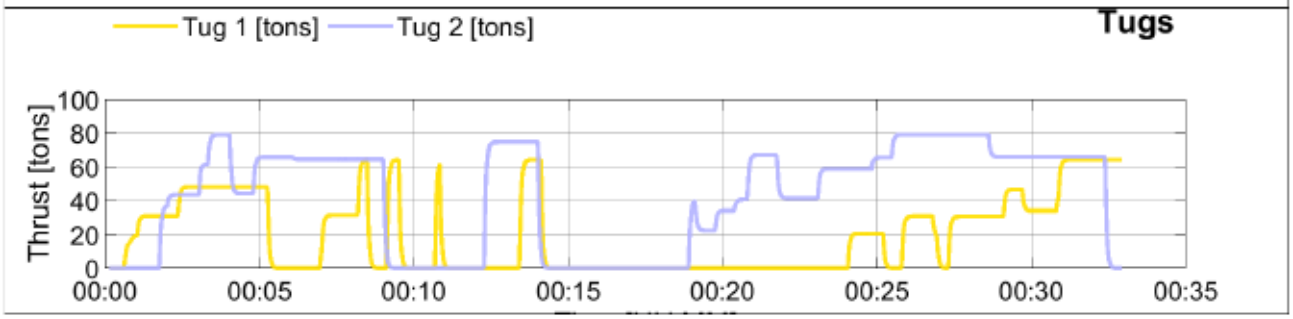
Simulatie: Achterhaven VD 11	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









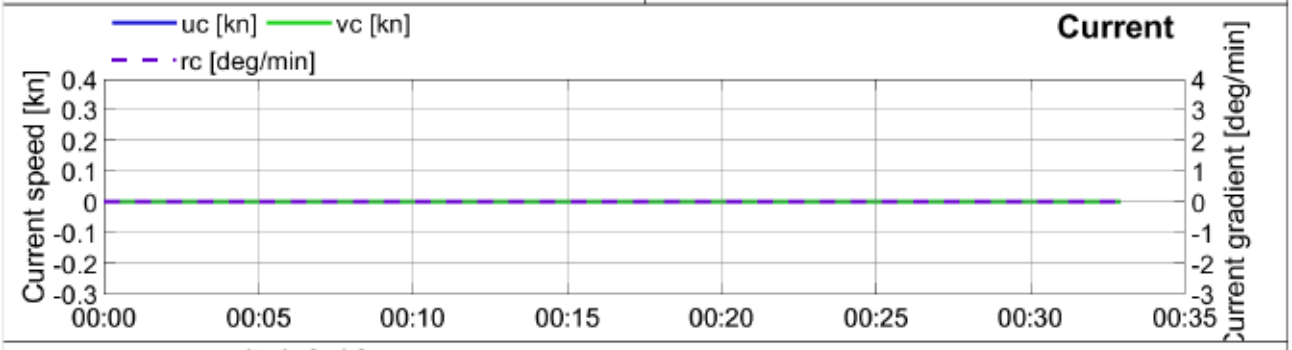


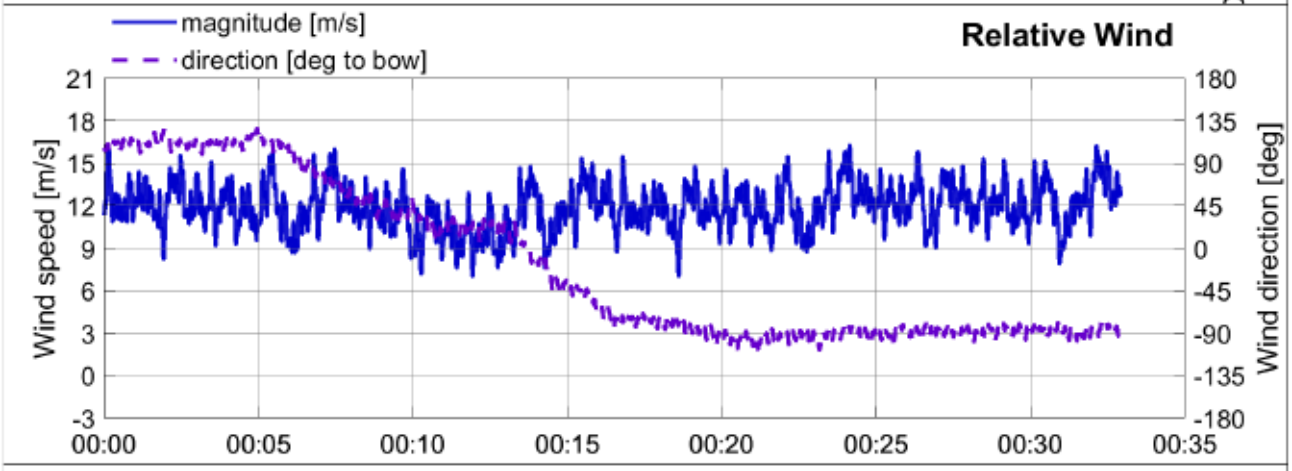
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

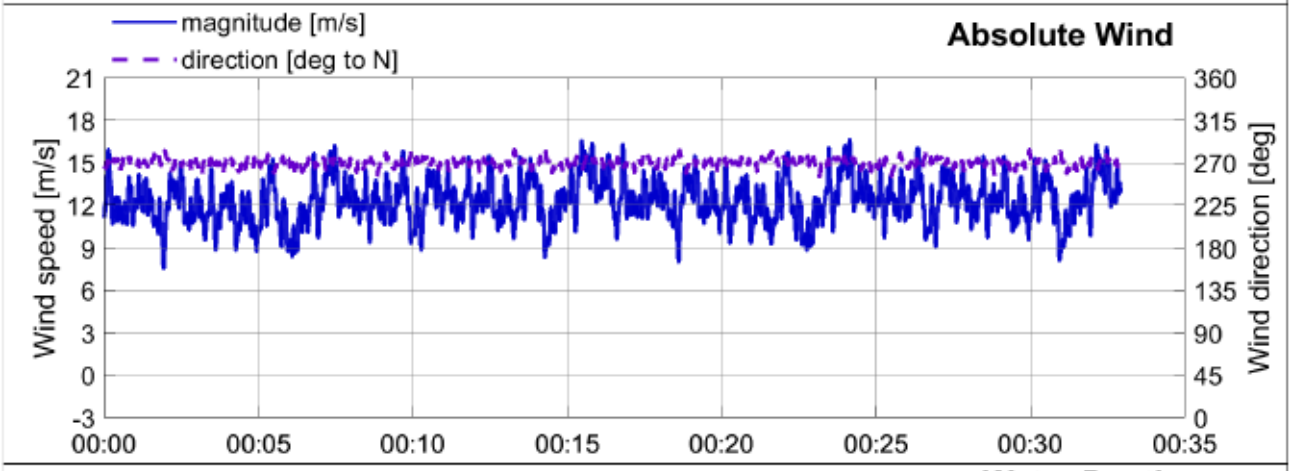
Omgevingscondities

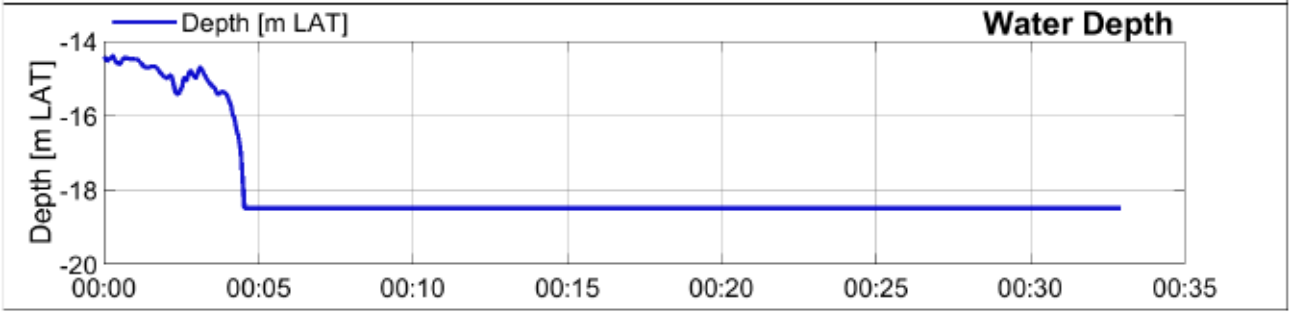
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 11	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







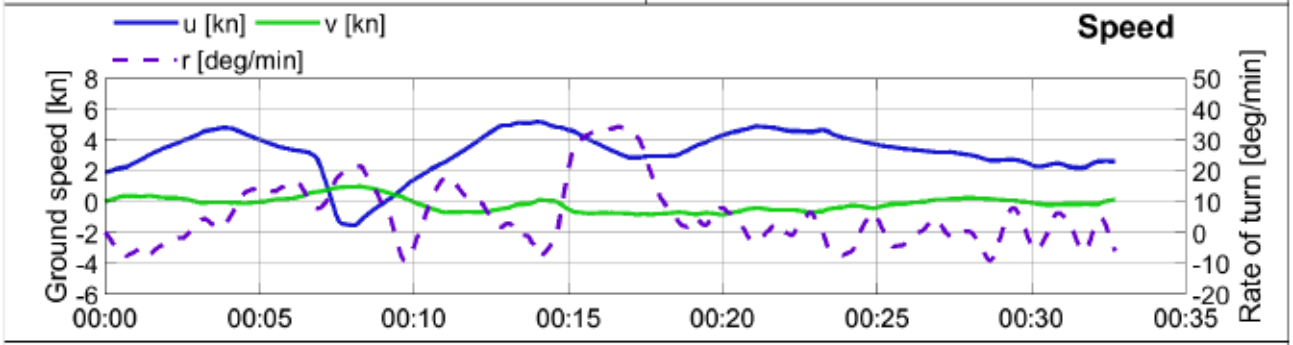


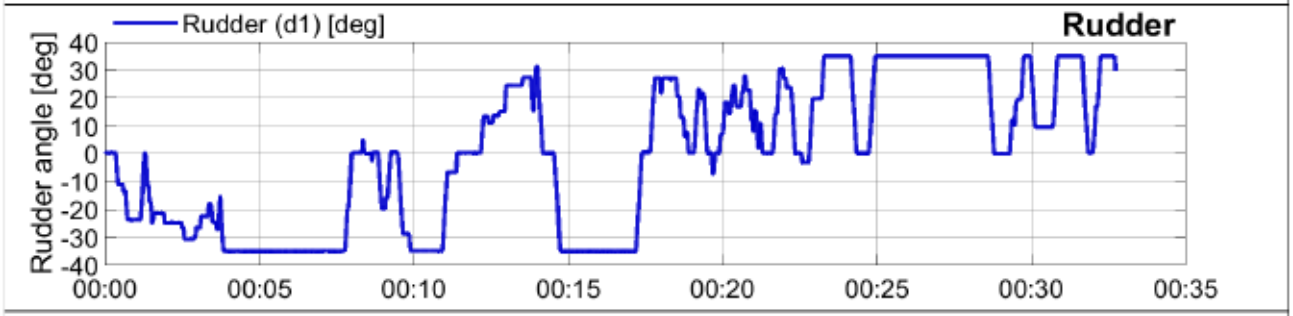
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

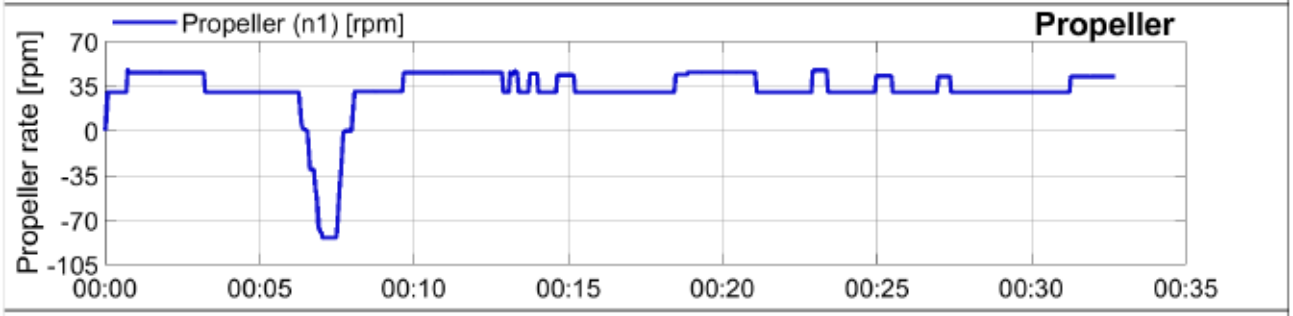
Manoeuvreereigenschappen

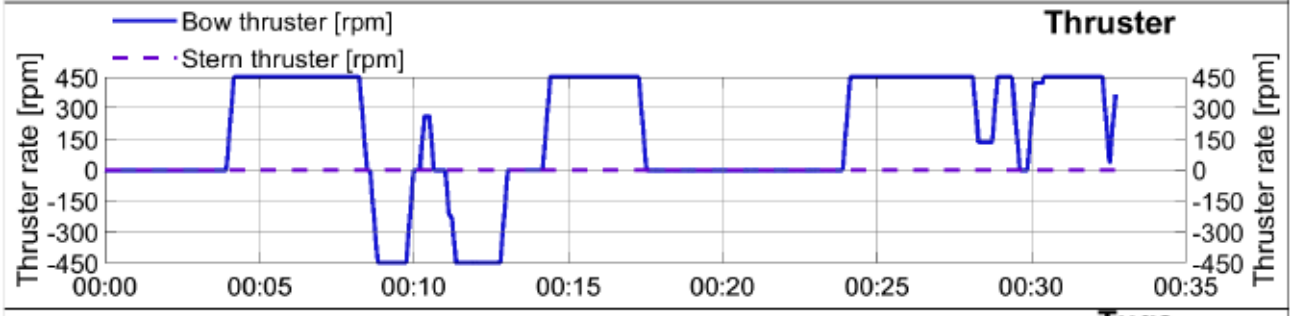
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

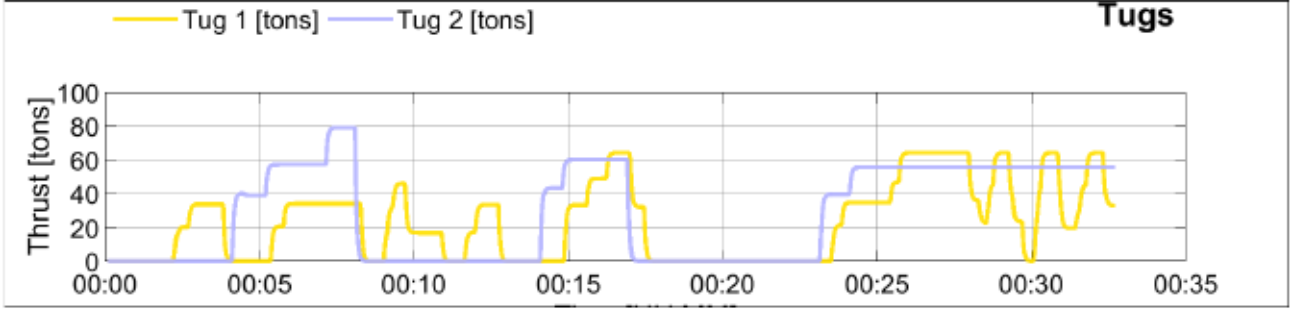
Simulatie: Achterhaven VD 12	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









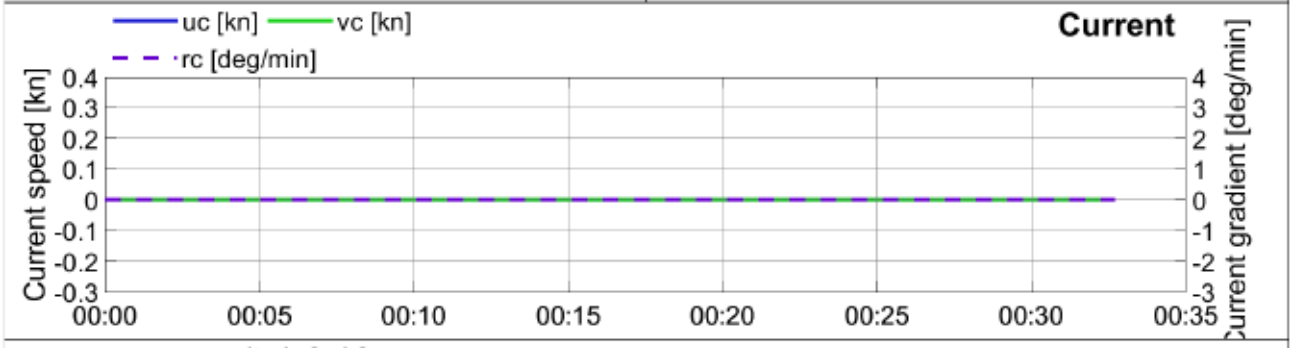


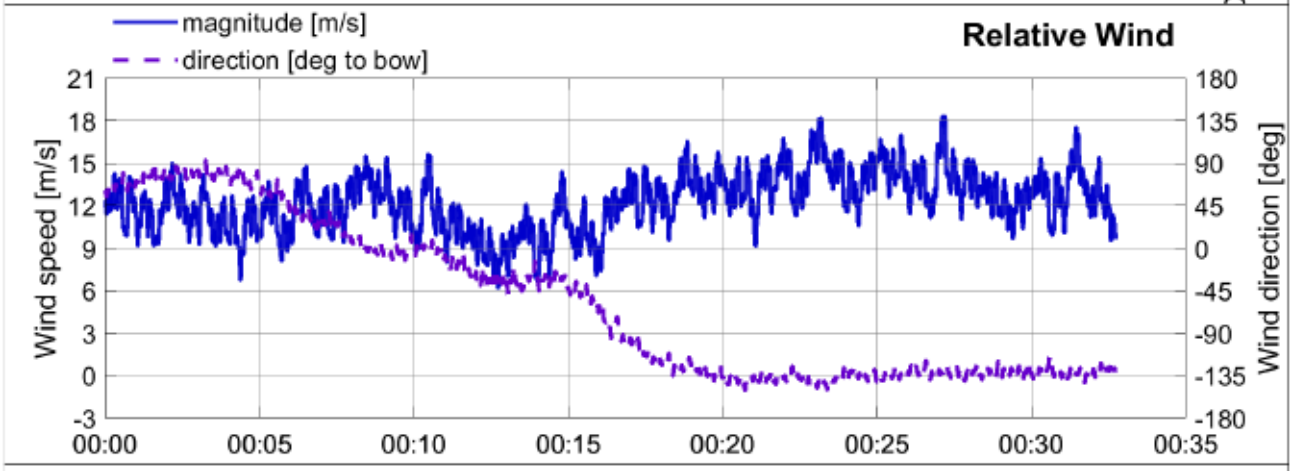
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

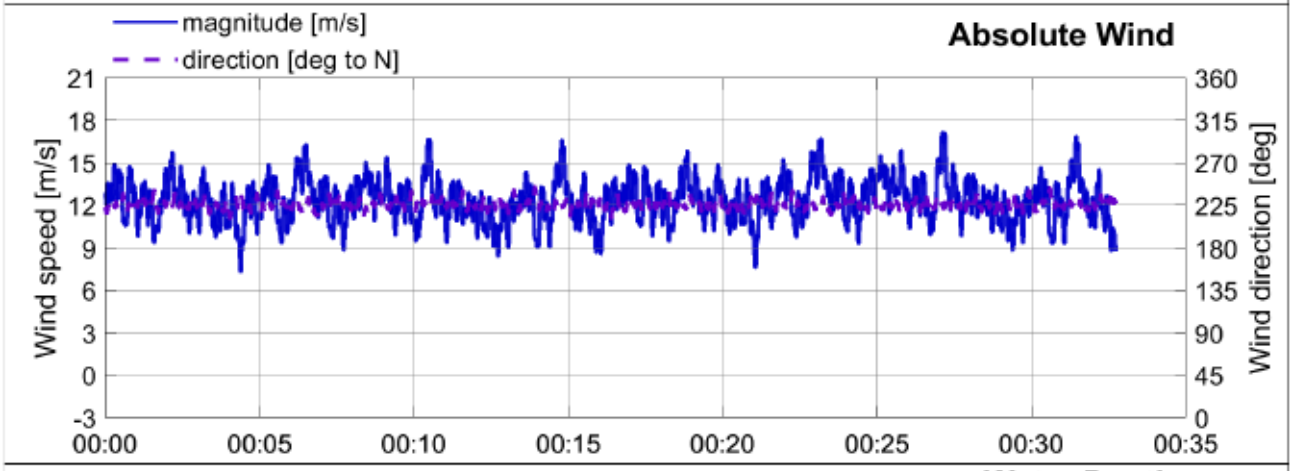
Omgevingscondities

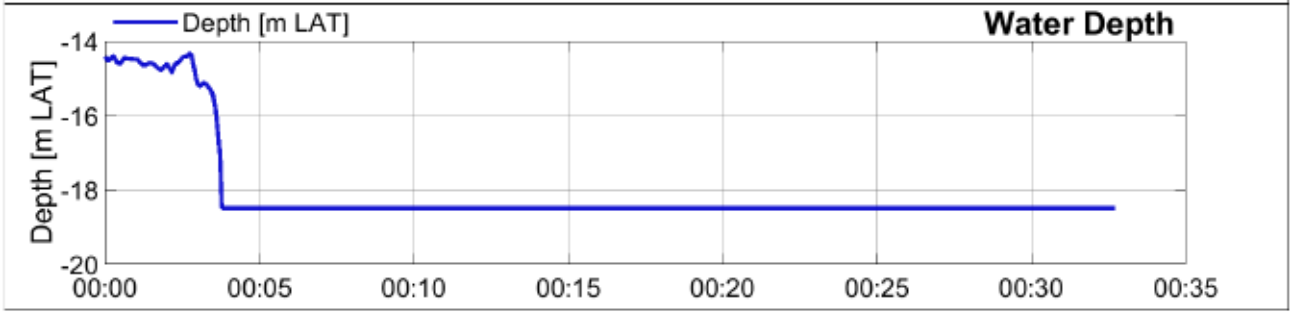
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 12	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







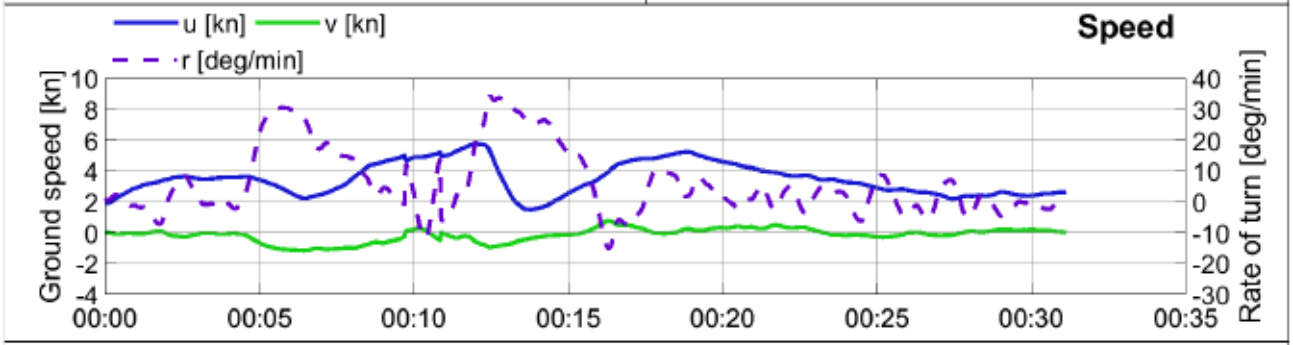


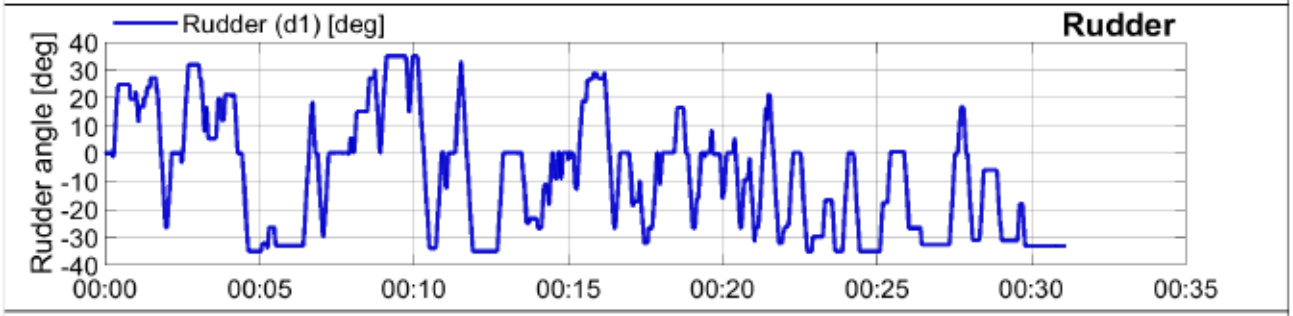
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

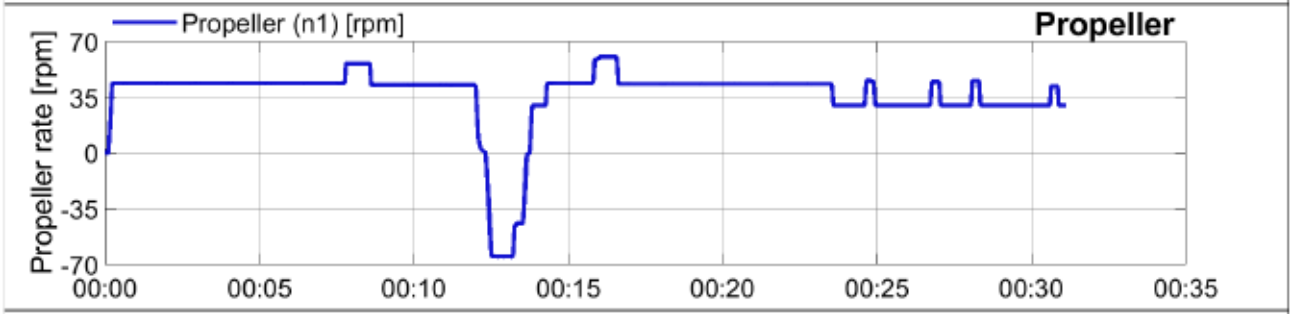
Manoeuvreereigenschappen

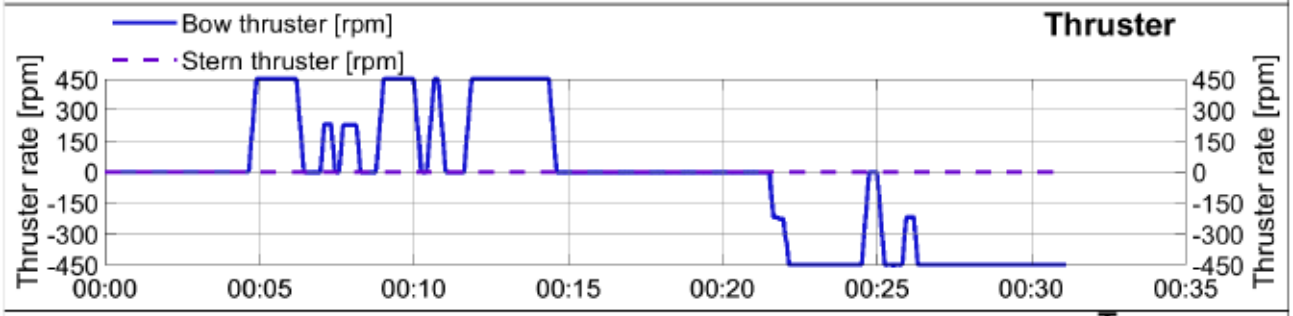
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

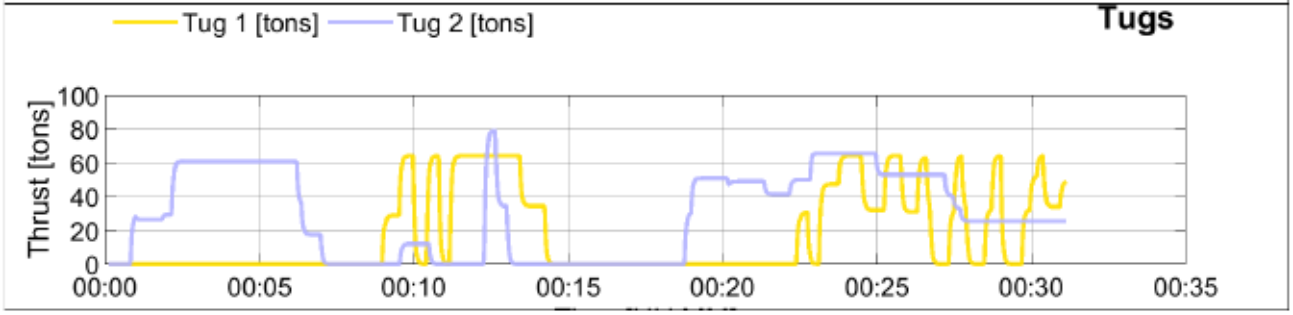
Simulatie: Achterhaven VD 13	Wind: NW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









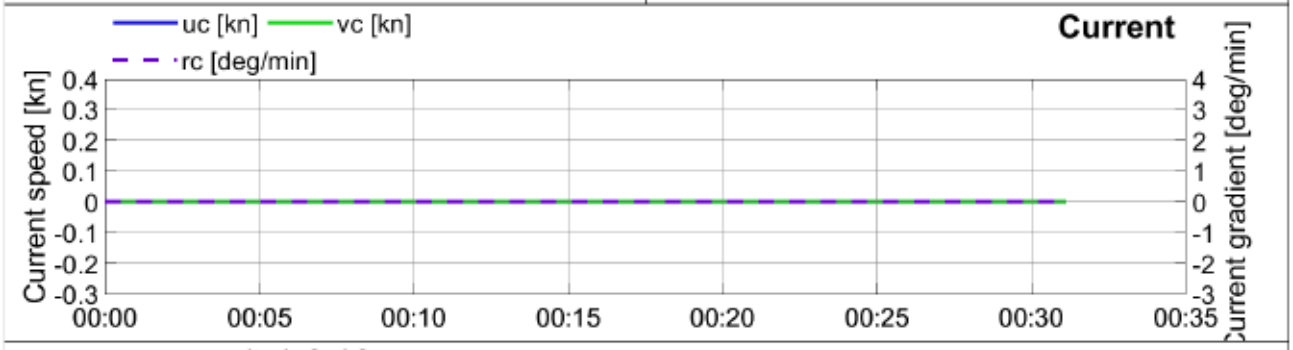


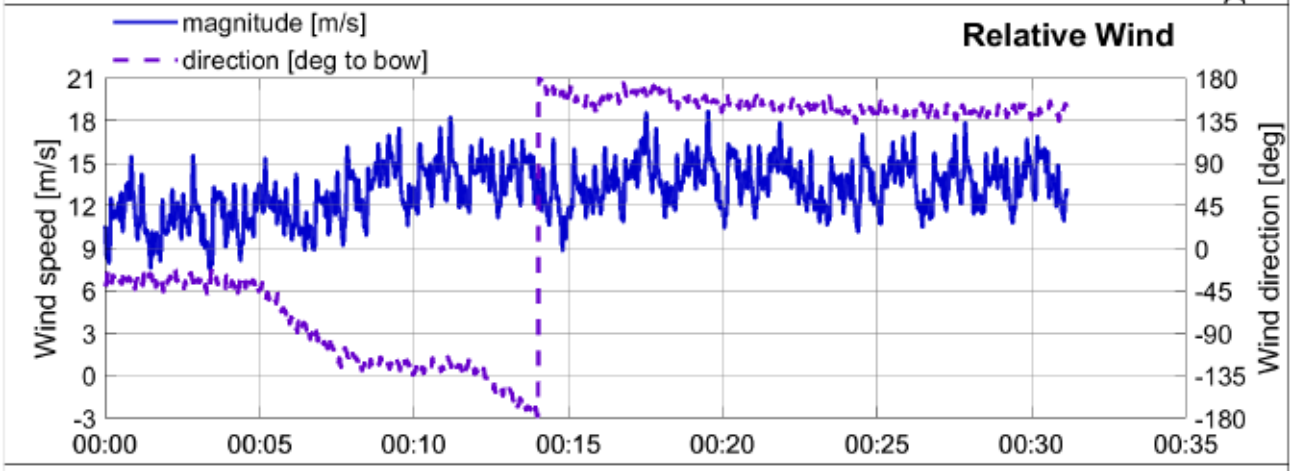
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

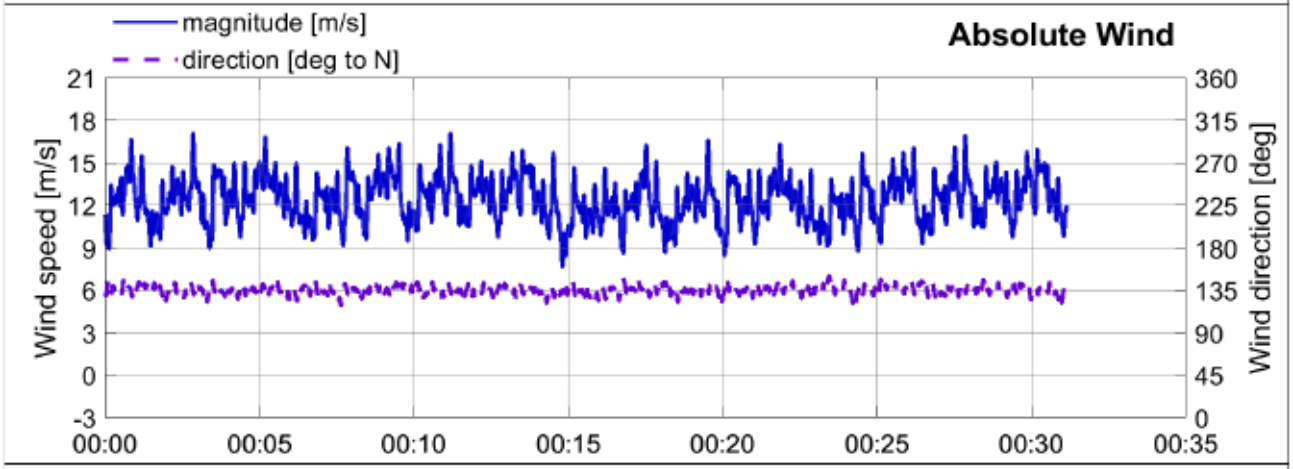
Omgevingscondities

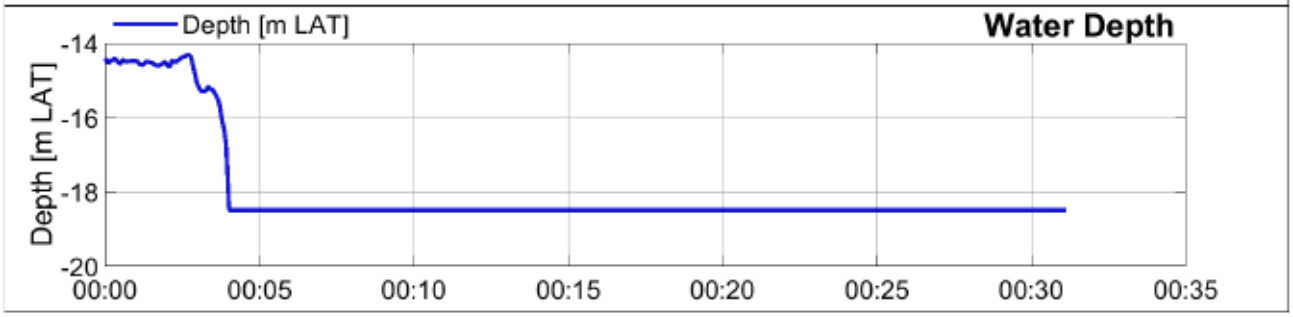
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 13	Wind: NW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







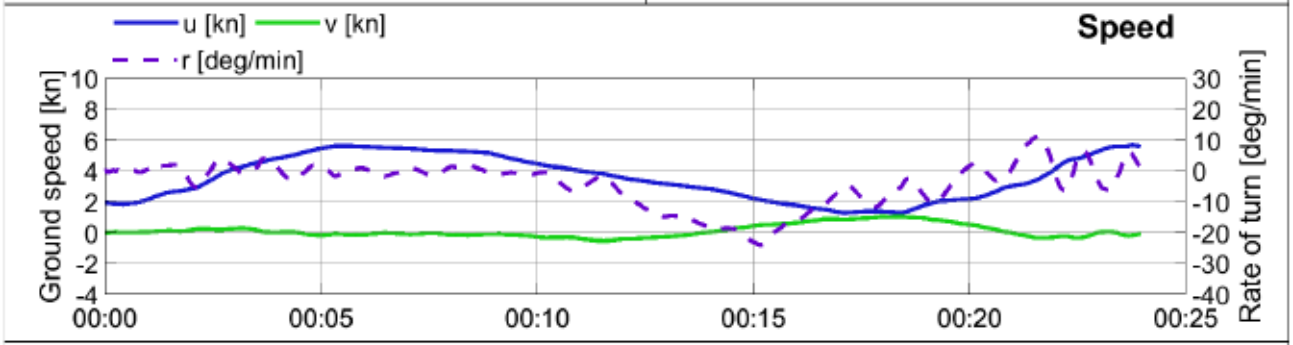


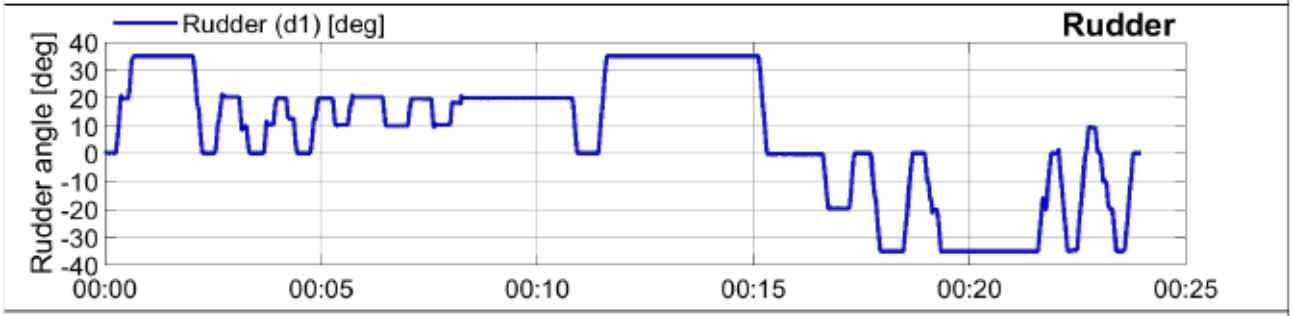
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

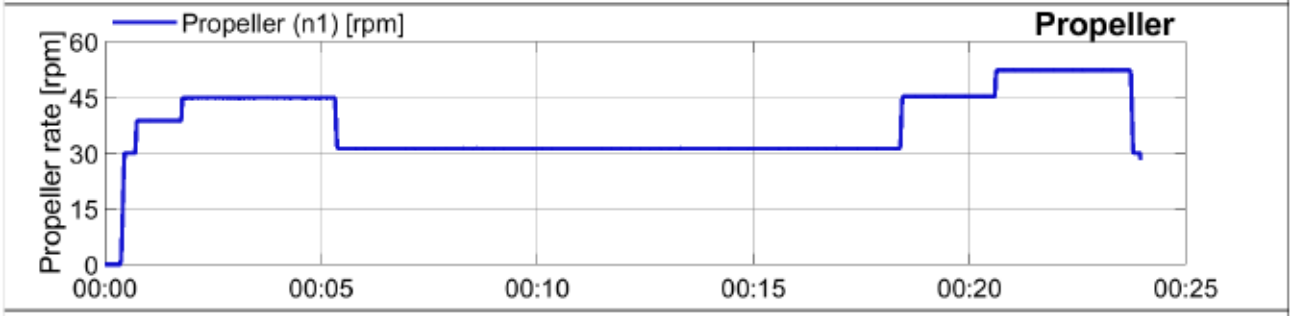
Manoeuvreereigenschappen

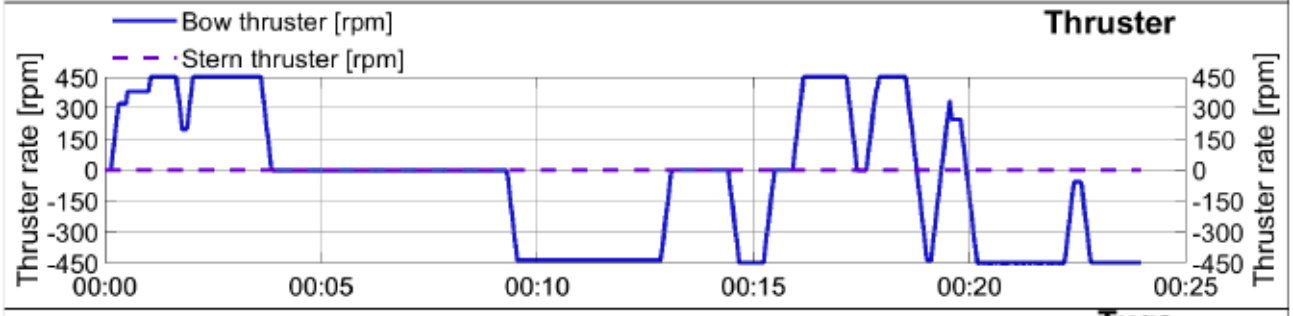
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+80 tons

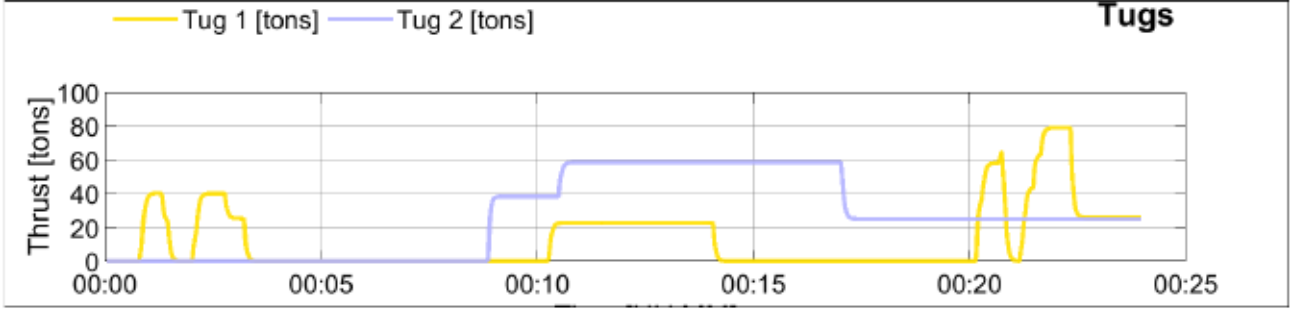
Simulatie: Achterhaven VD 14	Wind: NW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









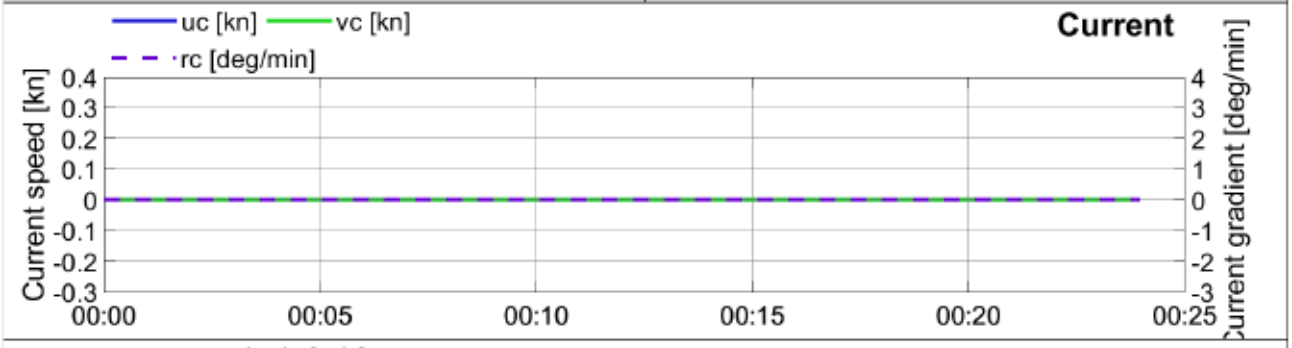


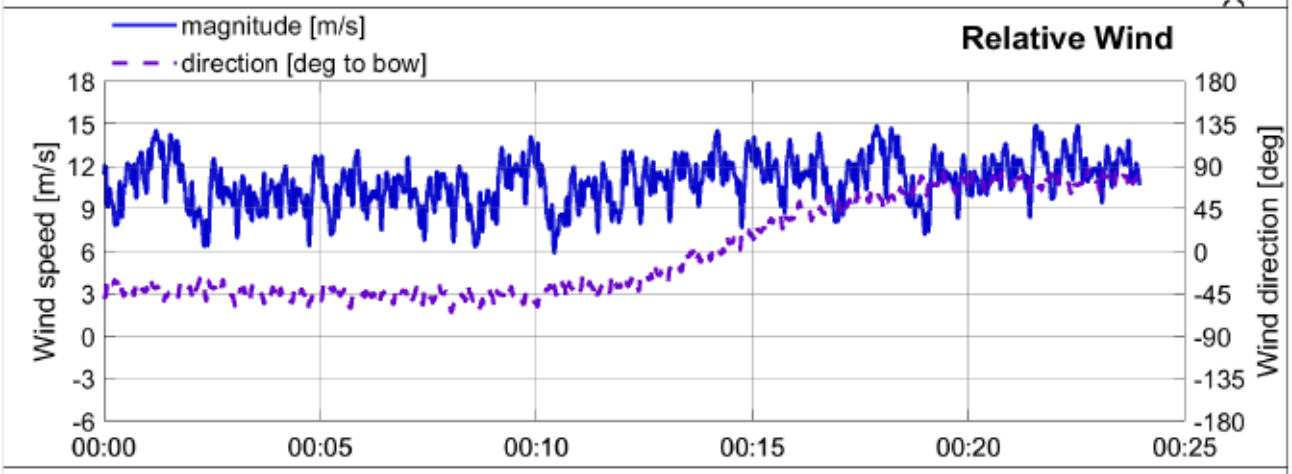
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

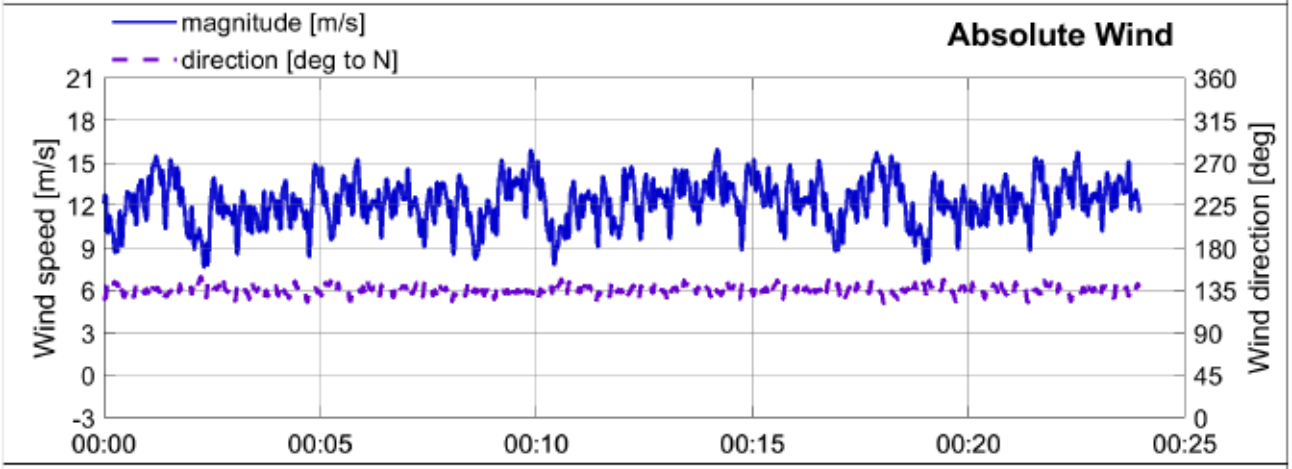
Omgevingscondities

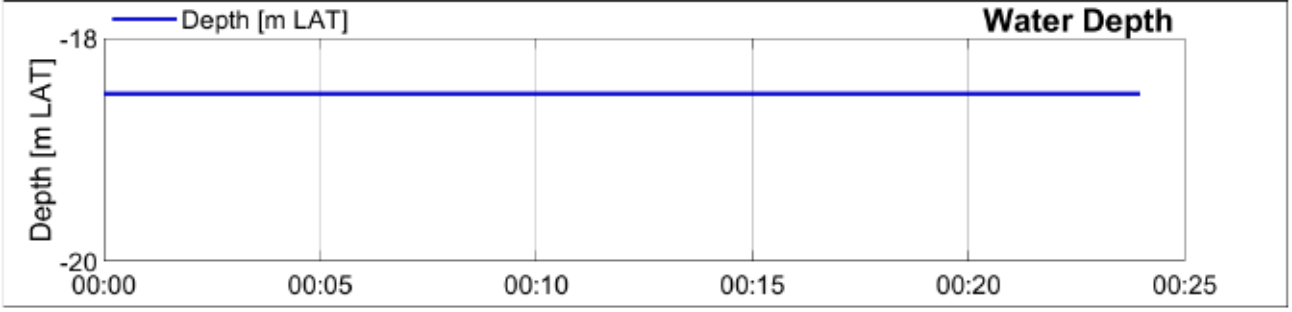
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 14	Wind: NW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







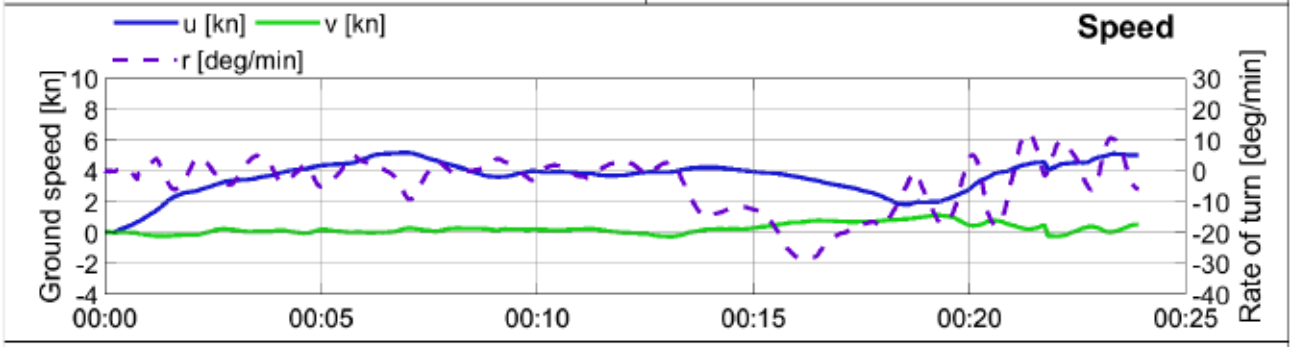


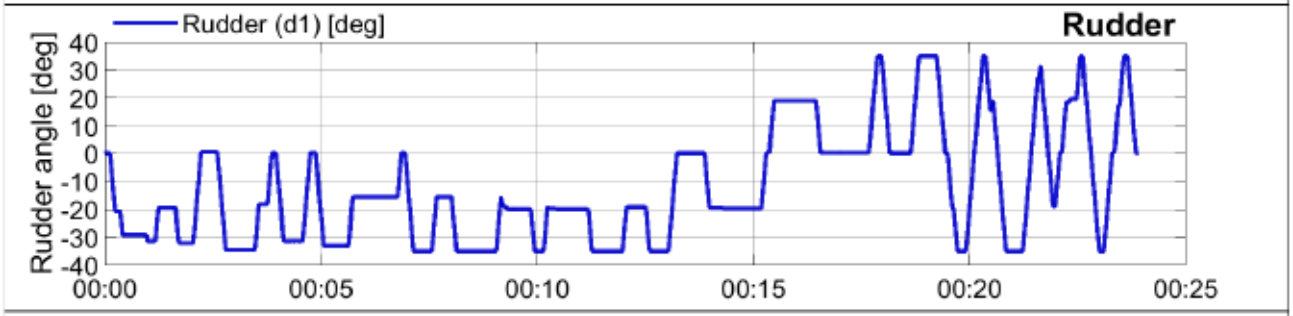
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

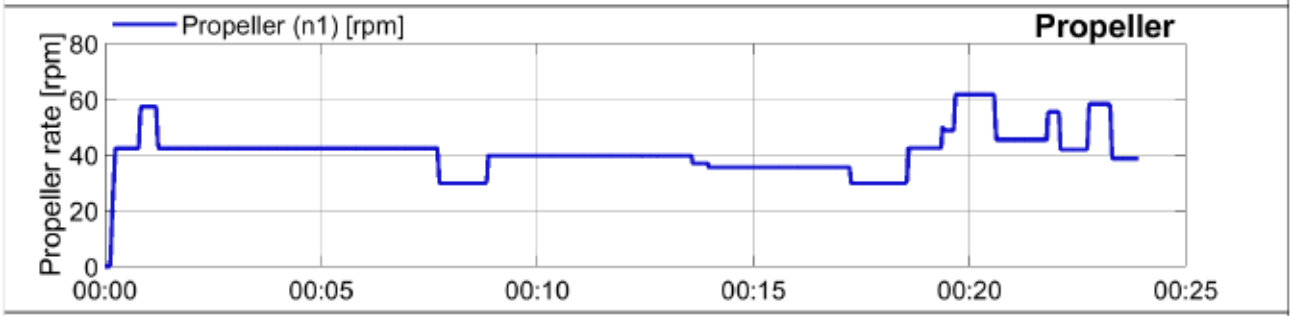
Manoeuvreereigenschappen

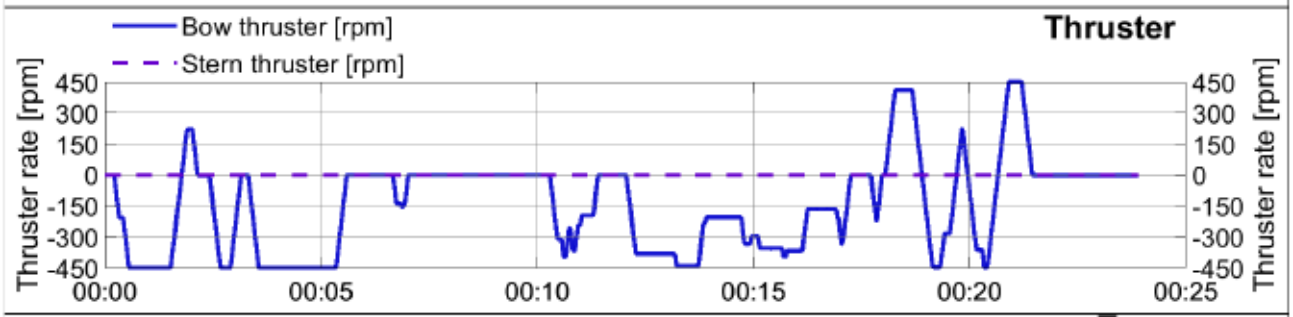
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+80 tons

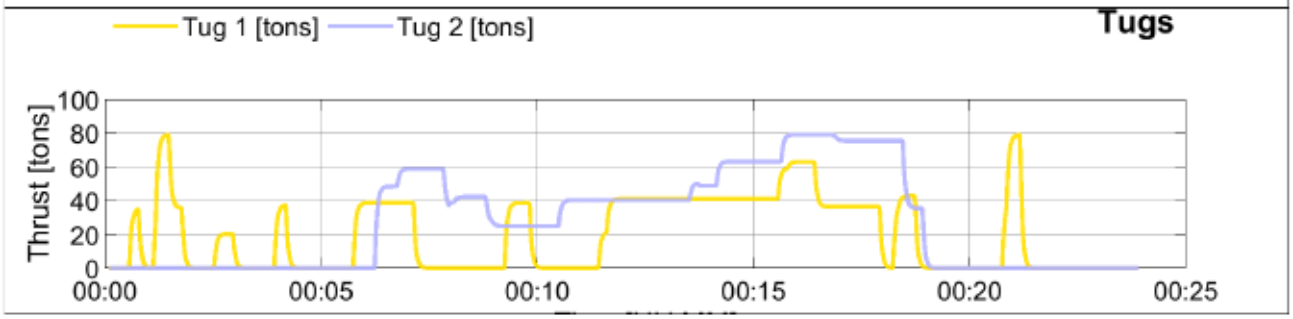
Simulatie: Achterhaven VD 15	Wind: NO6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









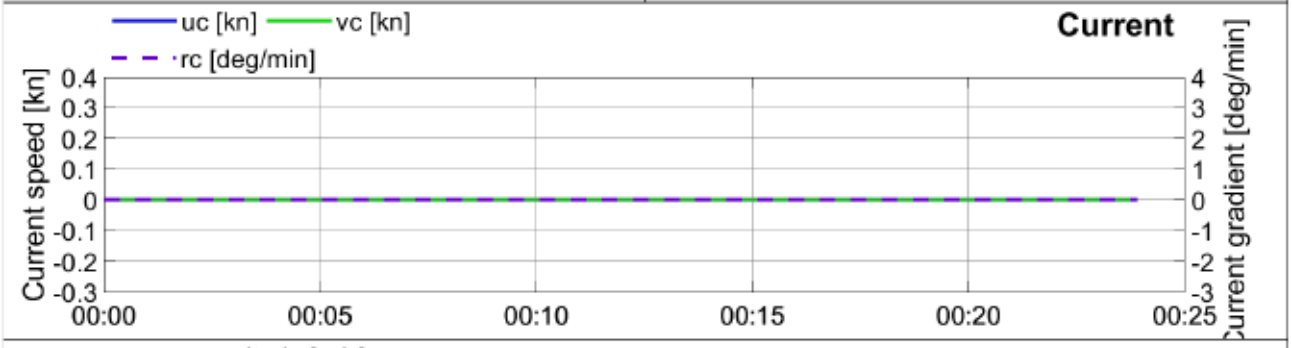


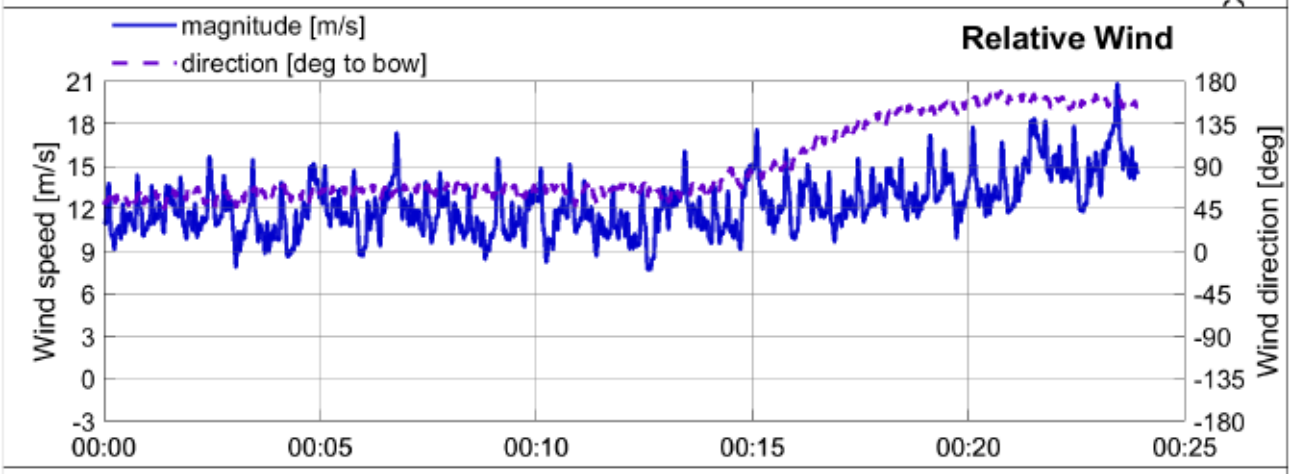
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

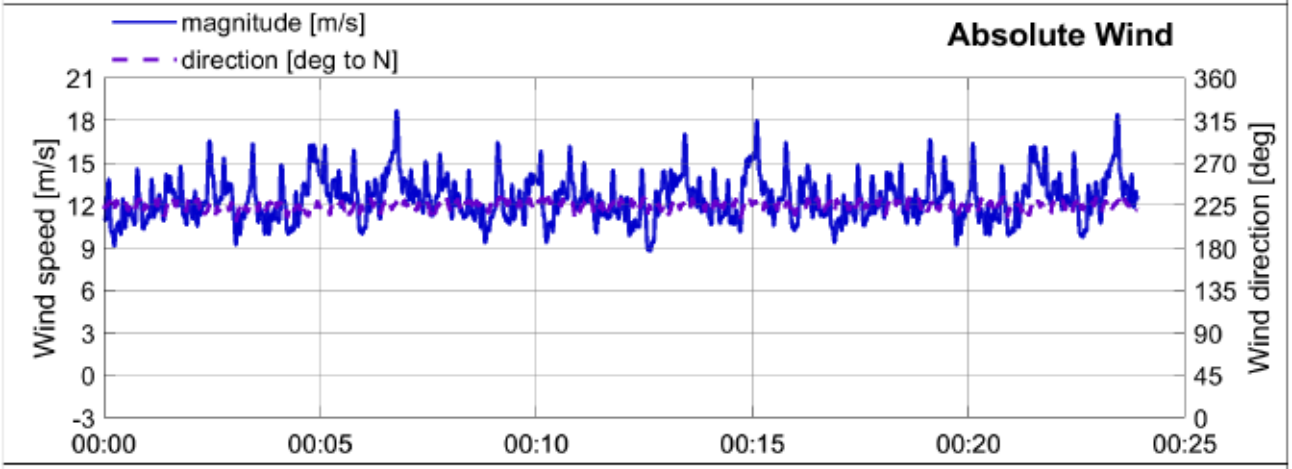
Omgevingscondities

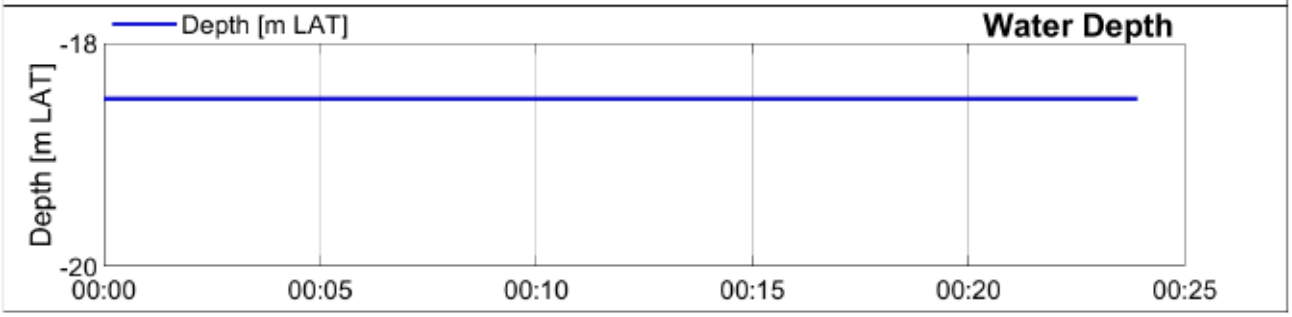
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 15	Wind: NO6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







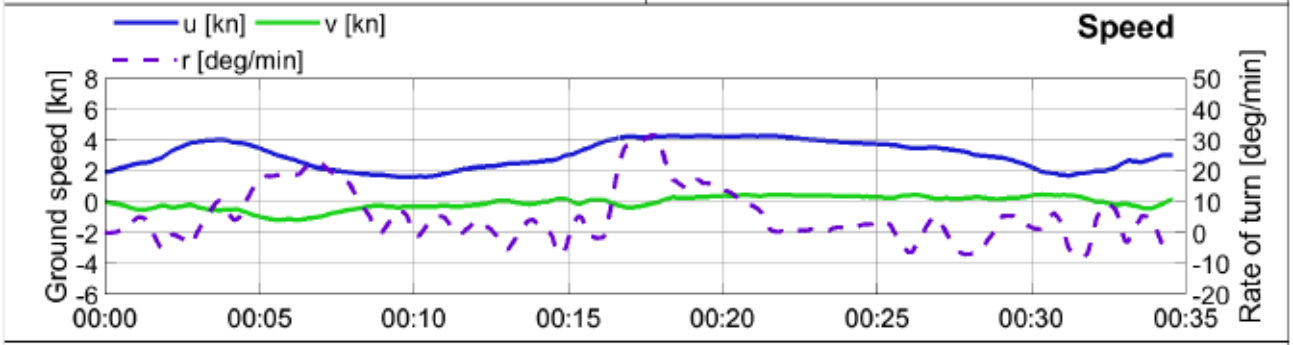


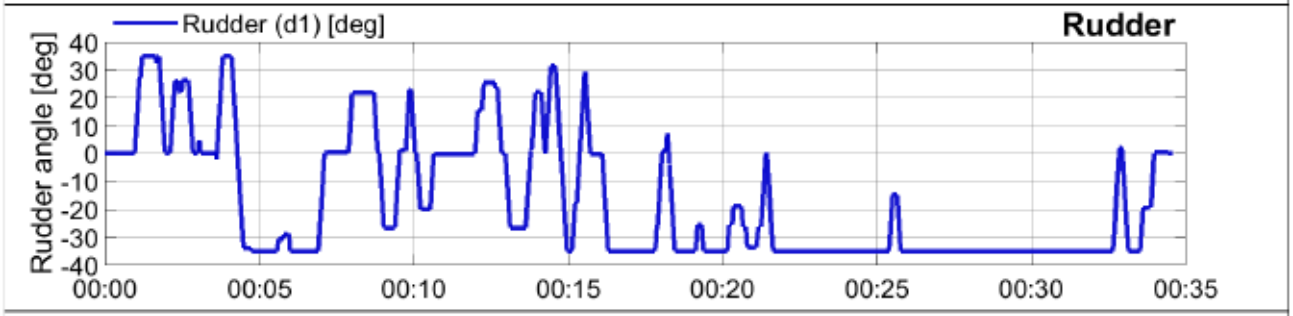
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

Manoeuvreereigenschappen

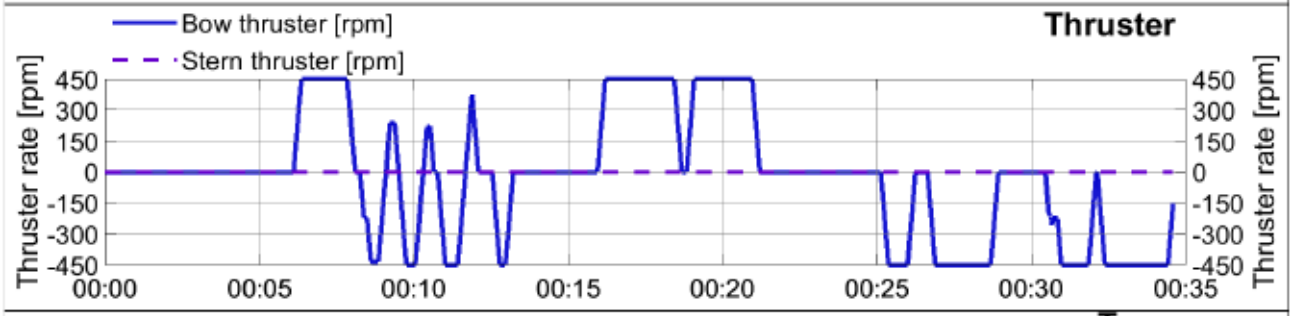
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

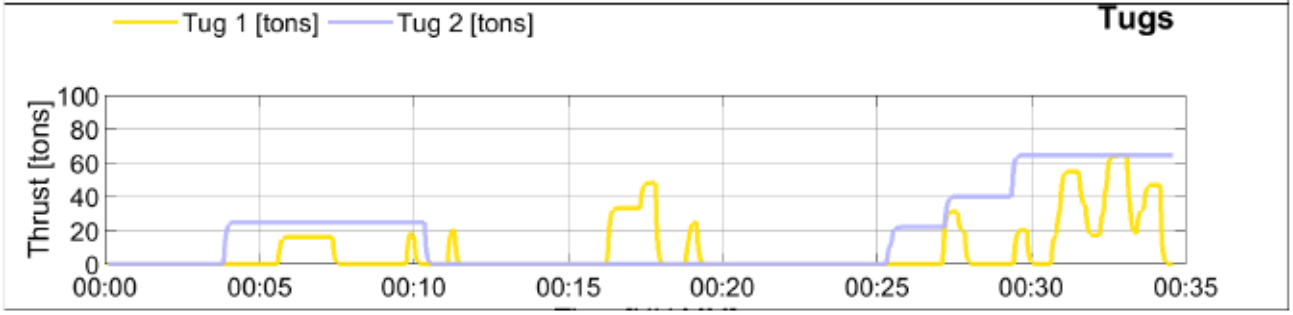
Simulatie: Achterhaven VD 16	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









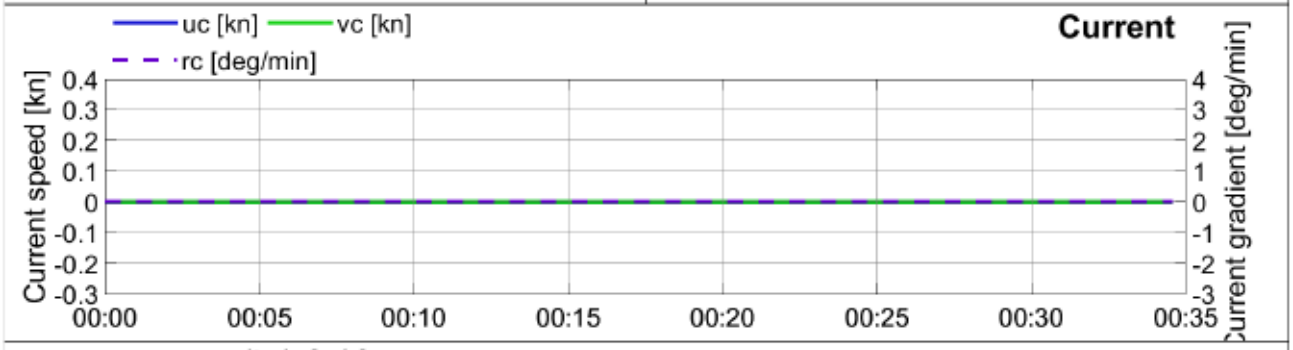


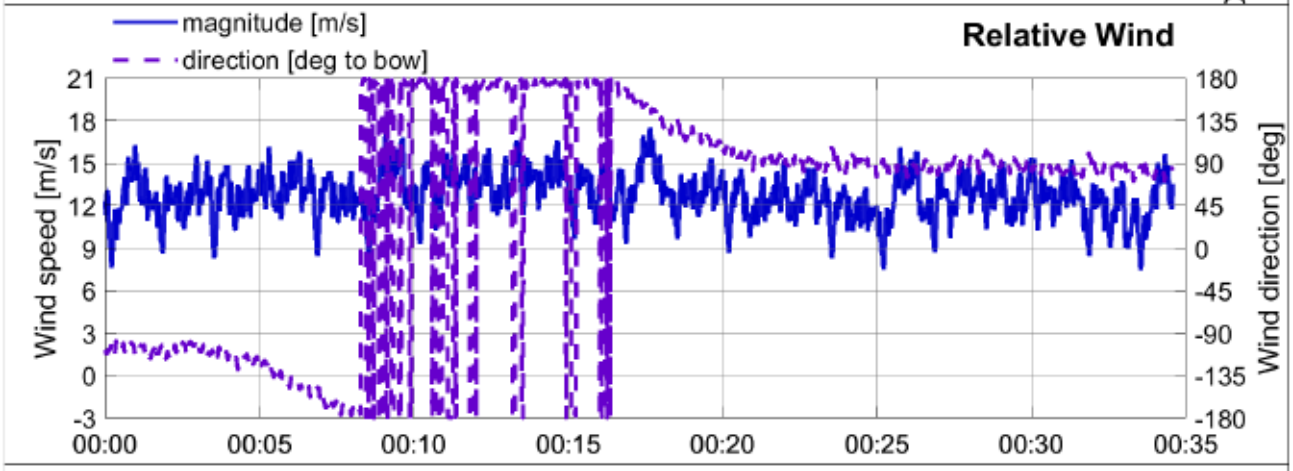
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

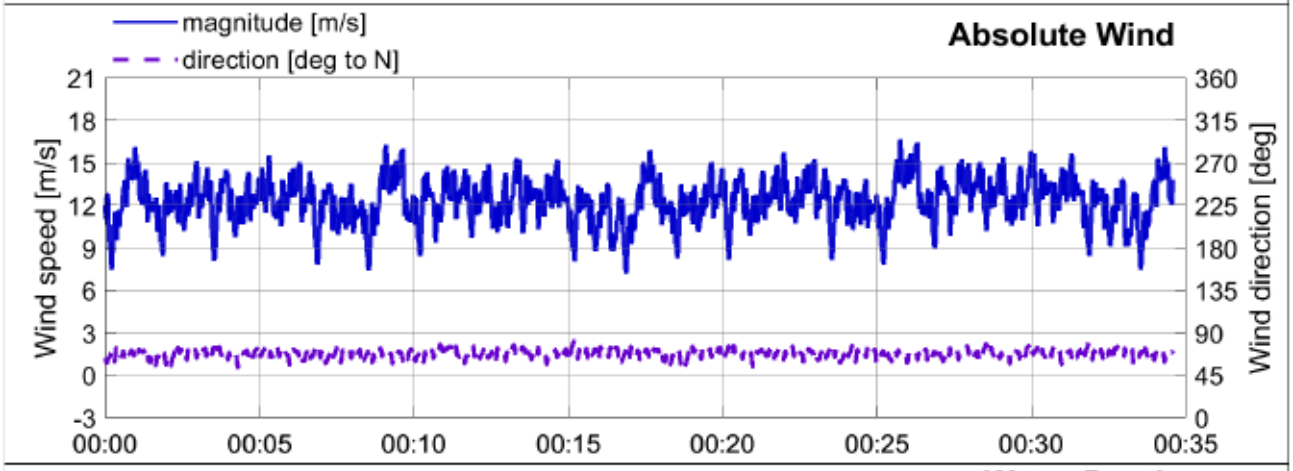
Omgevingscondities

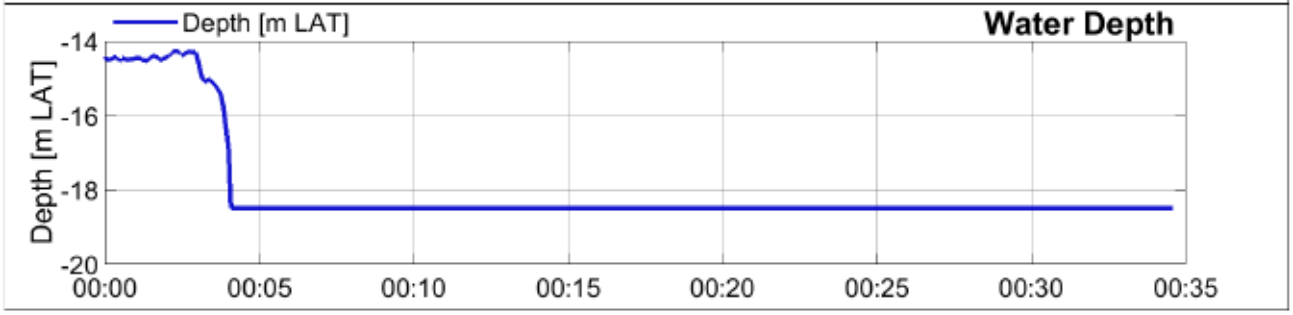
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VD 16	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 19/06/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







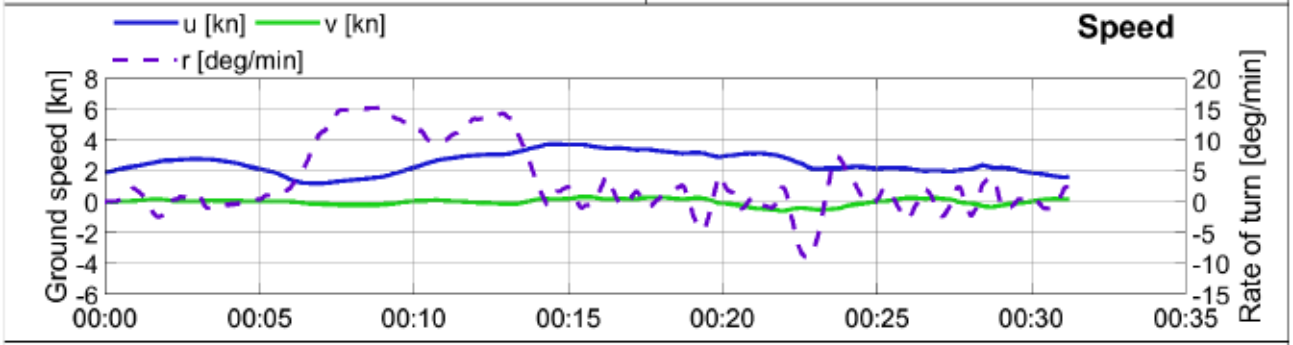


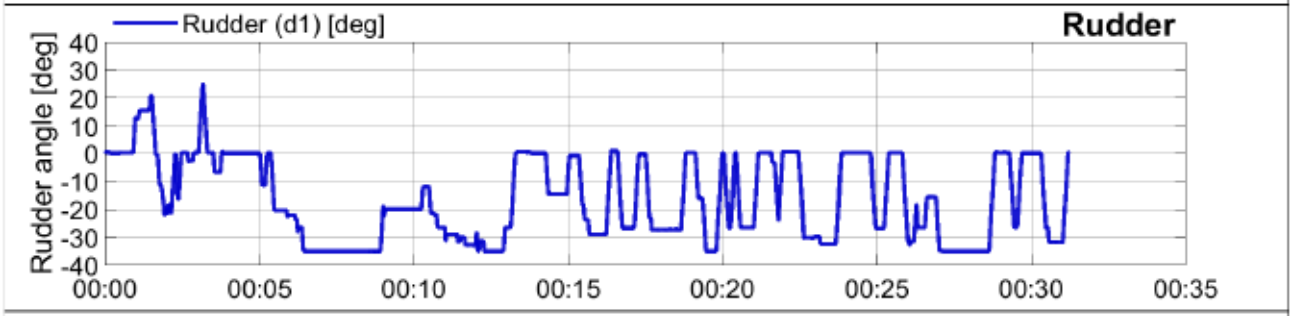
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

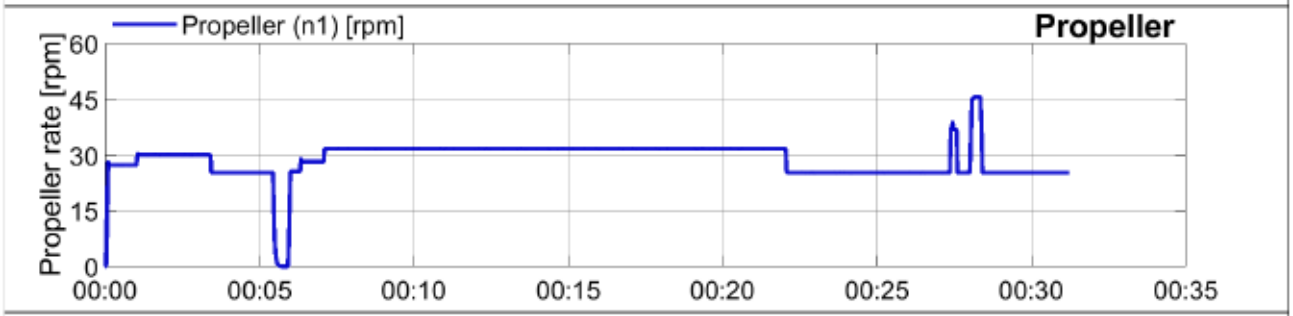
Manoeuvreereigenschappen

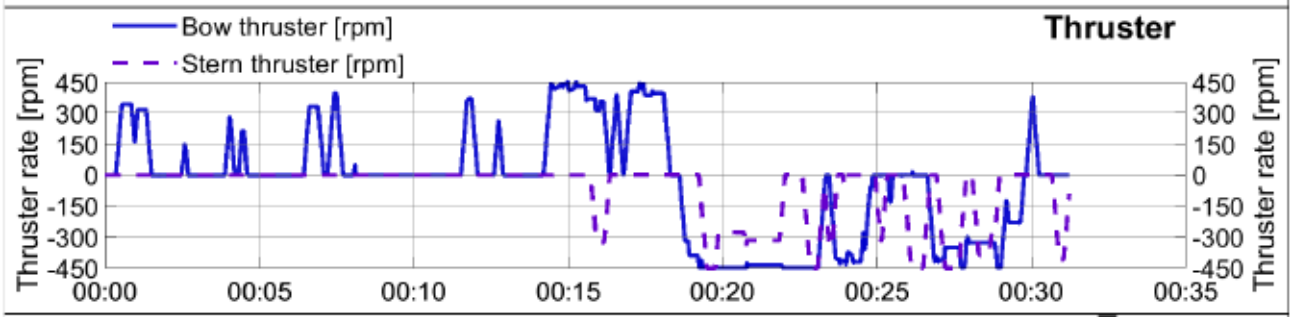
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

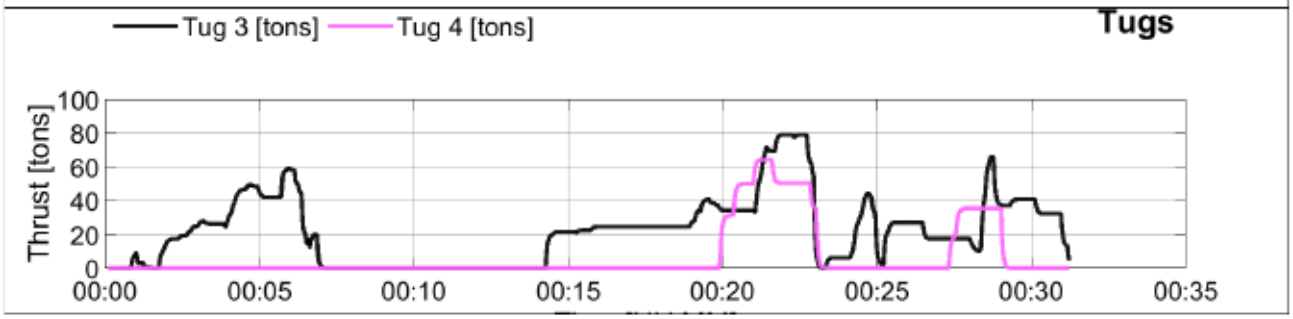
Simulatie: Achterhaven VF 17	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









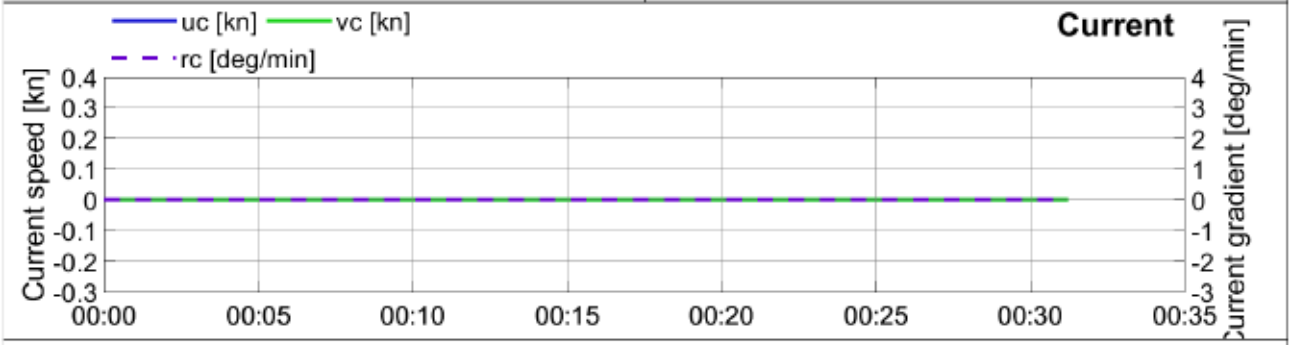


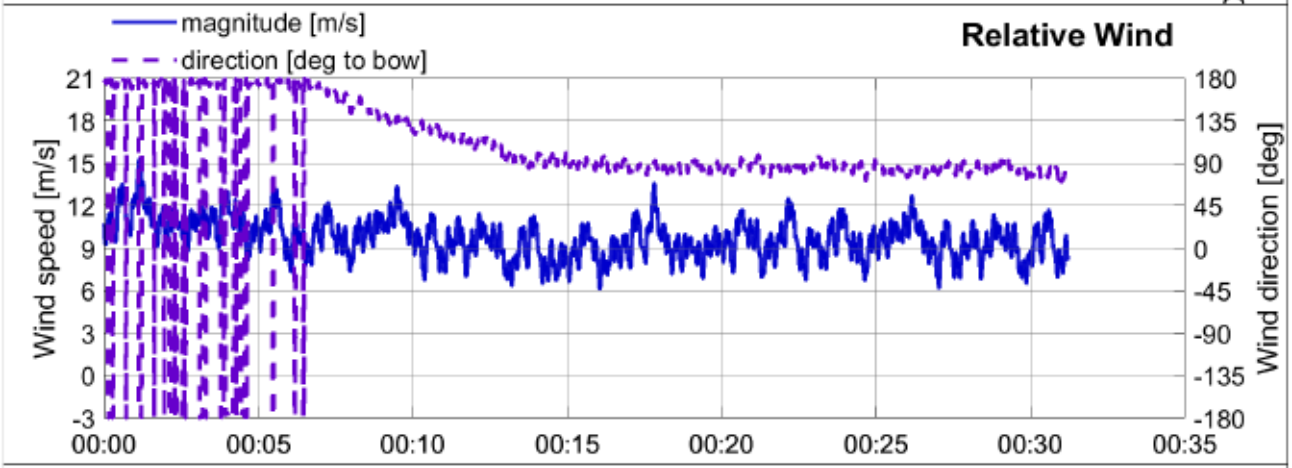
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

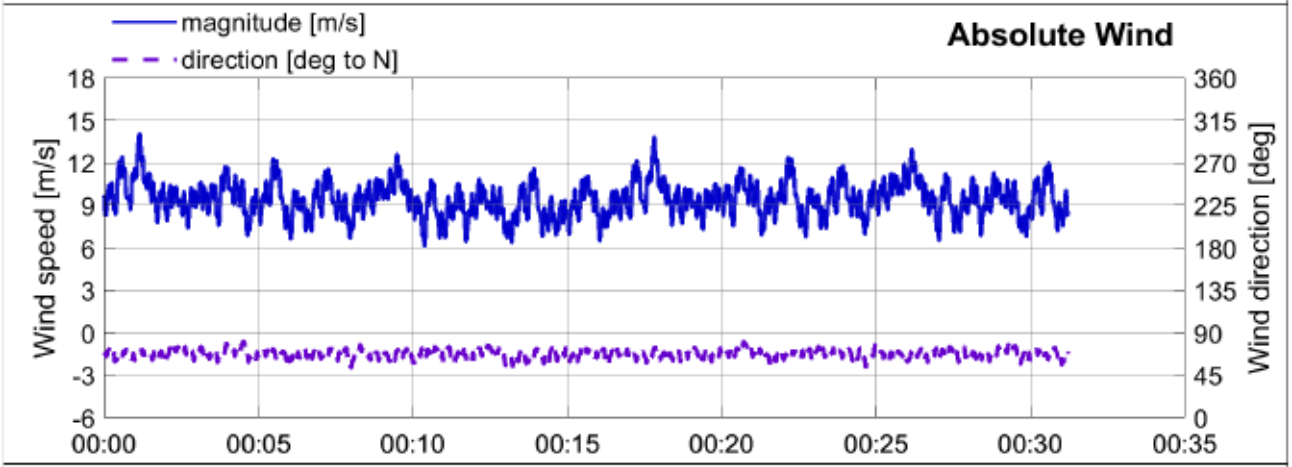
Omgevingscondities

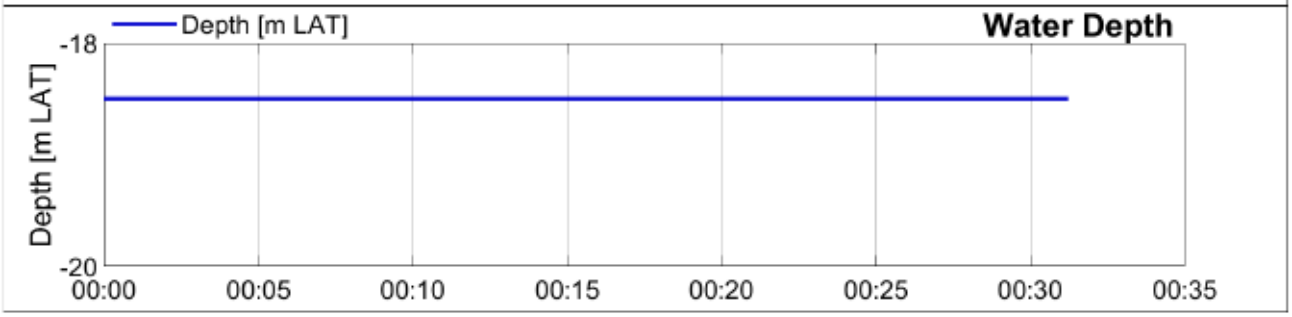
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VF 17	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







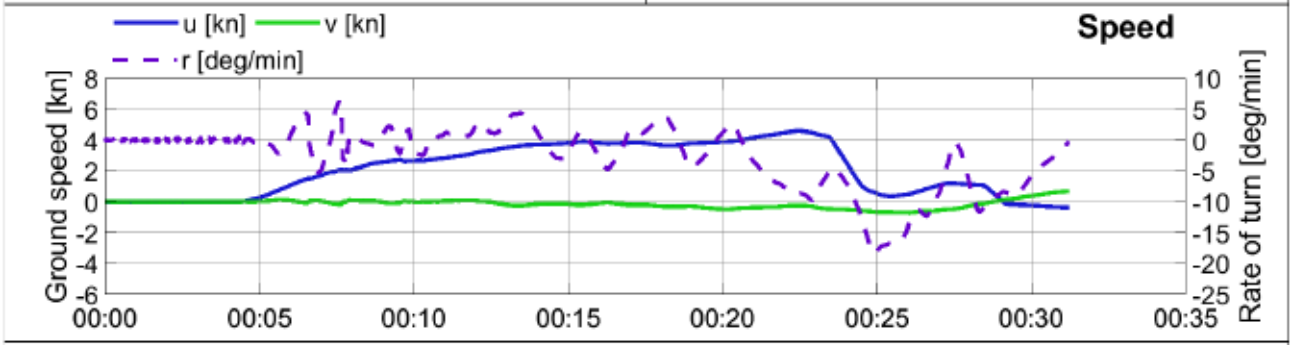


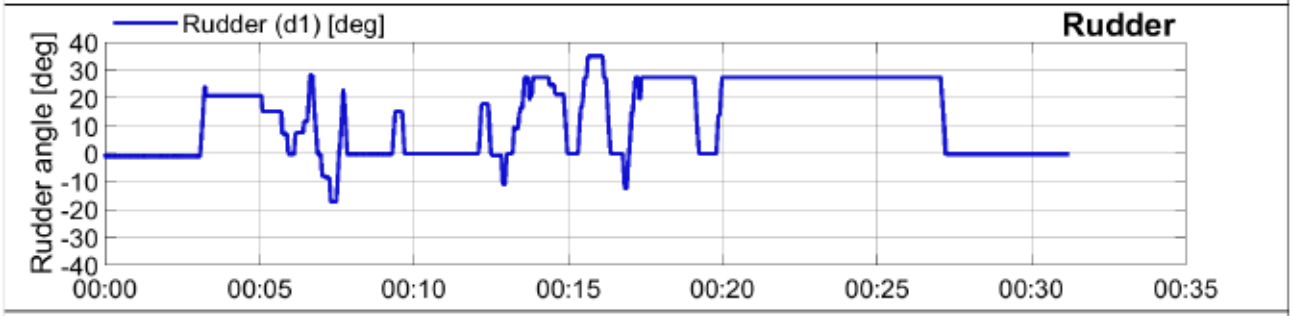
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

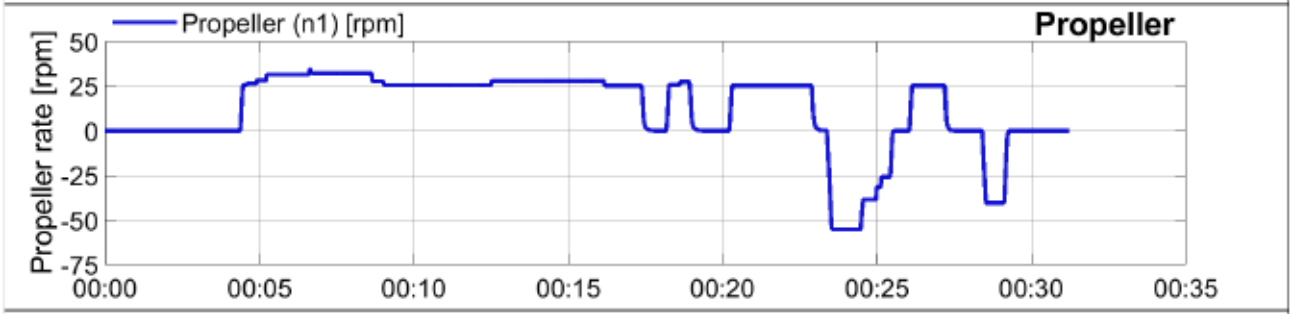
Manoeuvreereigenschappen

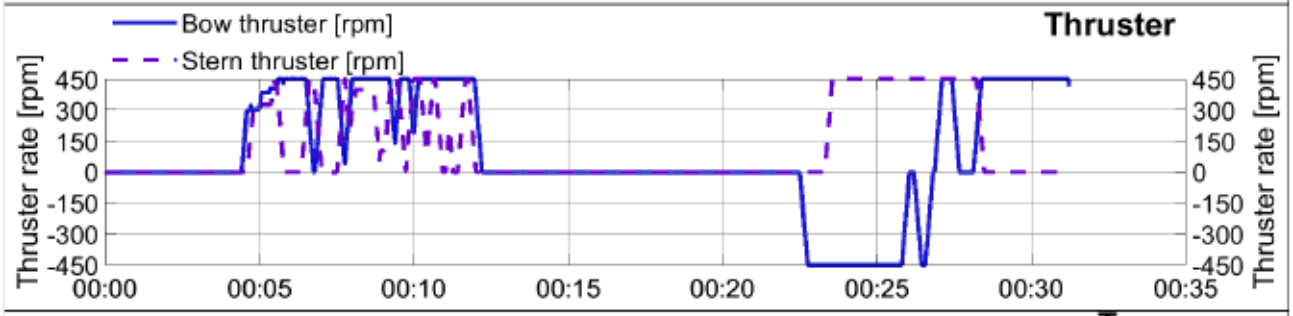
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

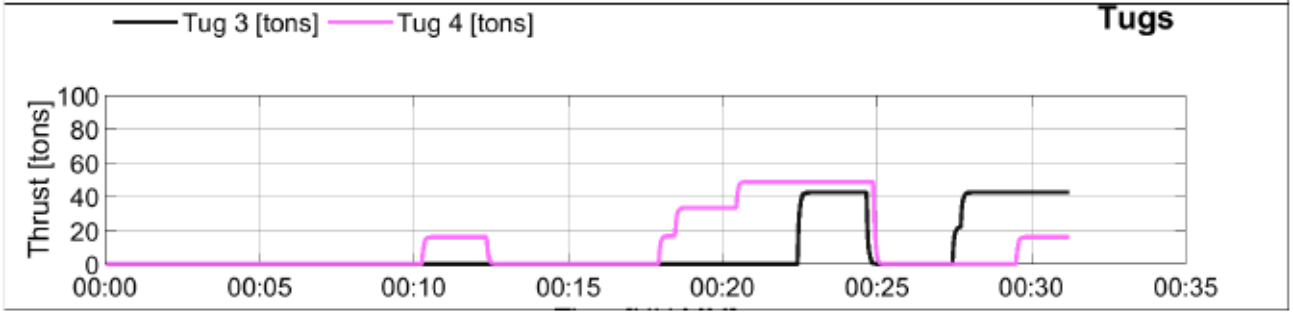
Simulatie: Achterhaven VF 17	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









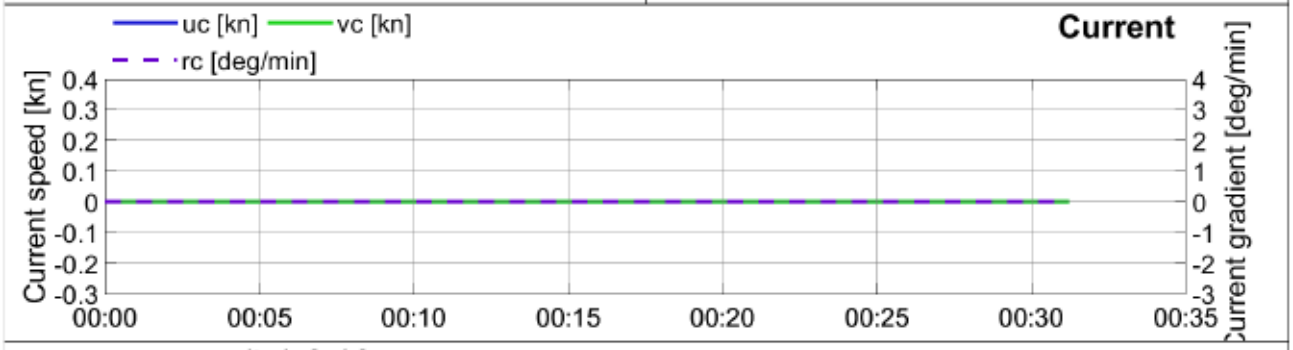


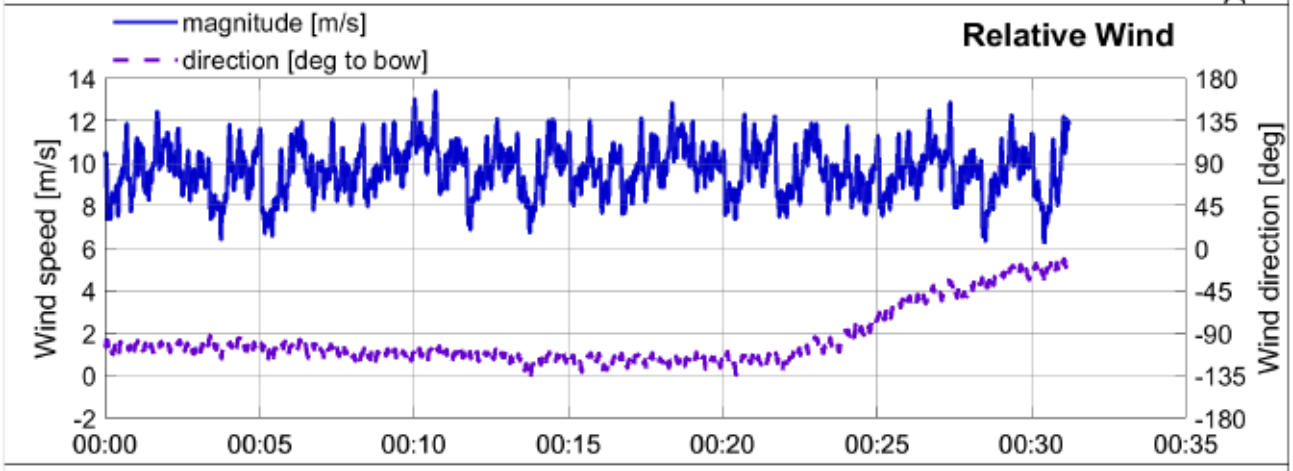
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

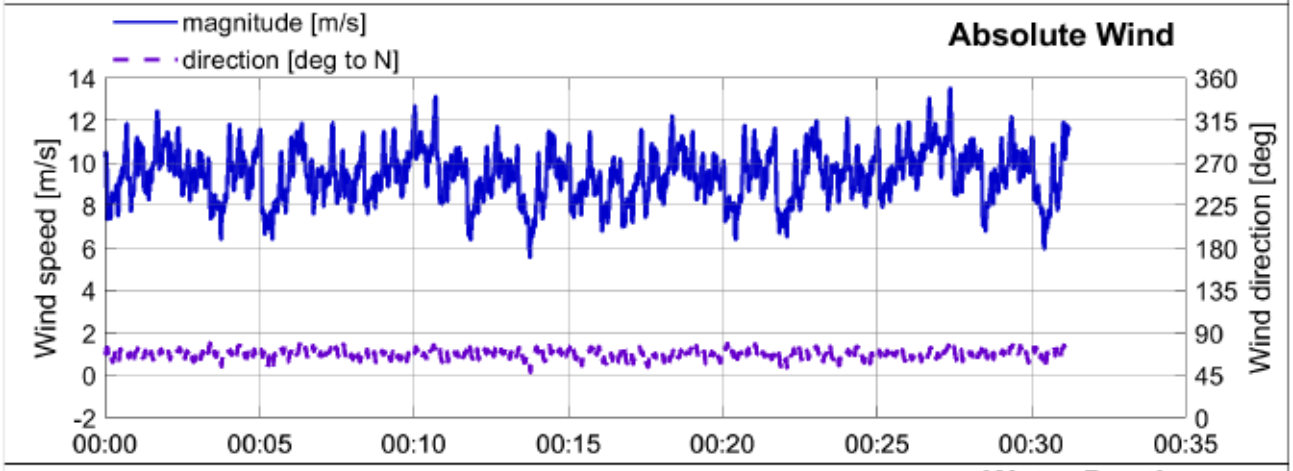
Omgevingscondities

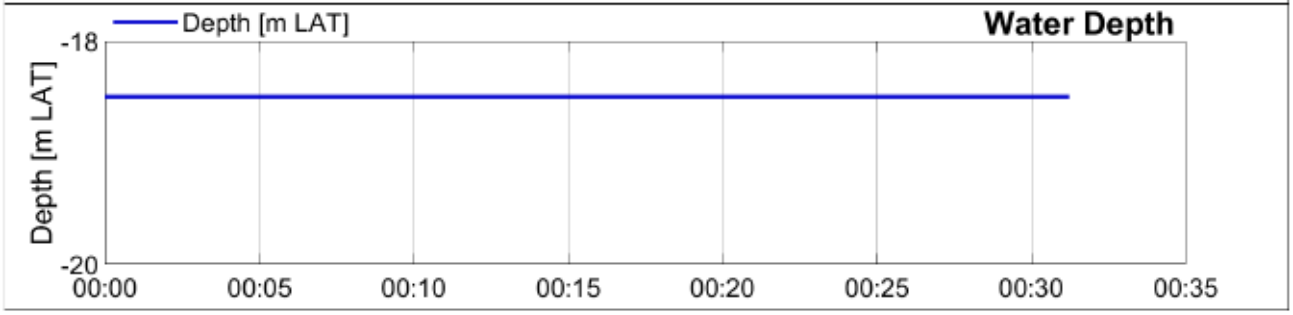
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VF 17	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







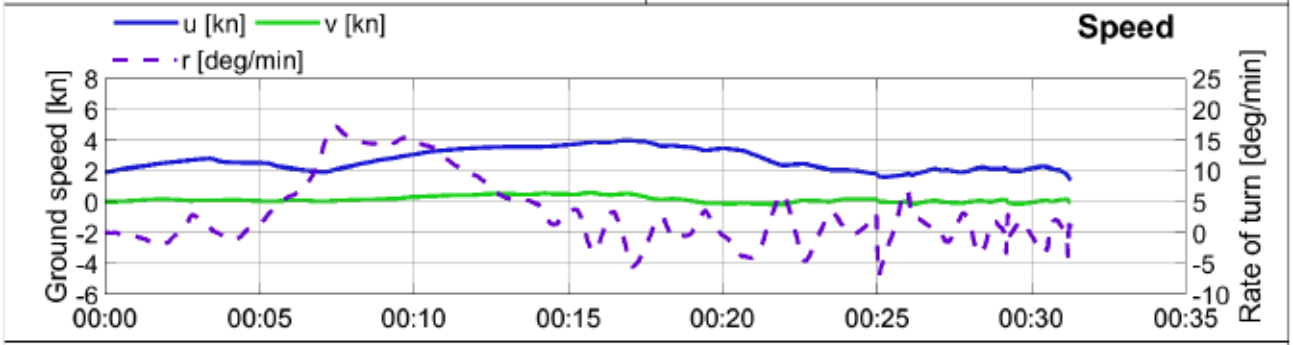


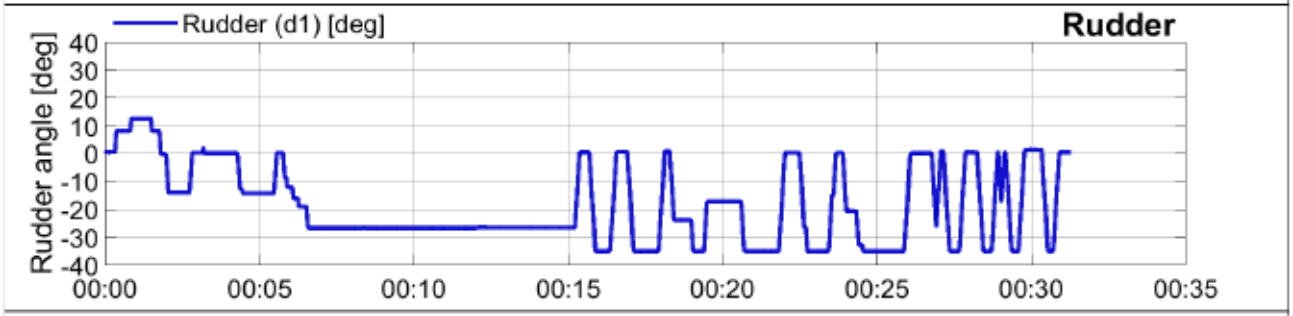
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

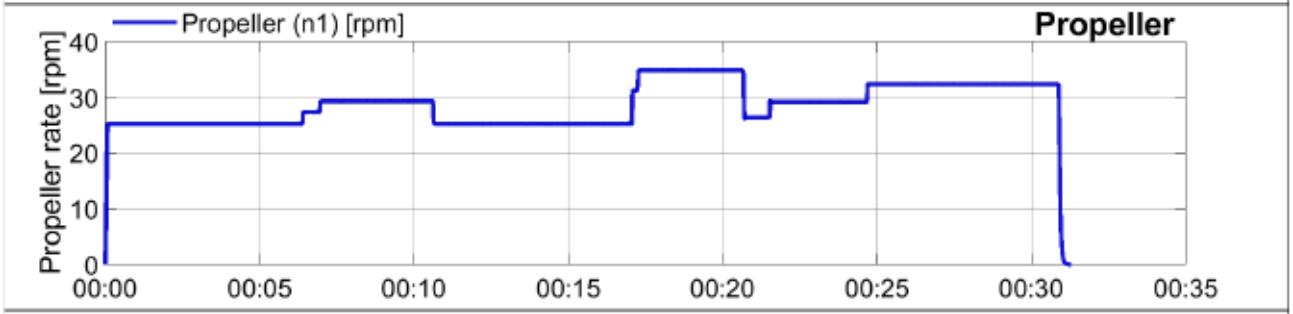
Manoeuvreereigenschappen

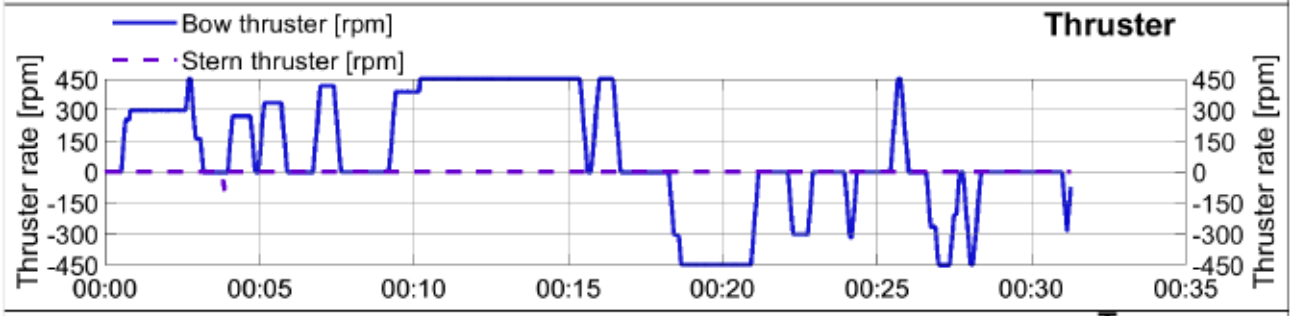
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

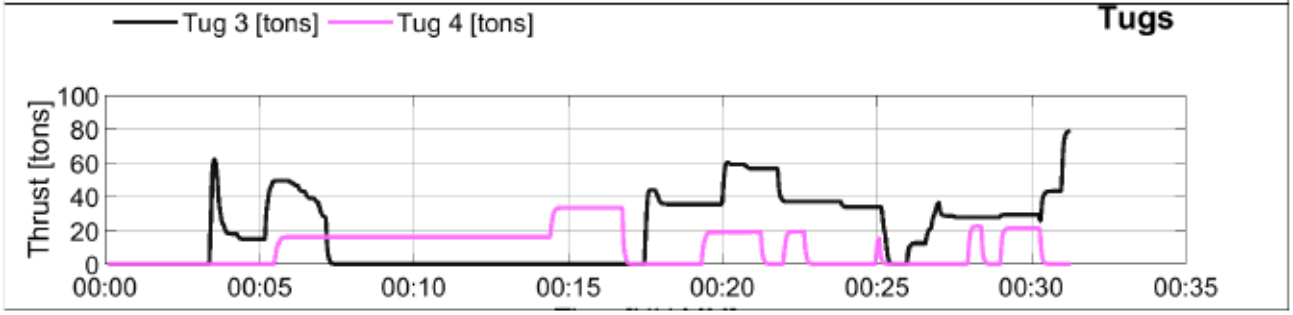
Simulatie: Achterhaven VF 18	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









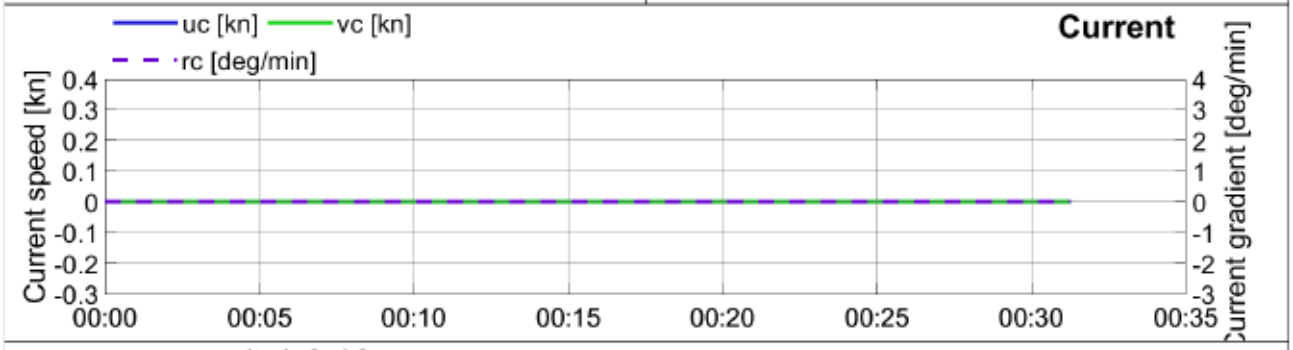


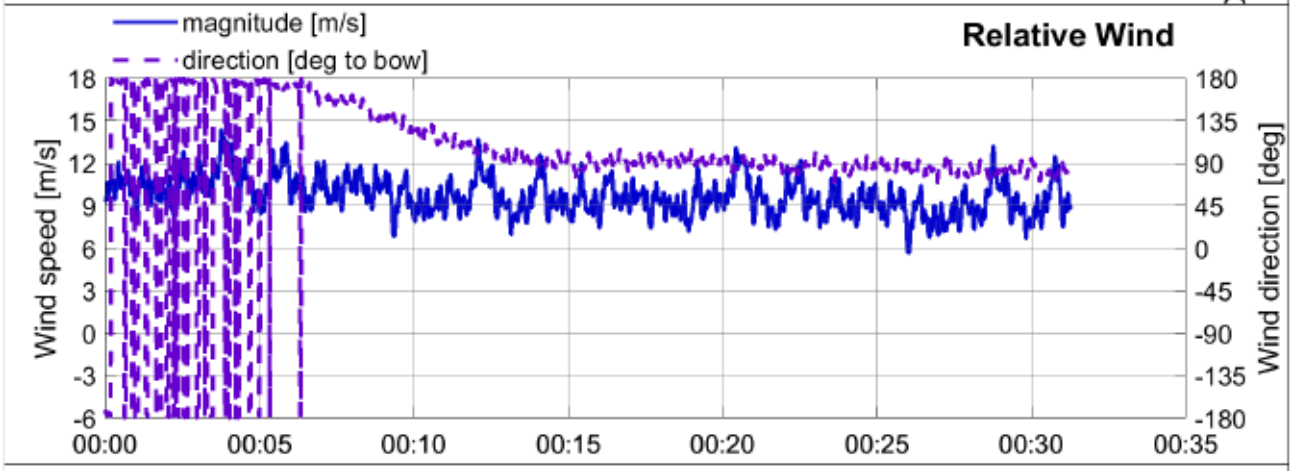
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

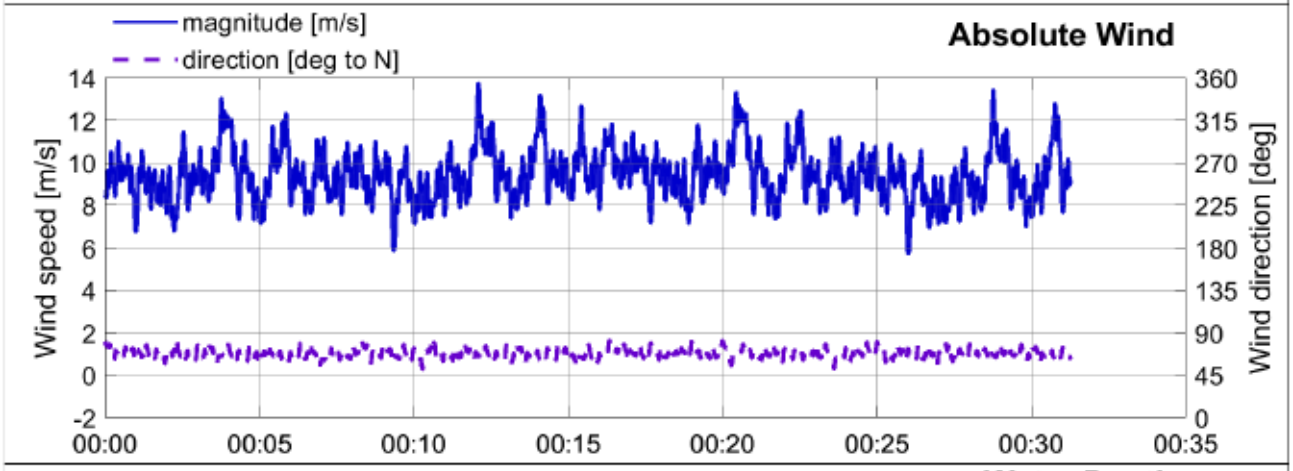
Omgevingscondities

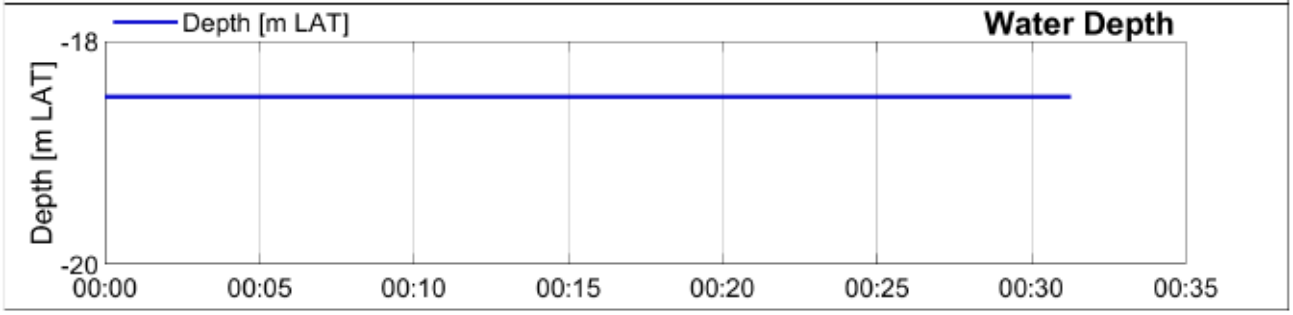
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VF 18	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







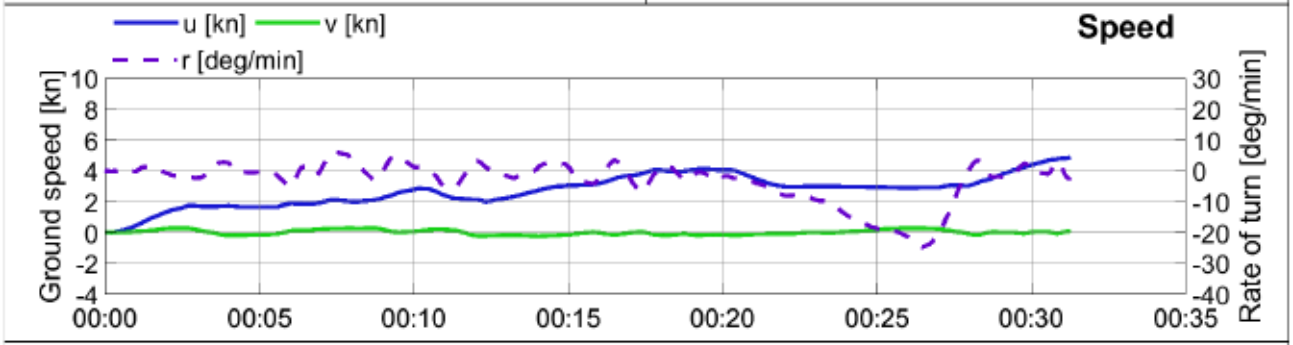


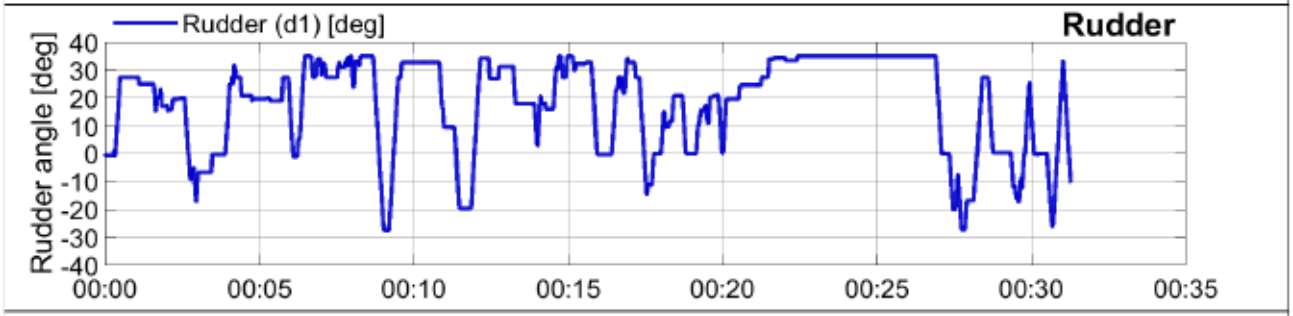
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

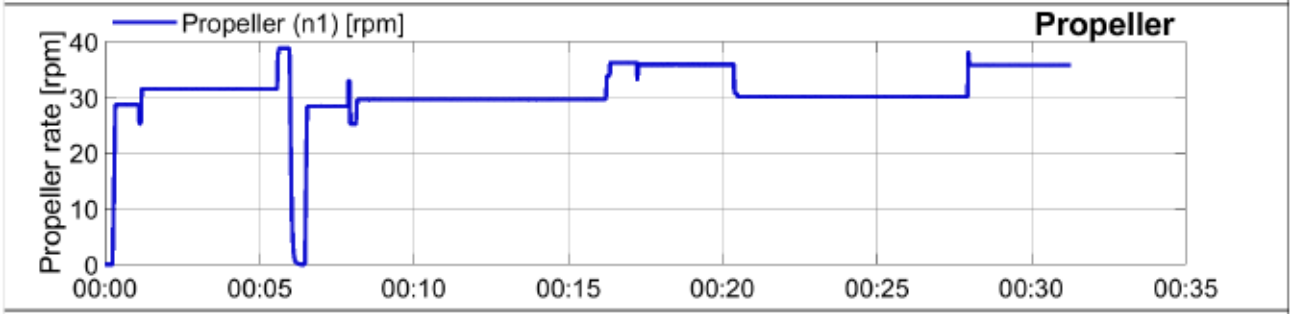
Manoeuvreereigenschappen

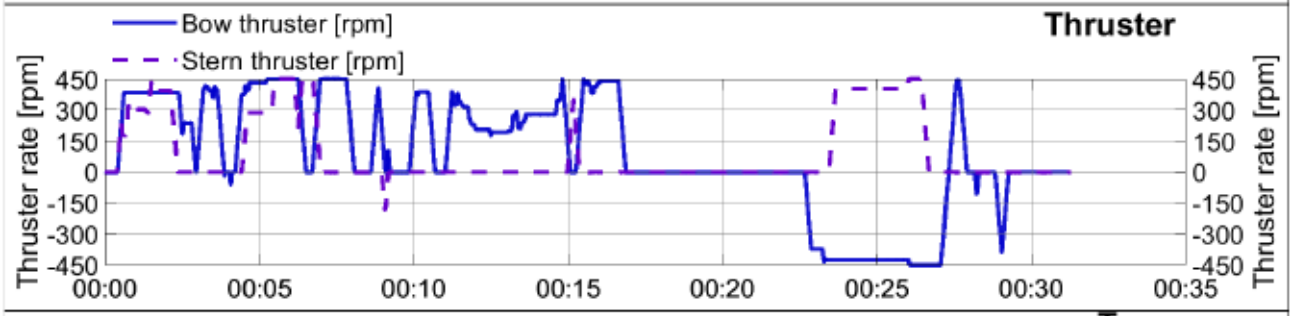
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

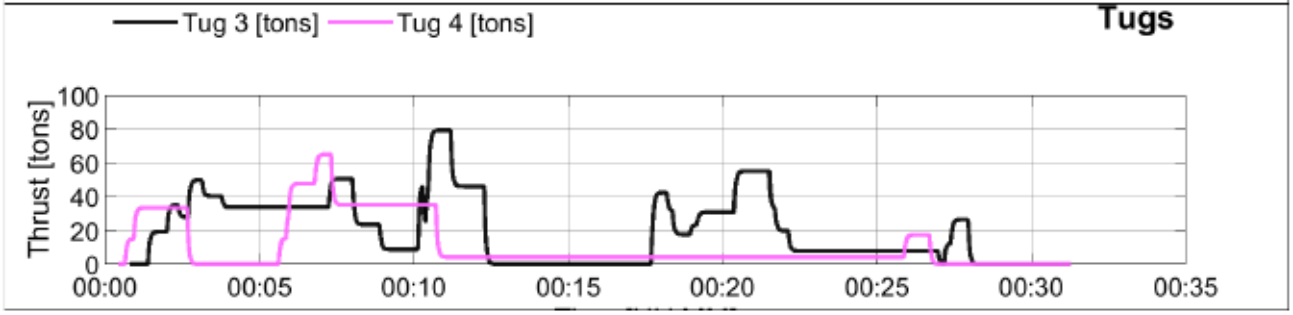
Simulatie: Achterhaven VF 18	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -









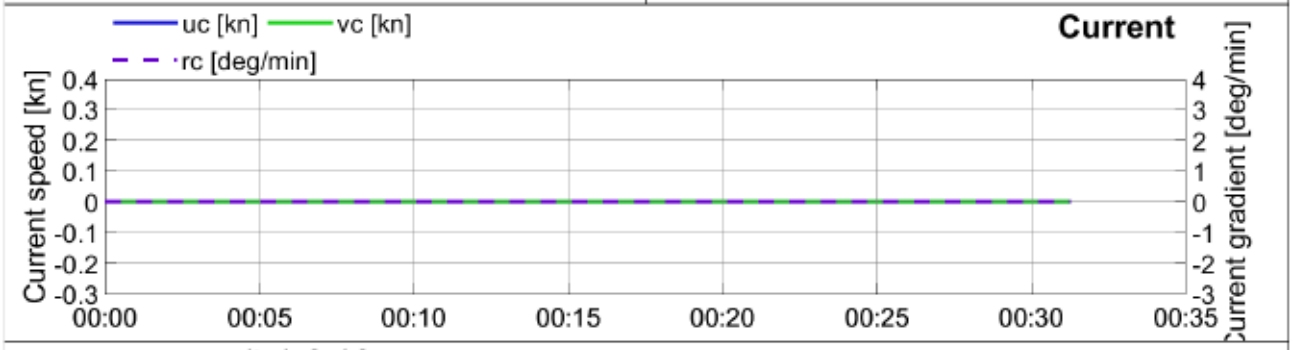


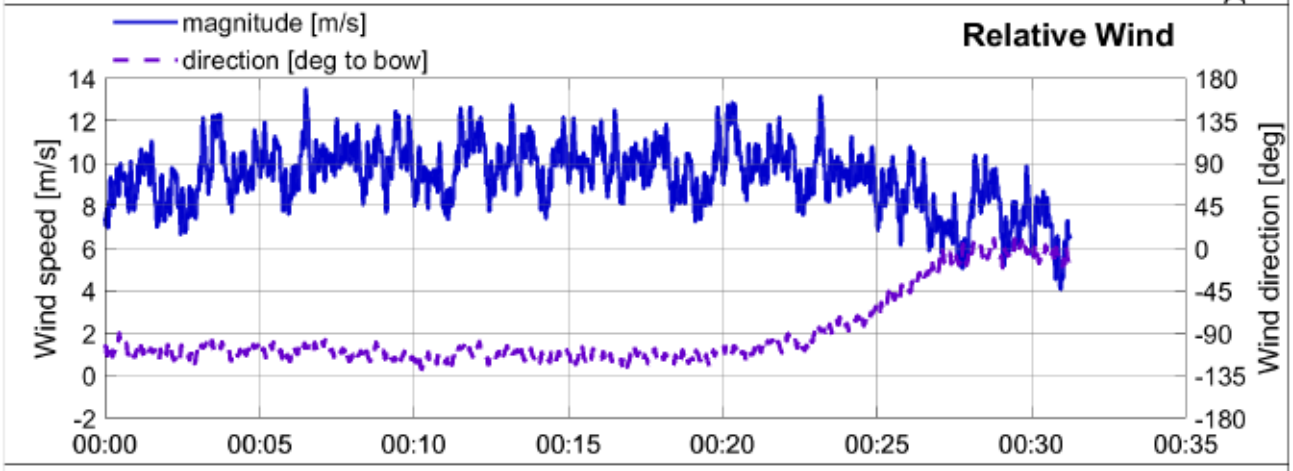
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

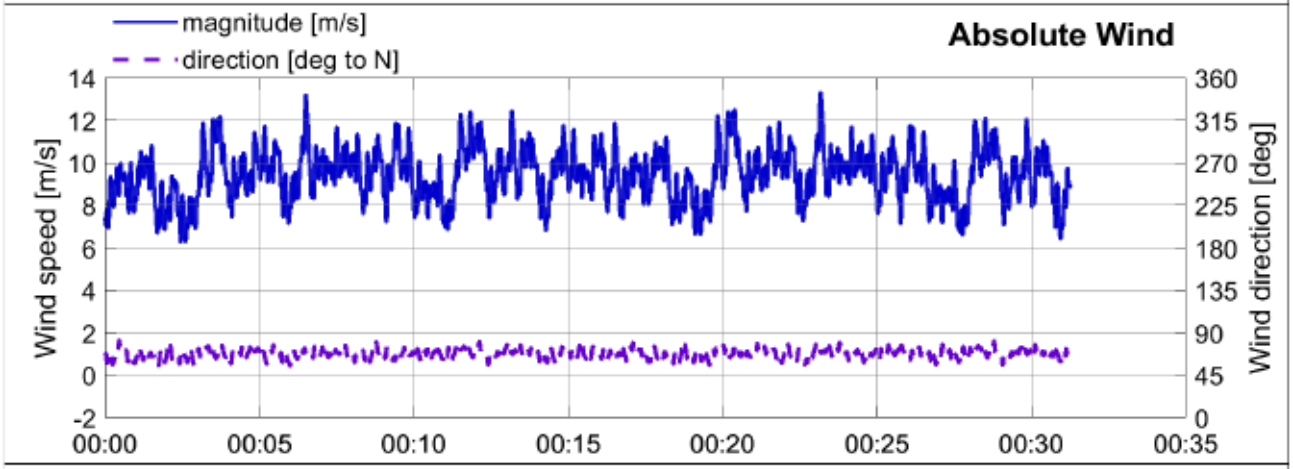
Omgevingscondities

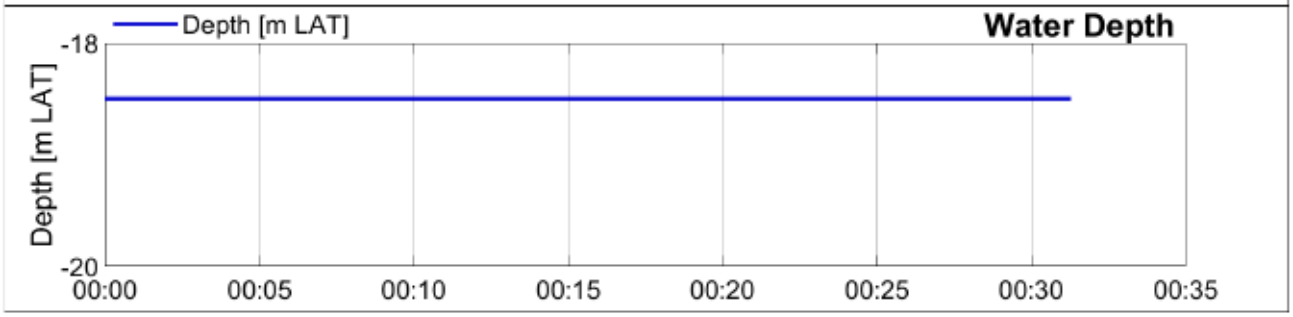
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VF 18	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Geleiding: -







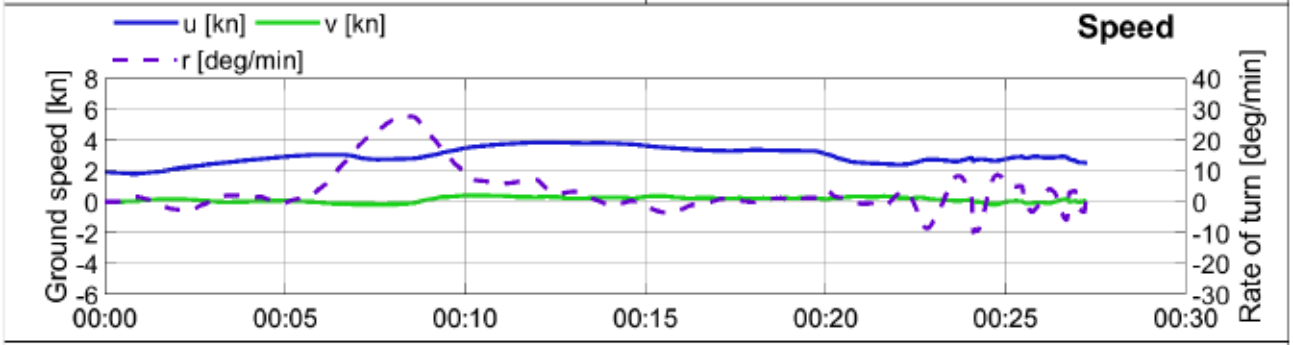


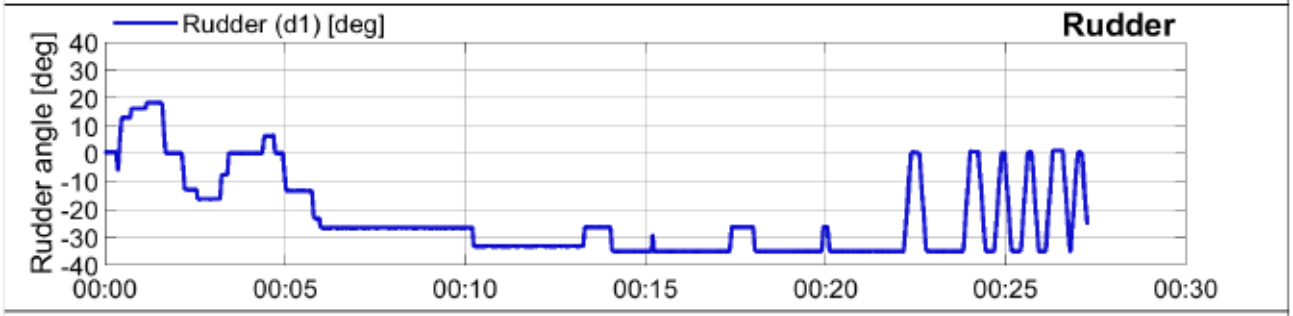
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

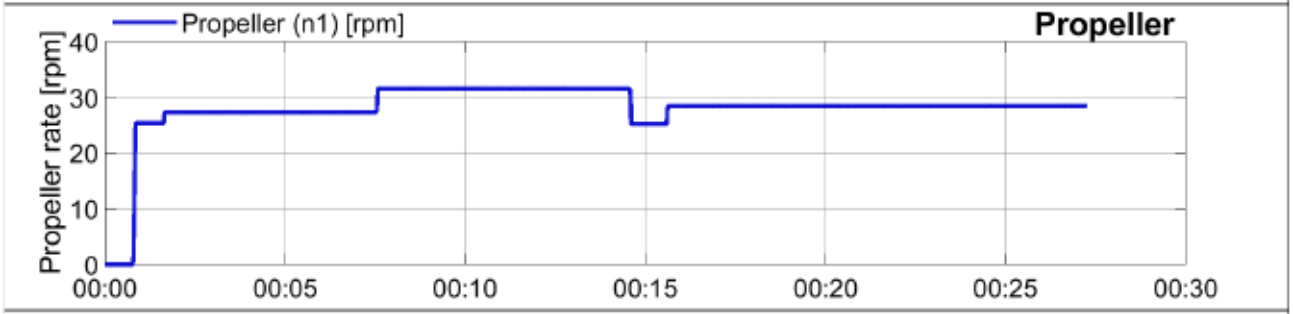
Manoeuvreereigenschappen

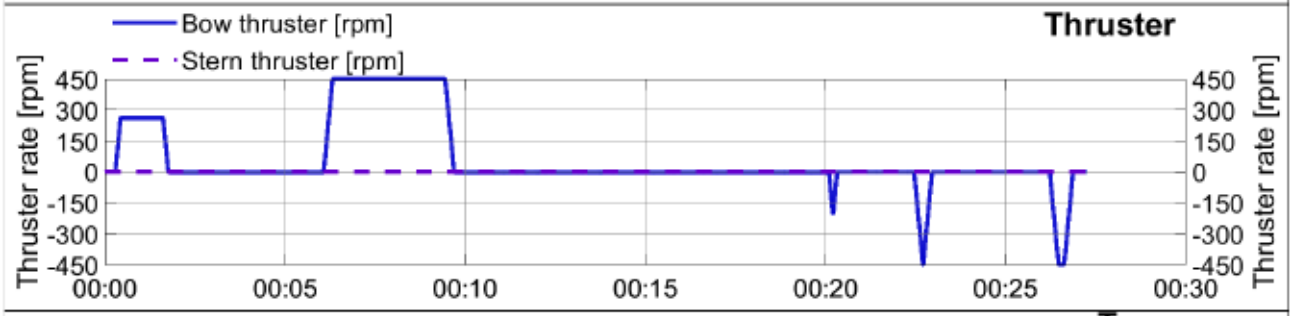
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

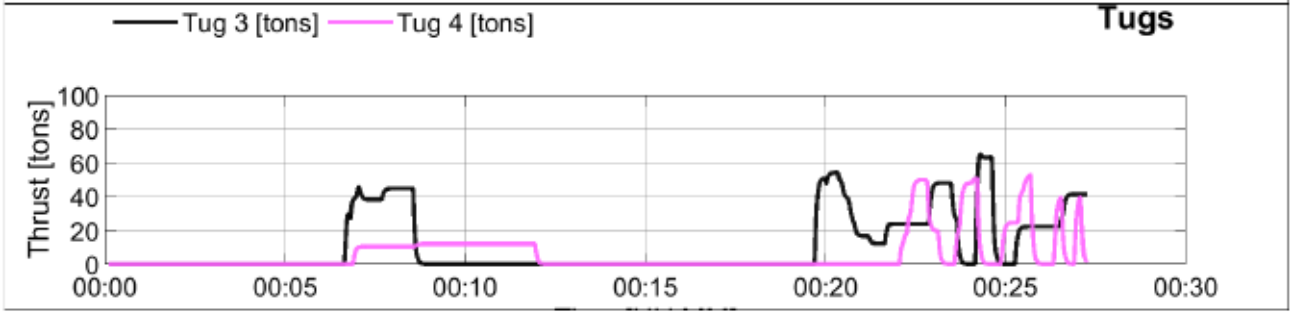
Simulatie: Achterhaven VF 19	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 32.2 m
Project: 20 011	Geleiding: -









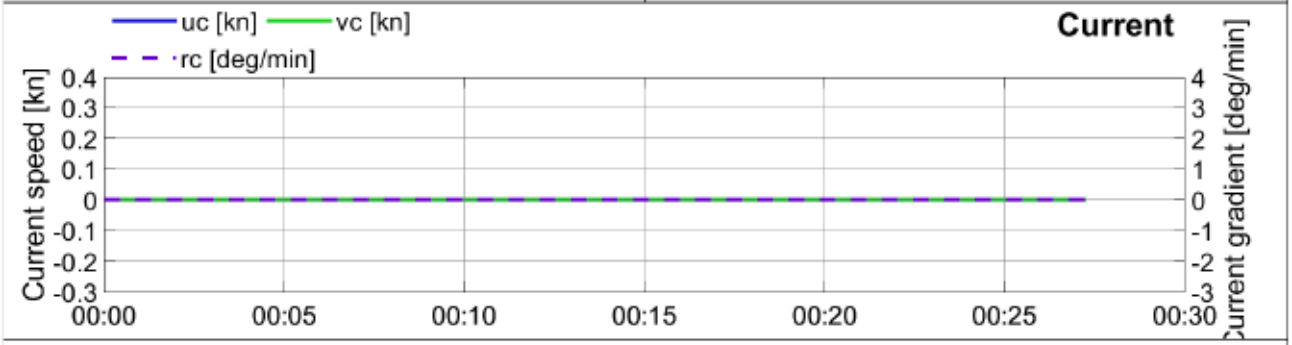


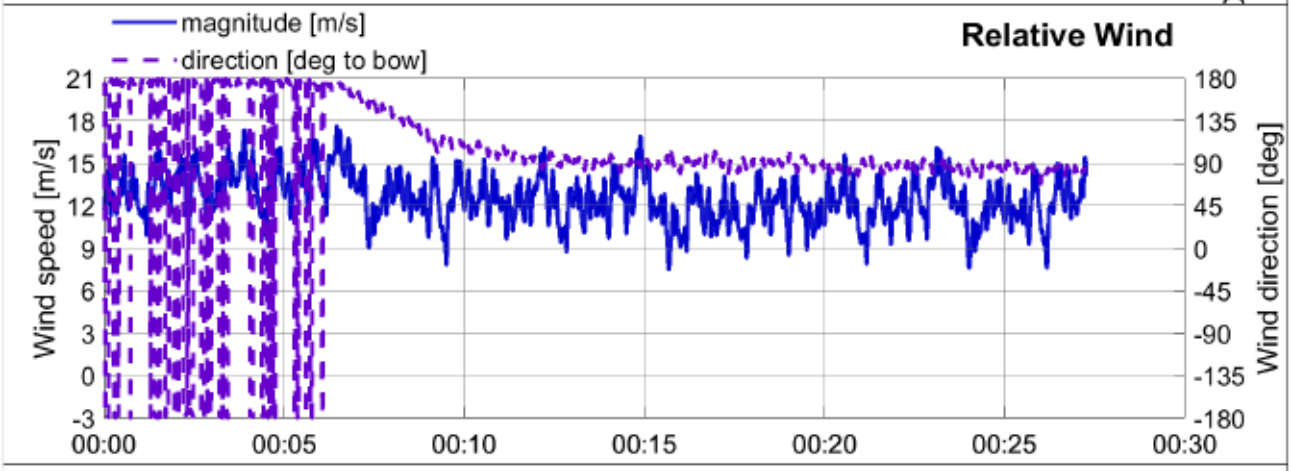
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

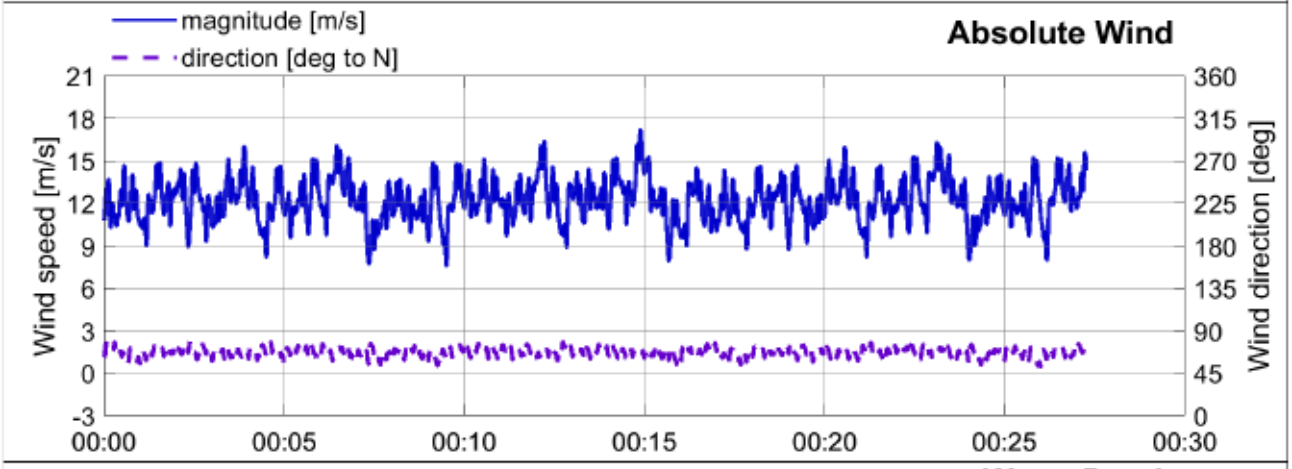
Omgevingscondities

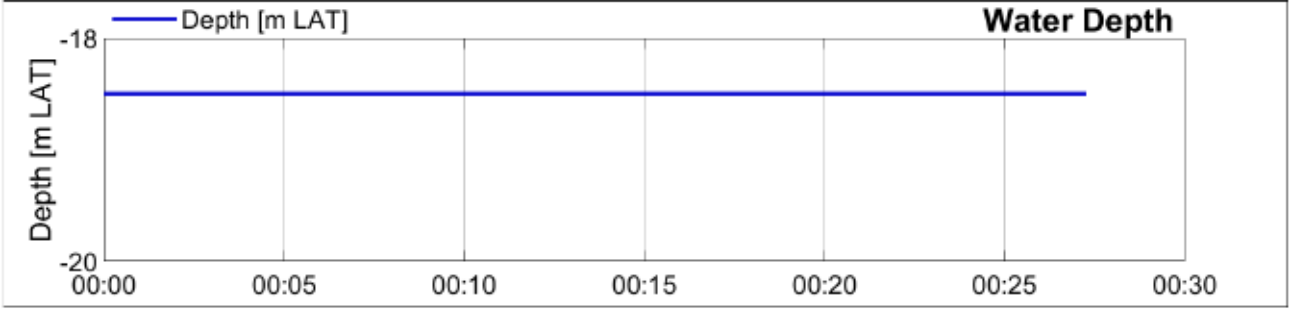
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VF 19	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 32.2 m
Project: 20 011	Geleiding: -







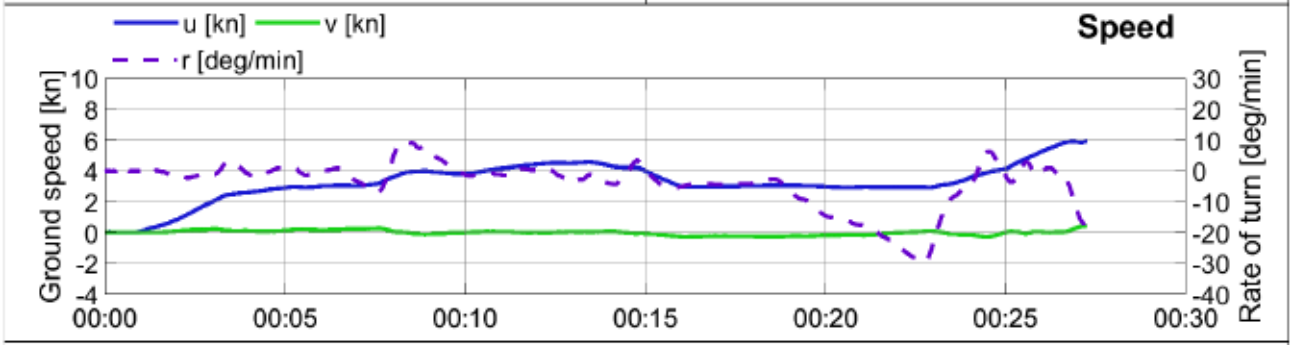


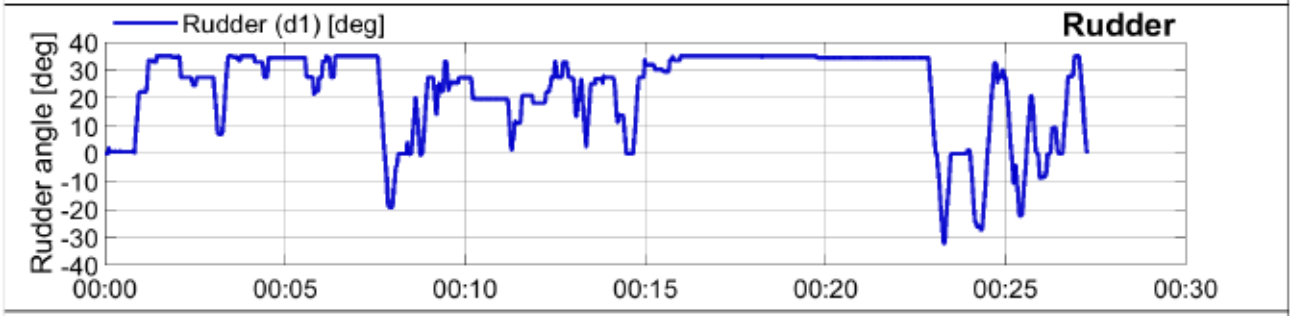
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

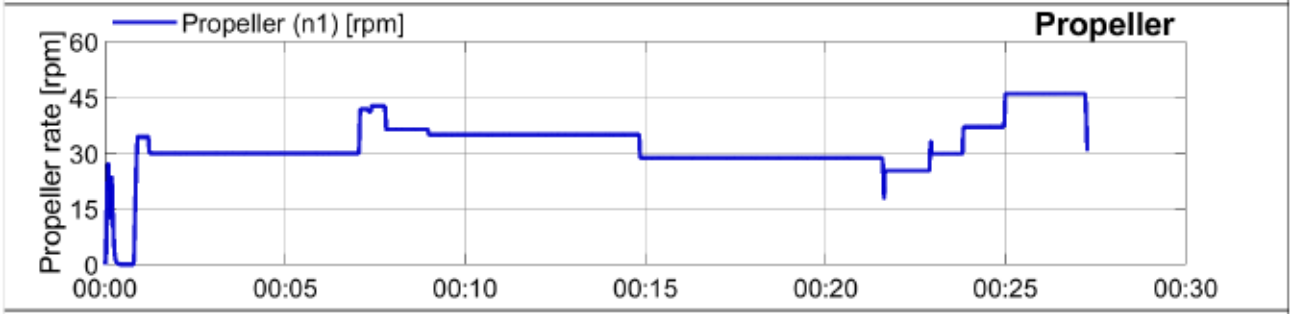
Manoeuvreereigenschappen

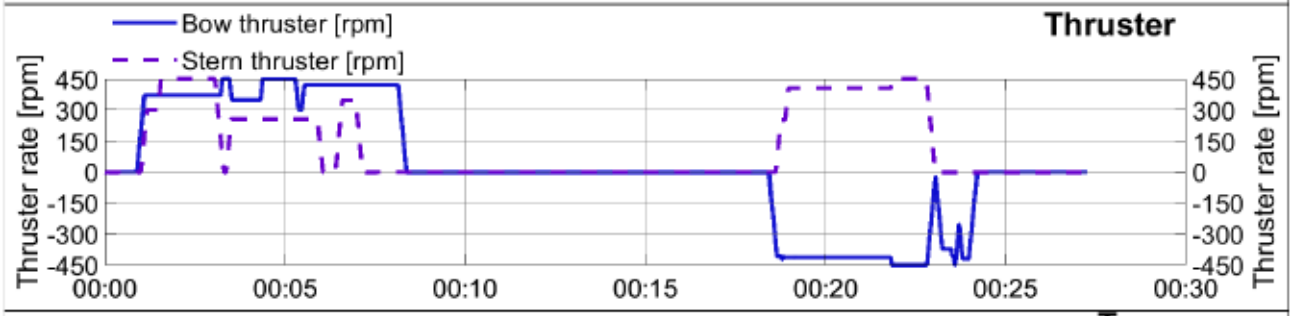
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

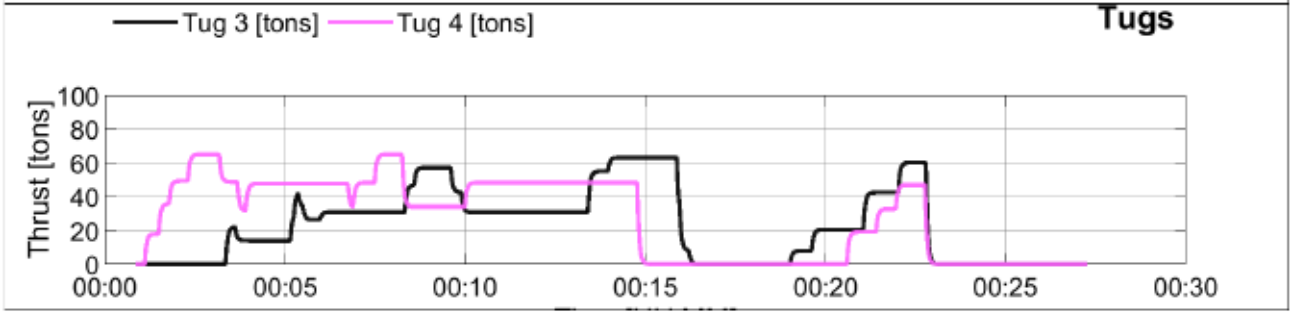
Simulatie: Achterhaven VF 19	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 32.2 m
Project: 20 011	Geleiding: -









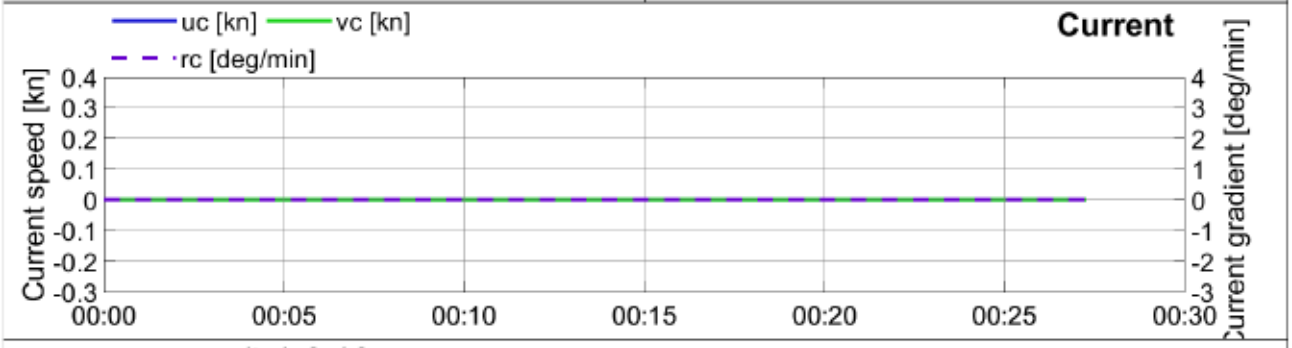


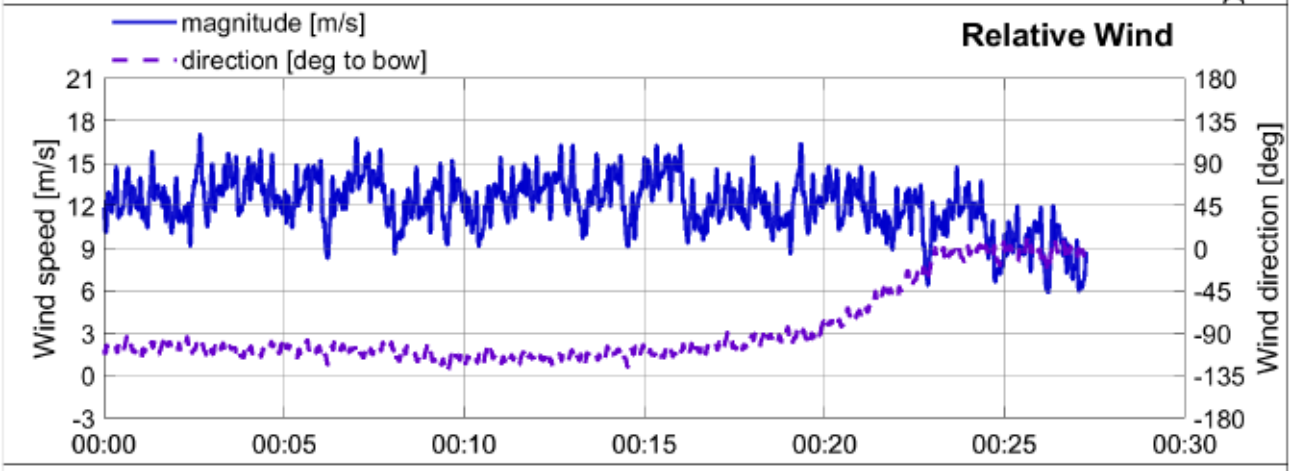
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

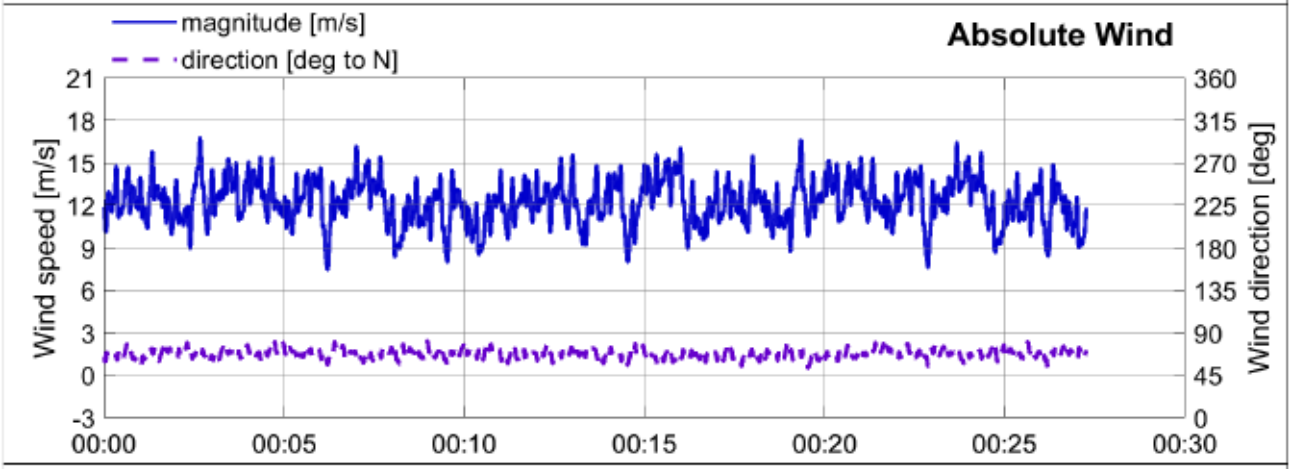
Omgevingscondities

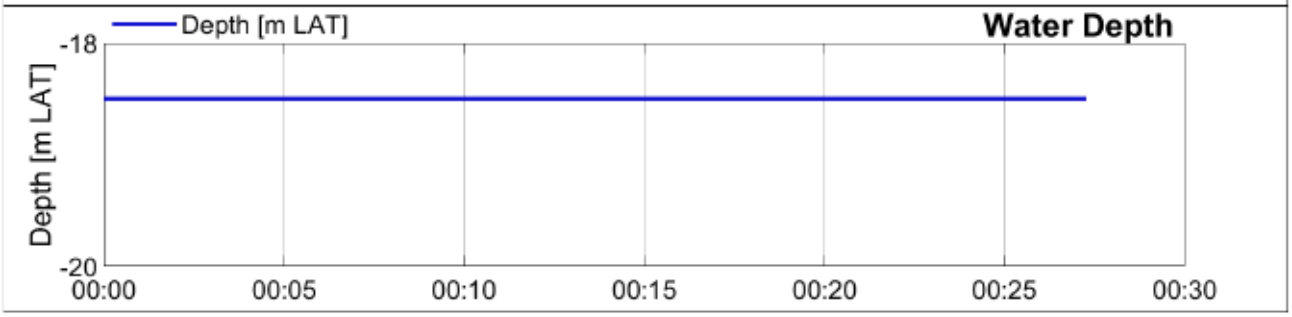
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven VF 19	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 29/10/2020	Afgemeerd: B = 32.2 m
Project: 20 011	Geleiding: -







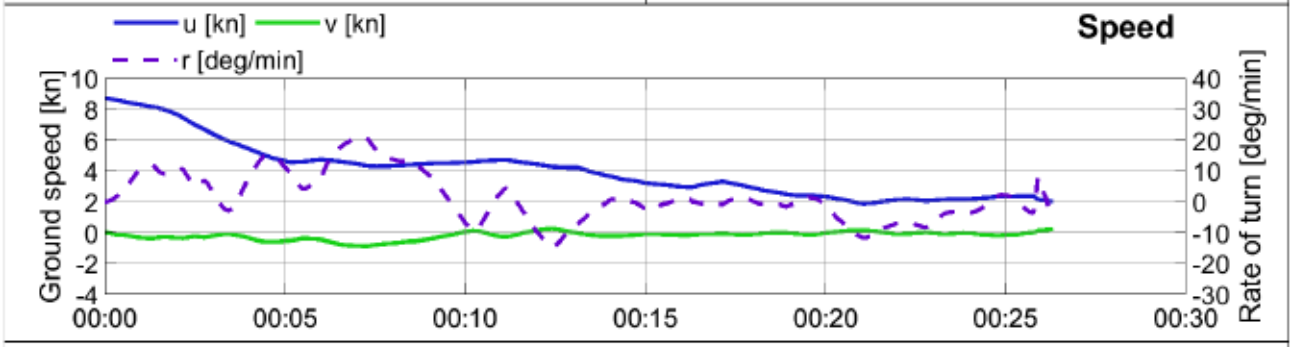


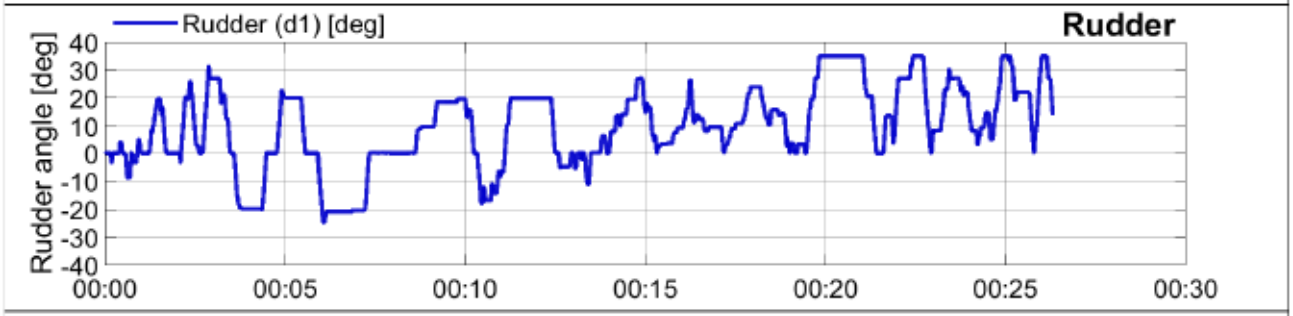
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

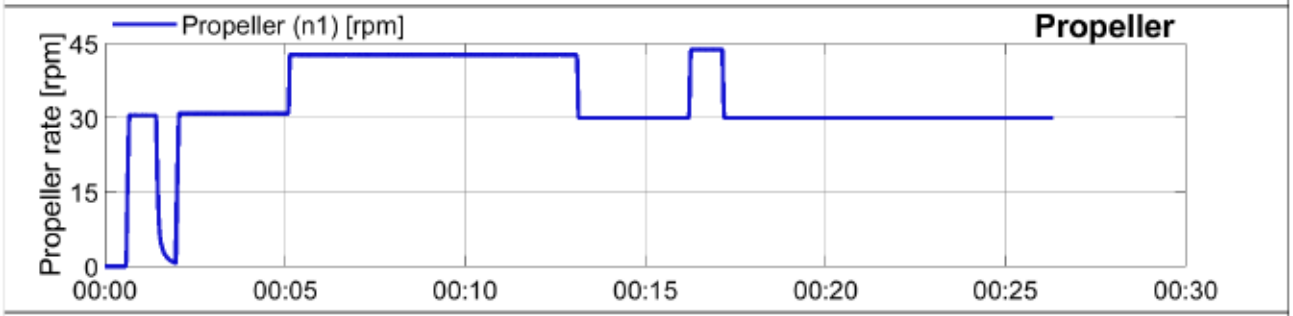
Manoeuvreereigenschappen

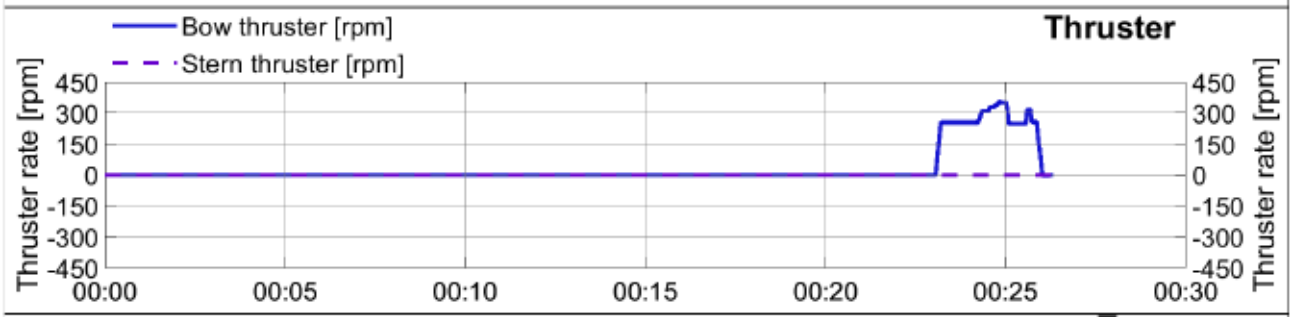
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

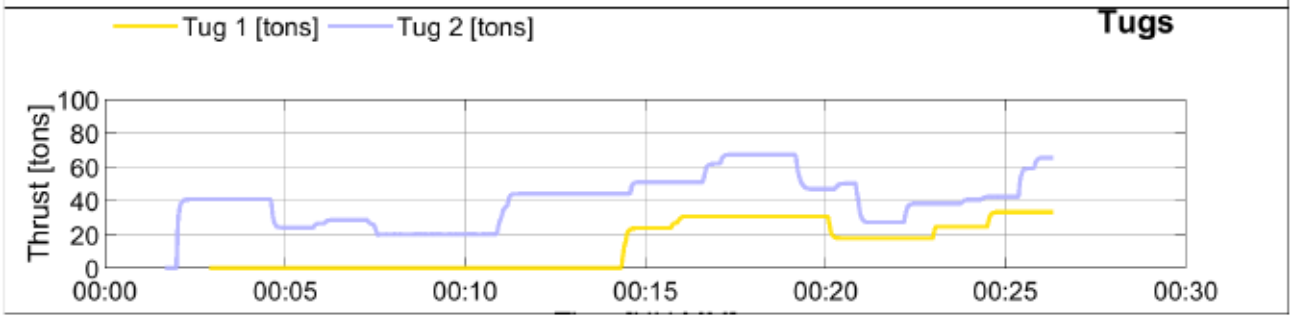
Simulatie: Buitenhaven V0 01	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









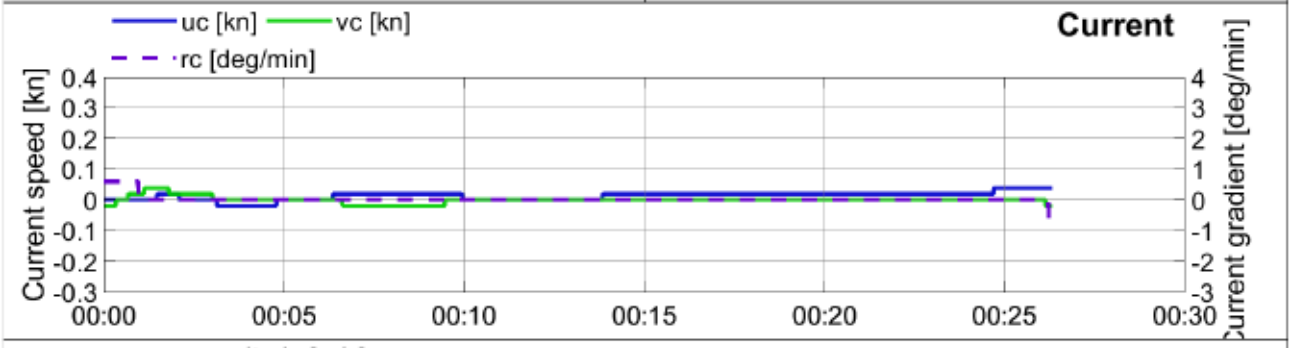


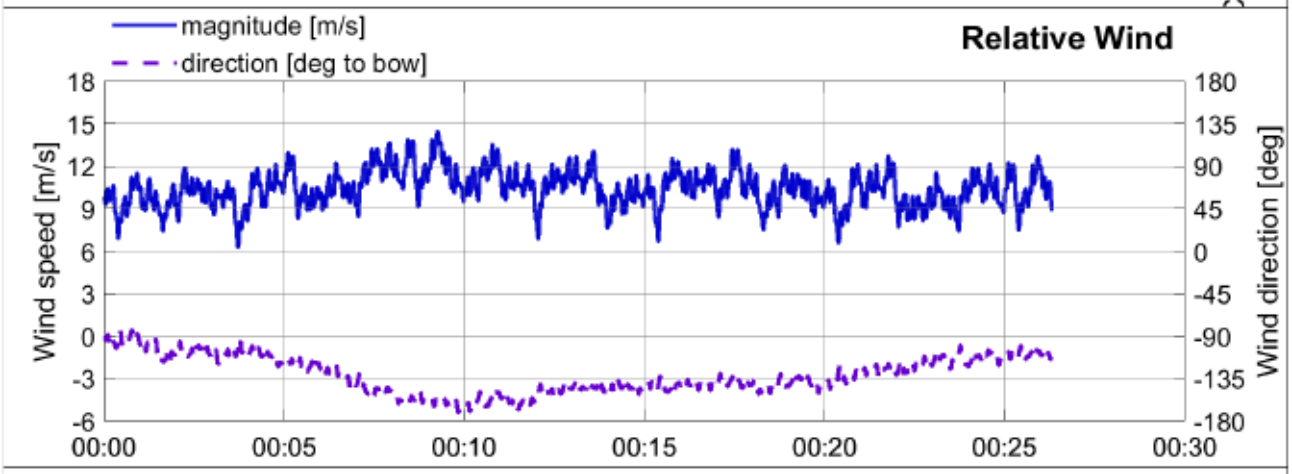
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

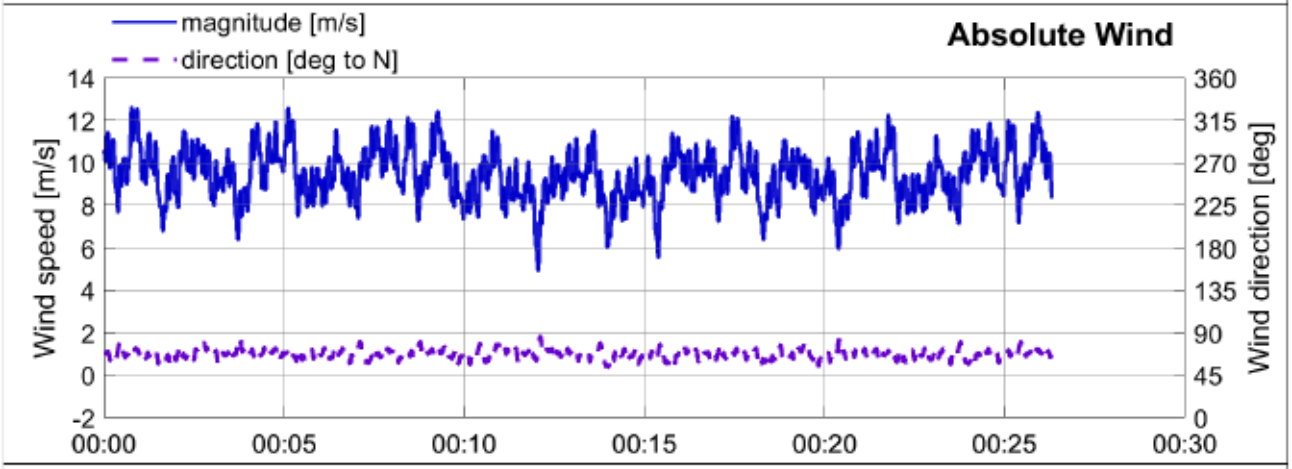
Omgevingscondities

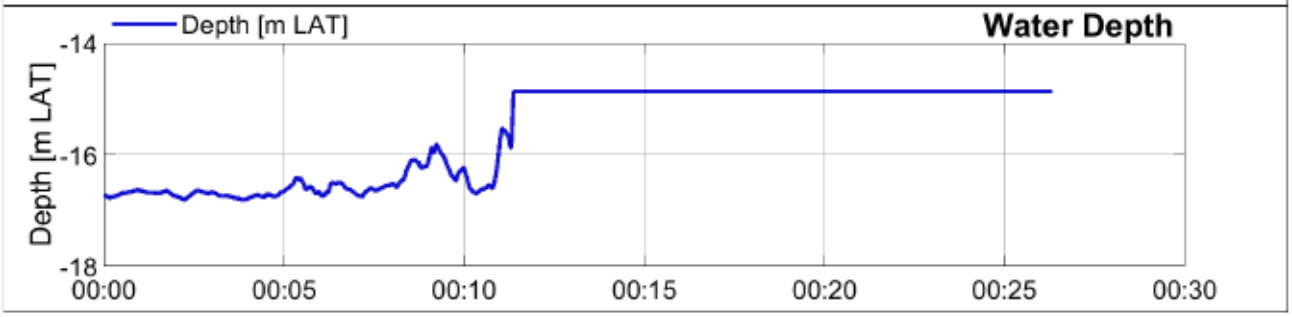
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 01	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







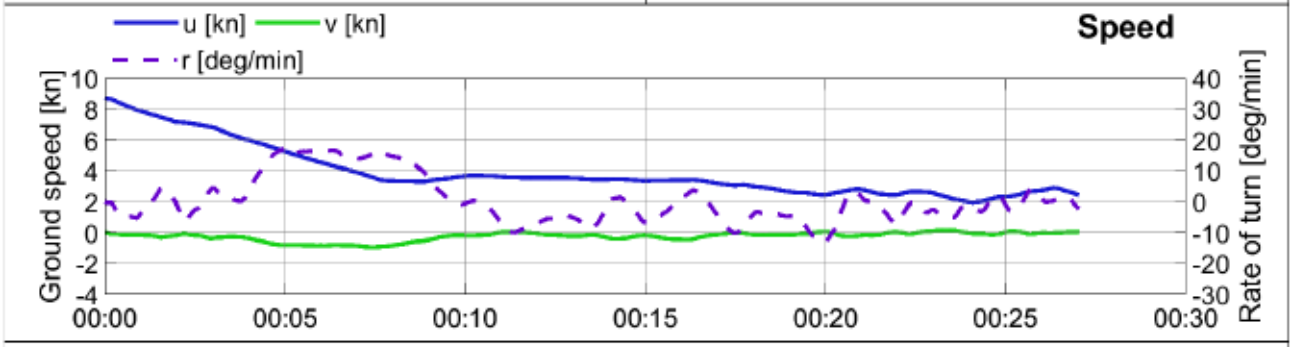


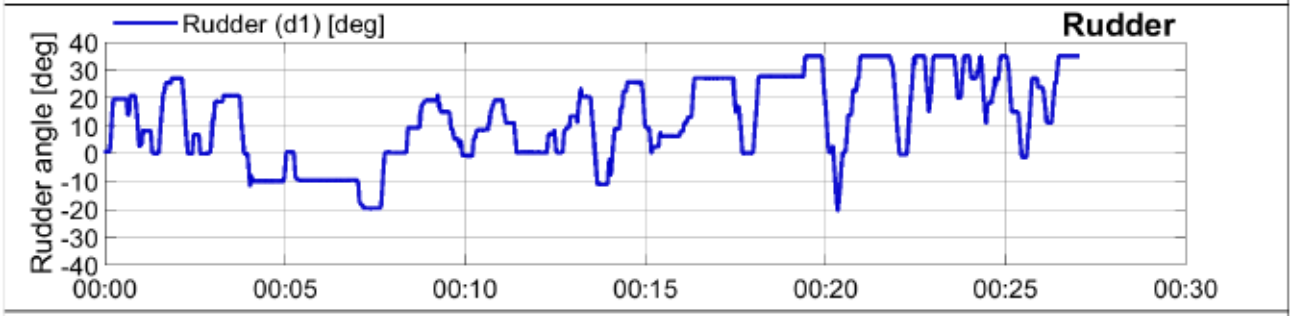
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

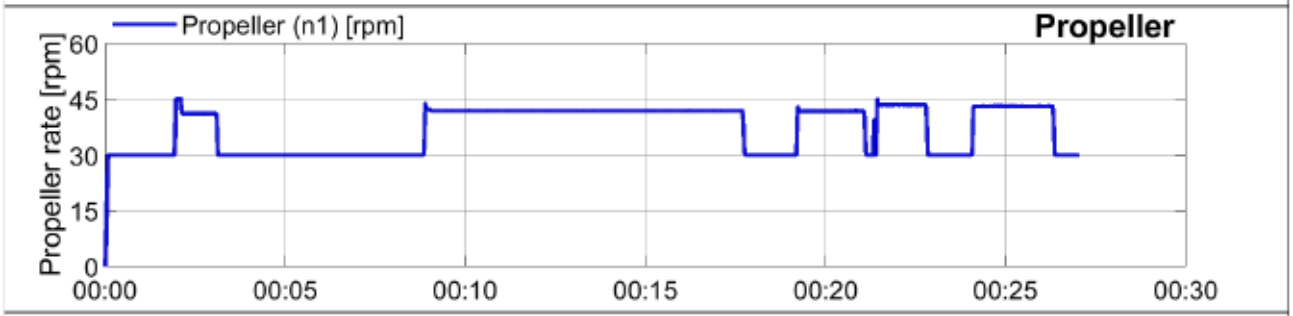
Manoeuvreereigenschappen

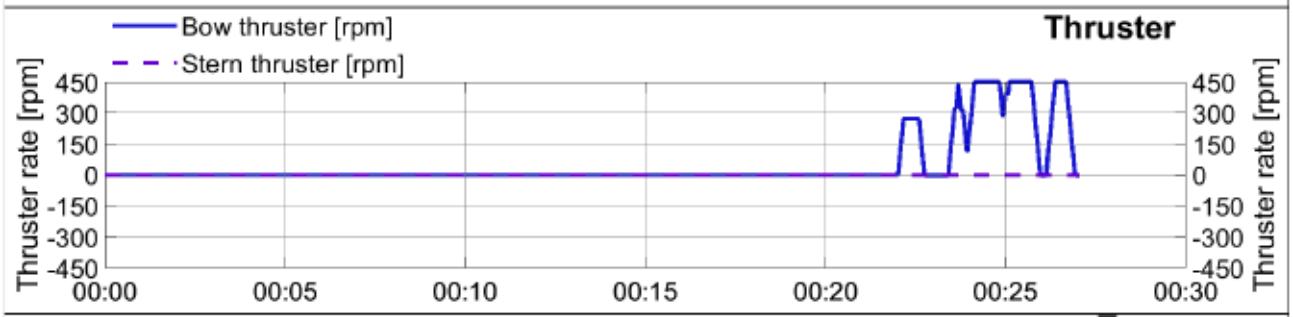
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

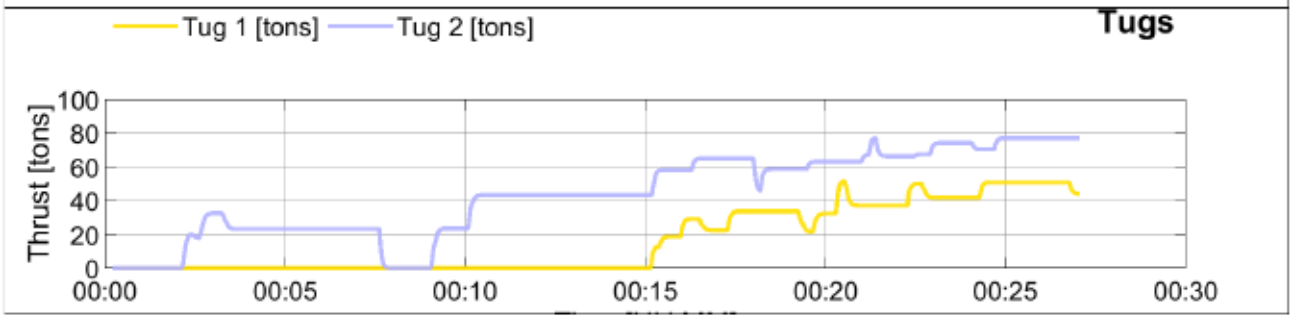
Simulatie: Buitenhaven V0 02	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









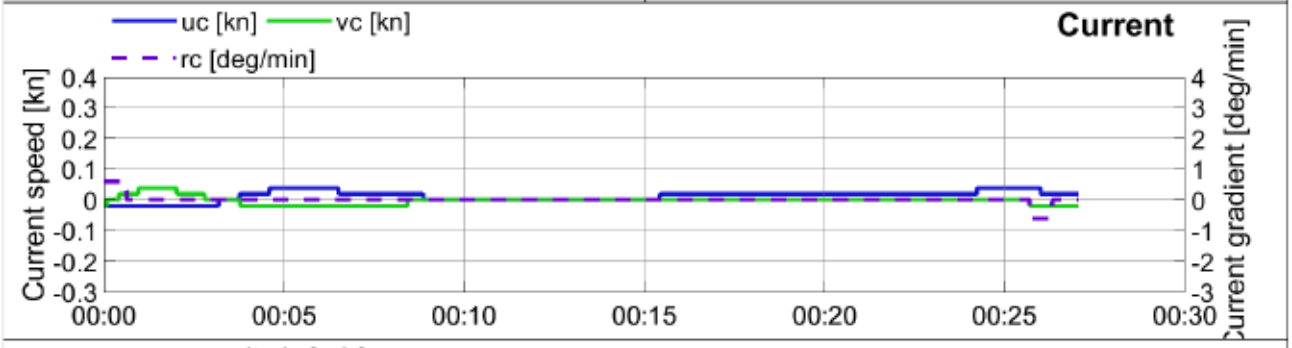


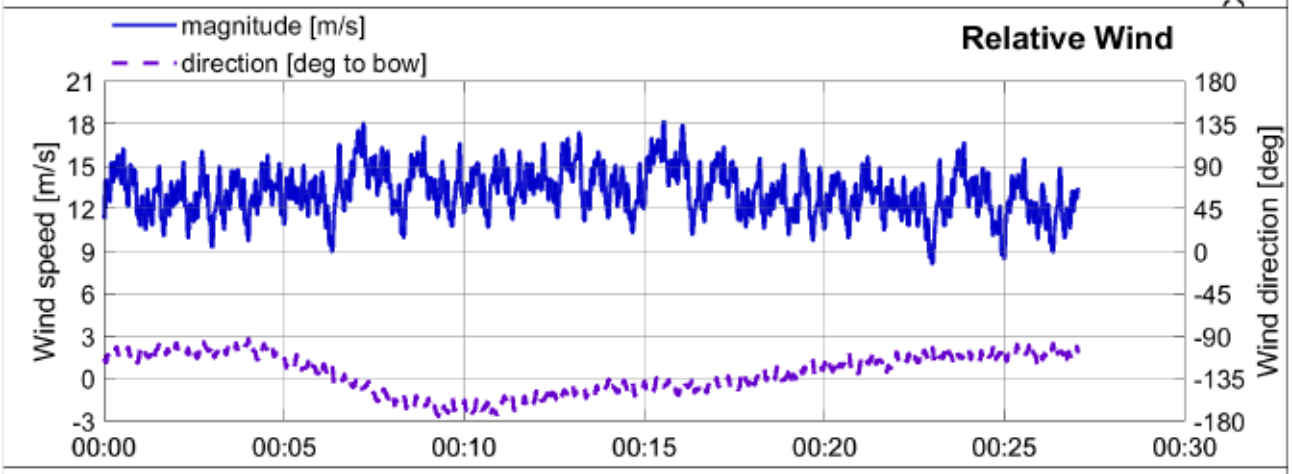
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

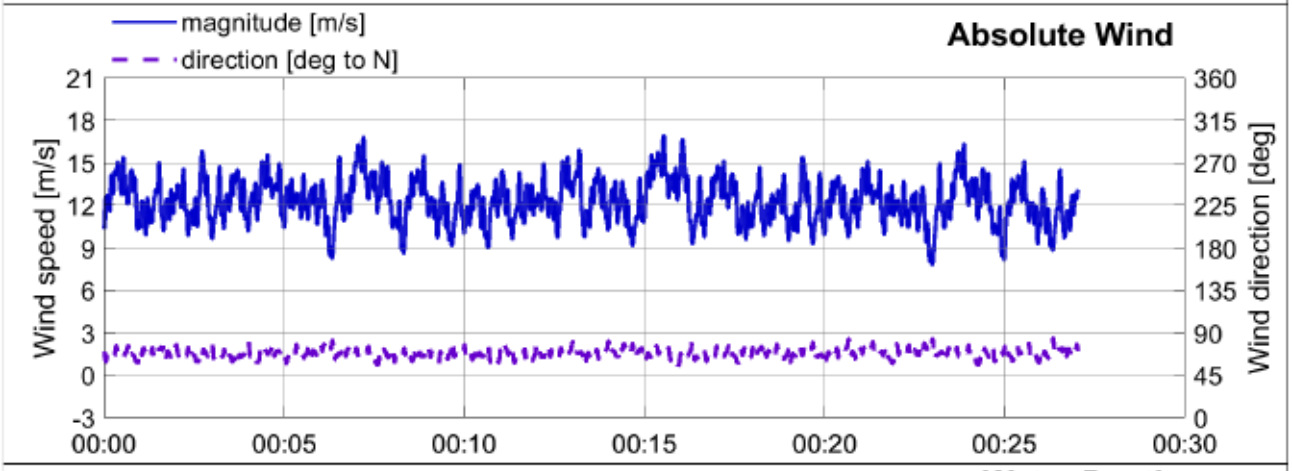
Omgevingscondities

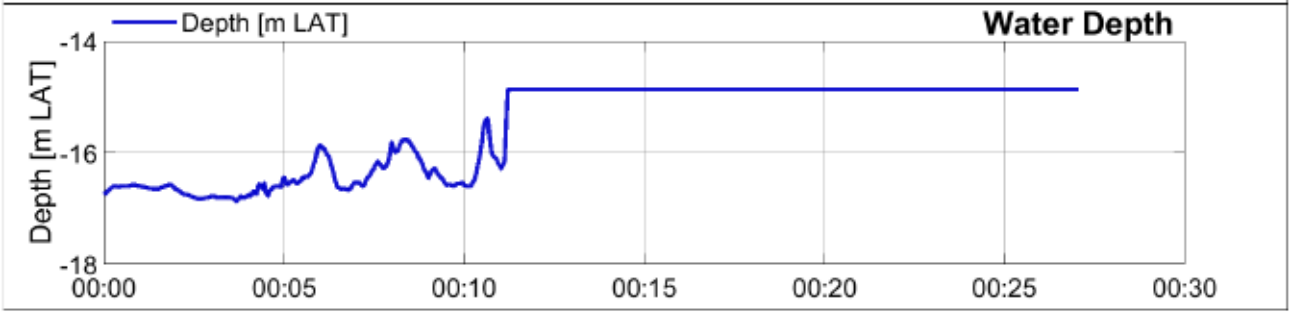
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 02	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







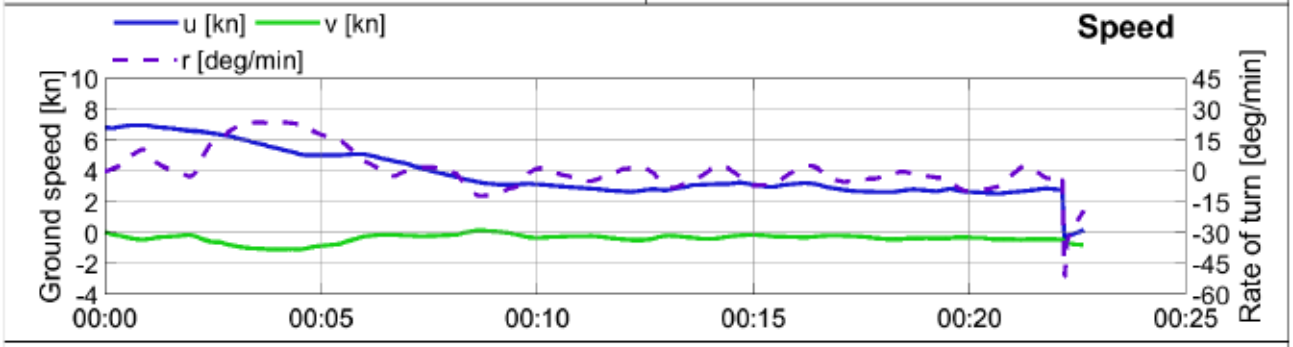


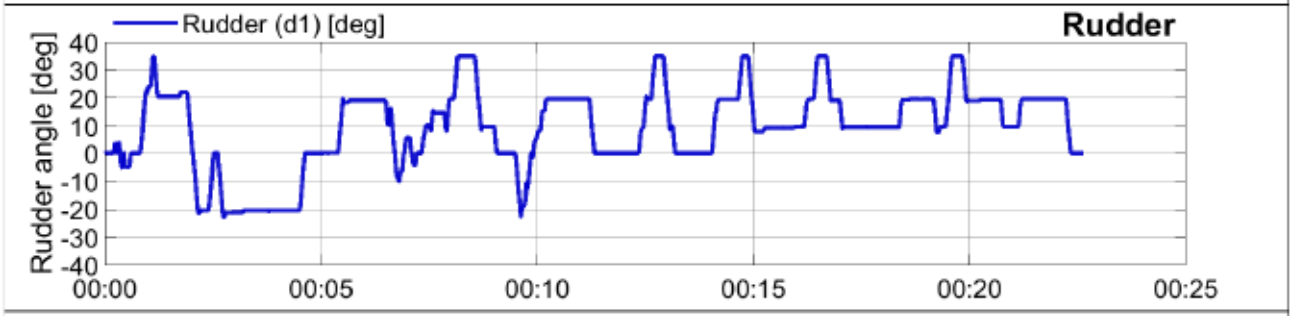
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

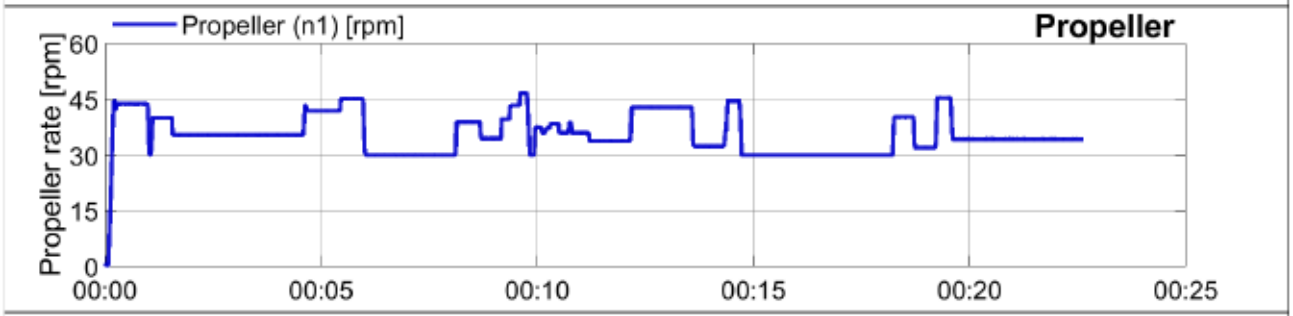
Manoeuvreereigenschappen

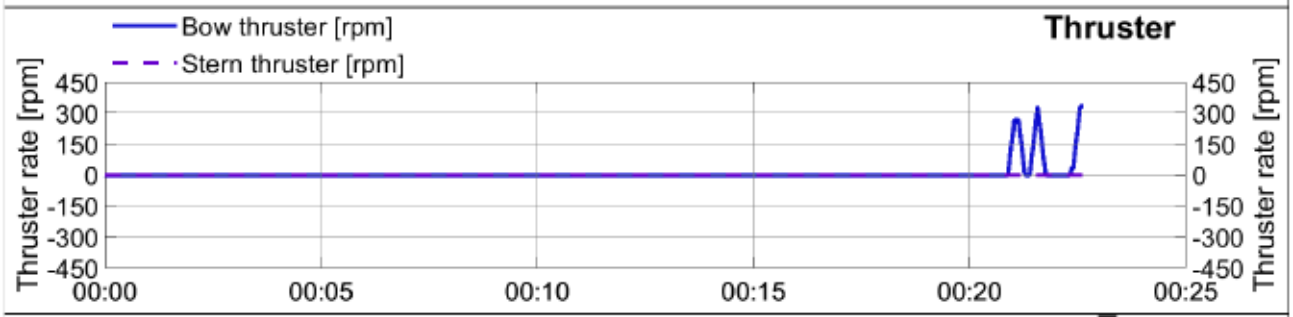
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

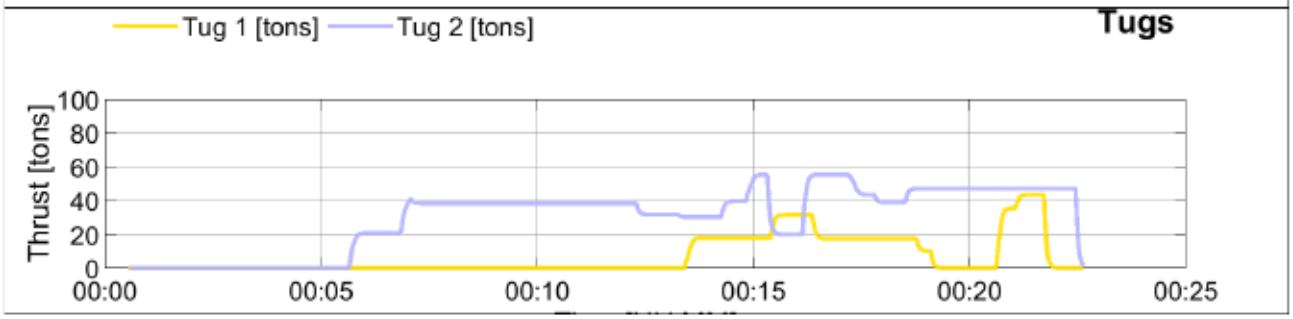
Simulatie: Buitenhaven V0 03	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 150 m









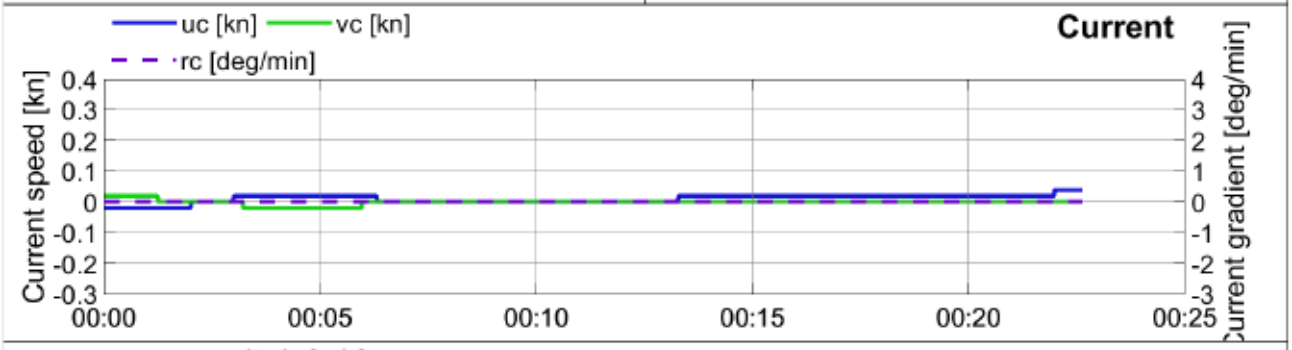


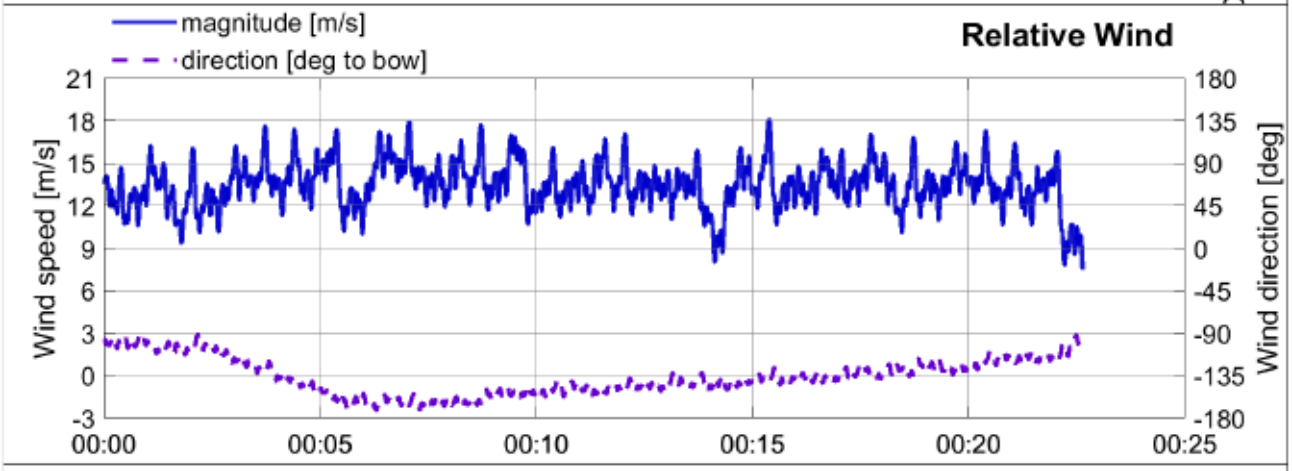
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

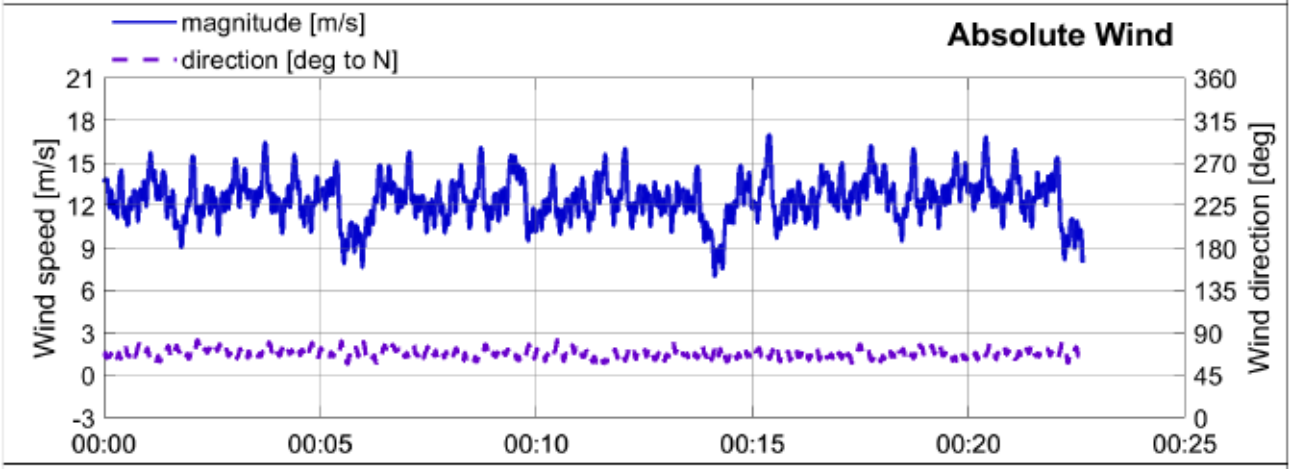
Omgevingscondities

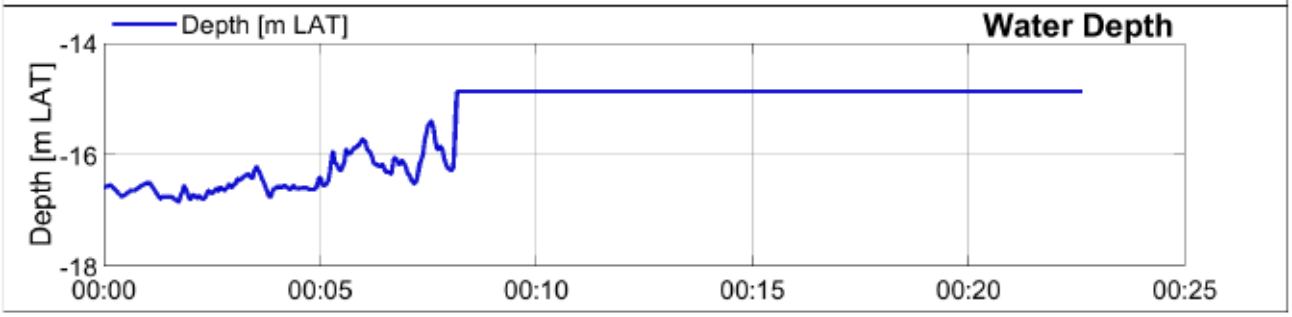
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 03	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 150 m







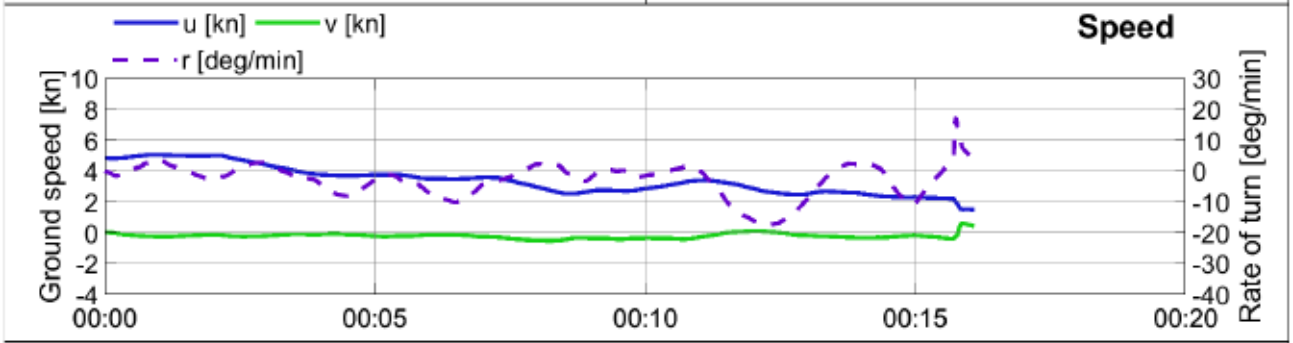


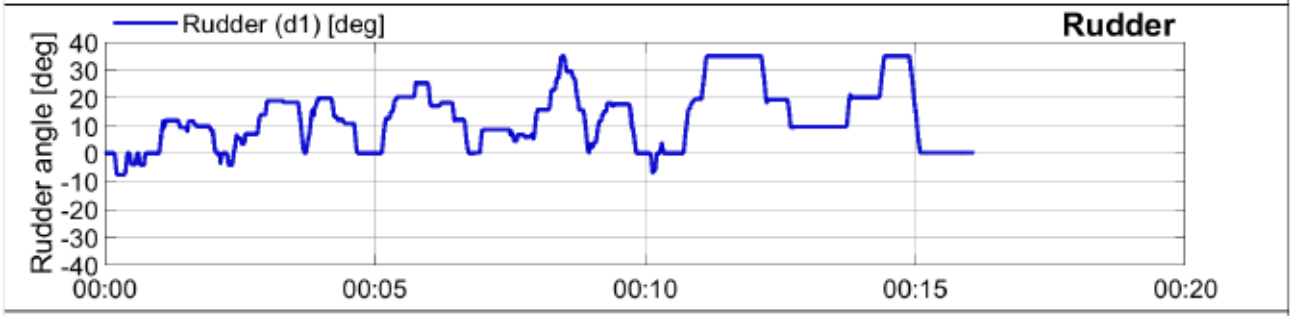
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

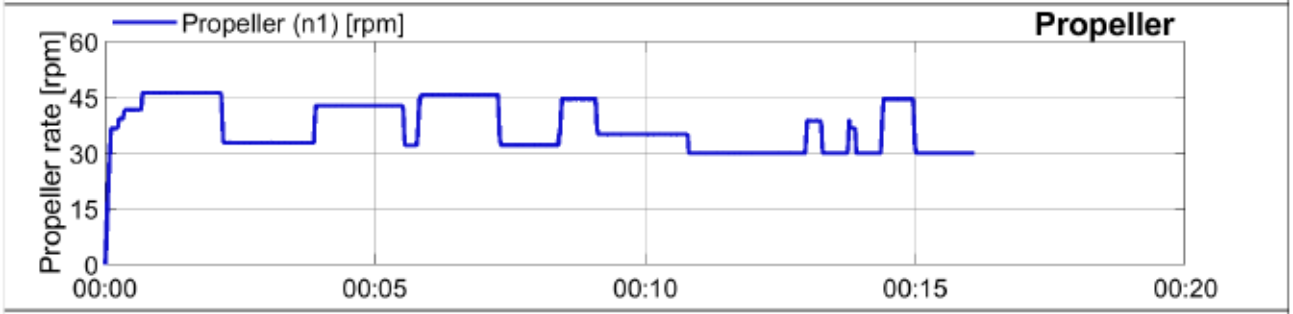
Manoeuvreereigenschappen

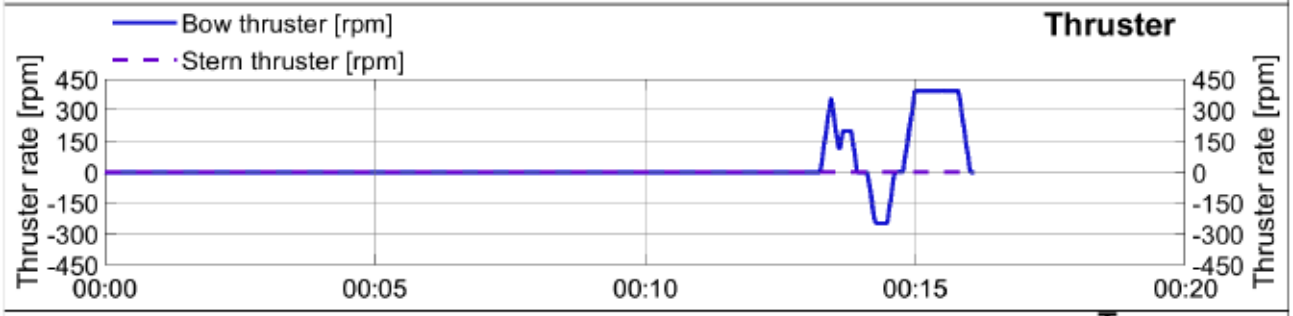
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

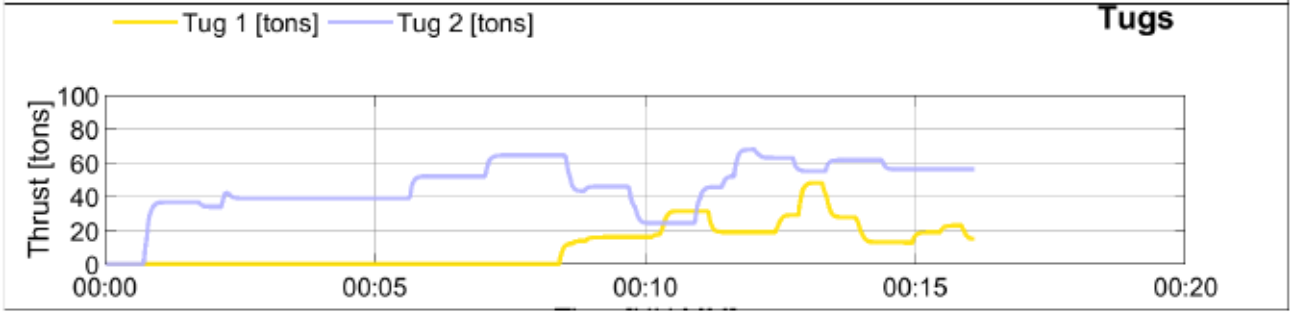
Simulatie: Buitenhaven V0 04	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 150 m









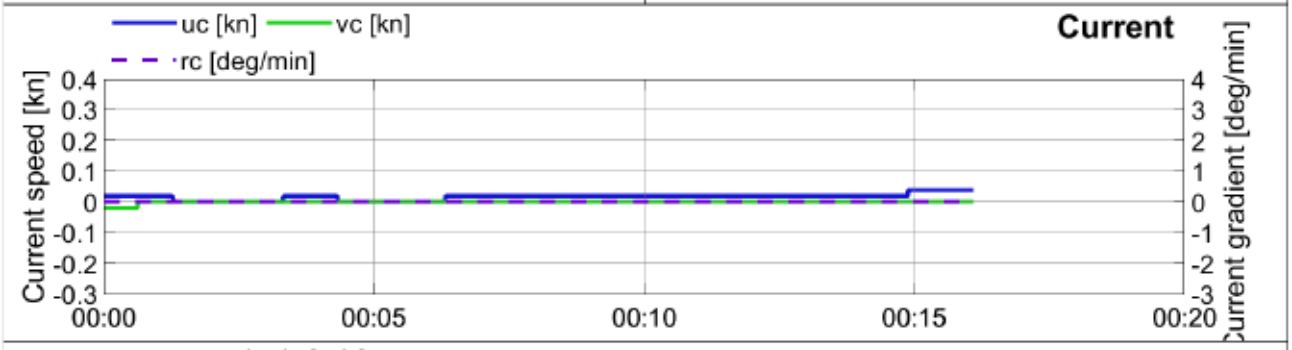


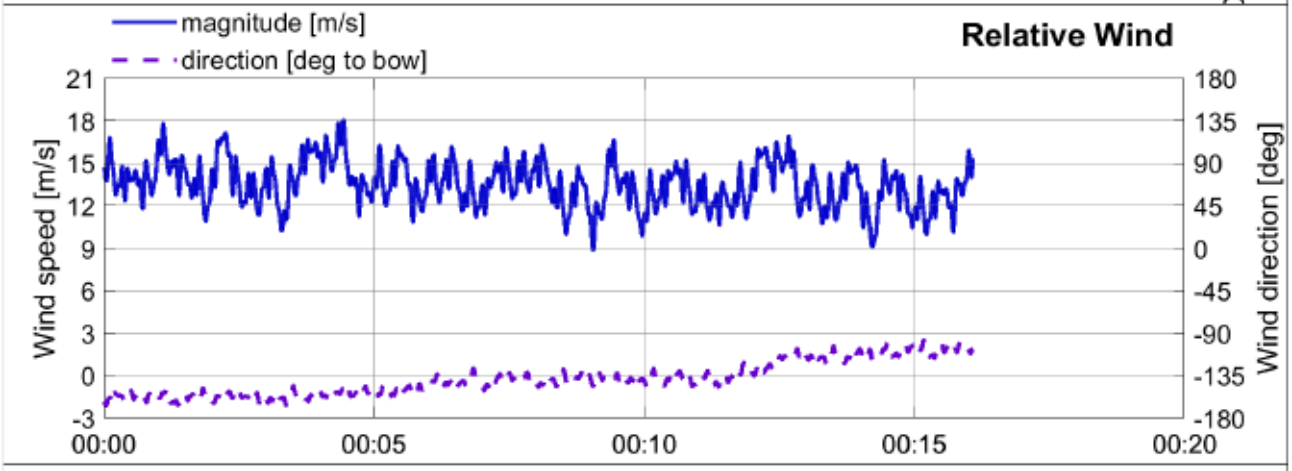
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

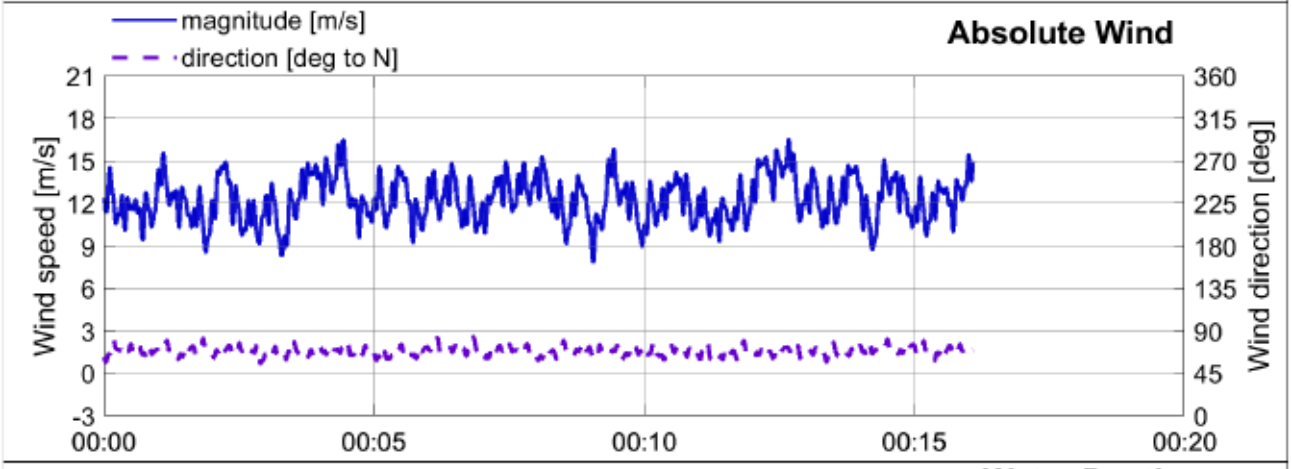
Omgevingscondities

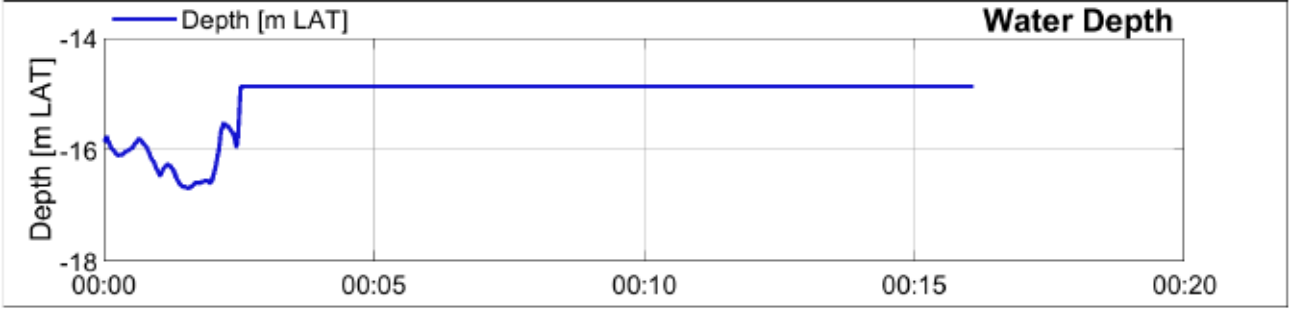
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 04	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 150 m







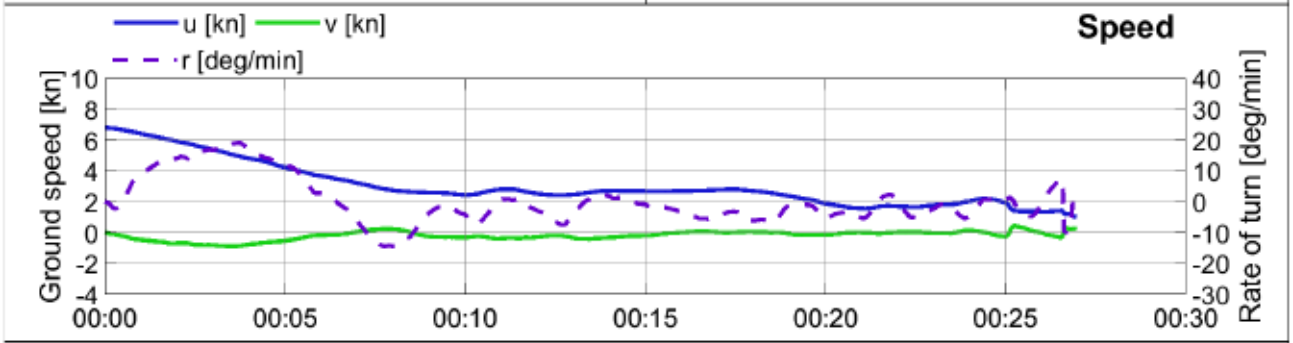


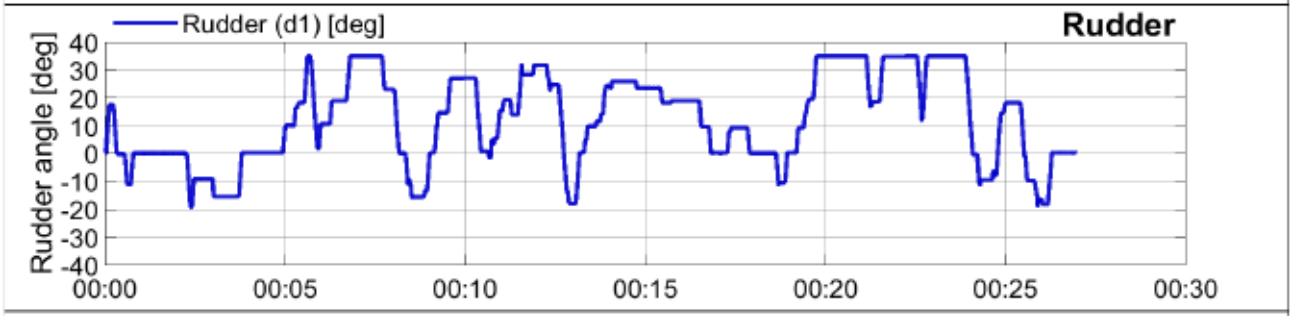
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

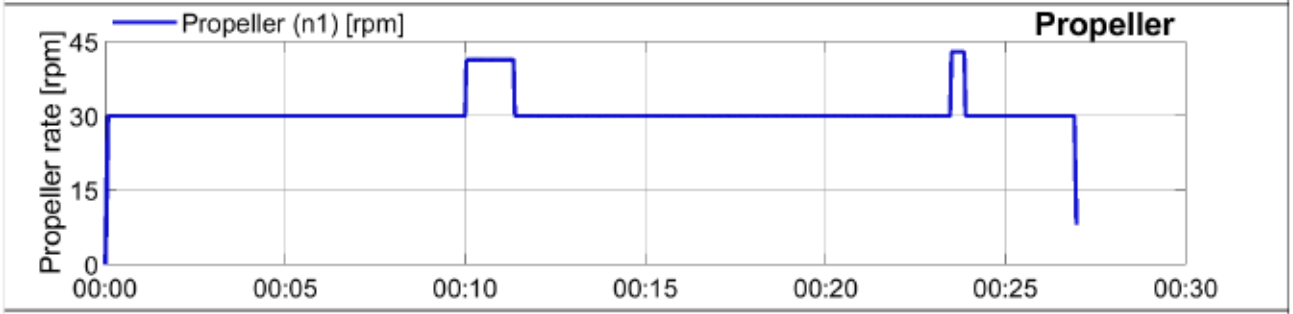
Manoeuvreereigenschappen

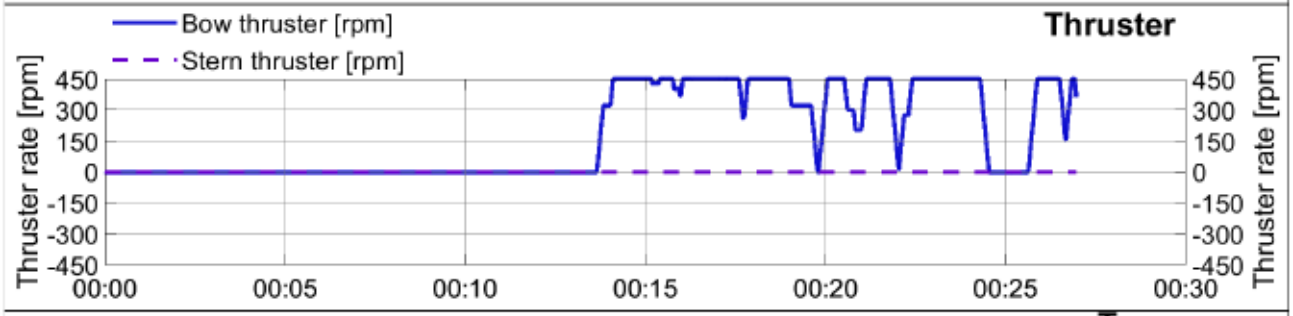
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

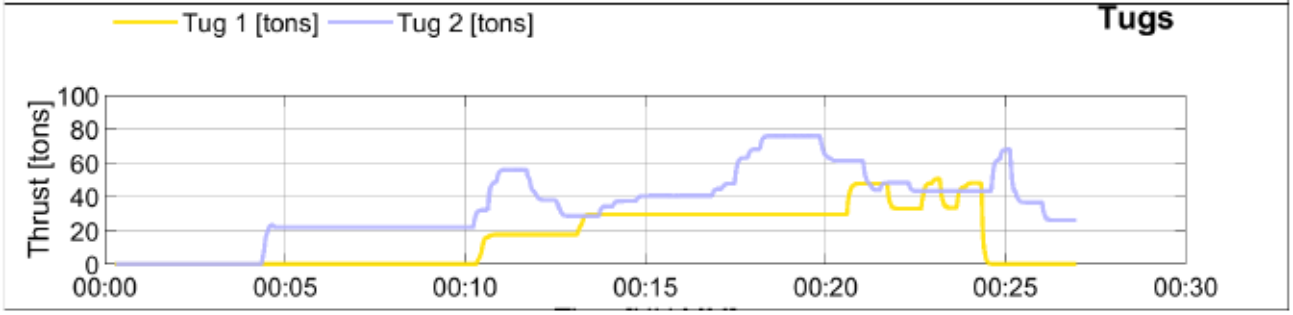
Simulatie: Buitenhaven V0 05	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 150 m









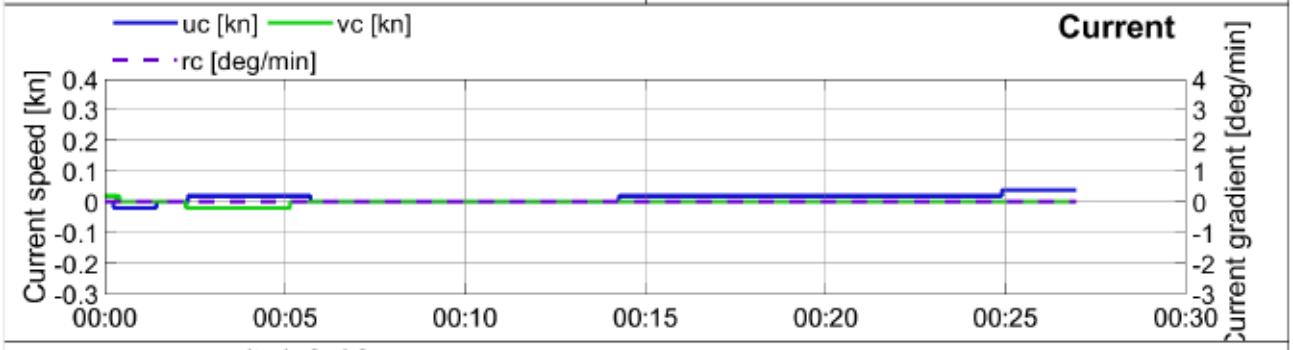


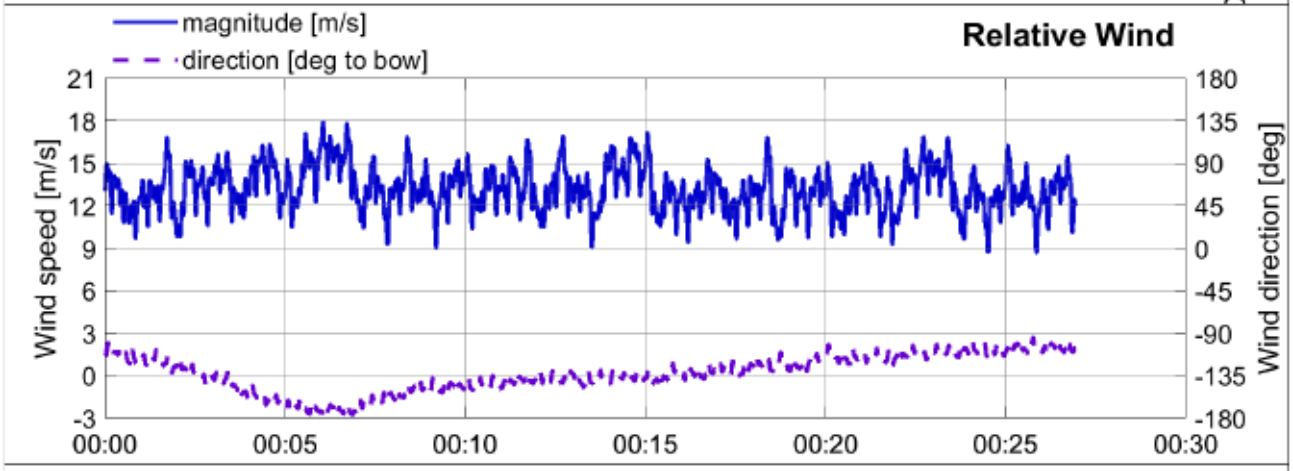
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

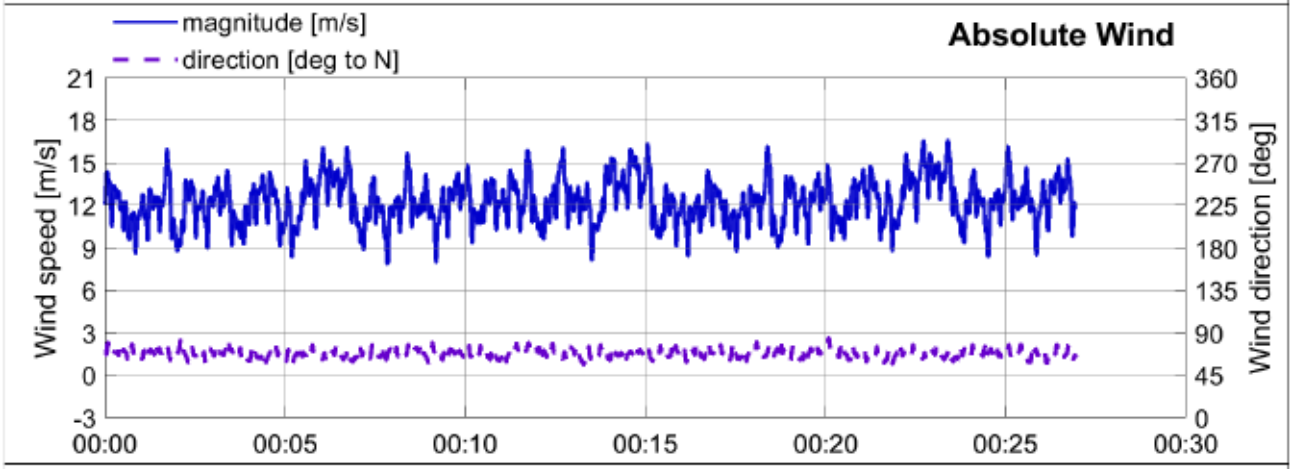
Omgevingscondities

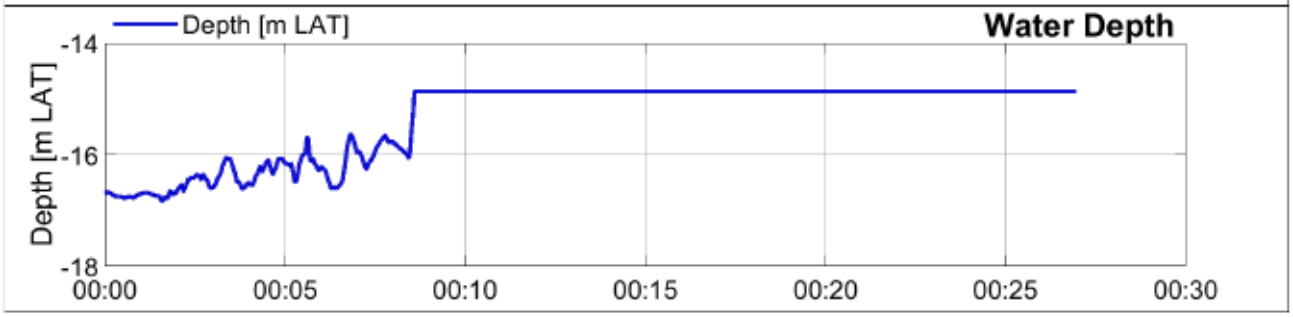
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 05	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 150 m







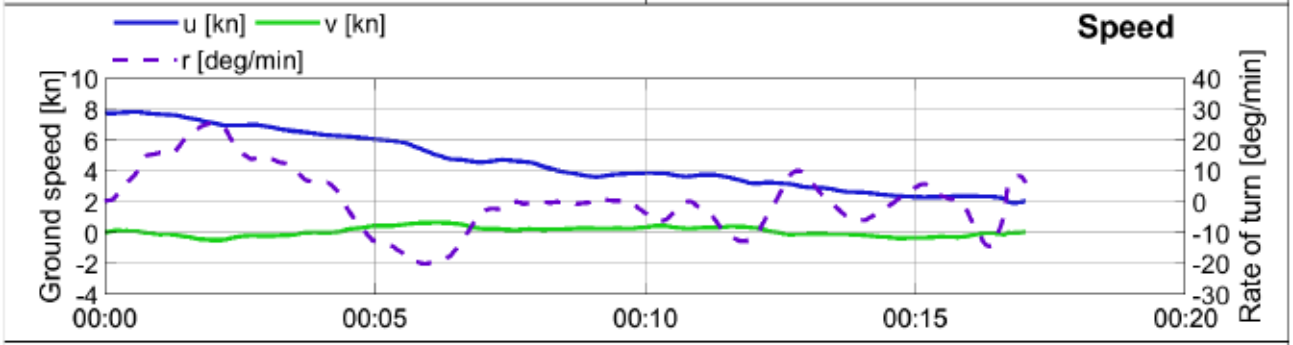


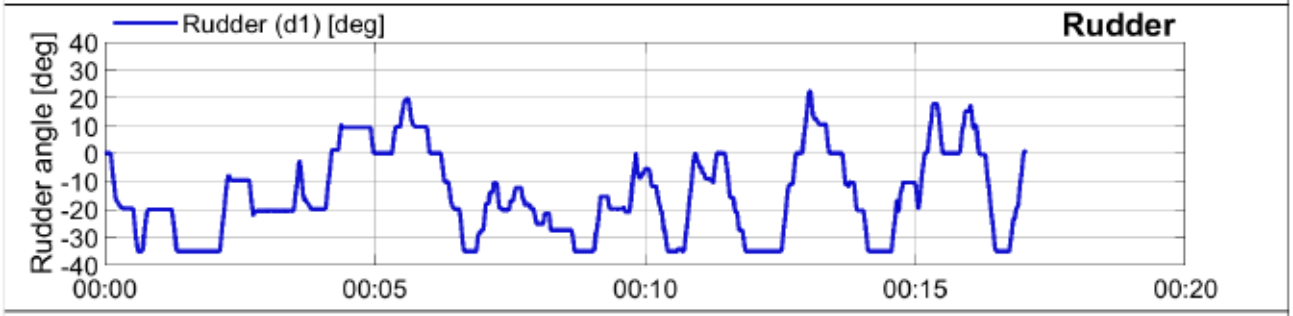
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

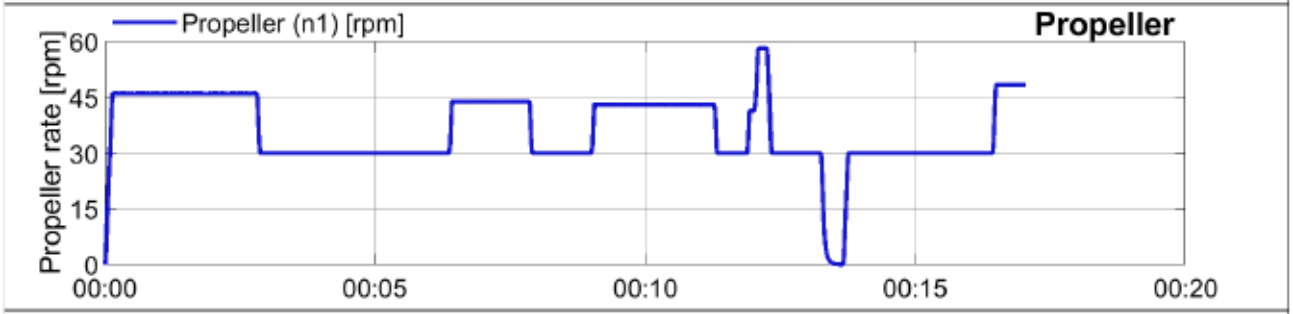
Manoeuvreereigenschappen

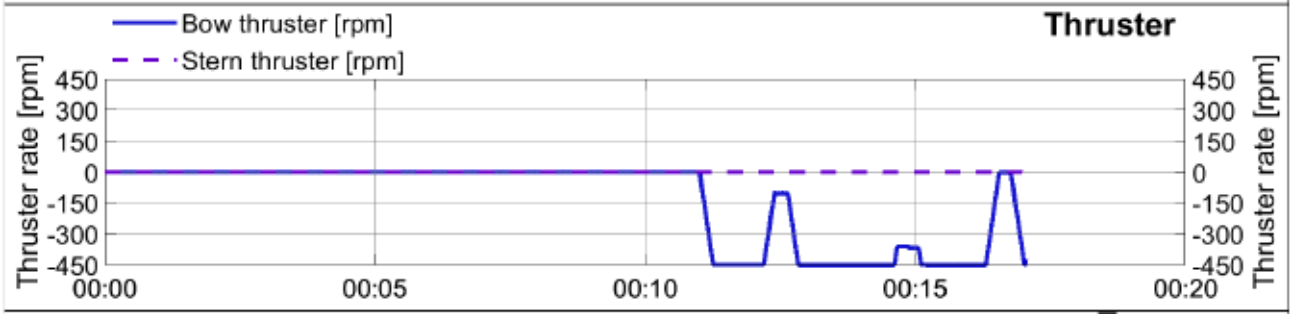
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

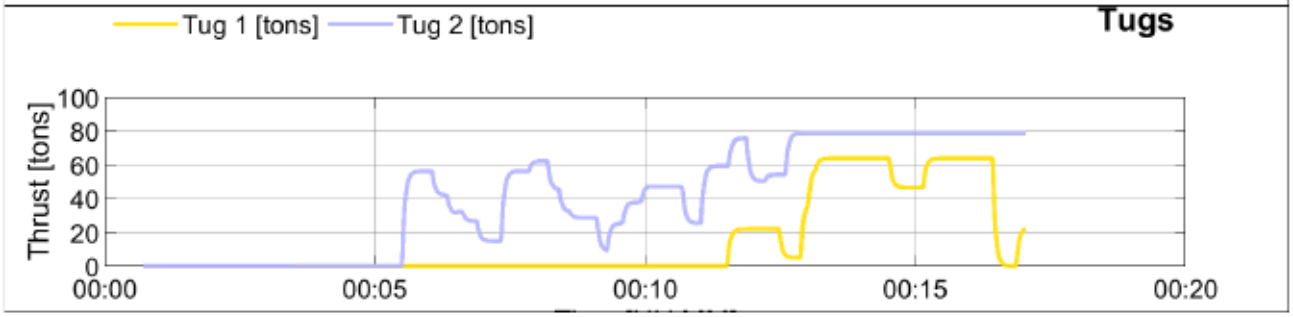
Simulatie: Buitenhaven V0 17	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









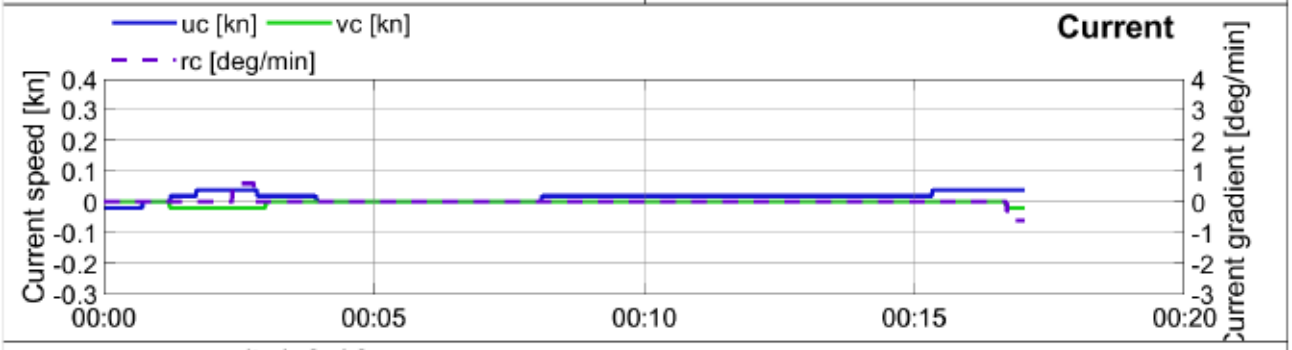


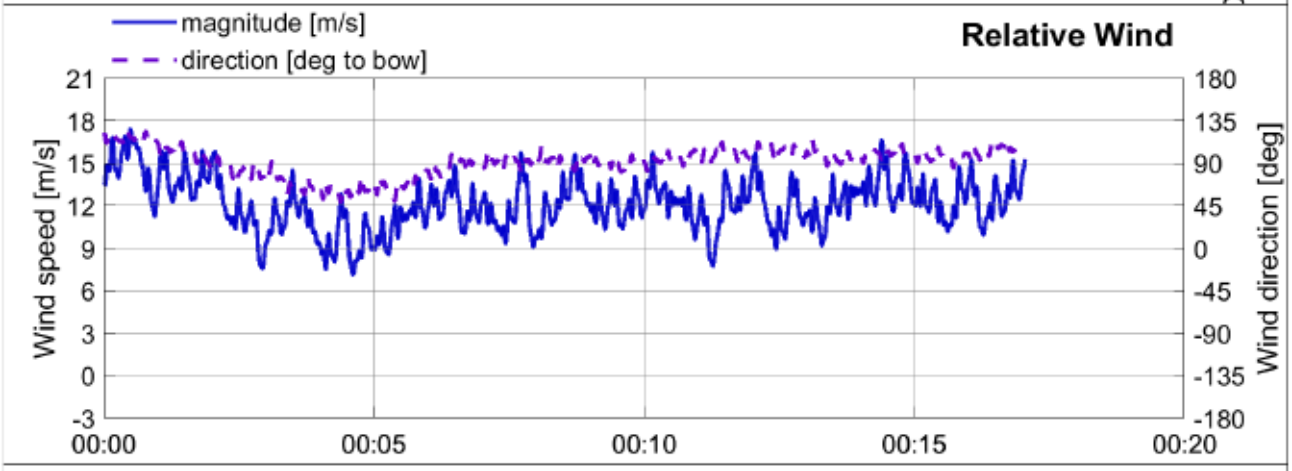
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

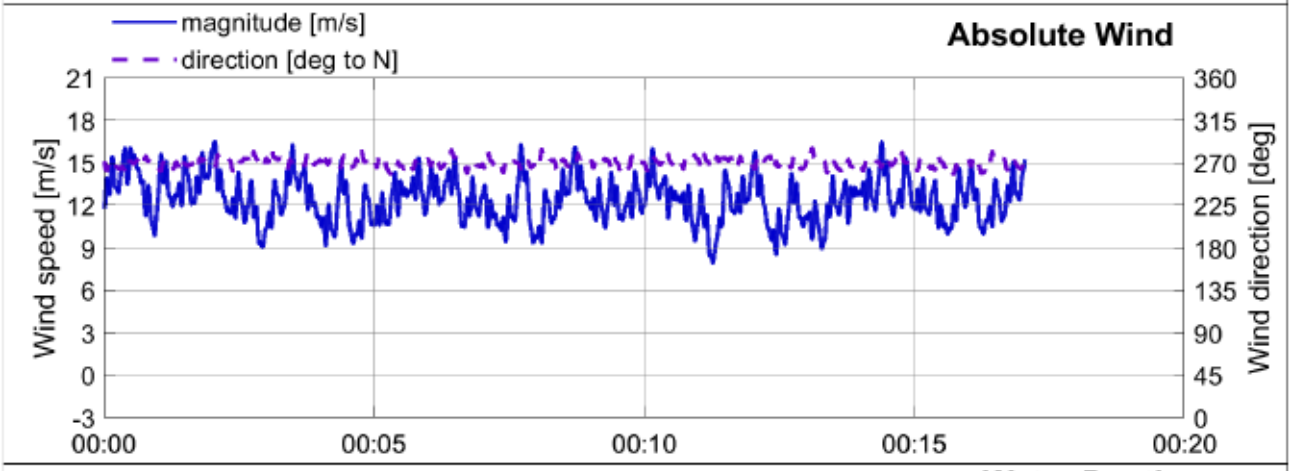
Omgevingscondities

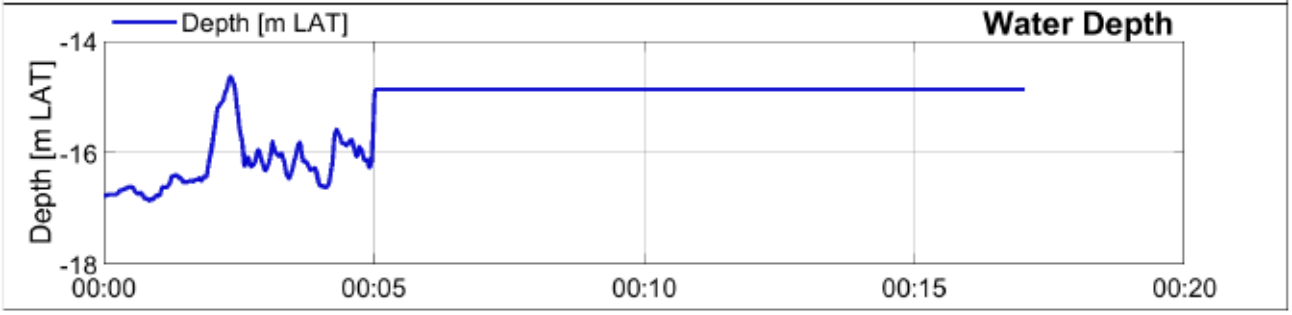
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 17	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







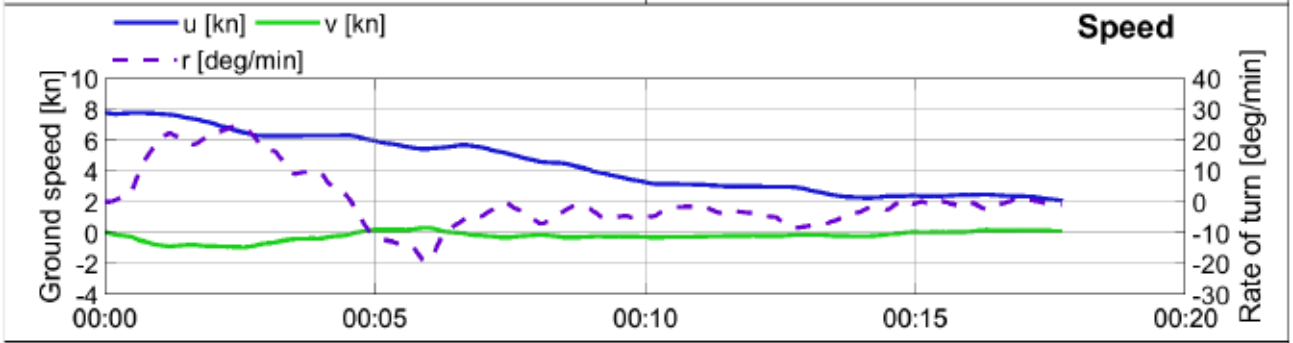


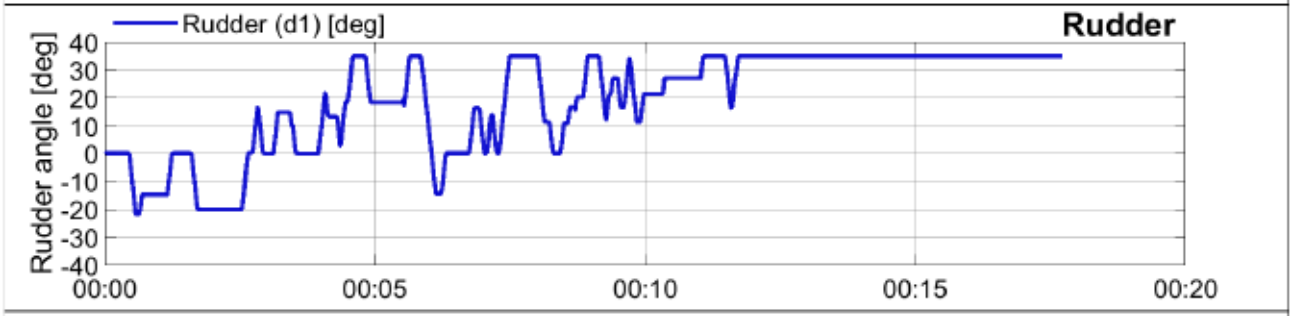
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

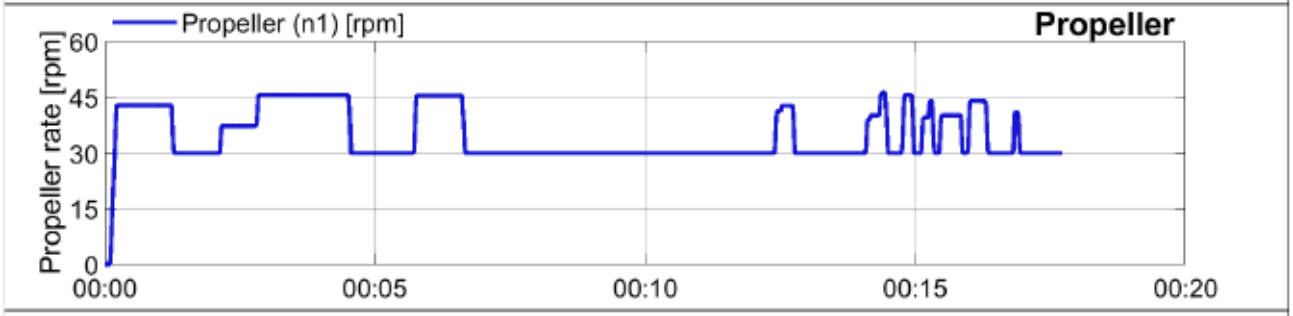
Manoeuvreereigenschappen

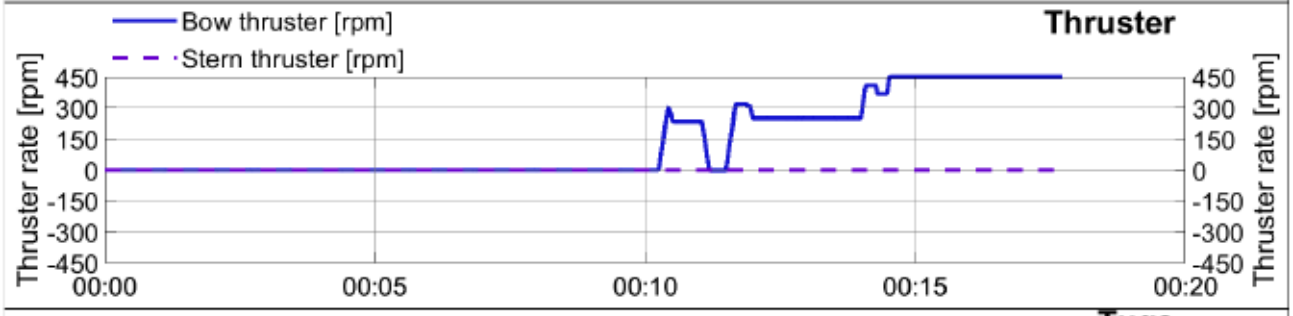
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

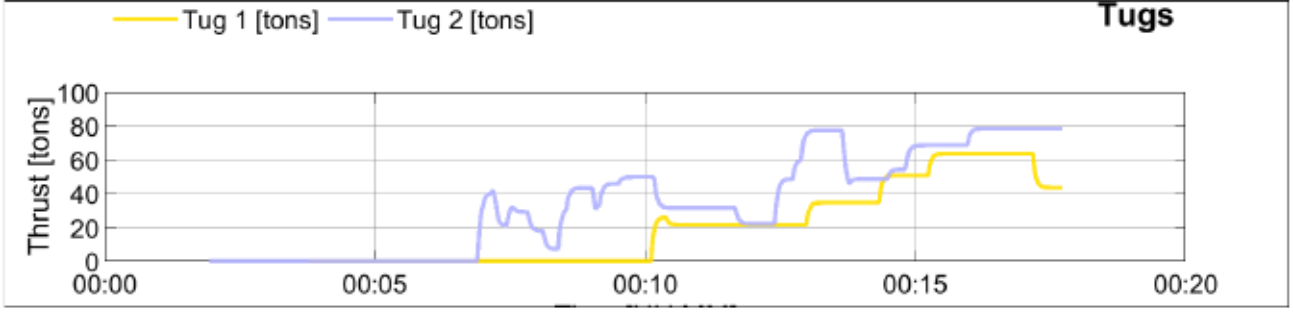
Simulatie: Buitenhaven V0 18	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









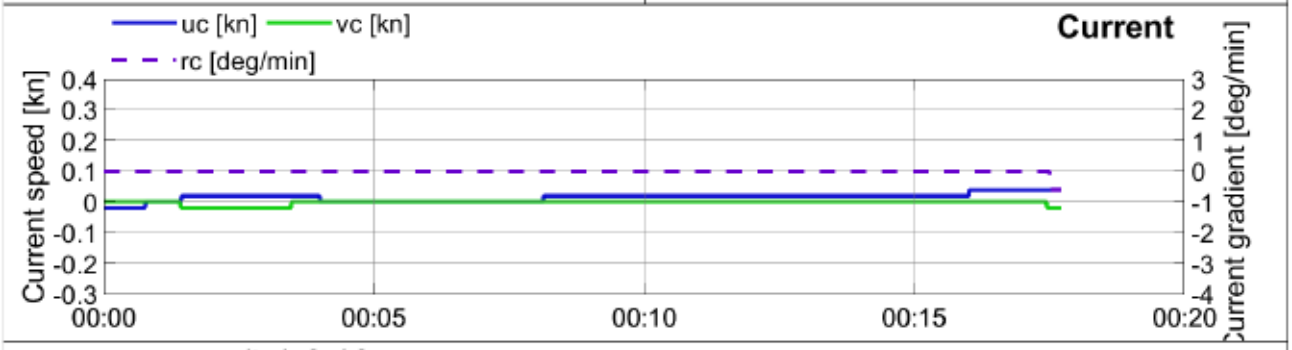


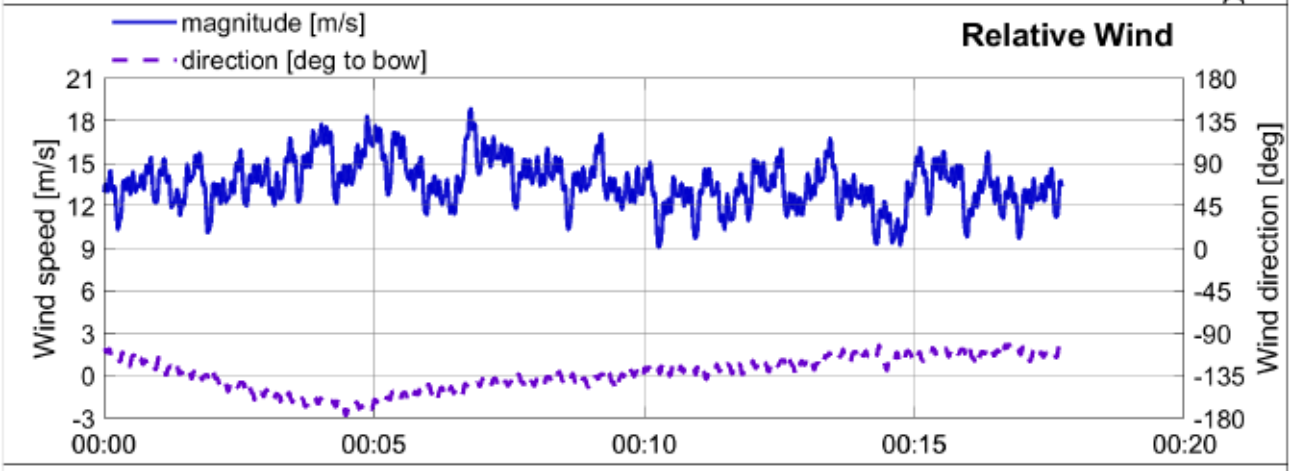
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

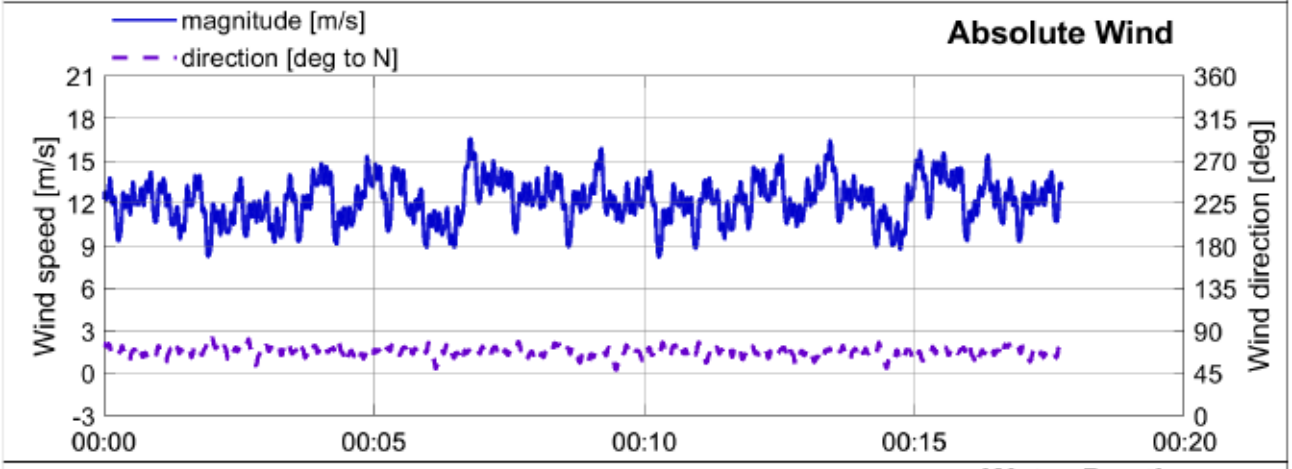
Omgevingscondities

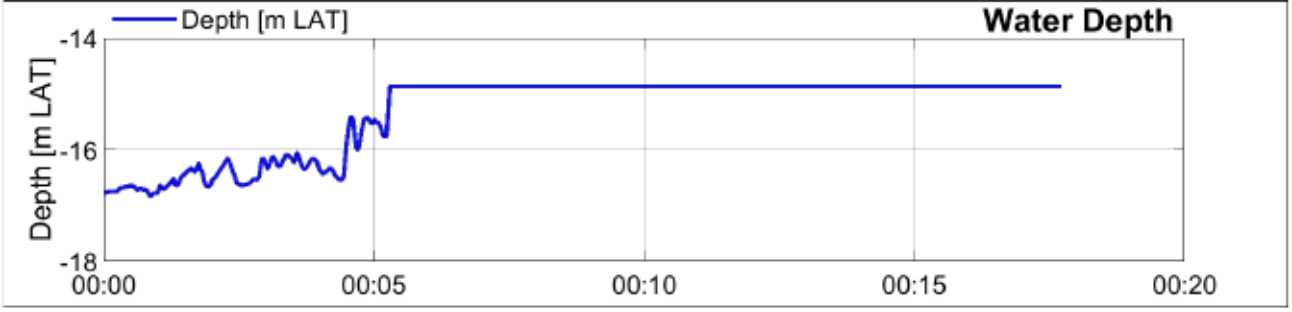
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V0 18	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







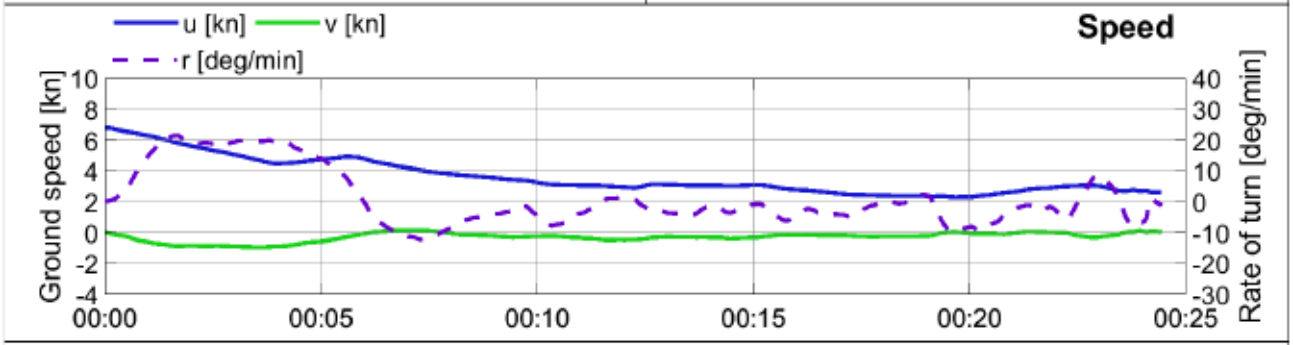


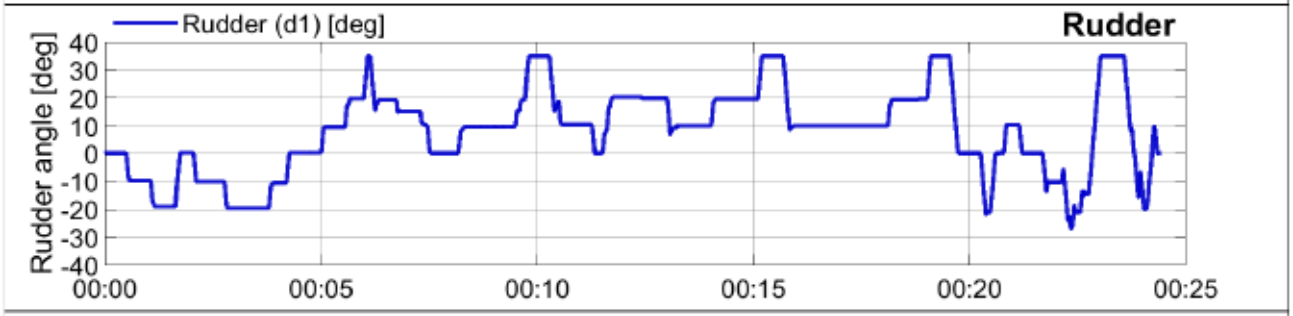
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

Manoeuvreereigenschappen

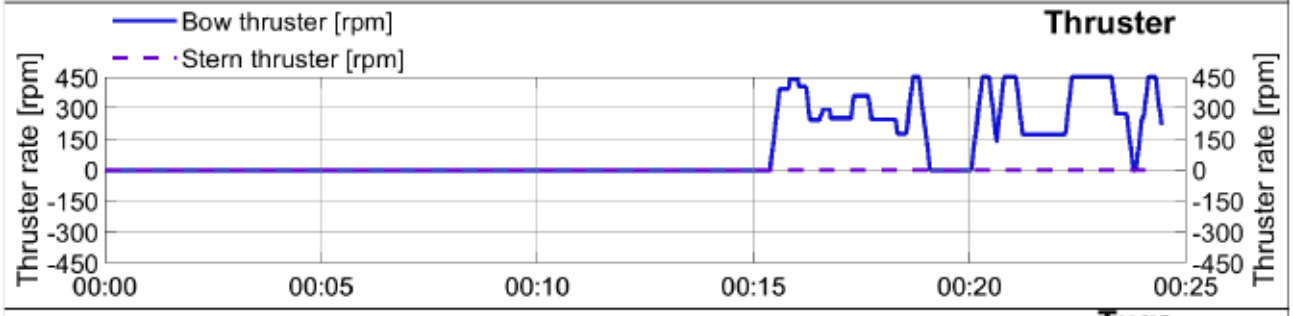
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

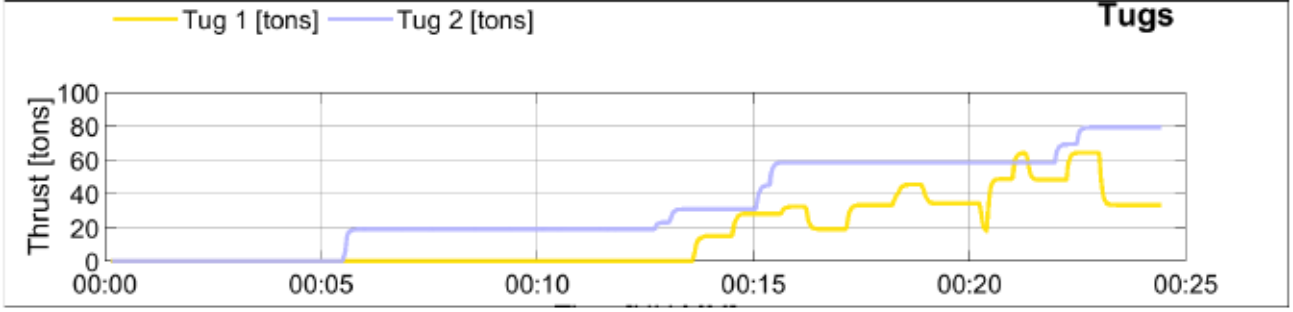
Simulatie: Buitenhaven V1 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









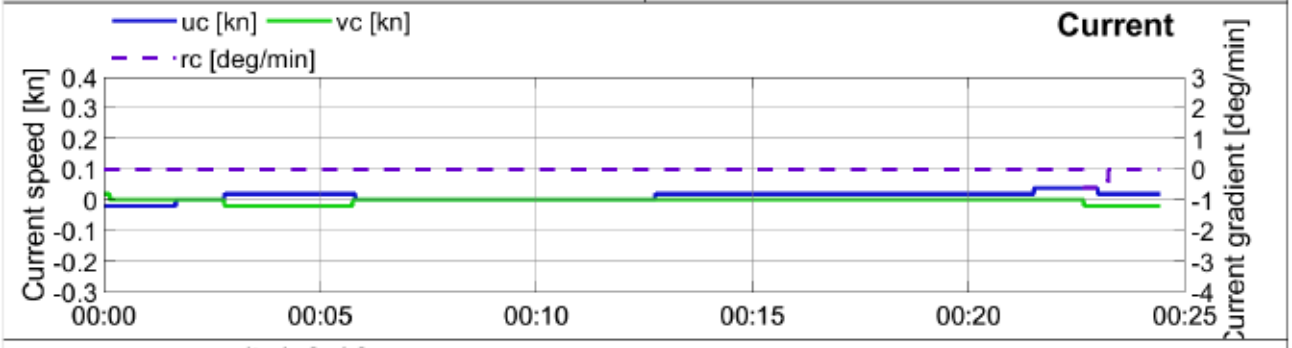


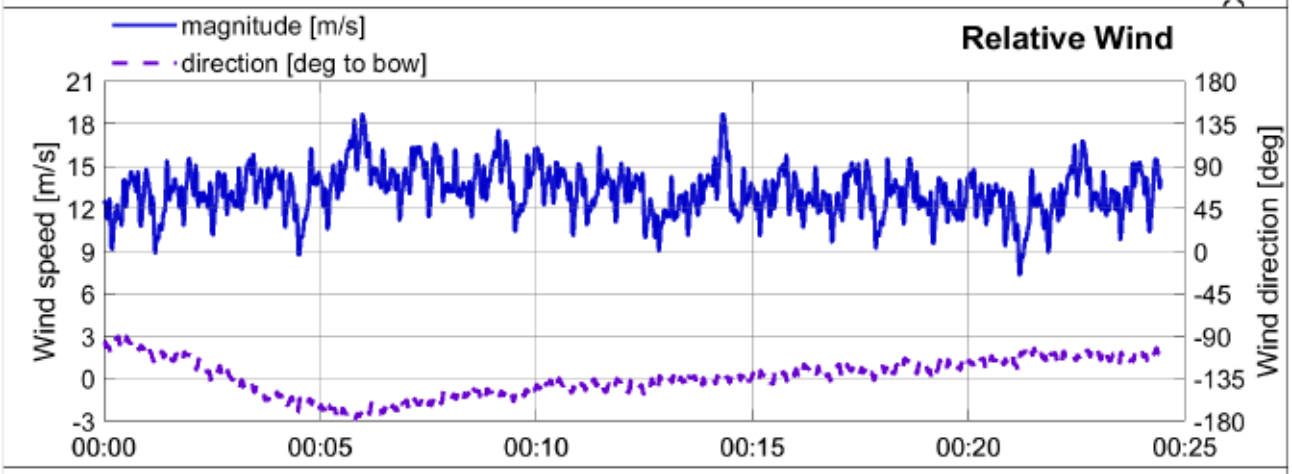
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

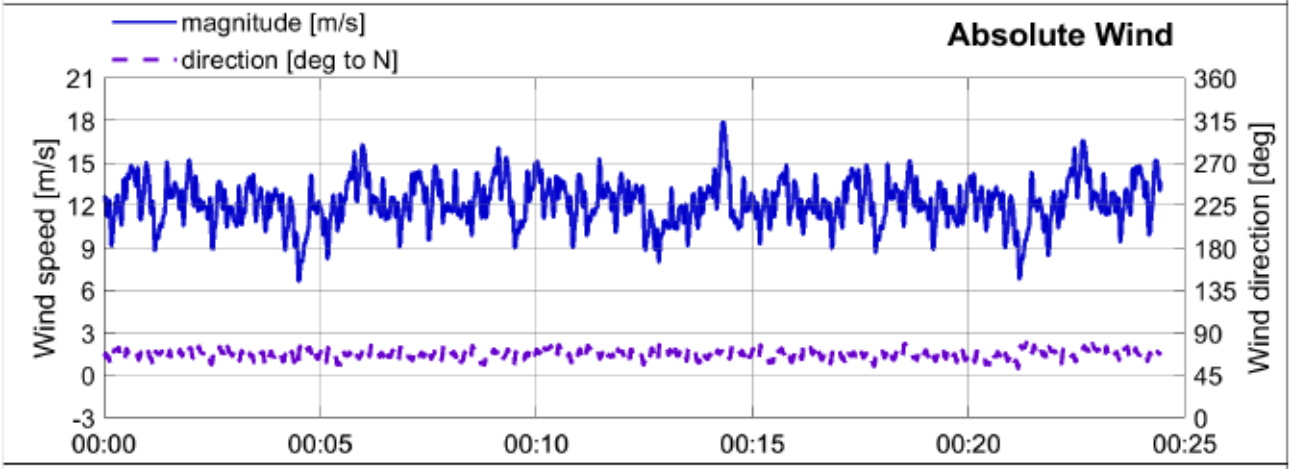
Omgevingscondities

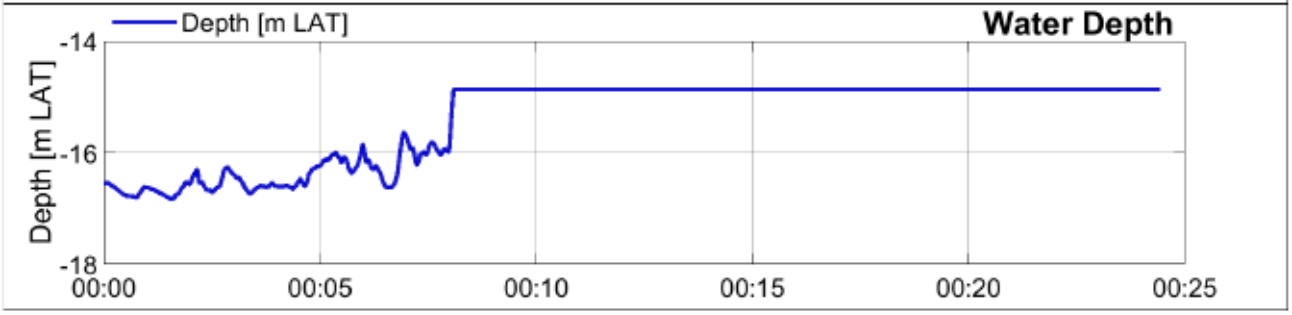
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







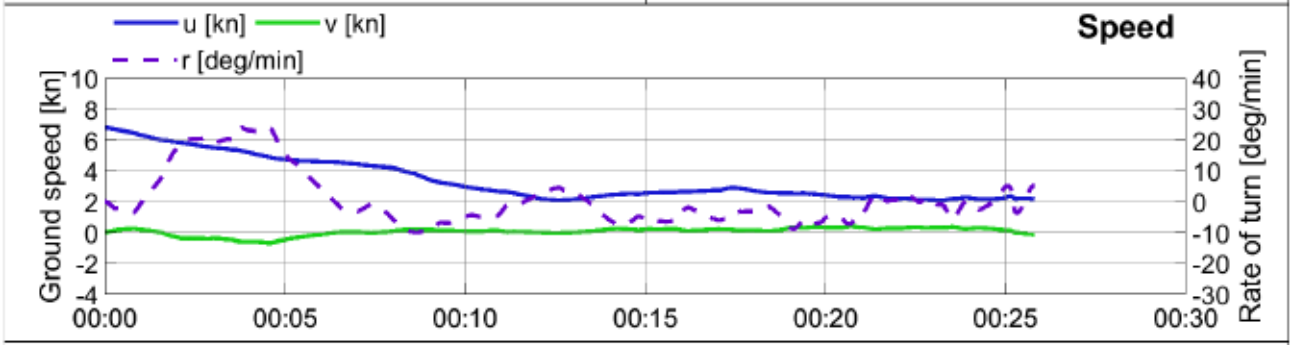


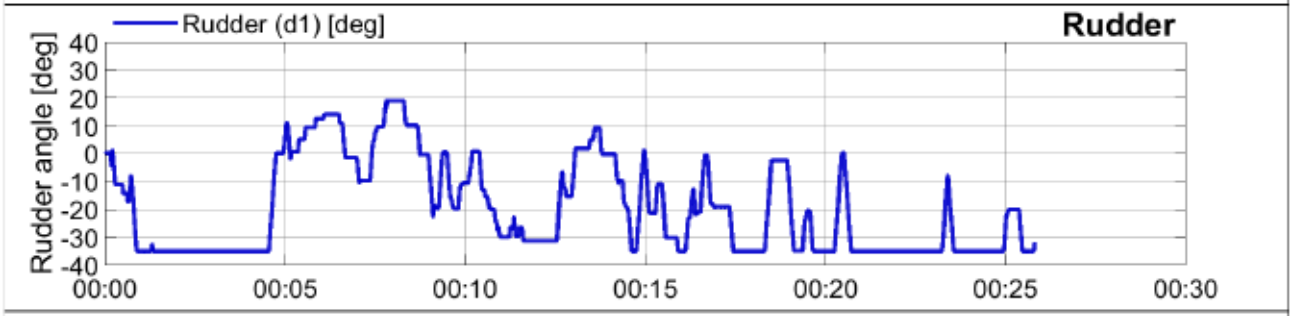
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

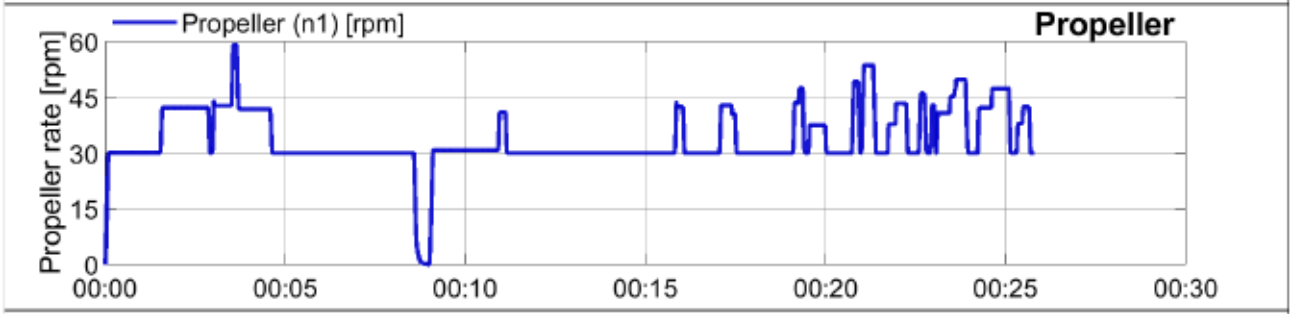
Manoeuvreereigenschappen

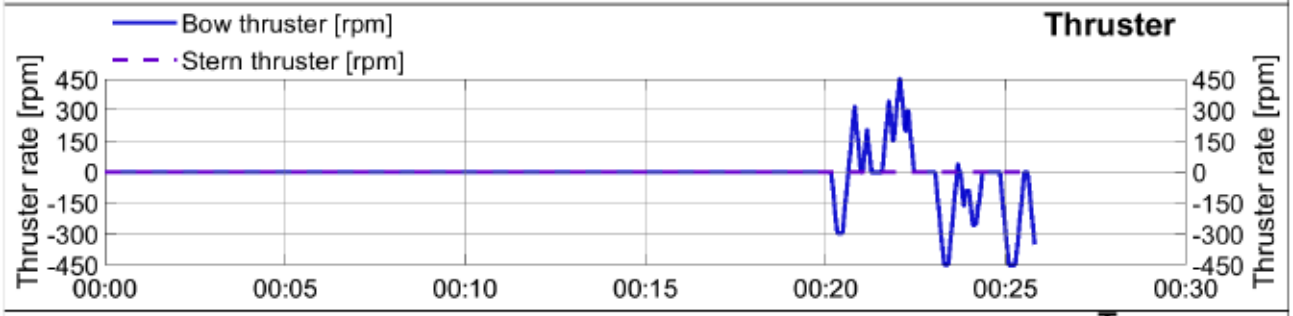
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

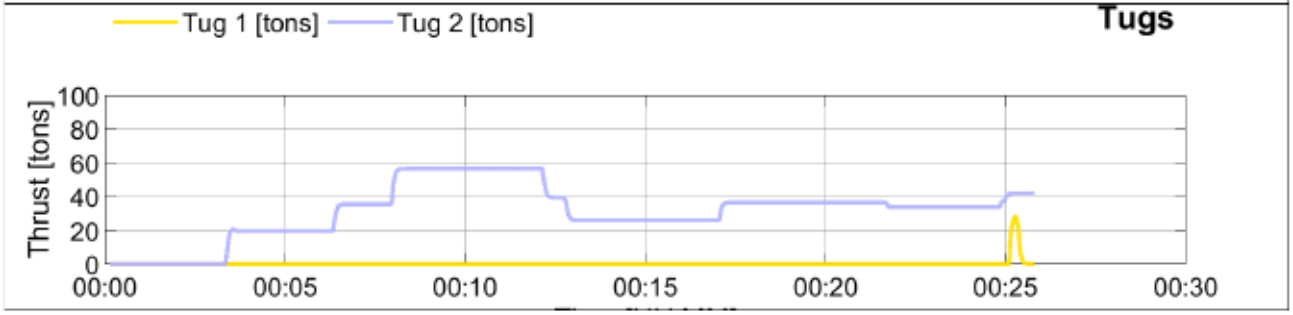
Simulatie: Buitenhaven V1 07	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









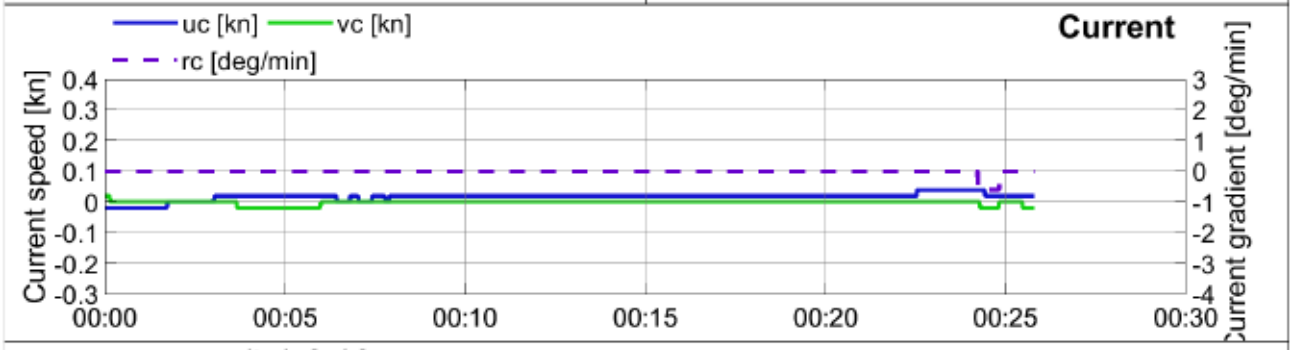


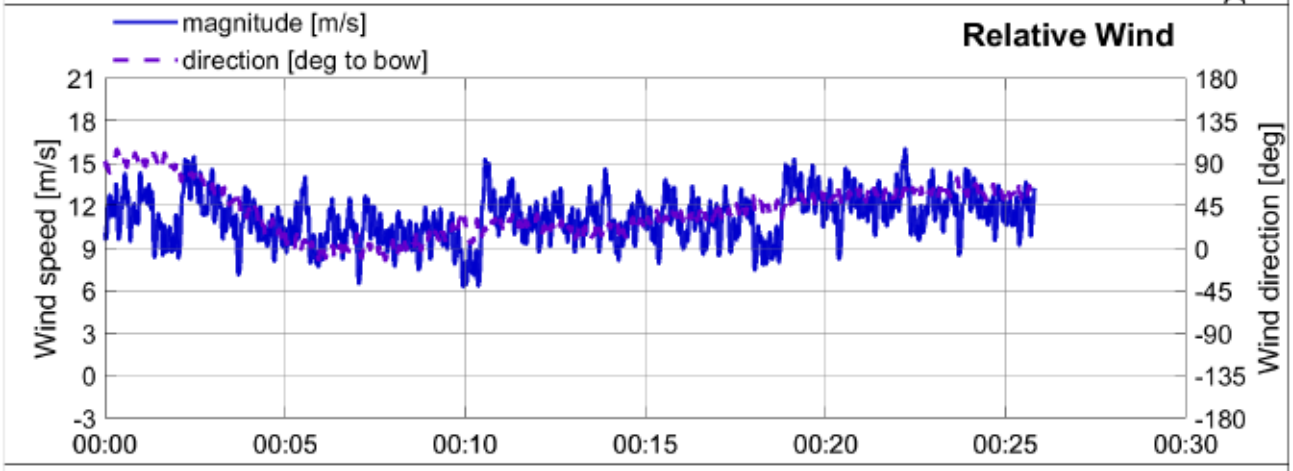
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

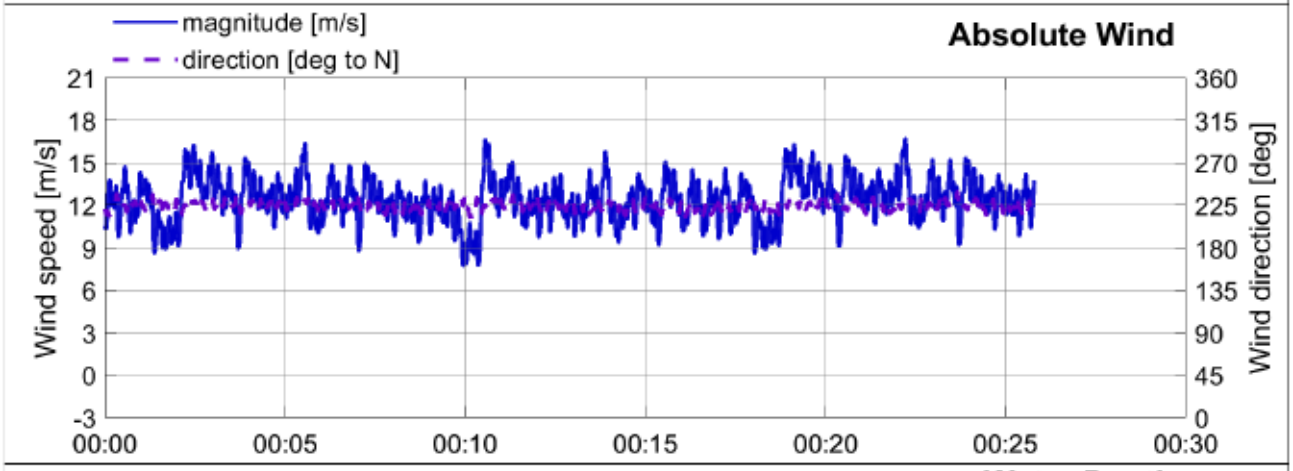
Omgevingscondities

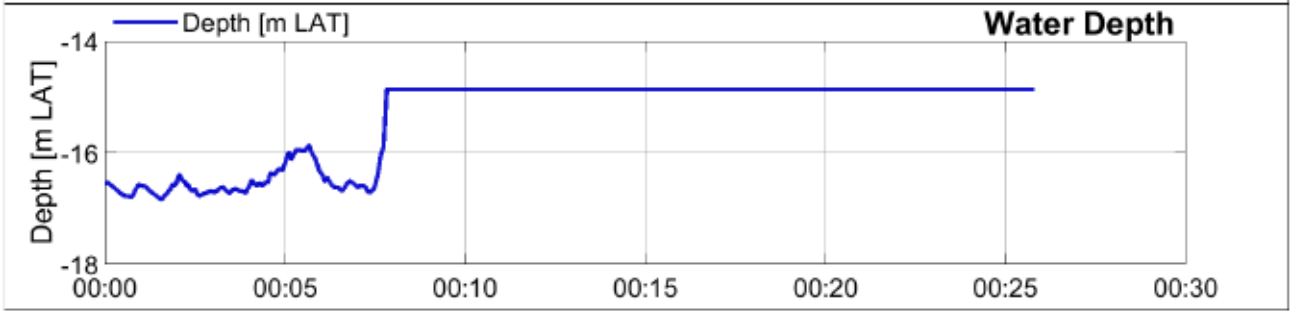
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 07	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







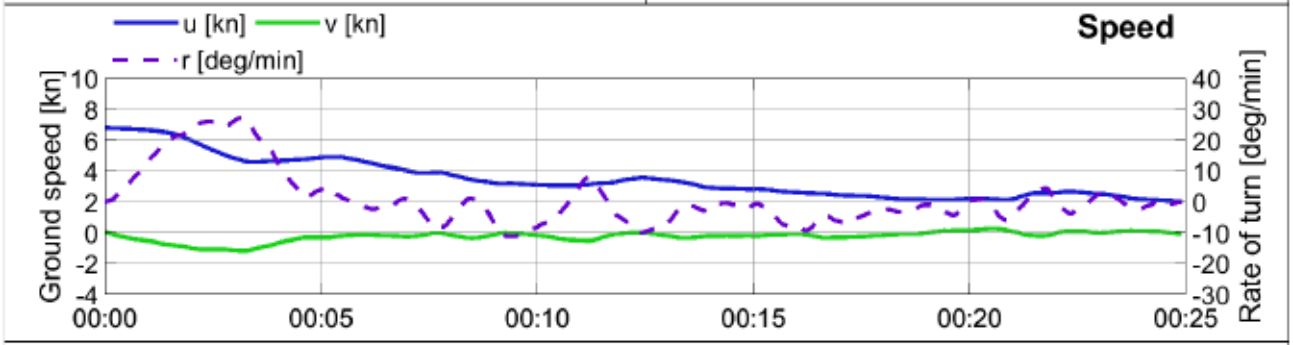


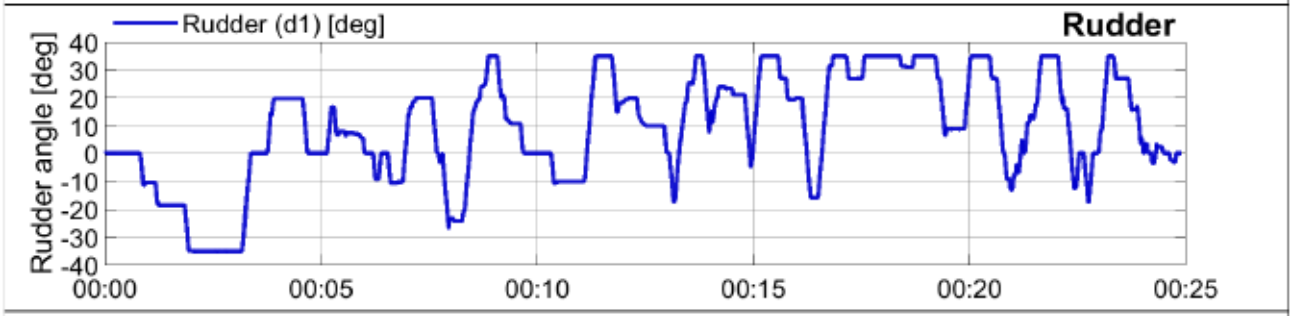
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

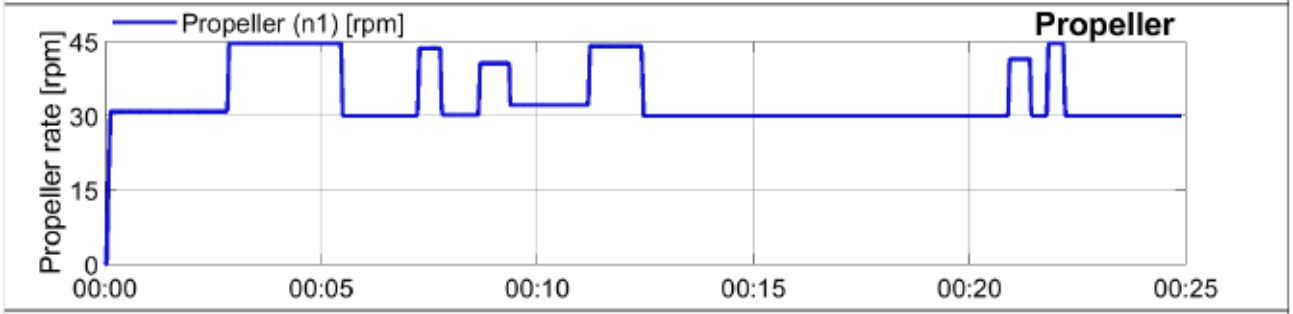
Manoeuvreereigenschappen

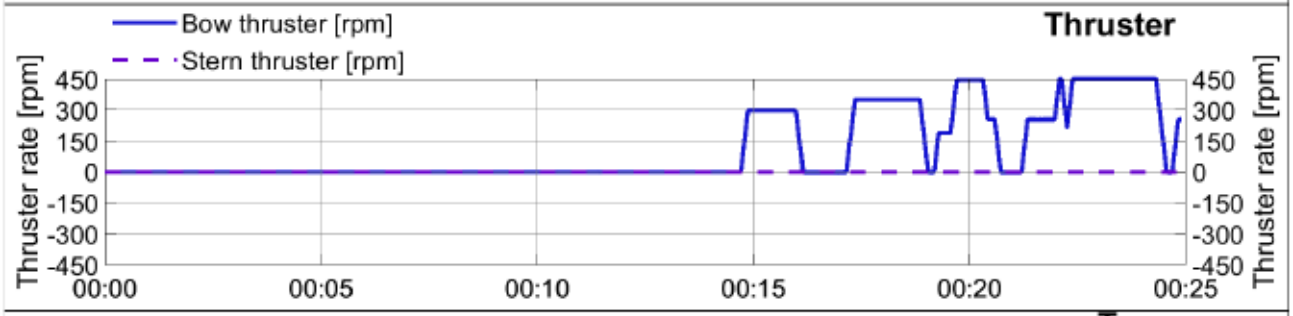
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+80+65 tons

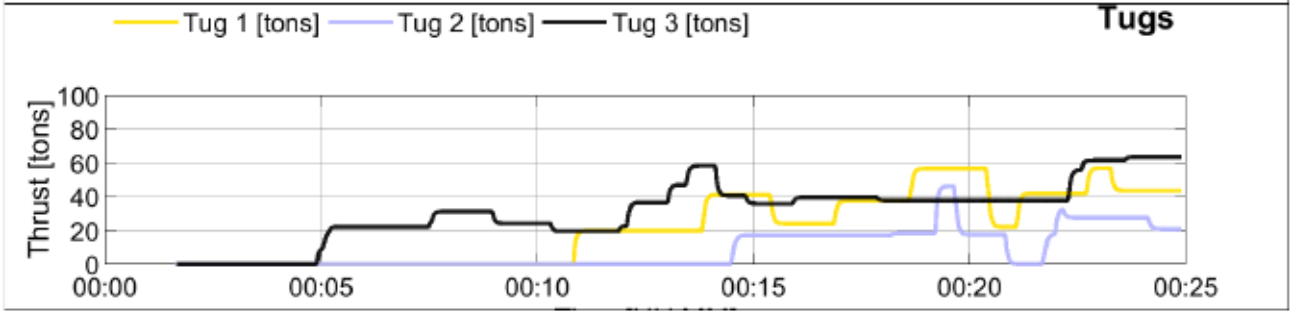
Simulatie: Buitenhaven V1 08	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









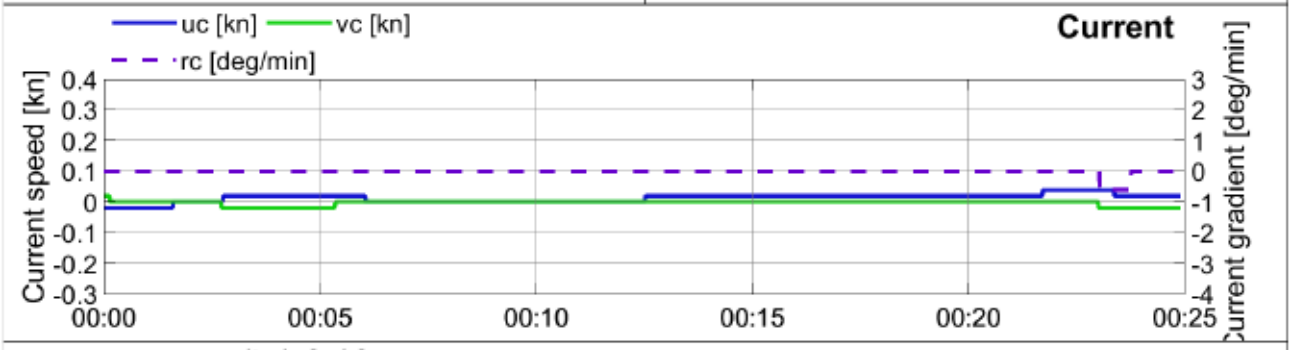


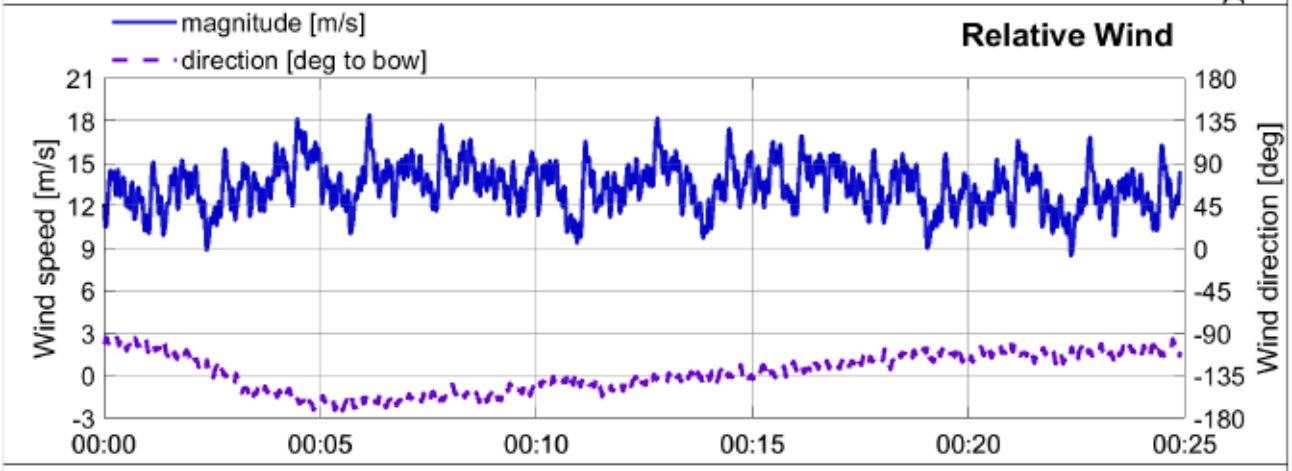
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

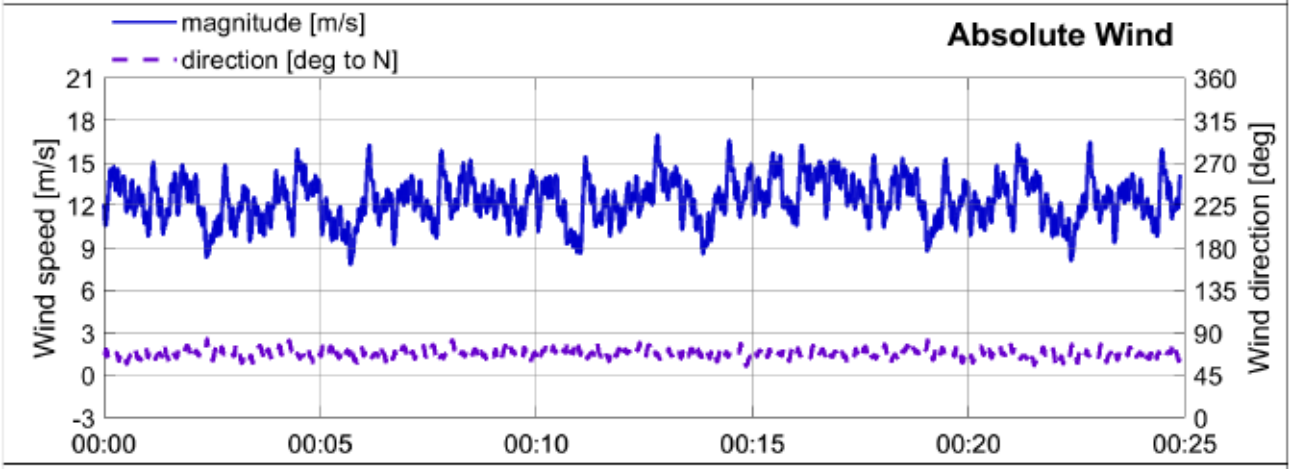
Omgevingscondities

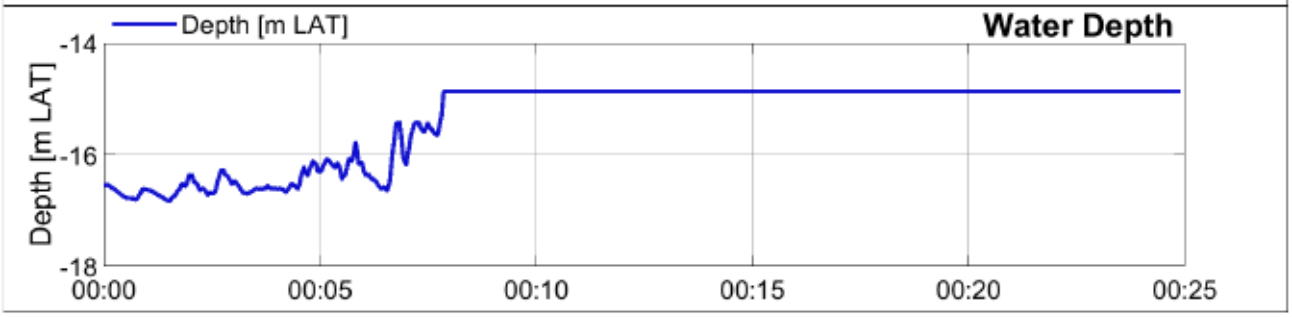
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+80+65 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 08	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







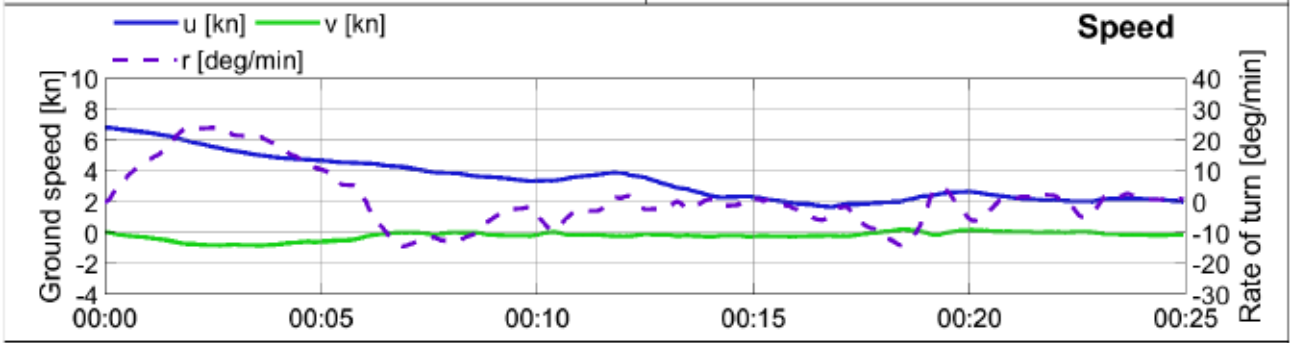


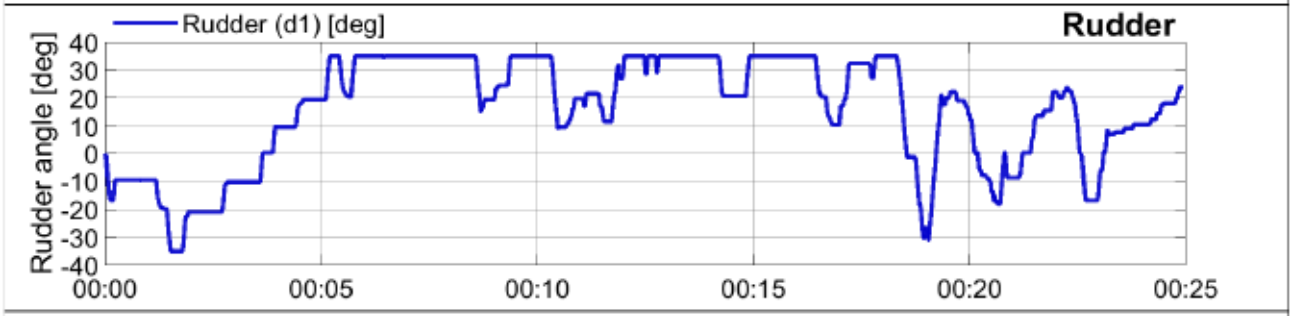
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

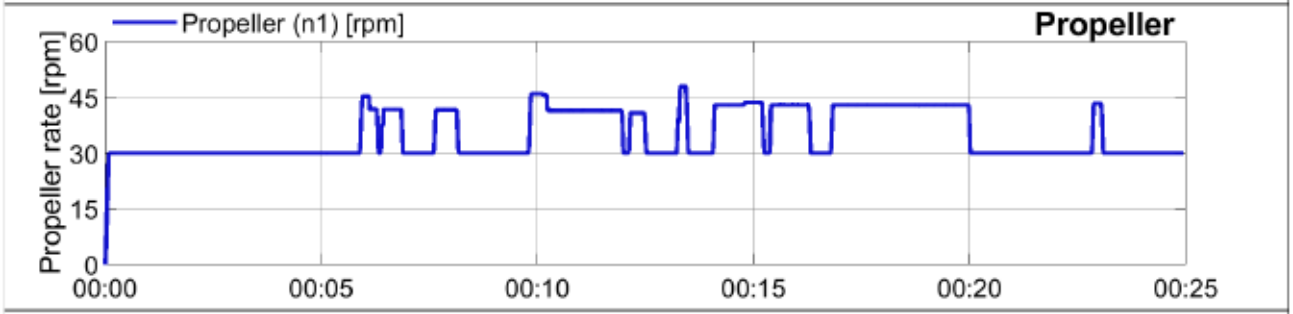
Manoeuvreereigenschappen

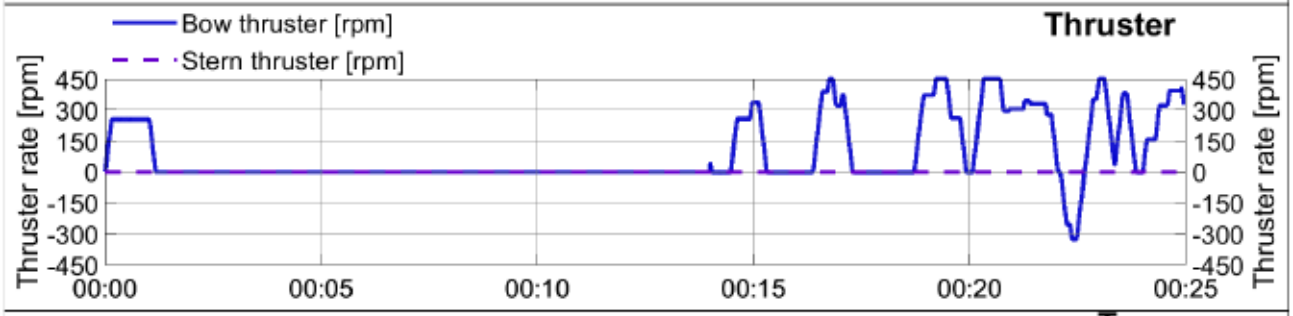
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

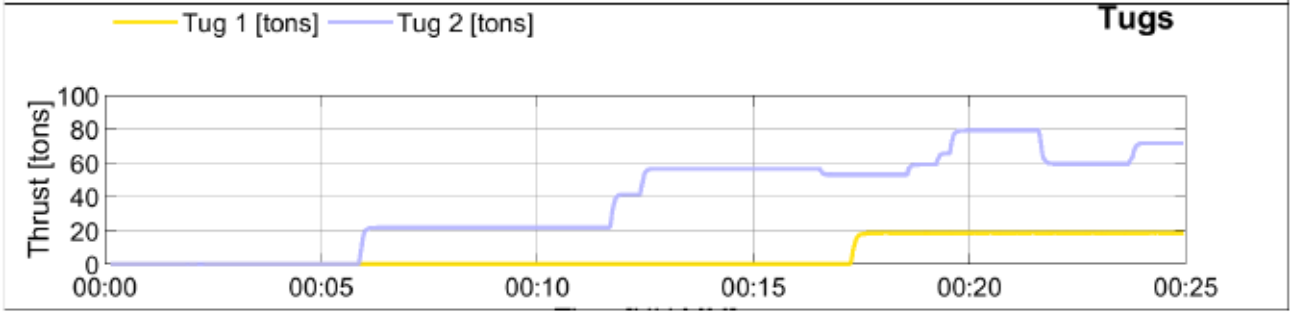
Simulatie: Buitenhaven V1 09	Wind: NW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









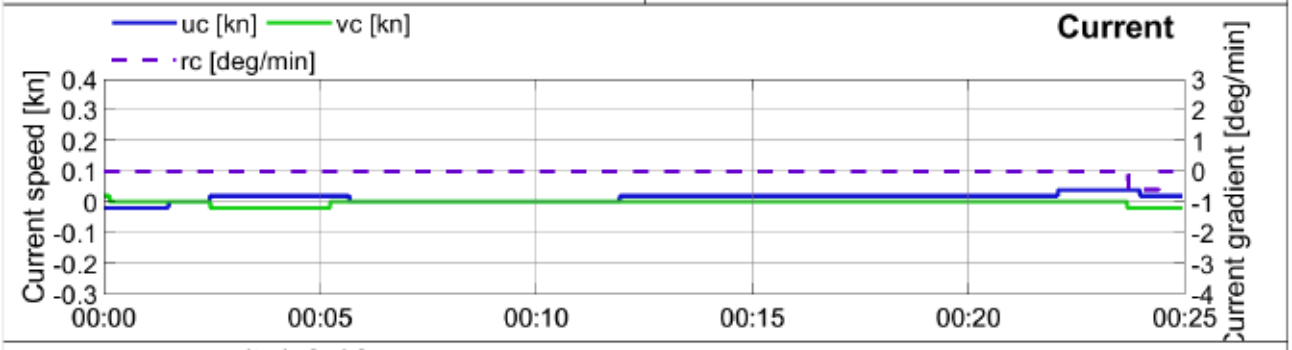


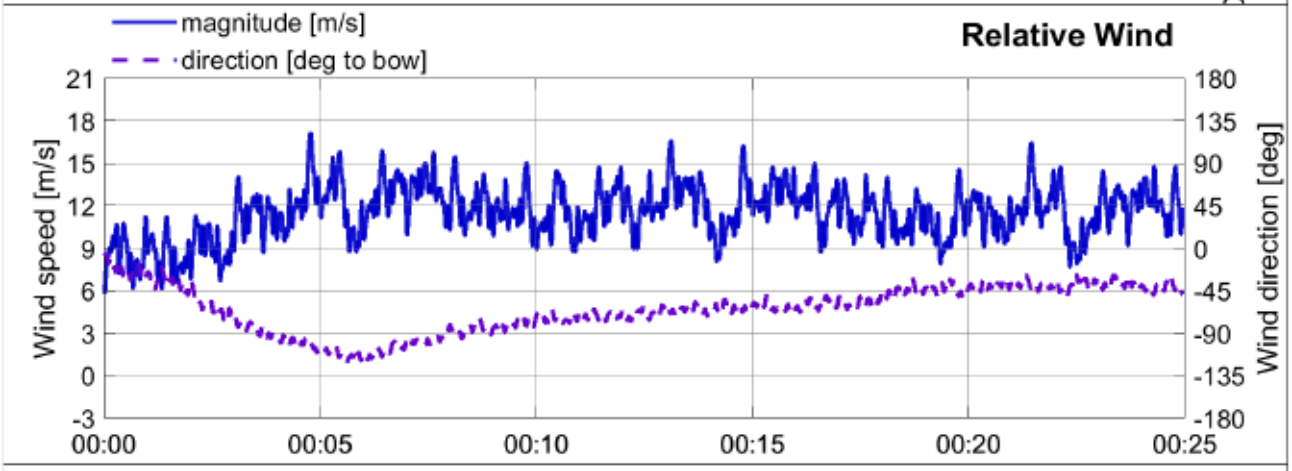
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

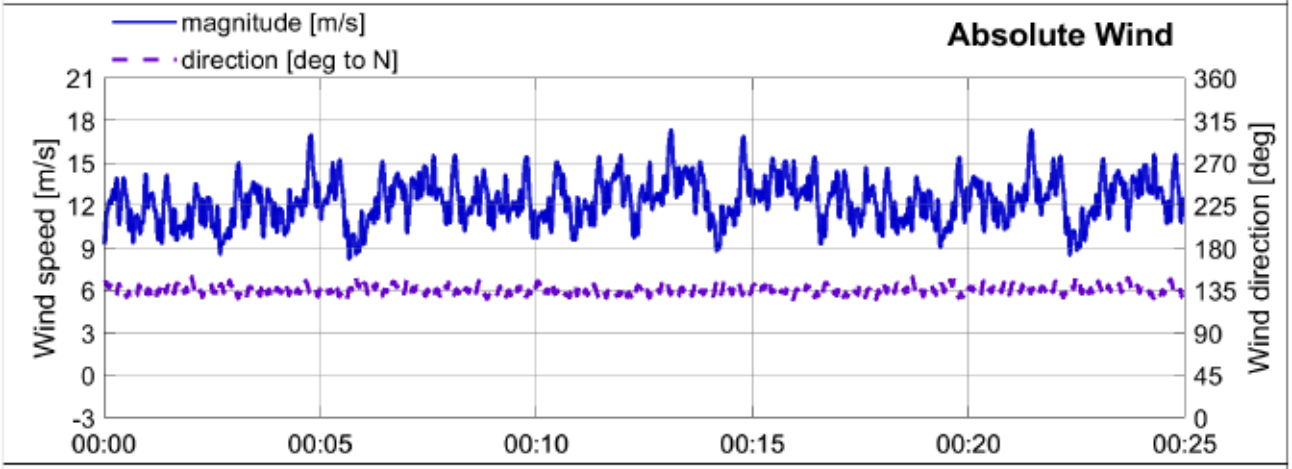
Omgevingscondities

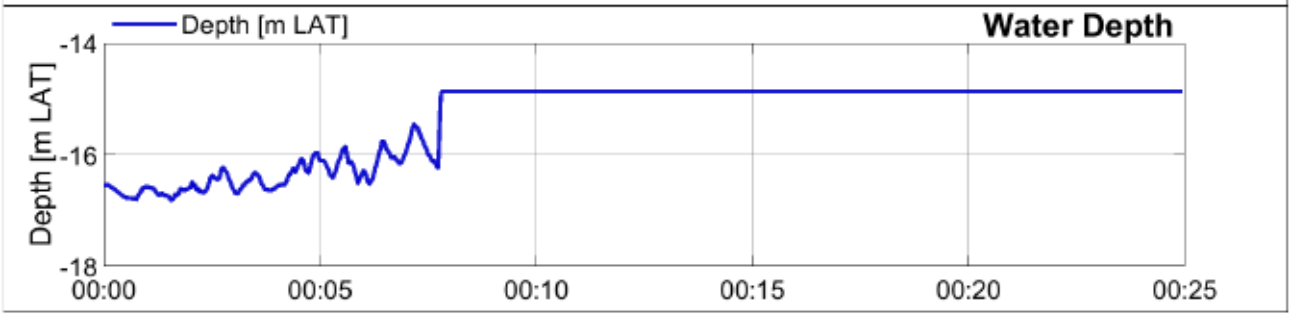
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 09	Wind: NW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 12/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







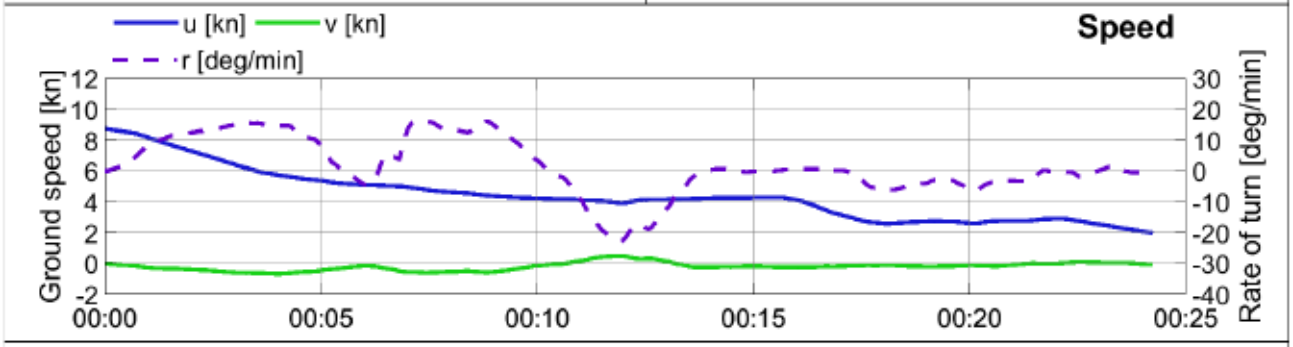


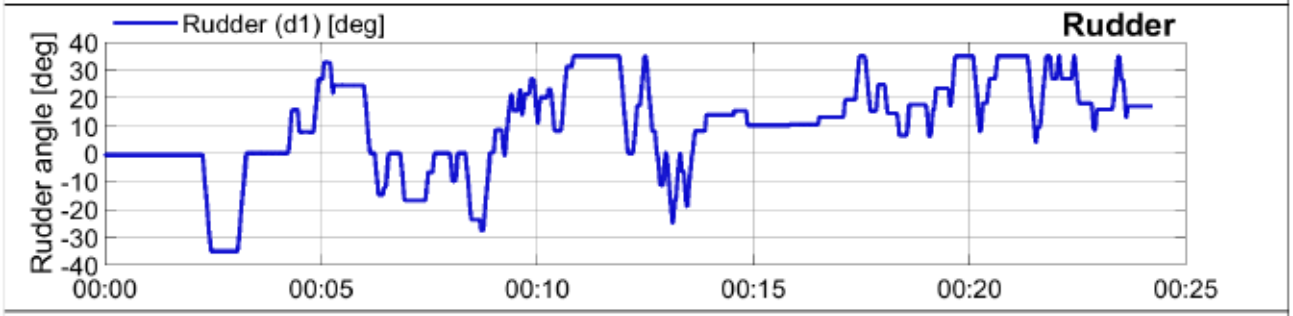
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

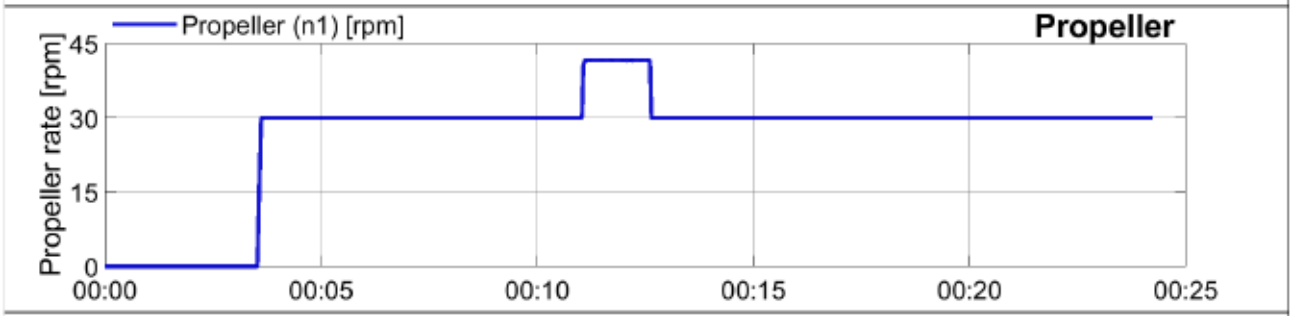
Manoeuvreereigenschappen

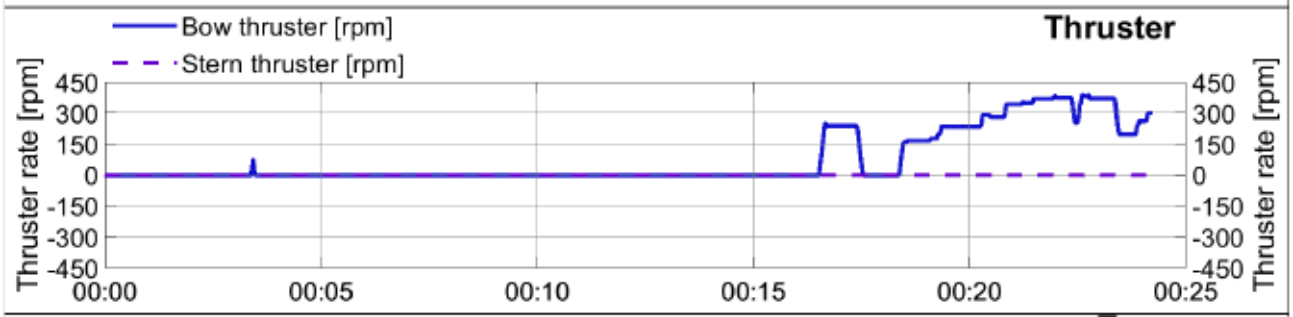
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

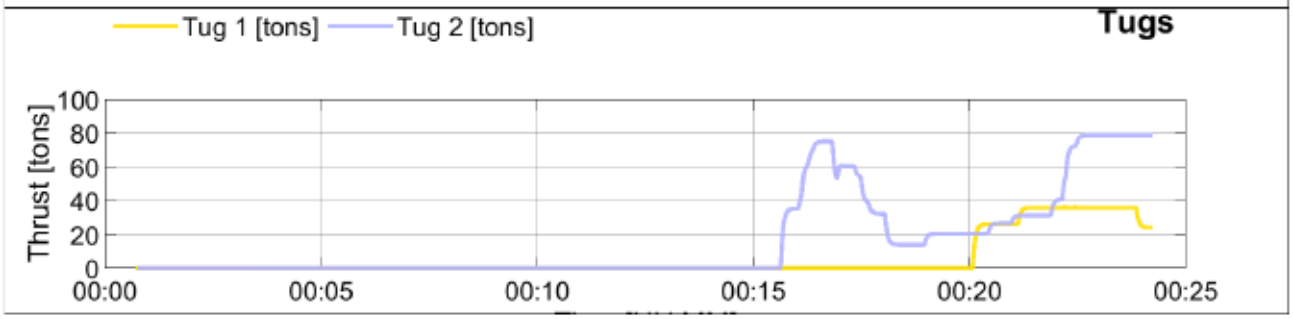
Simulatie: Buitenhaven V1 10	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









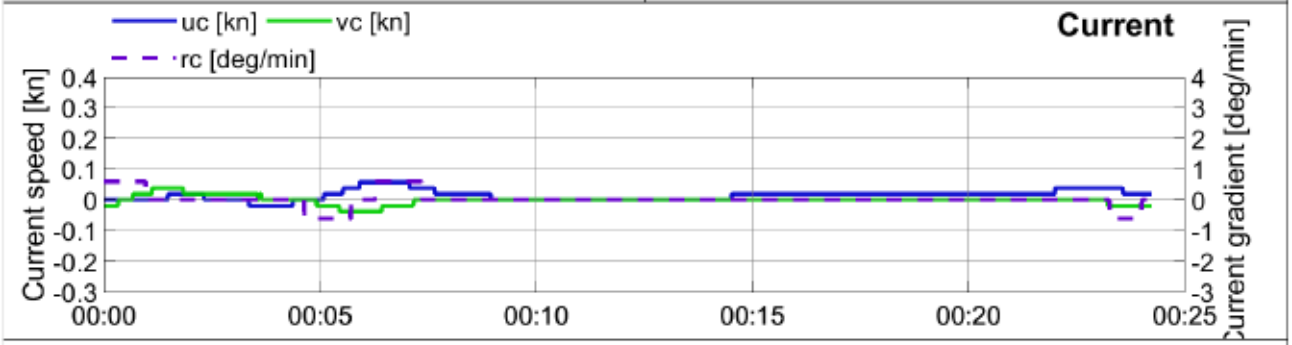


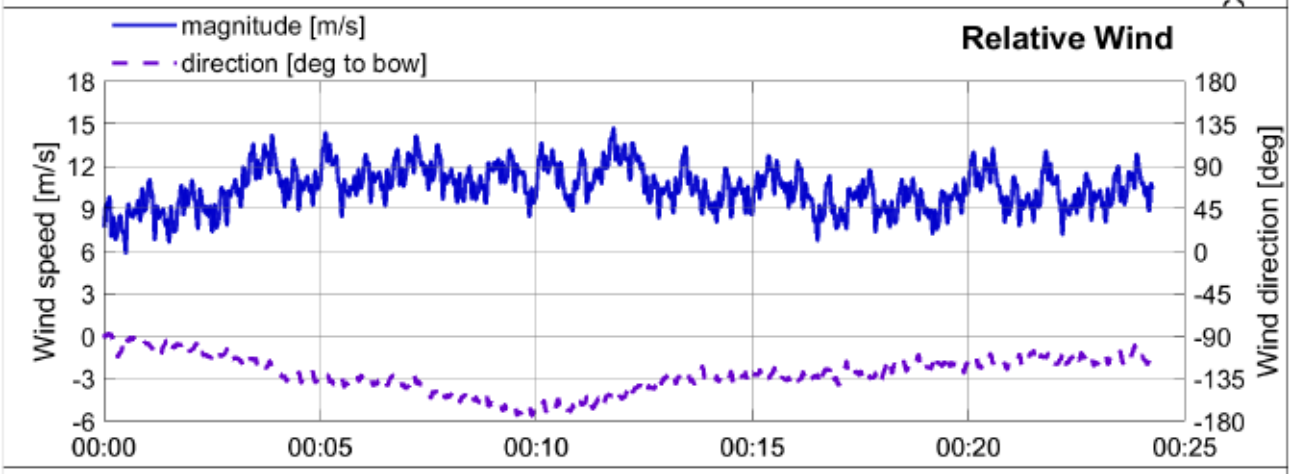
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

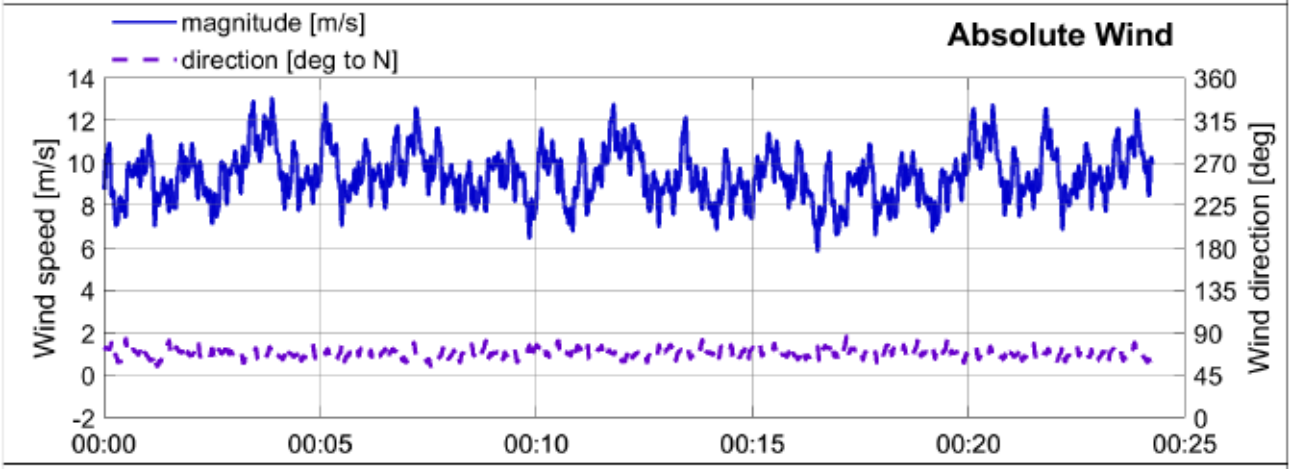
Omgevingscondities

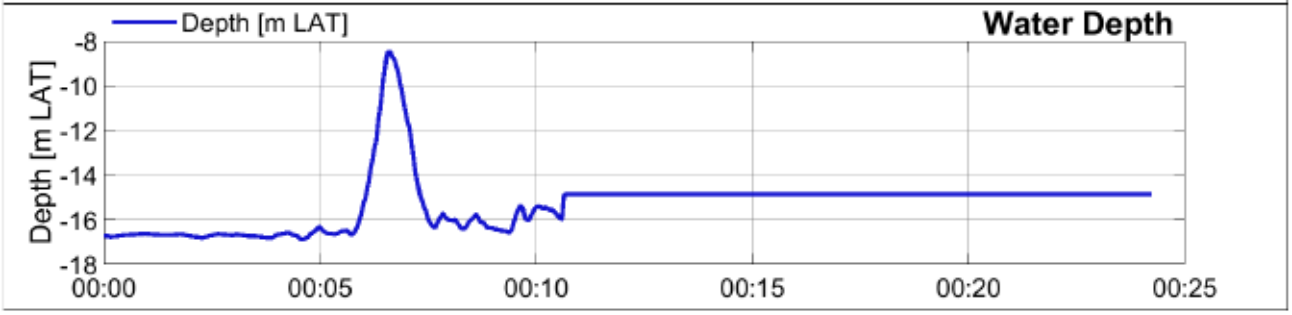
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 10	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







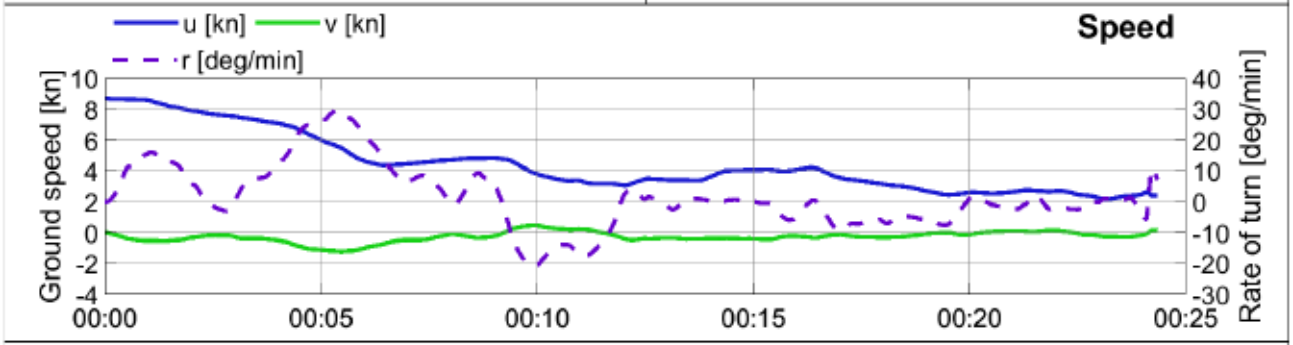


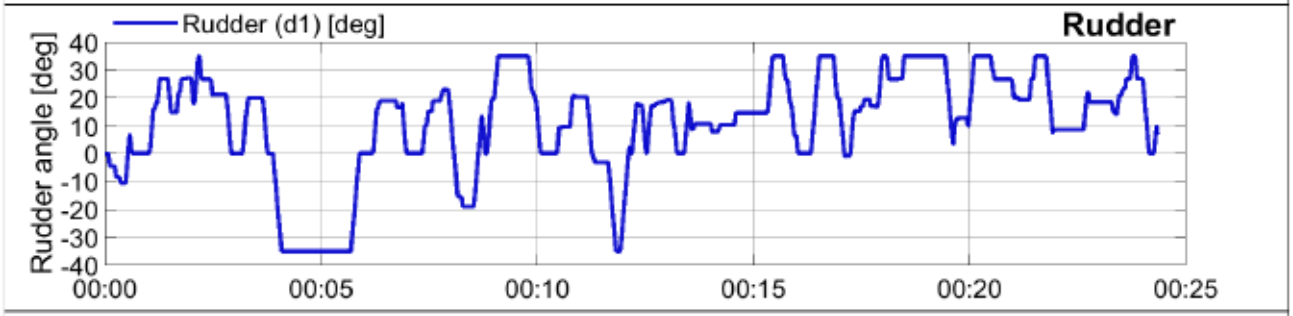
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

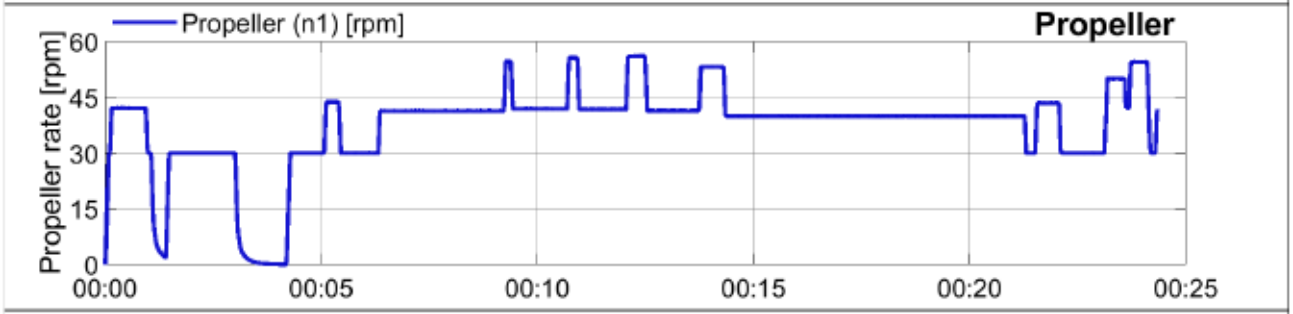
Manoeuvreereigenschappen

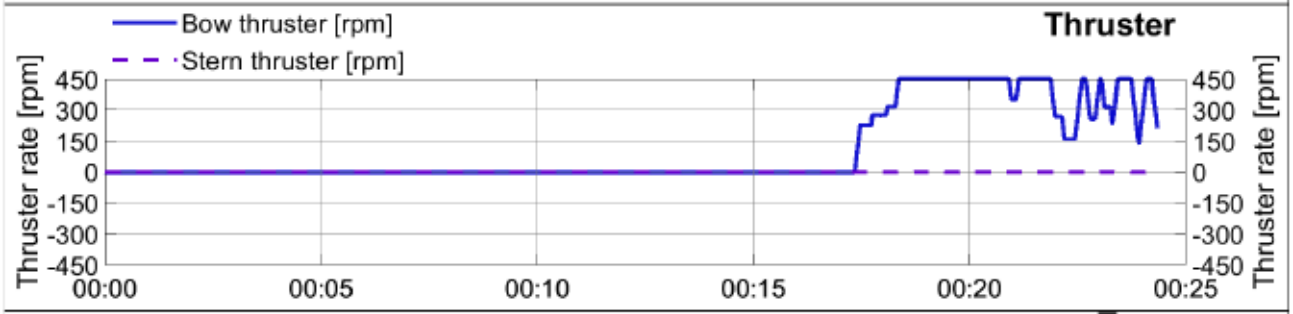
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

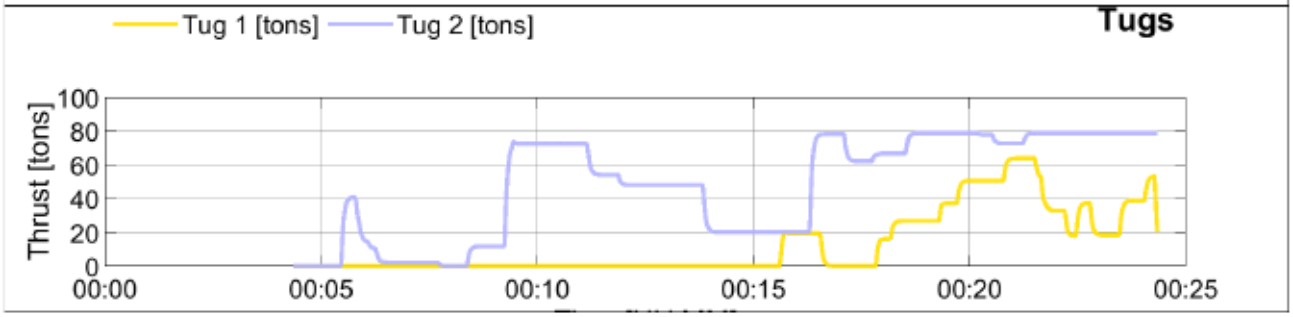
Simulatie: Buitenhaven V1 11	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -









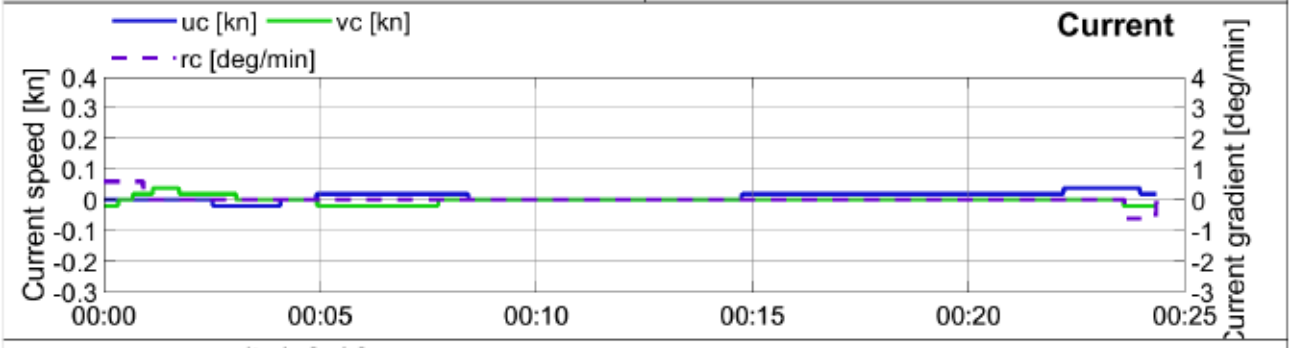


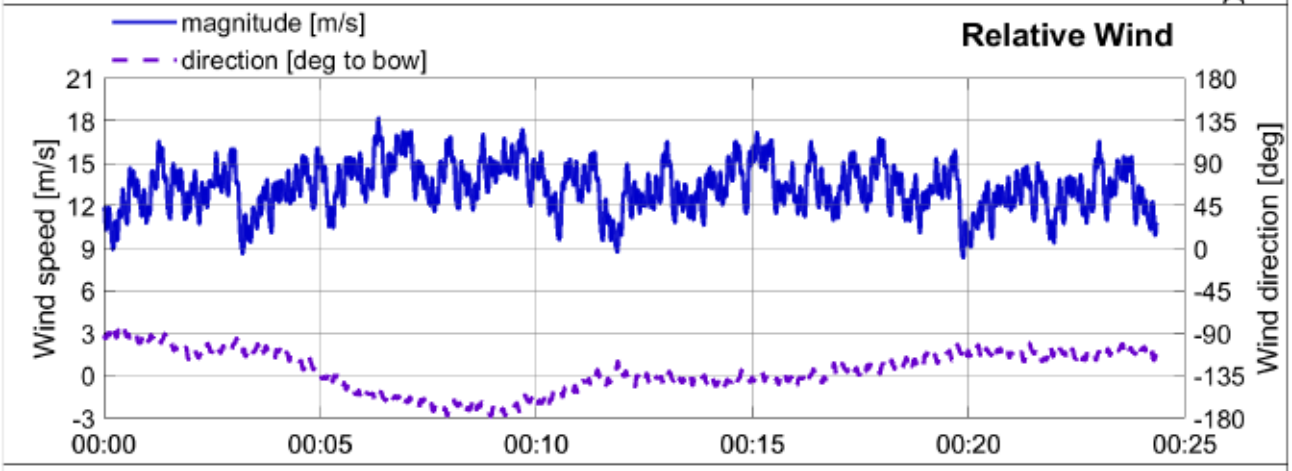
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

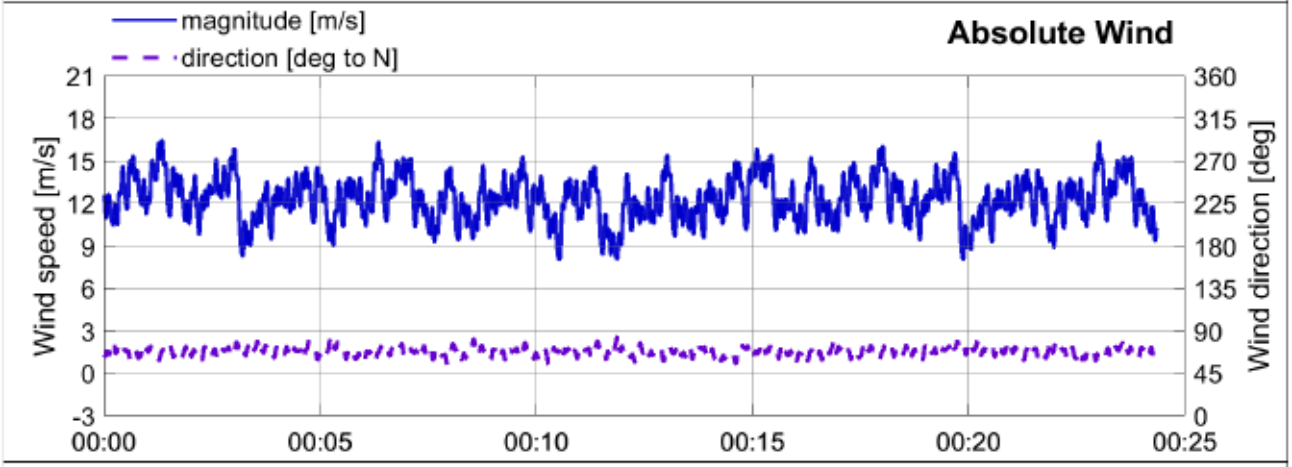
Omgevingscondities

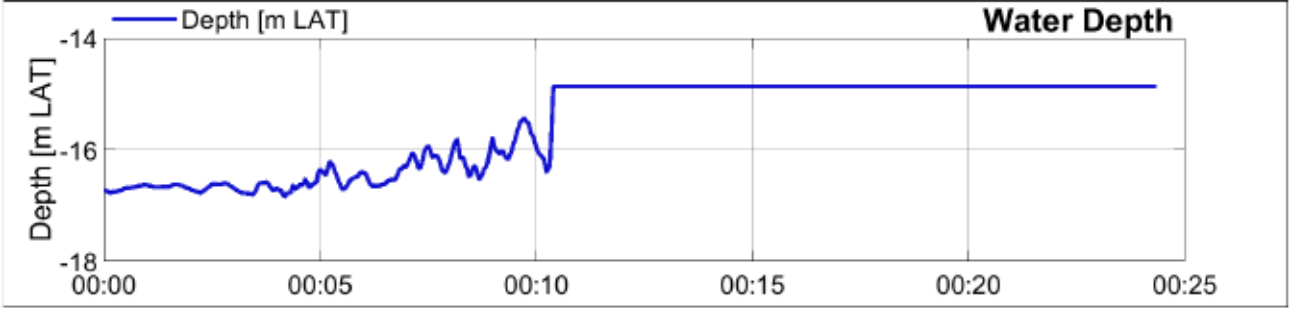
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 11	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: -







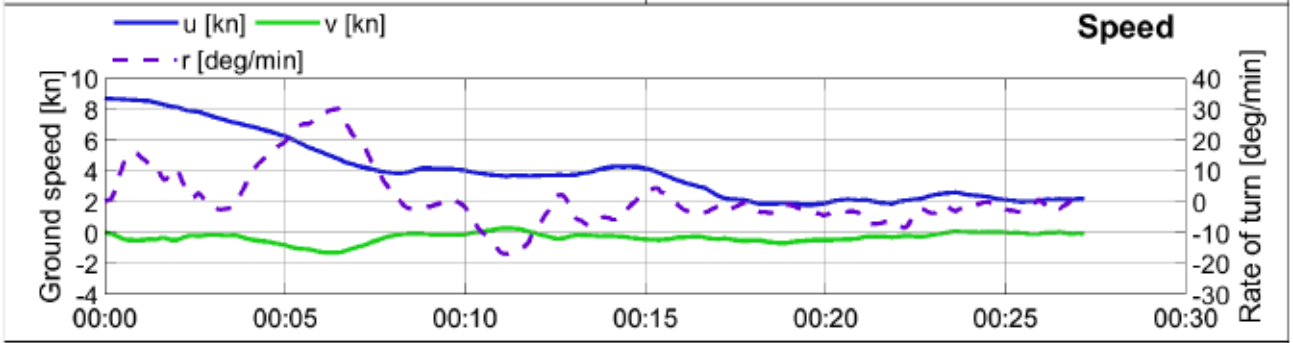


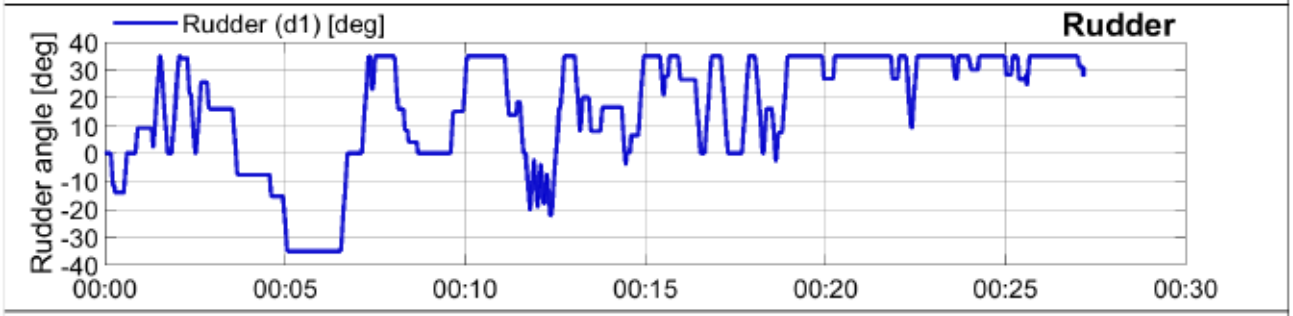
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

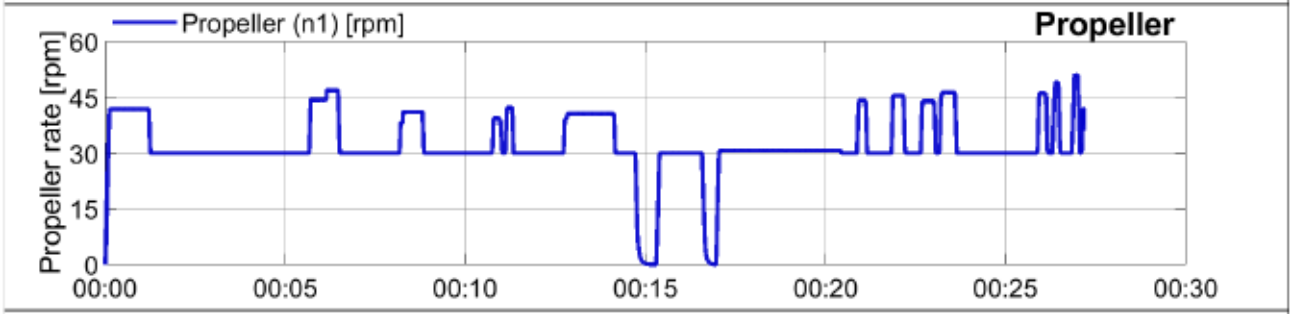
Manoeuvreereigenschappen

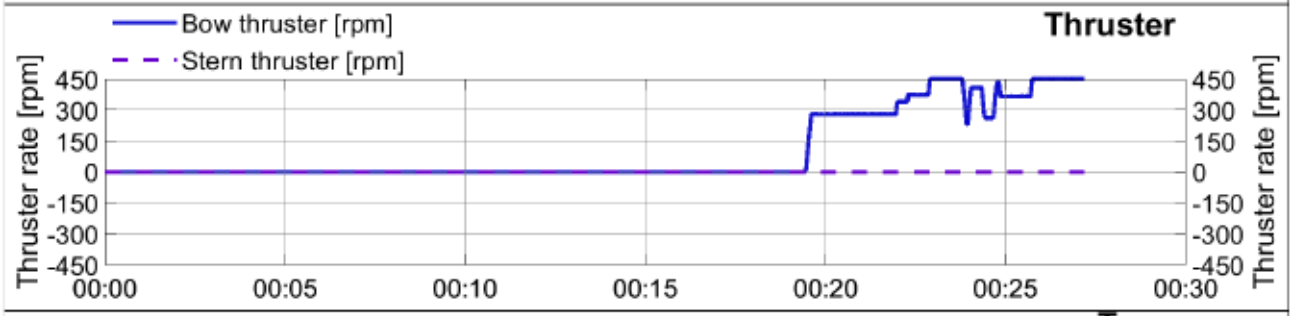
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

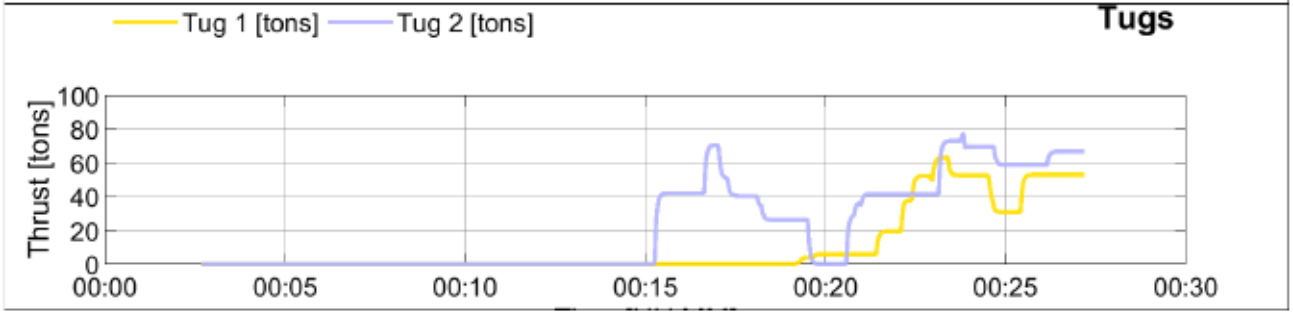
Simulatie: Buitenhaven V1 12	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









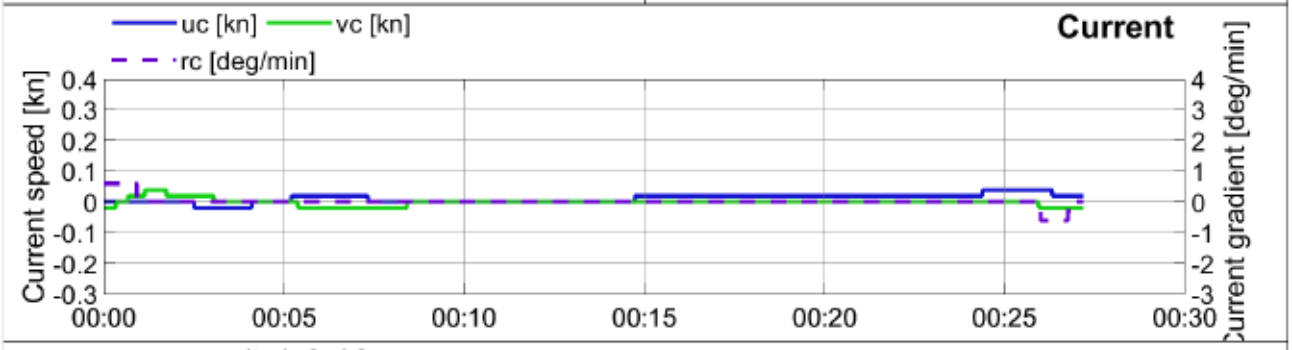


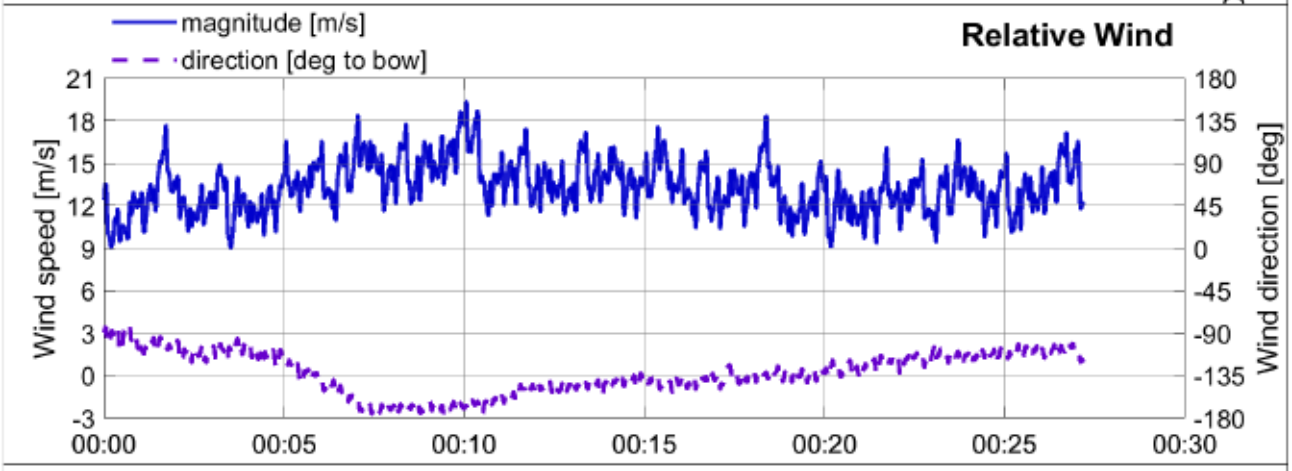
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

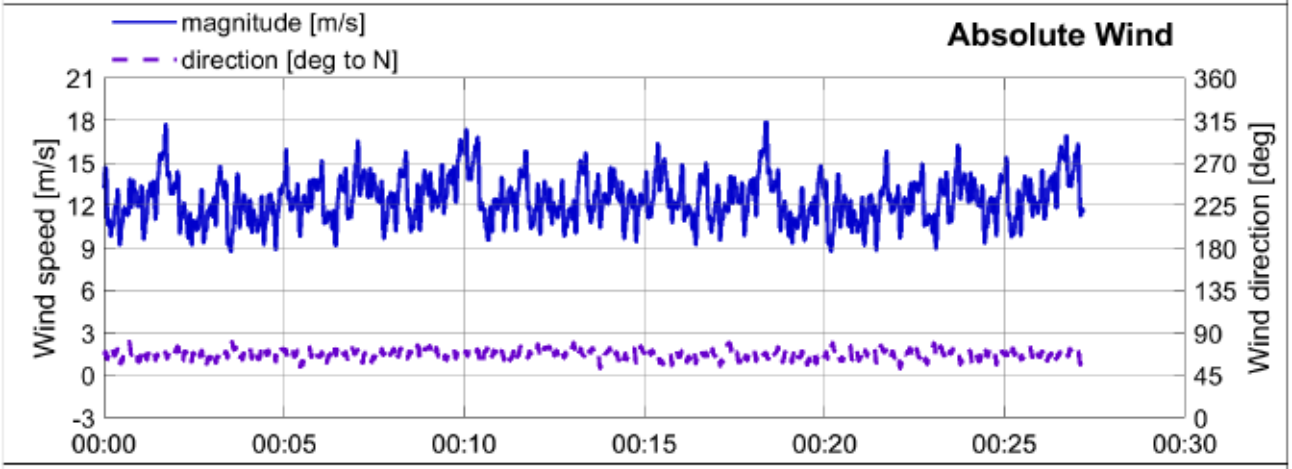
Omgevingscondities

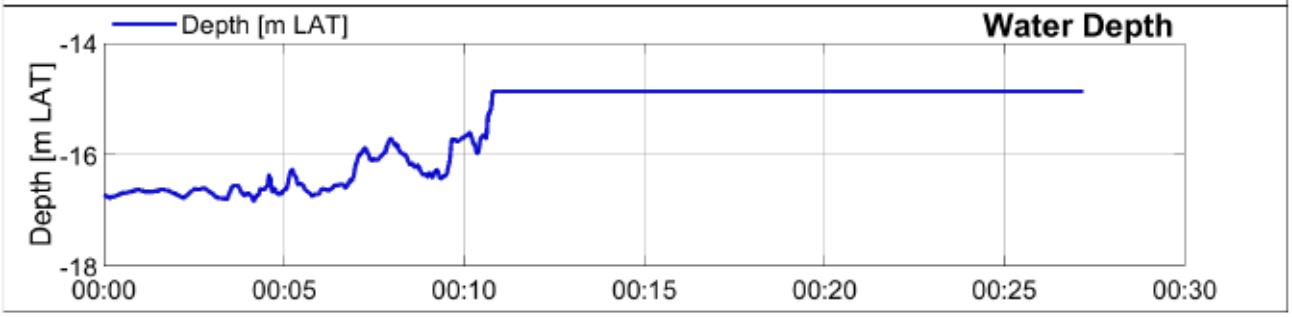
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 12	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m







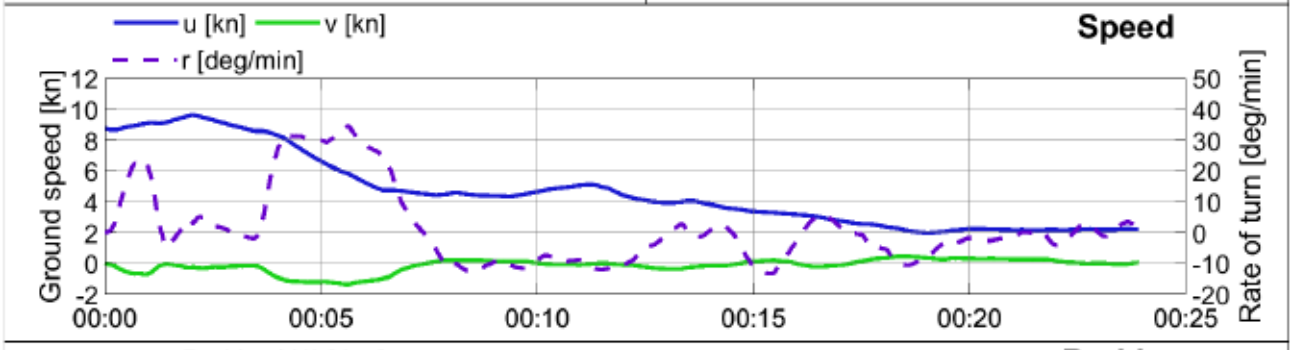


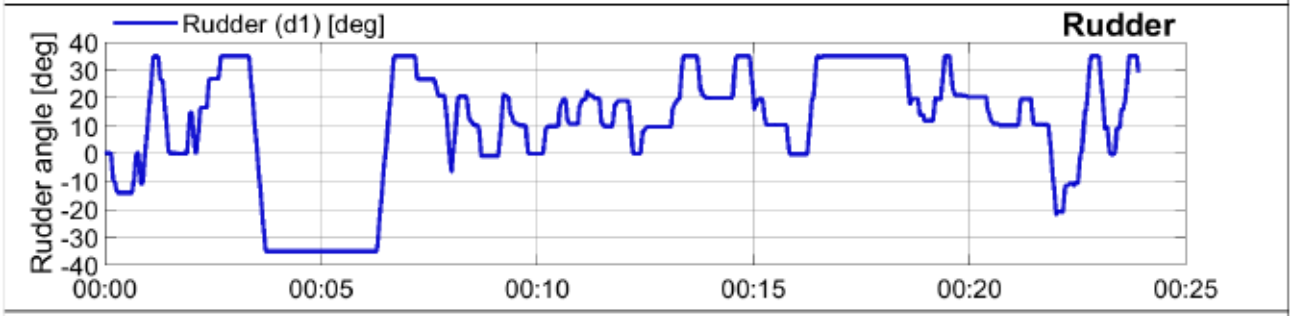
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

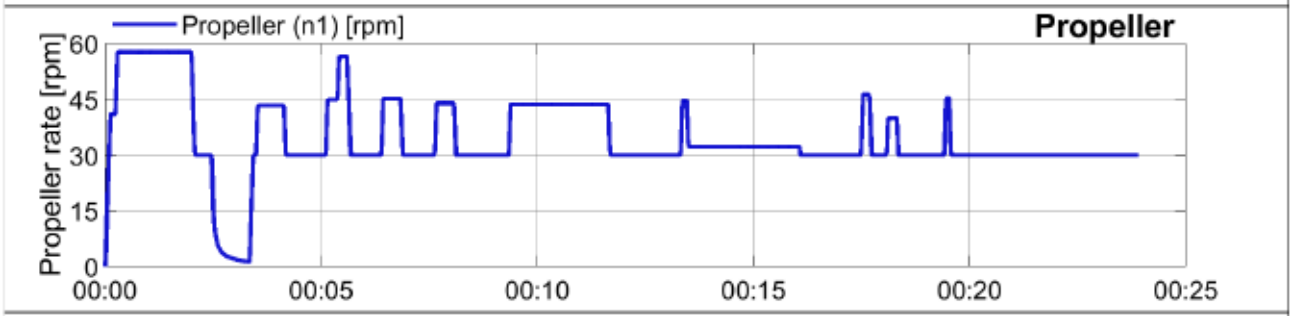
Manoeuvreereigenschappen

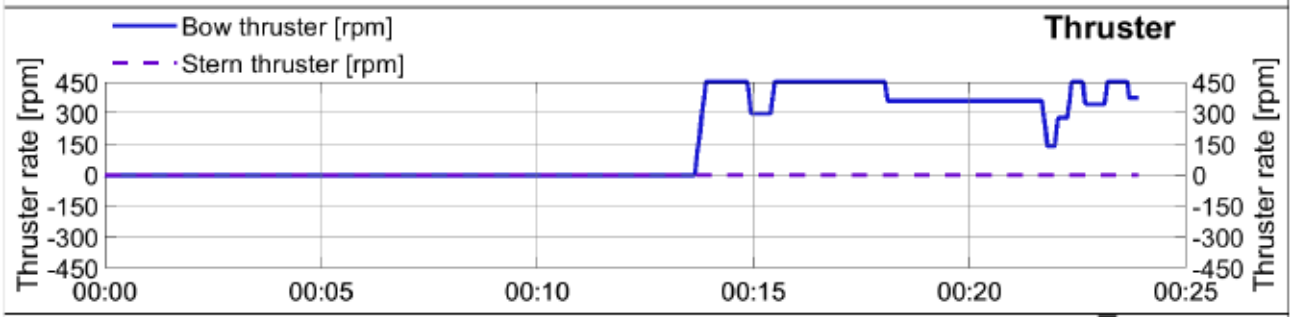
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

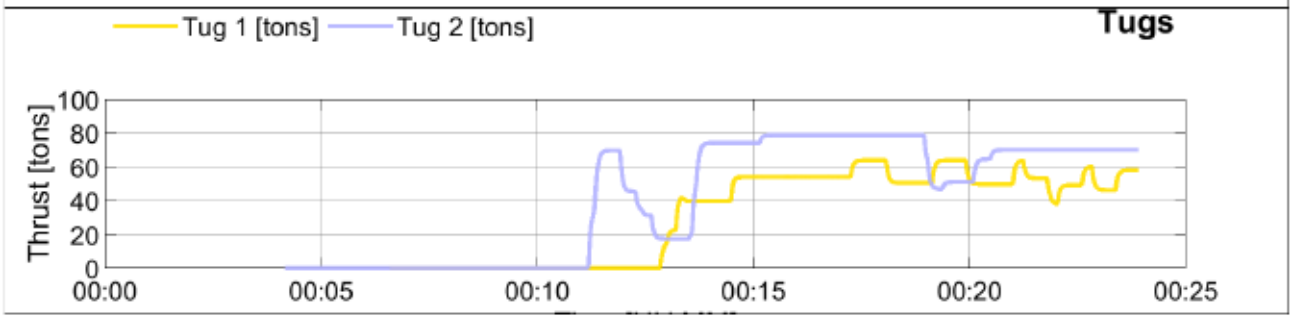
Simulatie: Buitenhaven V1 13	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









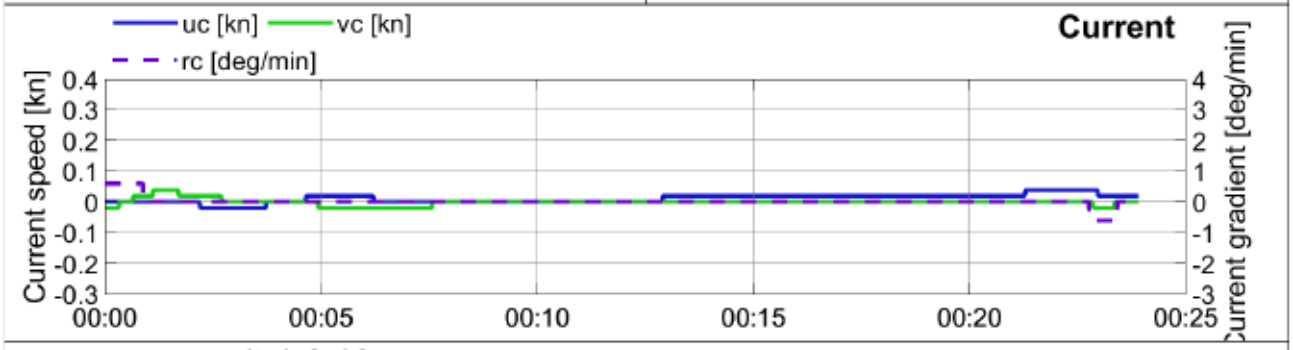


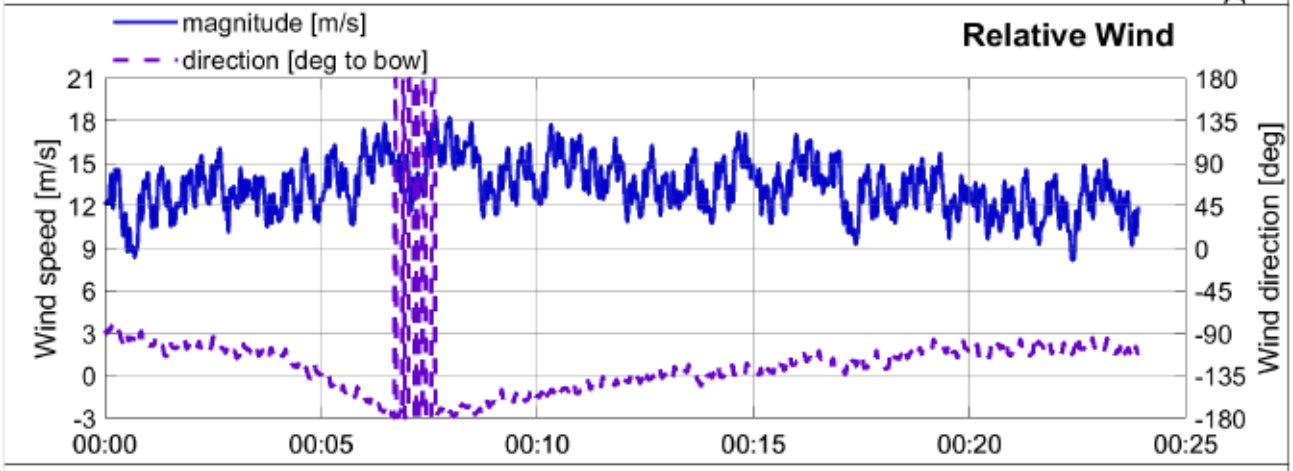
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

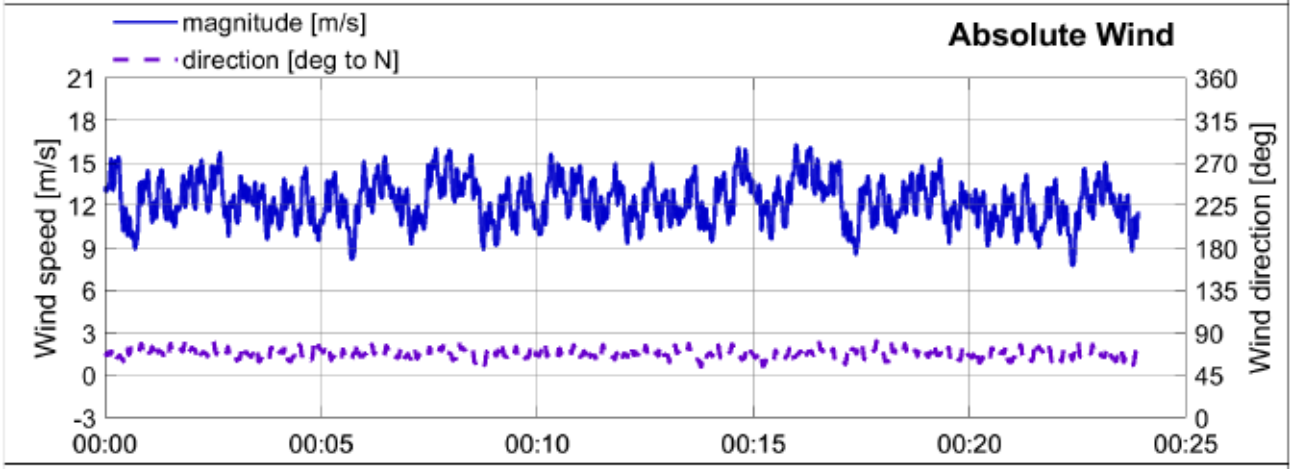
Omgevingscondities

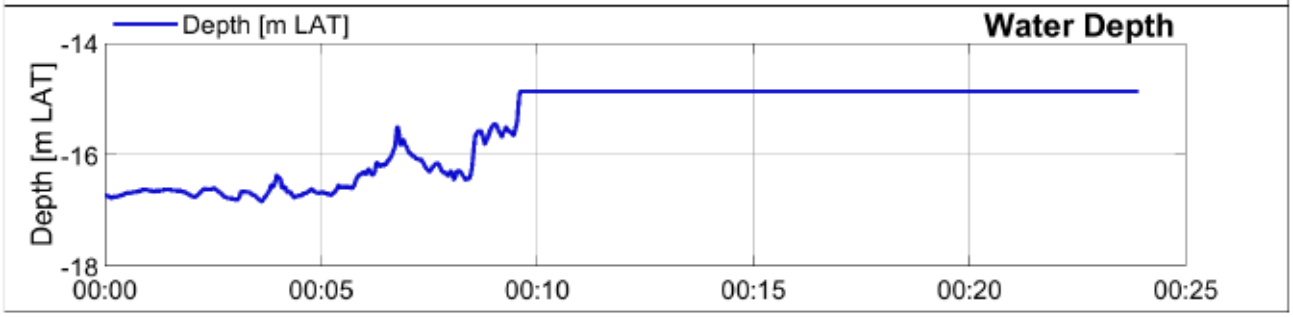
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 13	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m







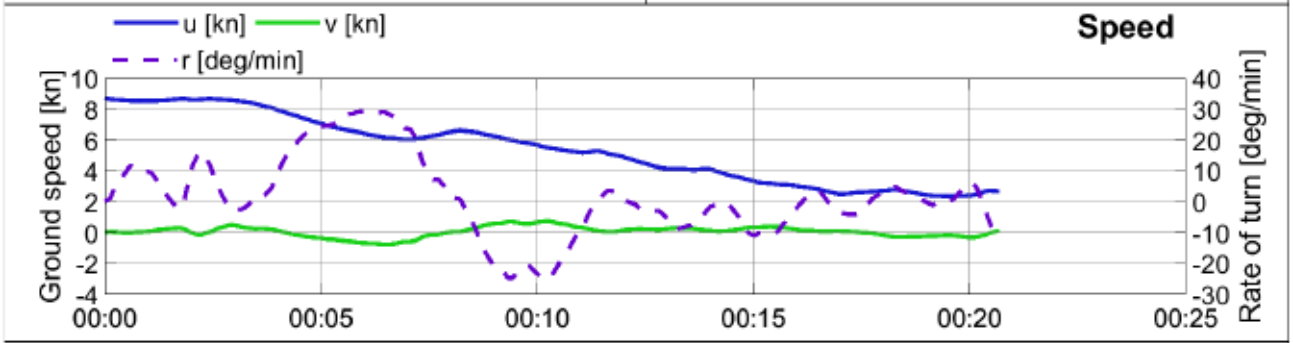


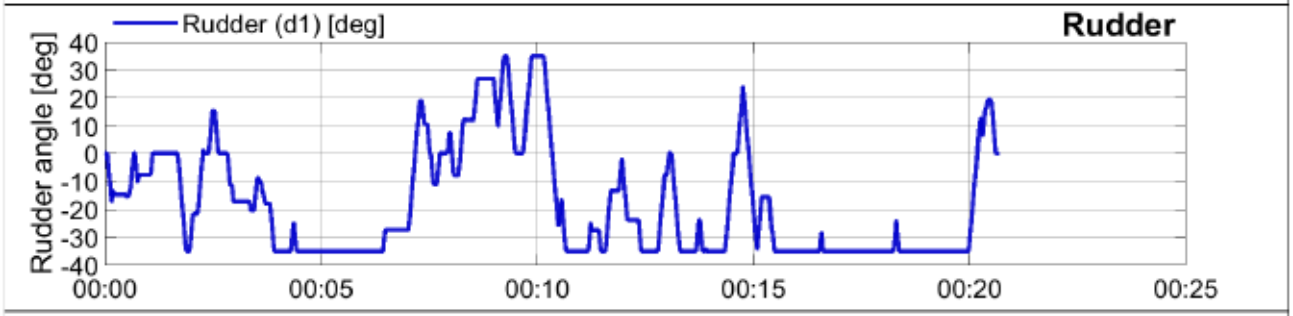
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

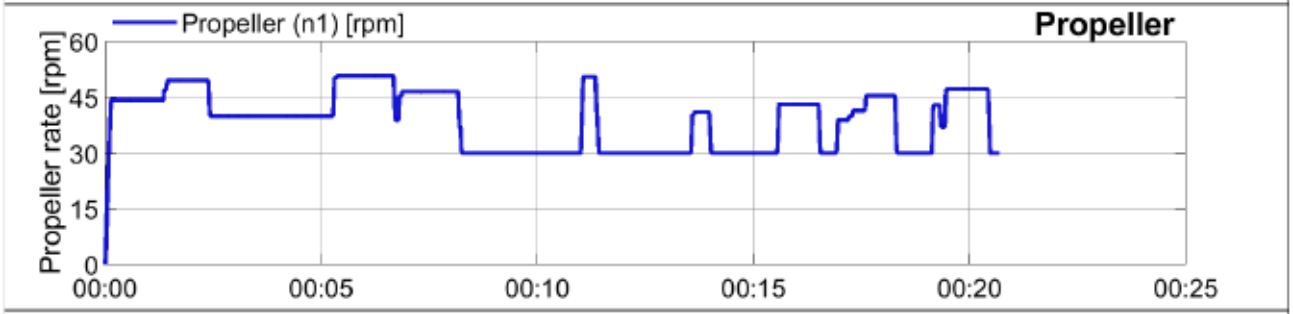
Manoeuvreereigenschappen

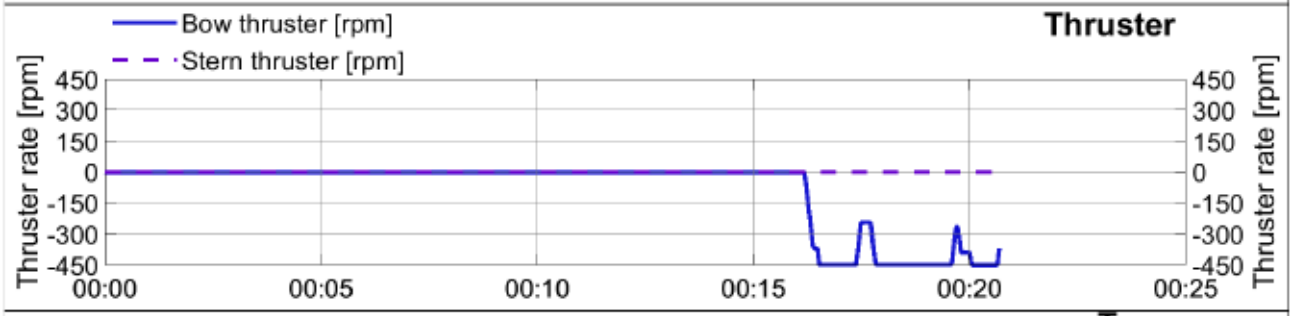
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

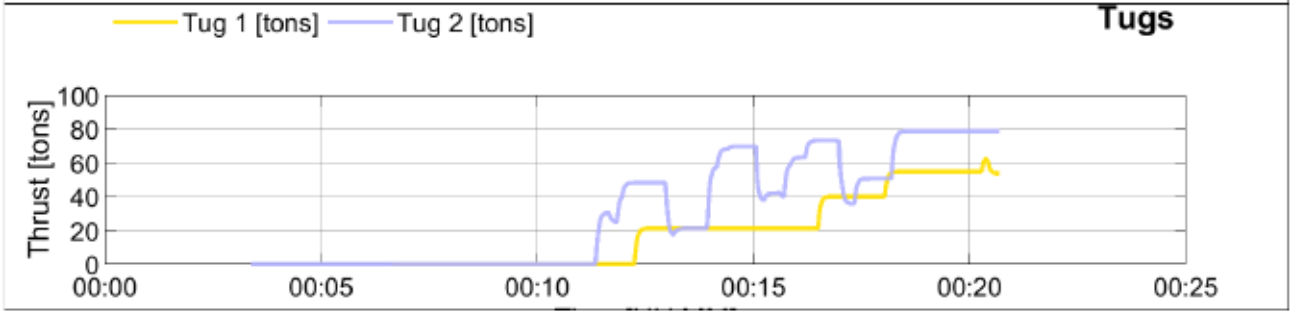
Simulatie: Buitenhaven V1 14	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









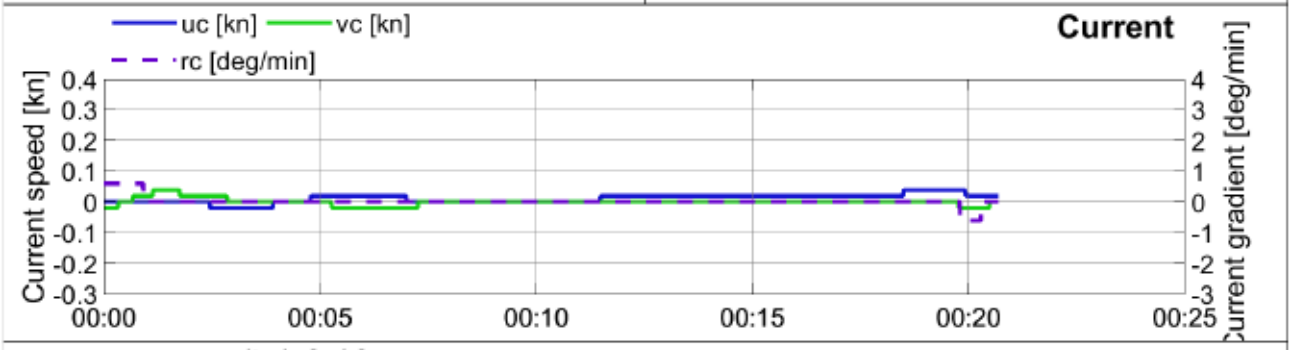


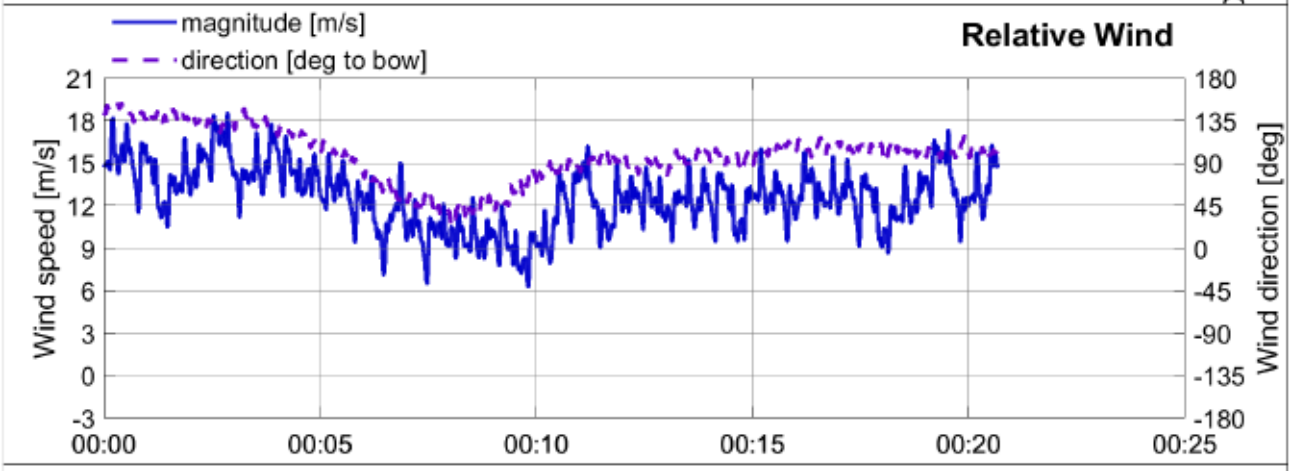
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

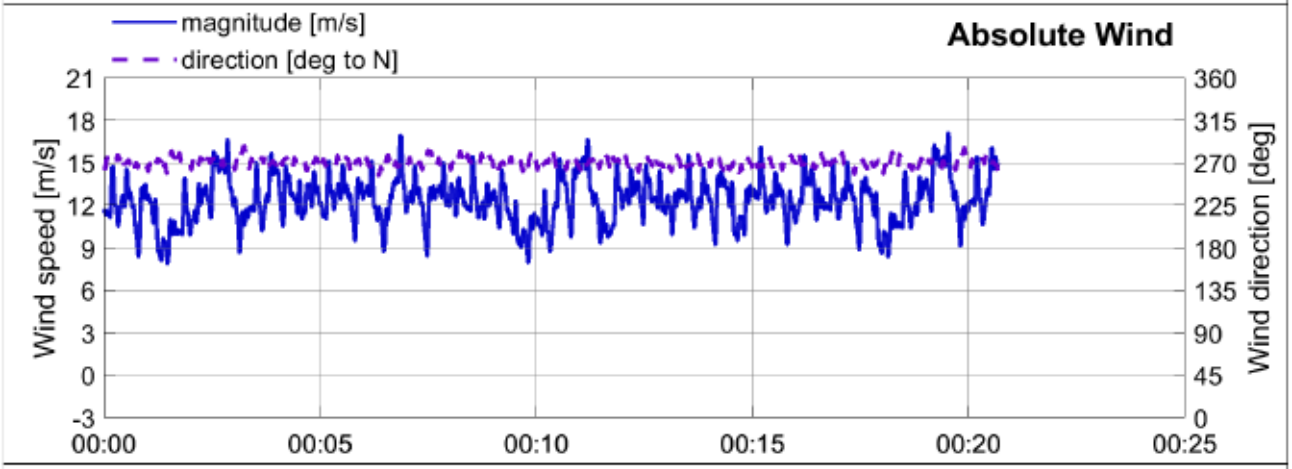
Omgevingscondities

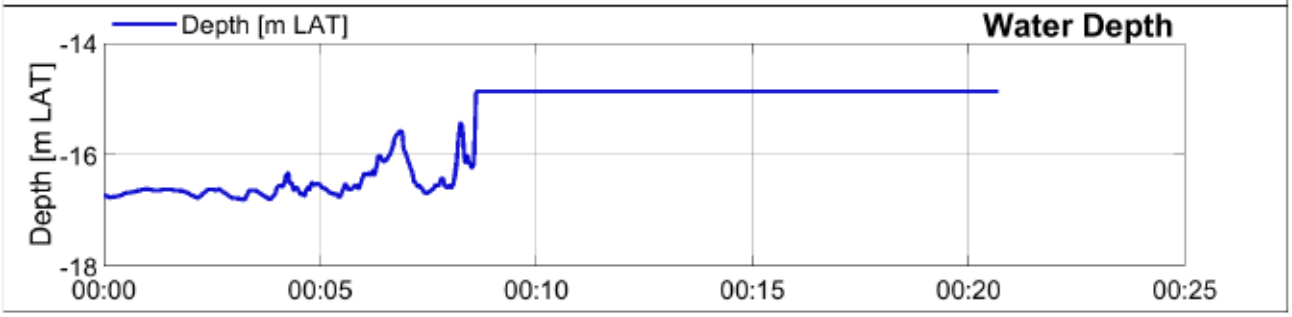
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 14	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m







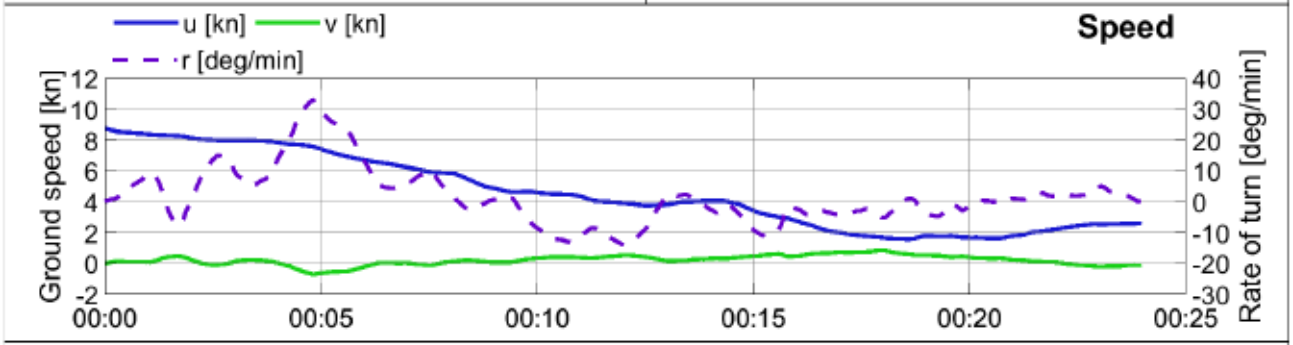


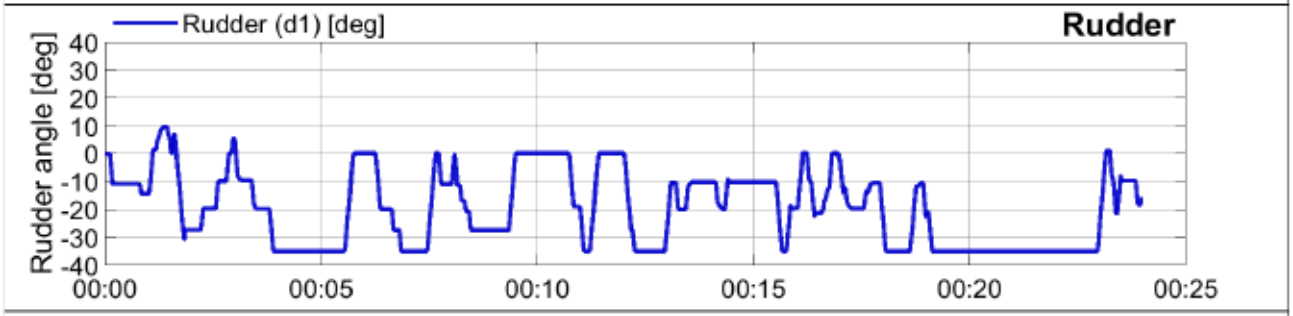
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

Manoeuvreereigenschappen

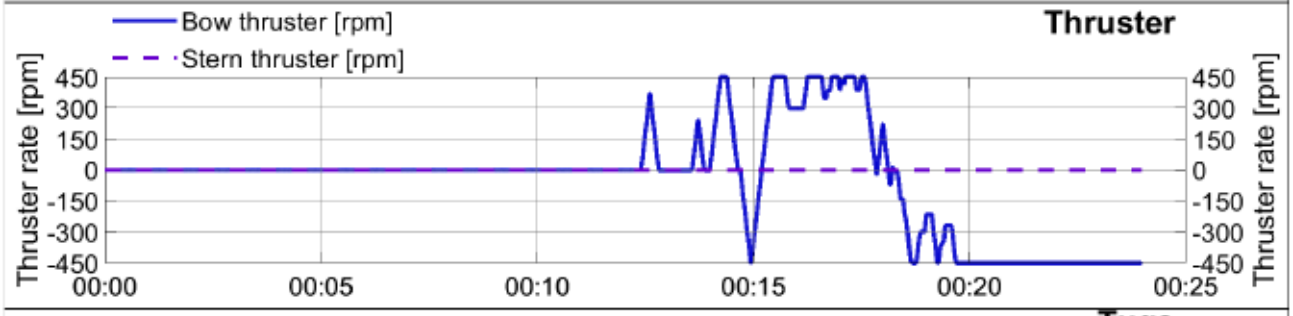
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

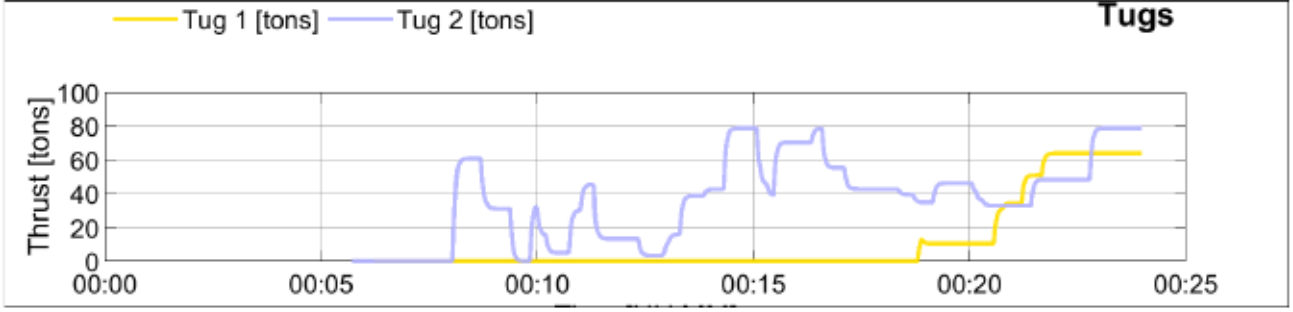
Simulatie: Buitenhaven V1 15	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 400 m









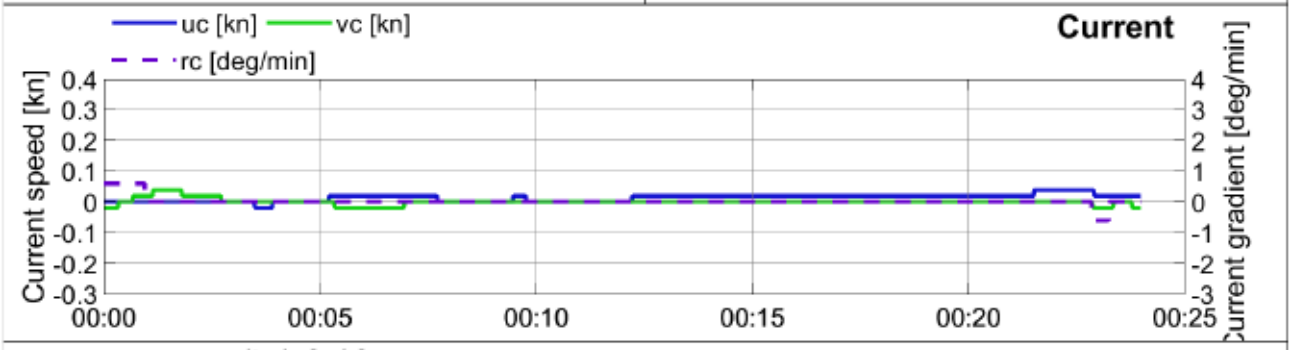


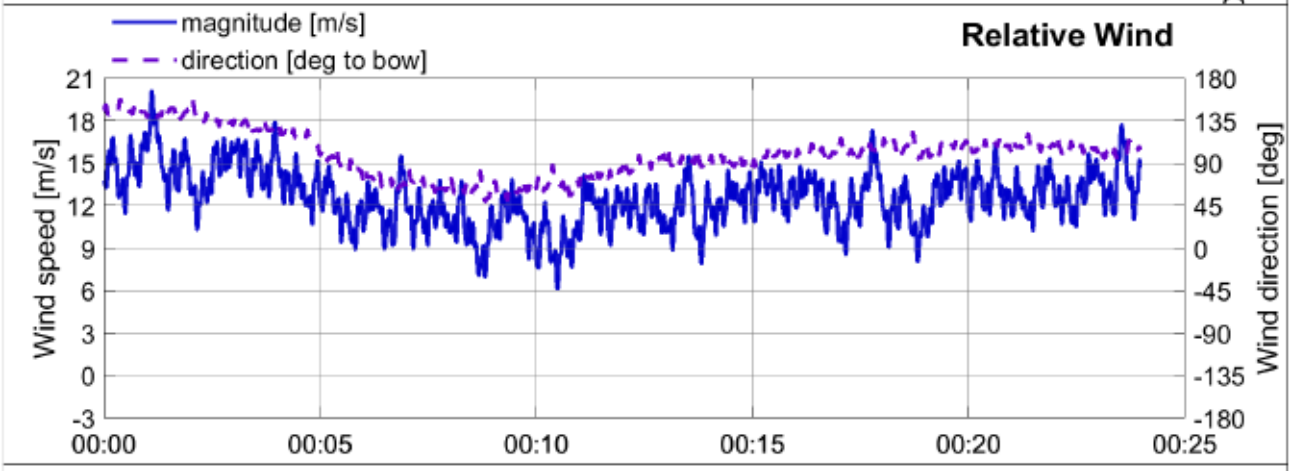
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

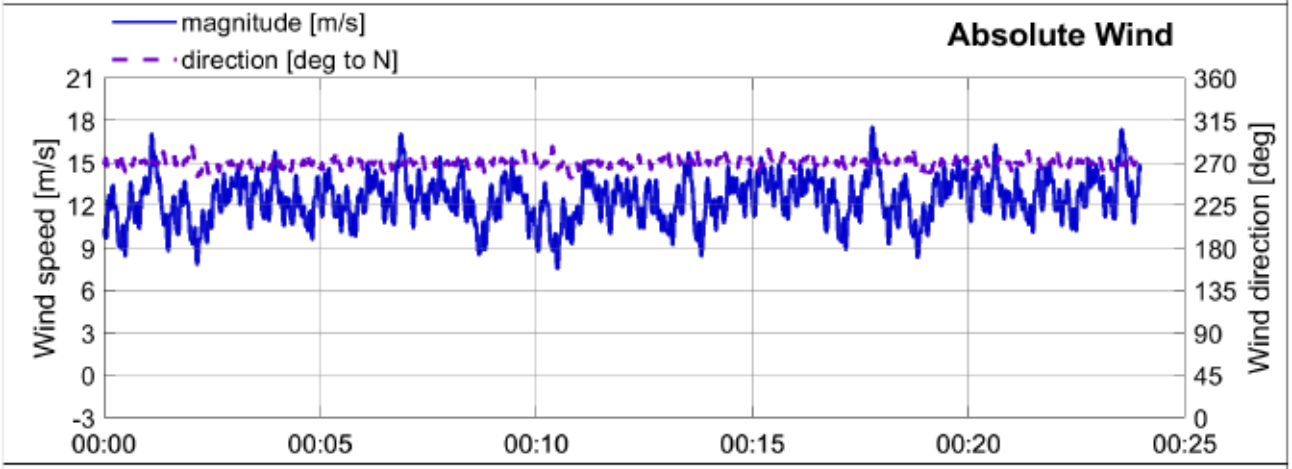
Omgevingscondities

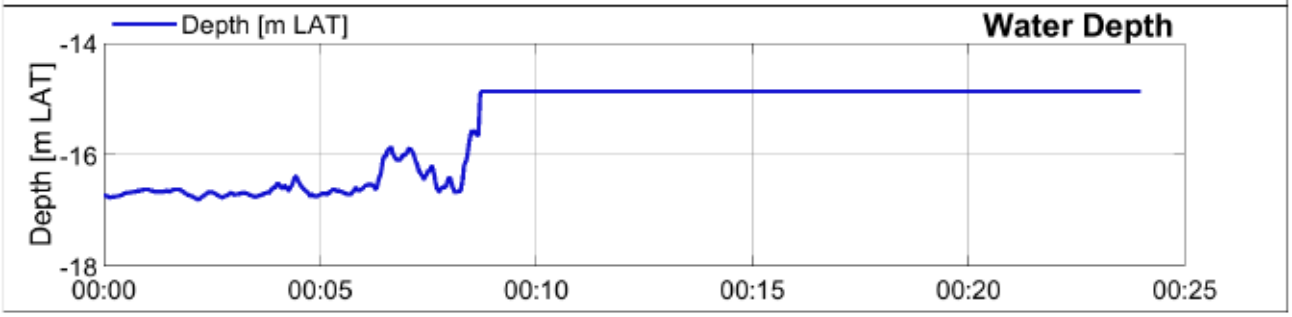
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 15	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 400 m







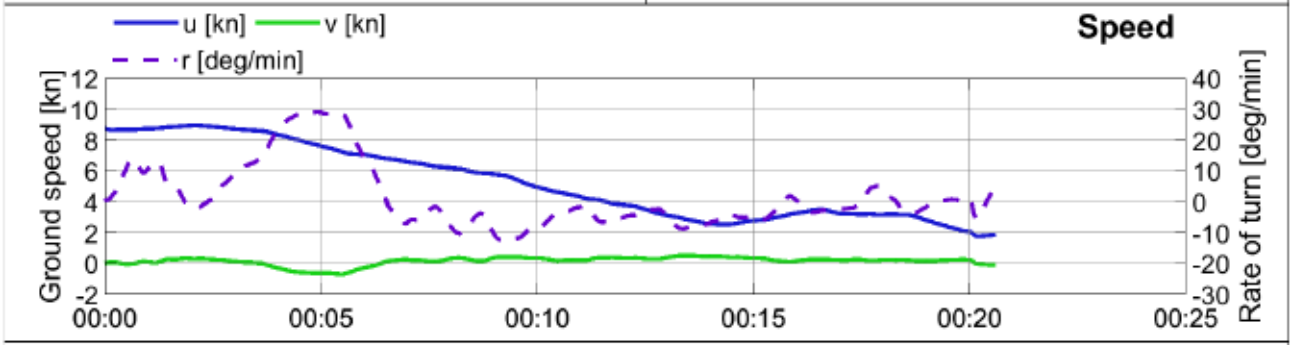


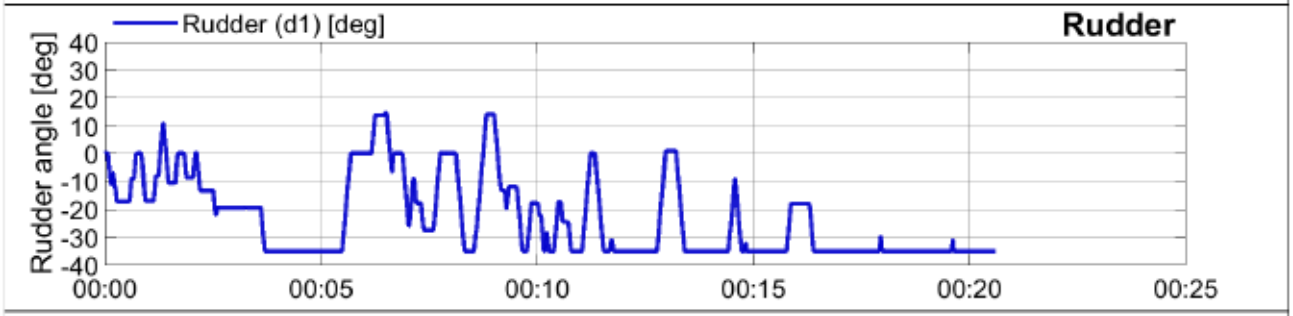
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

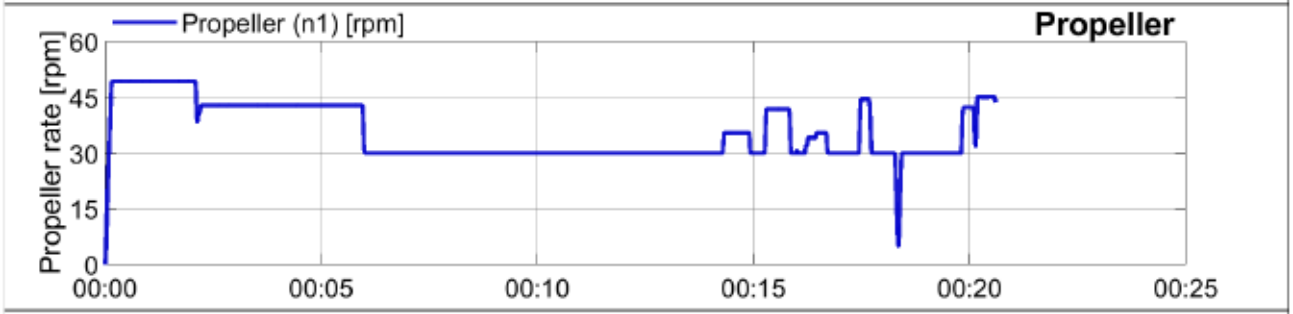
Manoeuvreereigenschappen

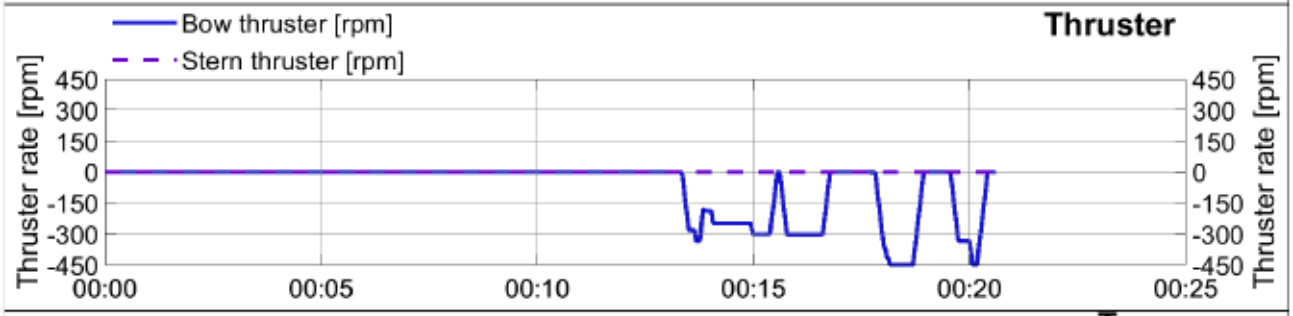
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

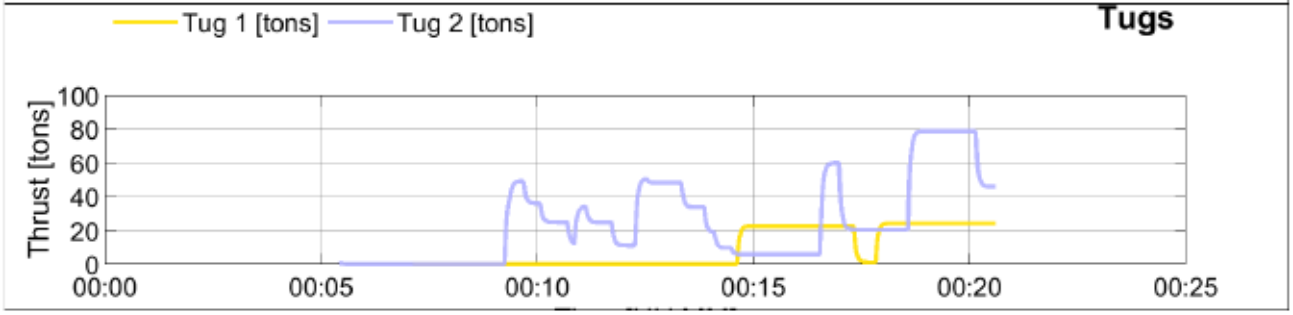
Simulatie: Buitenhaven V1 16	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









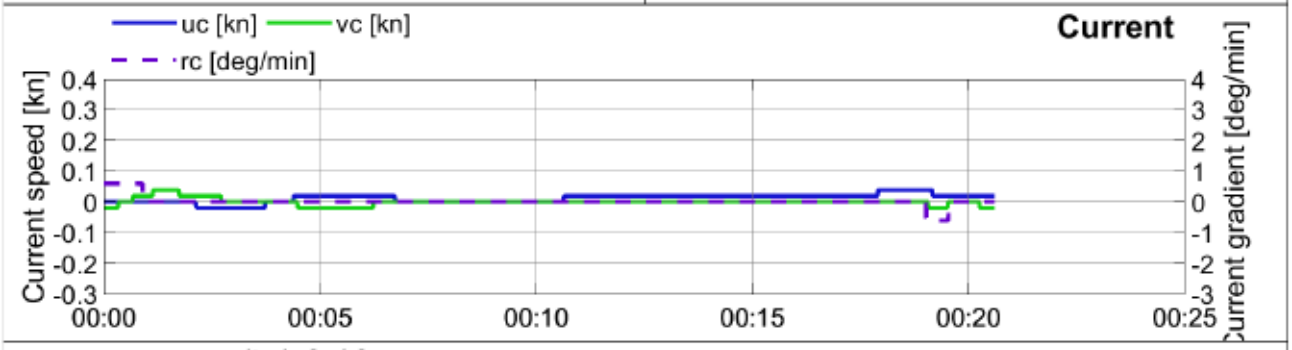


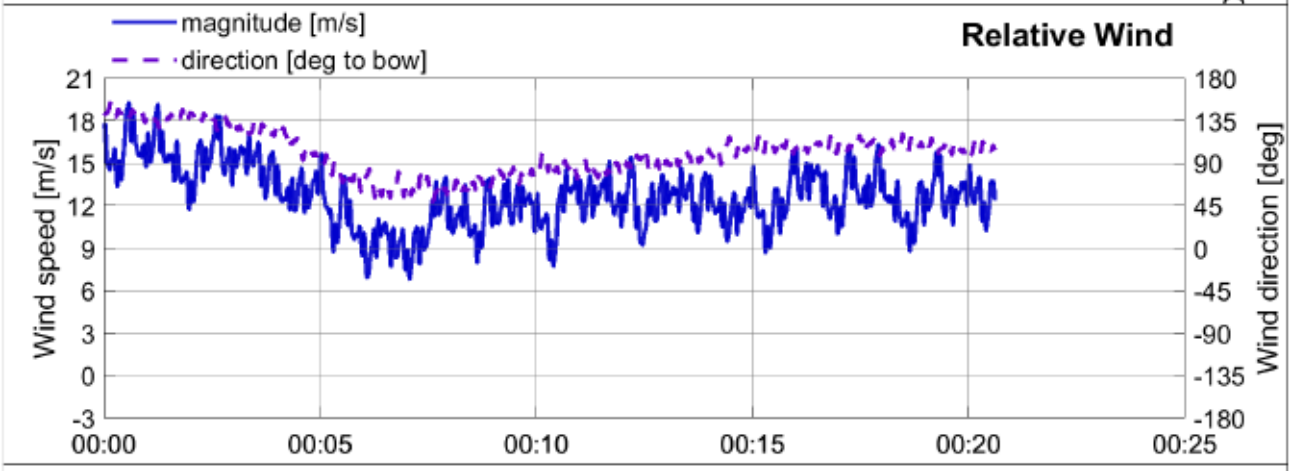
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Varianten Visart

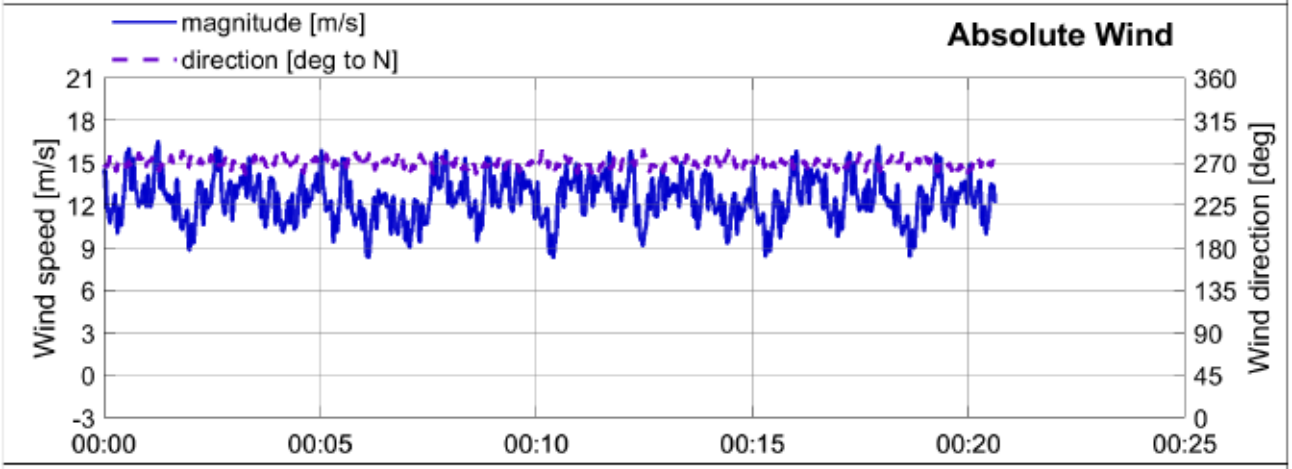
Omgevingscondities

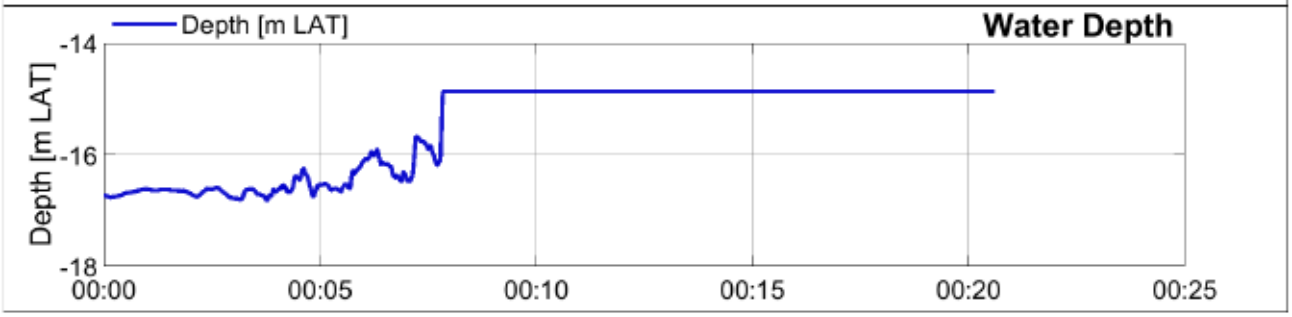
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven V1 16	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: 6u30 naHW
Datum: 26/06/2020	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Geleiding: L = 200 m









Bijlage 3 Handleiding gebruik KMZ-bestanden

De uitgevoerde simulaties kunnen bekeken worden met animatie in Google Earth op basis van de bijgeleverde KMZ bestanden. Voor het bekijken van deze bestanden werd een korte Engelstalige manual opgesteld.

Install Google Earth (the version used for the images in this manual is a Dutch version)

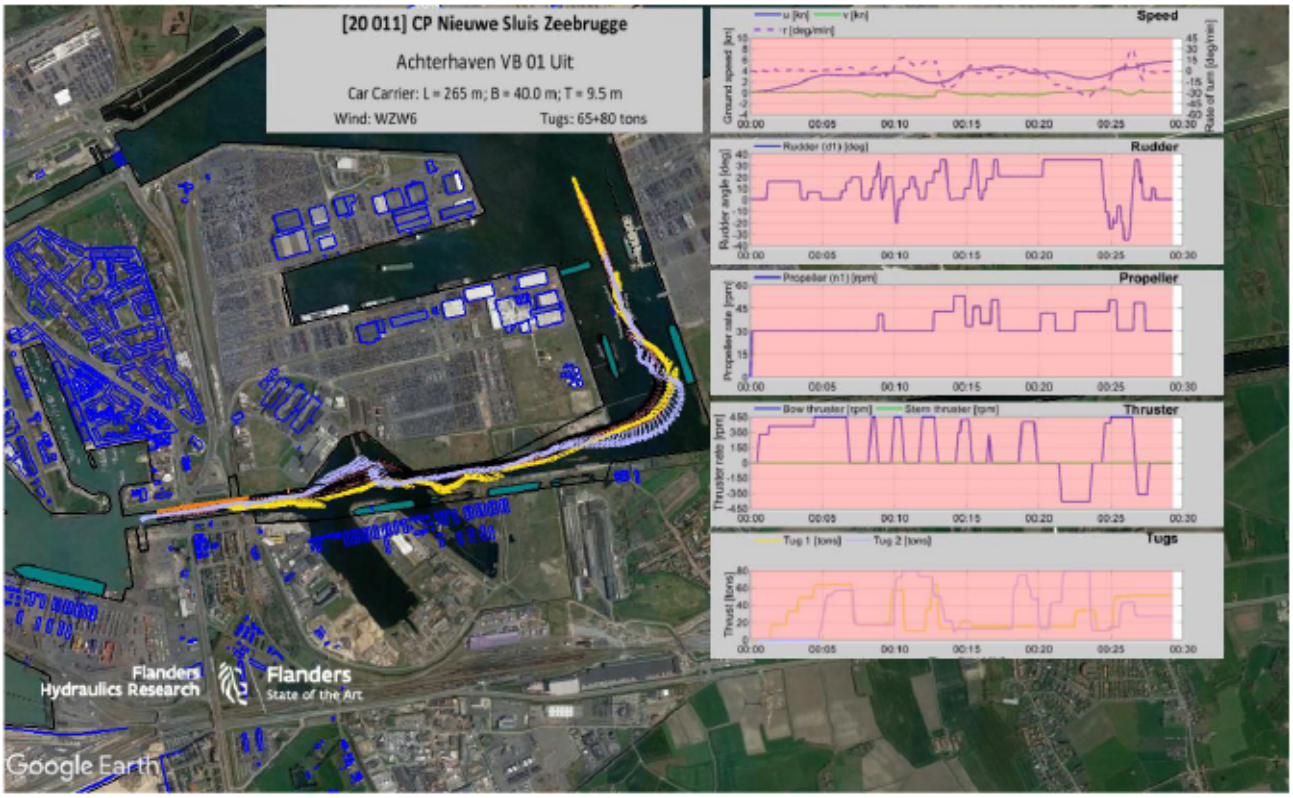
Go to Windows Explorer and double click on a selected KMZ file (or open it directly from the digital attachment in this report).

e.g. Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz

When opening the KMZ-file in Google Earth, a visualisation as shown in Figuur 38 is presented. The kmz-file provides the following information:

1. Track plot of simulated vessels, tugs (positions every 10 seconds) and moored vessels
2. Lineplot of environment and buoys present in the simulation environment
3. Collision of ship with constructions (in orange)
4. Overlay plot of metadata regarding the simulation (top center)
5. Overlay graphs with time evolution of the manoeuvring parameters (right side)

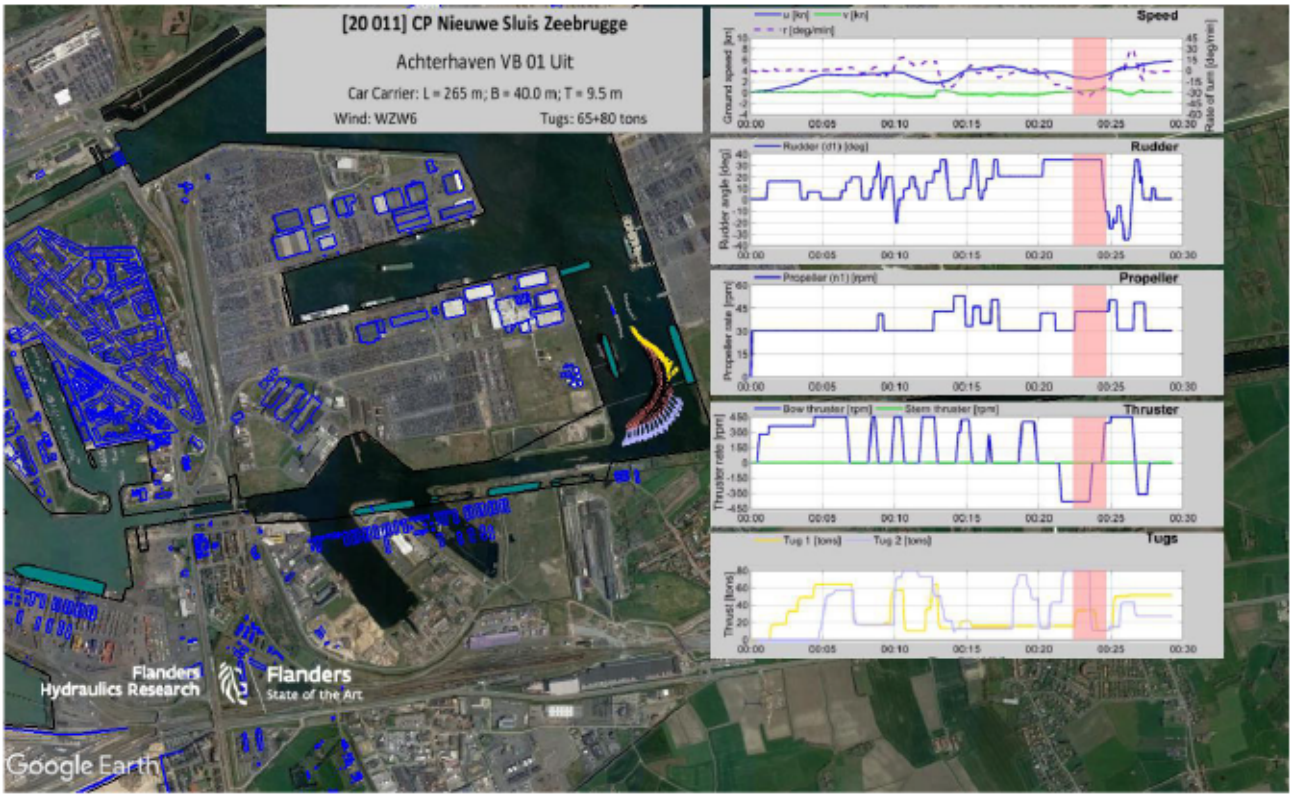
The different components of the KMZ file are presented in the left panel and can be opened using the pull down menu. You can toggle on or off the different components (such as the overlay graphs) in this menu.



Figuur 39 – Presentation of Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (full simulation)

In Figuur 38 the graphs of the different time series present a coloured overlay (in this case red) for the full execution time 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 (see Figuur 39).

The Graphs shown on the Google Earth presentation are the same graphs as presented in appendix 2 and described in §4.3.2 (Page 1 Manoeuvring conditions).

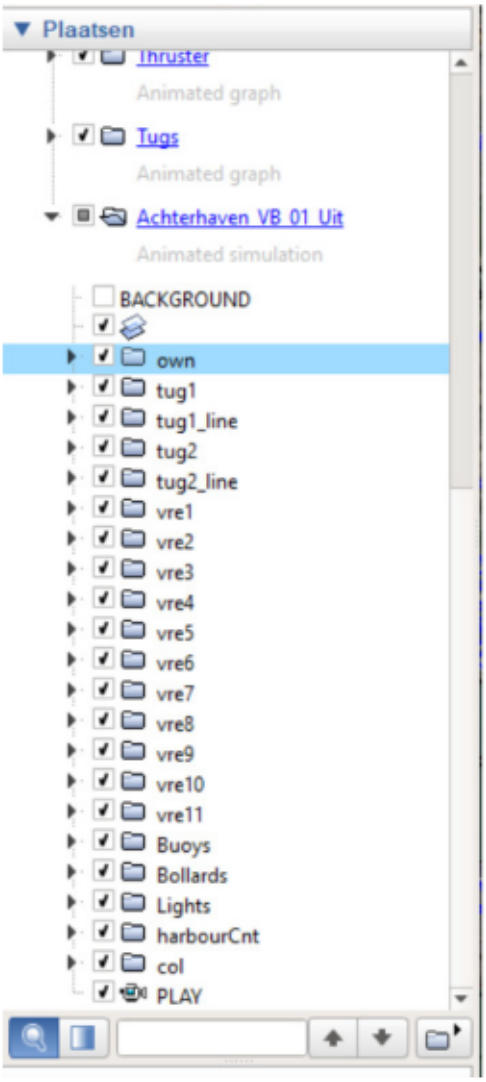


Figuur 40 – Presentation of Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (time selection)

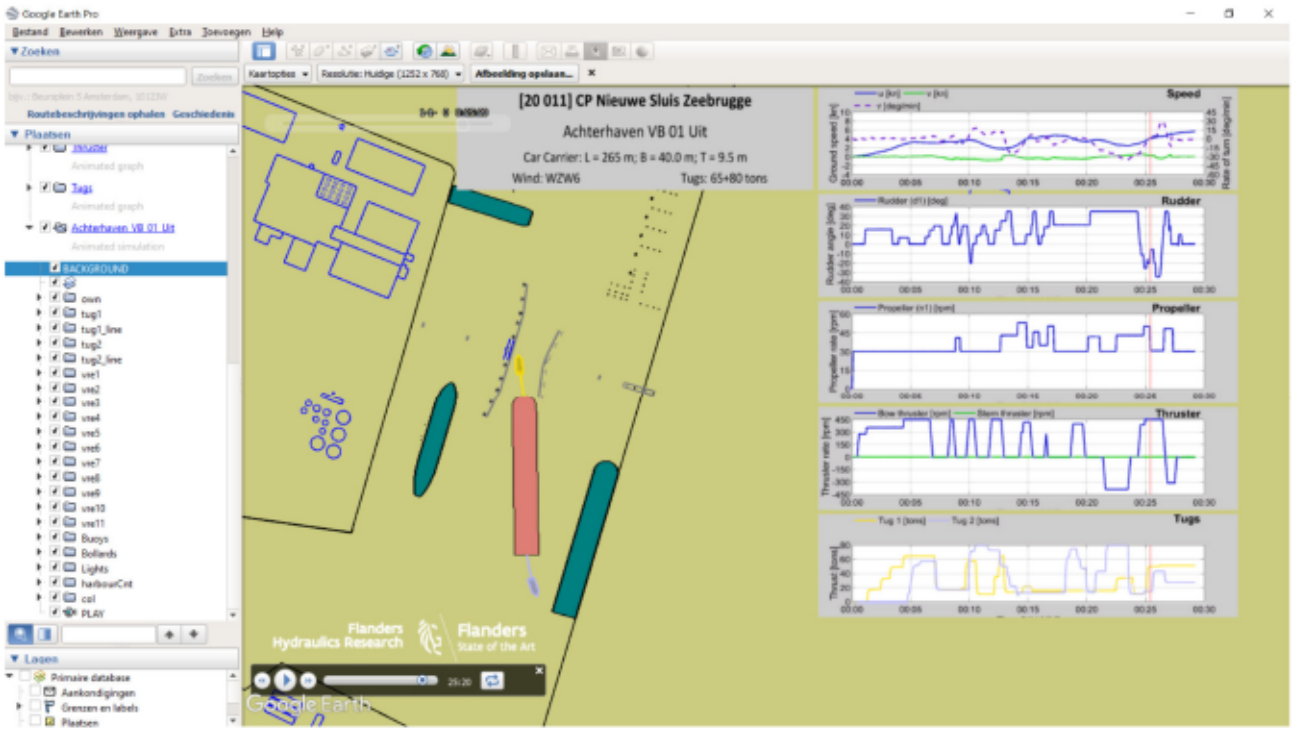
To clearly focus on the track of the own ship you can select the pull down list of the animated simulation and double click on "own" (see Figuur 40). Then the Google Earth presentation zooms to the track of the own ship.

Because the simulated environment differs from the actual environment it may be usefull to hide the background photo offered in Google Earth. To do so a background plane is included in the kmz-file. By default the background is disabled, but you can enable it by checking the box in the left panel (see Figuur 40).

In the pull down list of the animated simulation (see Figuur 40) there is also a PLAY button, by double clicking on this button the simulation replays with a vertical coloured 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 bottom corner a play button and a time slider are presented (similar to a video player) and can be used for increasing the replay speed or for sliding through the animation (see Figuur 41).

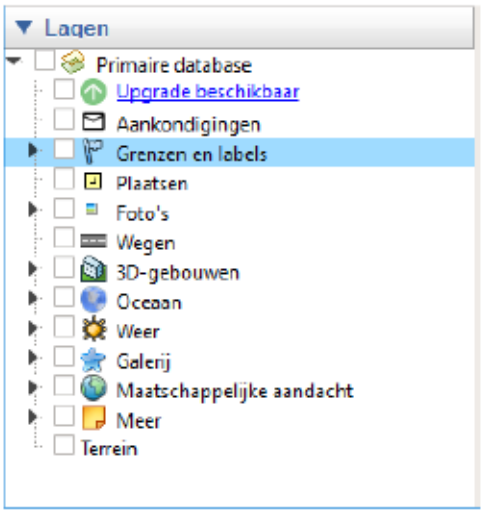


Figuur 41 – Presentation of the simulation trajectories in the left panel



Figuur 42 – Presentation of Achterhaven_VB_01_Uit_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (PLAY functionality)

Google Earth™ also provides additional layers to be added to the visualisation screen. For presenting KMZ-files from simulations it is advised to toggle off all additional layers (especially *terrain*, see Figuur 42).



Figuur 43 – Layers menu in Google Earth™

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.waterbouwkundiglaboratorium.be



Vlaanderen
is wetenschap

20_011_3
WL rapporten

Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 3
Passeercondities scheepvaart jachthaven in functie van scheepsgolven

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 3 – Passeercondities scheepvaart jachthaven in functie van scheepsgolven

Verwilligen, J.; Eloot, K.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

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 2022
D/2022/3241/211

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Eloot, K. (2022). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge: Deelrapport 3 – Passeercondities scheepvaart jachthaven in functie van scheepsgolven. Versie 4.0. WL Rapporten, 20_011_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2022R20_011_3
Trefwoorden (3-5):	AIS, vaarsnelheden, simulaties, sleepboten, RoRo-ferries		
Kennisdomeinen:	Havens en vaarwegen > golfopwekking door schepen > Invloed op afgemeerde schepen > Ervaringsgegevens Havens en vaarwegen > Veiligheid > Risico-analyse > In situ metingen		
Tekst (p.):	23	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verwilligen, J.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Eloot, K.	Getekend door:Katrien Eloot (Signature) Getekend op:2023-01-03 11:30:52 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed Katrien Eloot
Projectleider:	Verwilligen, J.	Getekend door:Jeroen Verwilligen (Signat Getekend op:2023-01-03 11:38:51 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed Jeroen Verwilligen

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sign Getekend op:2023-01-03 11:27:45 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed Abdelkarim Bellafkih

Abstract

In het Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge dient onder andere de impact van een nieuwe sluis op het ligcomfort en de toegankelijkheid van de jachthaven van Zeebrugge onderzocht te worden.

Hiertoe zal een onderzoek uitgevoerd worden naar de hinder van waterstandsschommelingen in de jachthaven onder invloed van zee-, wind- en scheepsgolven (IMDC, 2022). Voor de bepaling van scheepsgolven zijn aannames vereist over scheepstypes, vaartrajecten en vaarsnelheden.

Voorliggend document combineert historische gegevens (AIS) en resultaten uit vaarsimulaties om een prognose te maken over de vaarsnelheden van verschillende scheepstypes voor de op- en afvaart naar/van een nieuwe sluis op de locatie Visart.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VI
Lijst van de figuren VII
1 Situering 1
2 Vaarsnelheden uit AIS-Analyse 3
2.1 Methode 3
2.1.1 Geografische filtering vaargebied Zeebrugge 3
2.1.2 Passagetijden 4
2.1.3 Trajecten tussen passages 4
2.1.4 Referentiebanen 6
2.1.5 Scheepsfilters 6
2.2 Resultaten 7
2.2.1 Sleepboten van en naar Vandammesluis 7
2.2.2 Sleepboten van en naar sleepboothaven Visart 10
2.2.3 Vaarsnelheden sleepboten 10
2.2.4 Gemiddeld schip (car-carrier) naar Vandammesluis 12
2.2.5 Car-carrier van het type Mark V 16
2.2.6 Car-carrier NSZ 18
2.2.7 Estuair binnenschip 19
3 Samenvatting en conclusie 21
4 Referenties 23

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Ontwerpschepen voor berekening scheepsgolven uit IMDC (2022) 1

Tabel 2 – AIS-vaarsnelheden in op- en afvaart voor verschillende scheepstypes op drie sluisafstanden 16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzichtsplan Zeebrugge met indicatief ontwerp Visart voor Nieuwe Sluis Zeebrugge 2

Figuur 2 – Geografische filter AIS-gegevens Zeebrugge 3

Figuur 3 – Visualisatie passagelijnen toegepast in de studie (rood) met bijhorende benaming 4

Figuur 4 – Weergave van alle scheepvaart (5542 trajecten) gedefinieerd als opvaart naar Vandammesluis voor volledige periode 5

Figuur 5 – Weergave van alle scheepvaart gedefinieerd als opvaart naar Vandammesluis in December 2019 5

Figuur 6 – Weergave referentiebanen en baanafstanden voor trajecten onderzocht in de studie 6

Figuur 7 – AIS-snelheden van sleepboten tussen passagelijnen ZeebruggeOudeKop en Vandammesluis 8

Figuur 8 – Illustratie vaartraject door snelvarende sleepboot (id 2617) naar Vandammesluis (plotinterval 60 s) 9

Figuur 9 – Illustratie vaartraject door snelvarende sleepboot (id 2165) uit Vandammesluis (plotinterval 60 s) 9

Figuur 10 – AIS-snelheden van sleepboten tussen passagelijnen OchzAf en JachthavenOp 11

Figuur 11 – Illustratie vaartraject door snelvarende sleepboot (id 10567) uit sleepboothaven Visart (plotinterval 60 s) 12

Figuur 12 – AIS-snelheden van gemiddelde schepen tussen passagelijnen OudeKop en VandammesluisAf 14

Figuur 13 – Illustratie vaartraject door snelvarende car carrier (id 3479) uit Vandammesluis (plotinterval 60 s) 15

Figuur 14 – Benadering percentiel waarden AIS-snelheden Mark V door toepassing factor 0.9 op AIS-snelheden Gemiddeld Schip 16

Figuur 15 – AIS-snelheden van Mark-V car-carriers tussen passagelijnen OudeKop en VandammesluisAf ... 17

Figuur 16 – Vaarsnelheid uitvarend ontwerpschip NSZ tijdens vaarsimulaties 19

Figuur 17 – Vaarsnelheid uitvarend ontwerpschip NSZ tijdens vaarsimulaties (Verwilligen & Eloot, 2022) vergeleken met gecorrigeerde (77%) 90%-percentiel AIS-snelheden voor sluisuitvaart Vandammesluis door een gemiddeld schip 19

Figuur 18 – AIS-snelheden van Estuaire binnenschepen tussen passagelijnen OudeKop en VandammesluisAf 20

1 Situering

Op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) onderzoekt het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de nautische optimalisatie van de voorkeurslocatie 'Visart' vastgelegd door de Vlaamse Regering voor Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) (Vlaamse Overheid, 2019).

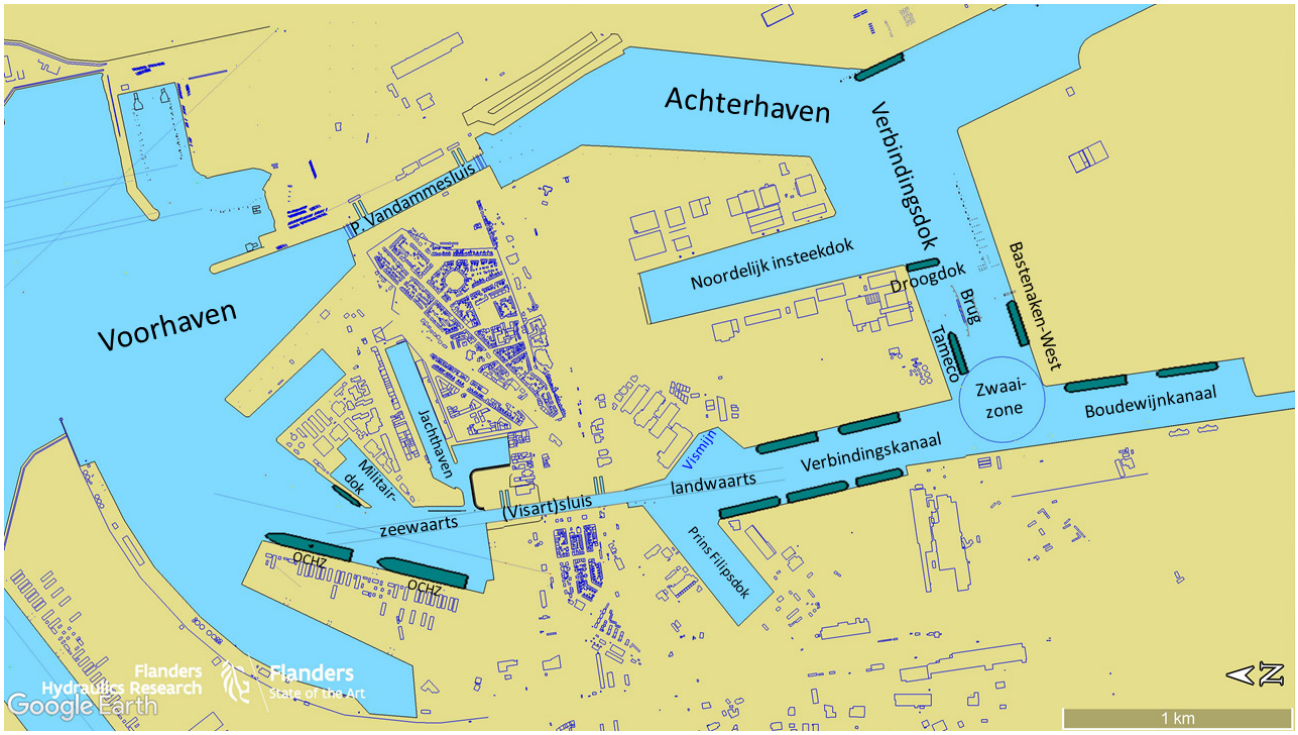
In de marge van dit simulatieonderzoek wordt WL ook gevraagd om advies te geven in verband met enkele andere nautische aspecten van het project. Eén daarvan betreft de hinder van passerende scheepvaart op de jachthaven afwaarts de sluis (zie Figuur 1).

In IMDC (2022) wordt een plan van aanpak aangeboden voor de berekening van golfhinder voor de jachthaven op basis van een SWASH-model. Behalve de invloed van zeegolven en windgolven zal in deze beoordeling ook de invloed van scheepsgolven onderzocht worden. De golftrein veroorzaakt door scheepspassages wordt door IMDC met een afzonderlijk model (XBeach) doorgerekend. Hierbij worden de ontwerpschepen gedefinieerd zoals weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 – Ontwerpschepen voor berekening scheepsgolven uit IMDC (2022)

Type schip	Dimensies		
	L [m]	B [m]	T [m]
RoRo car-carrier (gemiddeld)	200	32	9.3
Estuair binnenschip	110	17.1	4.5
Sleepboot	28	13	6
RoRo car-carrier (Mark V)	265	32.2	11
RoRo car-carrier (NSZ)	265	40	11

In voorliggend rapport heeft WL een statistische analyse uitgevoerd van de vaarsnelheden toegepast door bovenvermelde scheepstypes. De analyse is gebaseerd op AIS-gegevens voor in- en uitvaarten naar de Vandammesluis en voor de huidige passeersnelheden van sleepboten ter hoogte van de Visart-locatie. Voor het grootste studieschip werden de resultaten van vaarsimulaties uit Verwilligen & Eloot (2022) gebruikt.



Figuur 1 – Overzichtsplan Zeebrugge met indicatief ontwerp Visart voor Nieuwe Sluis Zeebrugge (Verwilligen & Eloot, 2022)

2 Vaarsnelheden uit AIS-Analyse

Een AIS-analyse werd uitgevoerd om de vaarsnelheden van verschillende scheepstypes te evalueren bij het naderen en verlaten van de Vandammesluis. Bovendien werden de vaarsnelheden geanalyseerd van sleepboten op de locatie Visart.

2.1 Methode

De AIS-gegevens voor de periode 01/10/2018 tot 01/01/2020 werden bekomen uit de Schelde Radar Keten (SRK) en werden verwerkt tot relevante gegevens op basis van de verwerkingssoftware van het WL.

Onderstaande processing werd toegepast:

1. filtering van de data binnen het vaargebied Zeebrugge;
2. berekening van passerende vaart op voorgedefinieerde passagelijnen;
3. filtering van trajecten tussen passagelijnen;
4. analyse vaarsnelheid scheepvaartverkeer per scheepstype.

2.1.1 Geografische filtering vaargebied Zeebrugge

In eerste instantie werden de AIS-gegevens gefilterd naar het havengebied van Zeebrugge. Hiervoor werd de geografische filter uit Figuur 2 toegepast.



Figuur 2 – Geografische filter AIS-gegevens Zeebrugge

2.1.2 Passagetijden

Voor alle AIS-trajecten bekomen uit de geografische filtering werd voor een selectie aan passagelijnen de passages verzameld. De passagelijnen waarvoor de scheepskruisingen onderzocht werden worden weergegeven in Figuur 3. Voor de voorliggende opdracht werden enkel de in rood weergegeven benoemde lijnen toegepast.



Figuur 3 – Visualisatie passagelijnen toegepast in de studie (rood) met bijhorende benaming

2.1.3 Trajecten tussen passages

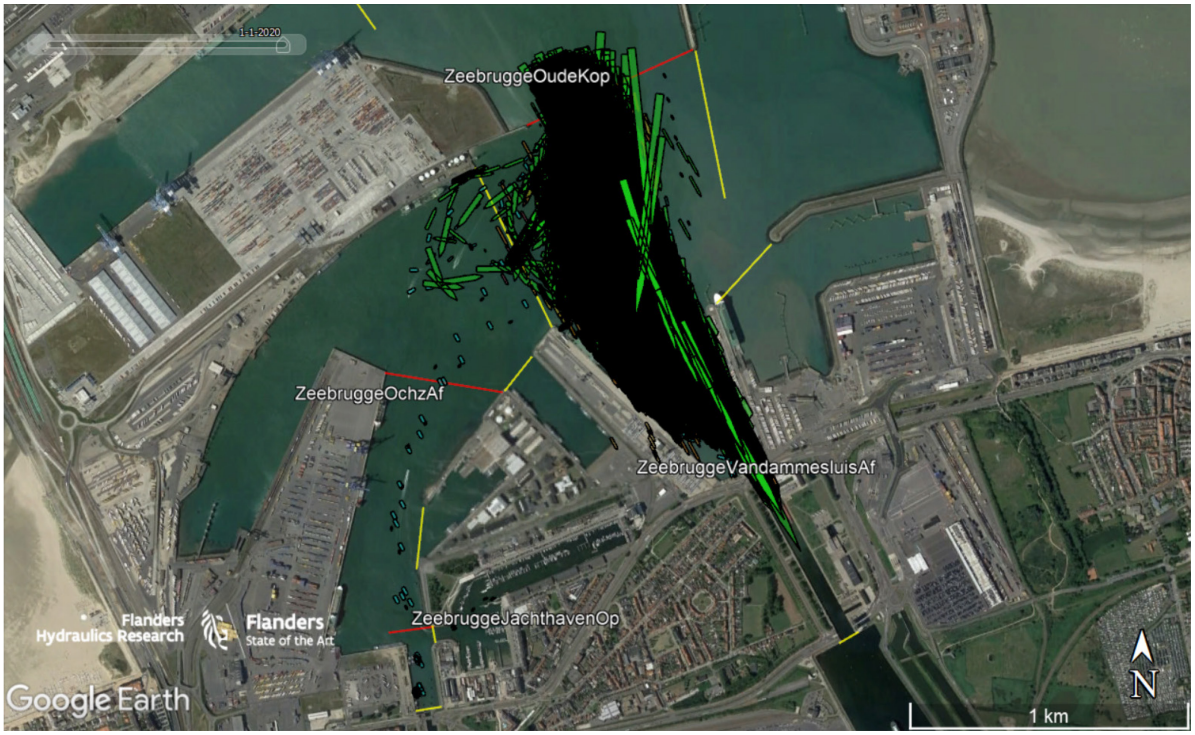
De trajecten welke binnen deze opdracht onderzocht werden zijn enerzijds op- en afvaarten naar de Vandammesluis en anderzijds op- en afvarende sleepboten naar de sleepboothaven te Visart. Om de scheepvaart op deze trajecten in beeld te brengen werd gebruik gemaakt van schepen die binnen 30 minuten onderstaande passagelijnen kruisten:

- Opvaart naar Vandammesluis
  - ZeebruggeOudeKop naar ZeebruggeVandammesluisAf
- Afvaart uit Vandammesluis
  - ZeebruggeVandammesluisAf naar ZeebruggeOudeKop
- Opvaart naar sleepboothaven Visart
  - ZeebruggeOchzAf naar ZeebruggeJachthavenOp
- Afvaart van sleepboothaven Visart
  - ZeebruggeJachthavenOp naar ZeebruggeOchzAf

Als voorbeelden worden voor de volledige periode (zie Figuur 4) en voor een representatieve maand (zie Figuur 5) alle scheepvaart weergegeven die minder dan 30 minuten na de passage van ZeebruggeOudeKop ook ZeebruggeVandammesluisAf passeerde (opvaart naar Vandammesluis). Het betroffen 5542 trajecten voor de volledige periode. Het overgrote merendeel van deze trajecten verliep rechtstreeks tussen de twee passagelijnen. Toch kan opgemerkt dat voor kleinere scheepstypes het traject in belangrijke mate kan afwijken van de verwachte vaarlijn naar de sluis. De schepen met afwijkende trajecten worden meegenomen in de analyse en de vaarsnelheden van de schepen over de grond worden langsheen het vaartraject bepaald.

De afwijkende ligging van de vaartrajecten hebben geen impact op de statistische waarden die aangeleverd worden in dit rapport.

Bij de berekening van scheepstrajecten tussen passagelijnen werden de positiegegevens van de schepen bovendien gerefereerd naar het midden van het schip.



Figuur 4 – Weergave van alle scheepvaart (5542 trajecten) gedefinieerd als opvaart naar Vandammesluis voor volledige periode



Figuur 5 – Weergave van alle scheepvaart gedefinieerd als opvaart naar Vandammesluis in December 2019

2.1.4 Referentiebanen

Om de vaarsnelheden te kunnen uitdrukken in functie van de afstand tot het sluishoofd, werden er twee referentietrajecten gedefinieerd ten opzichte waarvan de resultaten weergegeven zullen worden. De referentietrajecten en de bijhorende baanafstanden worden grafisch weergegeven in Figuur 6 en werden gedefinieerd overeenkomstig de verwachte aanlooptrajecten van en naar respectievelijk de Vandammesluis en de Visartsluis uit CP NSZ. Voor het traject naar de Nieuwe Sluis Zeebrugge stemt de referentiebaan overeen met de symmetrieas van de Visartsluis enerzijds en de lichtenlijn van de voorhaven (zoals voorgesteld in Verwilligen & Eloot (2022)) verbonden door een boogstraal (990 m). Voor de Vandammesluis wordt een rechte aanloop parallel aan de oostelijke kaai van de toegangsgeul toegepast.

De baanafstanden langsheen de referentiebanen werden gerefereerd ten opzichte van de afwaartse frontmuur van de sluis (Vandammesluis respectievelijk de zuidelijke variant van NSZ).



Figuur 6 – Weergave referentiebanen en baanafstanden voor trajecten onderzocht in de studie

2.1.5 Scheepsfilters

De scheepsklasses waarvoor de vaarsnelheden geanalyseerd dienen te worden, worden weergegeven in Tabel 1. Om de AIS-gegevens te beperken tot deze scheepsklasses werden onderstaande filters toegepast:

1. Sleepboten:
    a. AIS-scheepstype = 52 (Tug)
    b. Lengte ≥ 25 m
2. Estuair binnenschip:
    a. Lengte = 110 m
    b. Breedte = 17 m
3. Car-carrier gemiddeld
    a. Lengte [170 m; 230 m]
4. Car-carrier Mark V
    a. Lengte > 230 m

Er werd gecontroleerd of de ingestelde filters daadwerkelijk overeenstemden met de bedoelde scheepsklasses. Met uitzondering van de gemiddelde car-carrier bleek dit inderdaad het geval. Voor de car-carrier met gemiddelde afmetingen is er immers de complexiteit dat de AIS-gegevens geen onderscheid maken tussen verschillende scheepstypes (met uitzondering van tankers) en er bijgevolg geen onderscheid gemaakt kan worden tussen car-carriers en bijvoorbeeld bulkvaart. Het valt dus niet uit te sluiten dat in de scheepsfilter voor *Car-carrier gemiddeld* ook andere scheepstypes opgenomen werden[1]. Dit wordt aanvaardbaar geacht aangezien voorliggende analyse focust op de bovengrens van de vaarsnelheden, en er aangenomen kan worden dat deze door car-carriers gerealiseerd wordt.

2.2 Resultaten

2.2.1 Sleepboten van en naar Vandammesluis

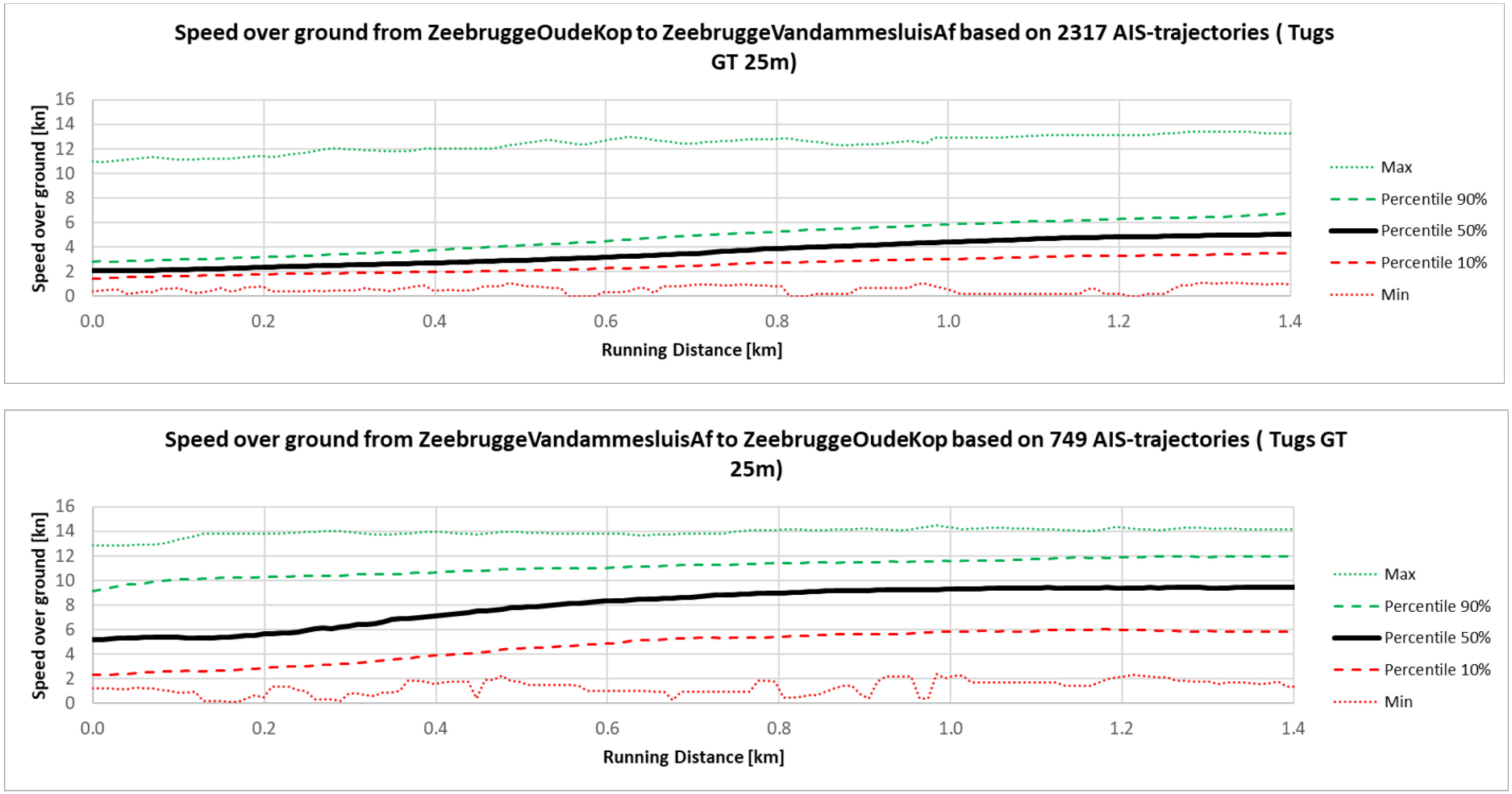
In eerste instantie worden de snelheden van sleepboten van en naar de Vandammesluis bekeken. De vaarsnelheid van sleepboten wordt vanzelfsprekend in belangrijke mate bepaald doordat zij al dan niet een zeeschip assisteren bij het sluismanoeuvre. In dat geval volgen de sleepboten de (relatief lage) snelheid van het zeeschip. Een vrijvarende sleepboot daarentegen zal hogere snelheden hanteren.

De resultaten van vaarsnelheden toegepast door sleepboten tussen de passagelijnen OudeKop en VandammseluisAf worden weergegeven in Figuur 7. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit niet het totale aantal sluisaanlopen door sleepboten bevat. De sluis kan immers ook via ander routes dan via OudeKop genaderd of verlaten worden.

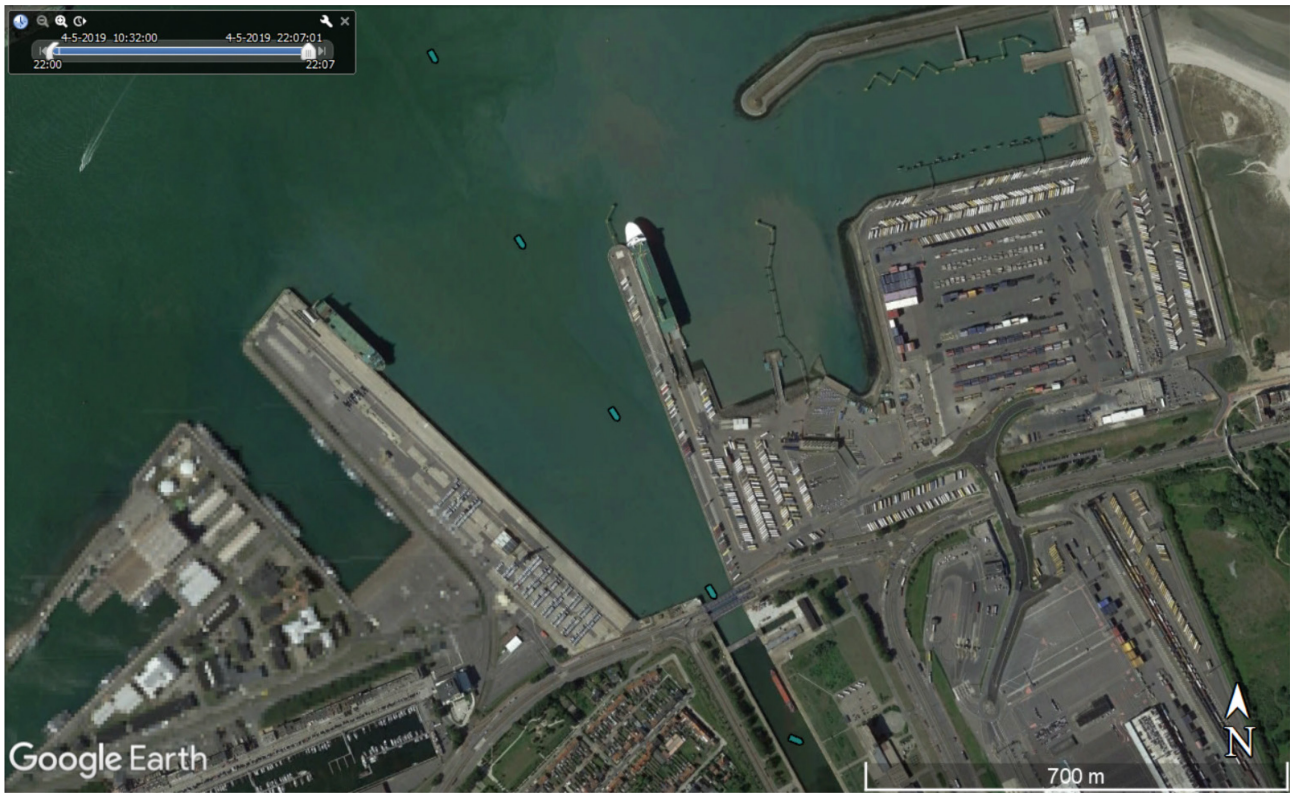
Een opvallend verschil kan waargenomen worden voor de resultaten bij sluisinvaart en sluisuitvaart. Het overgrote deel van de opvaart (tot 90% op een totale dataset van 2317 passages) vertoont lage vaarsnelheden welke overeenstemmen met de snelheden van de zeeschepen die de sleepboten begeleiden. Wanneer een sleepboot de sluis nadert vanuit de positie OudeKop, dan zal deze in het merendeel van de gevallen immers een zeeschip assisteren. In een beperkt aantal gevallen wordt het opvarende traject afgelegd door een vrijvarende sleepboot waarbij de vaarsnelheid over het volledige traject 12 kn (tot maximaal 13.5 kn) kan bedragen.

Sleepboten die het omgekeerde traject afleggen vertonen een veel grotere spreiding. Hierbij heeft 10% van de sleepboten een vaarsnelheid hoger dan 10 kn wanneer deze zich op 100 m van de sluis bevinden. Bovendien nemen de snelheden nog verder toe naarmate de sleepboten verder van de sluis weg varen. Zo hebben op een afstand van de sluis gelijk aan 1.2 km, 10% van de sleepboten een vaarsnelheid gelijk aan 12 kn of meer. De maxima vertonen gelijkaardige waarden als voor de opvaart (een kleine verhoging doordat er een groter aandeel aan vrijvarende sleepboten aanwezig is bij afvaart), waarbij voor afvaart een maximale vaarsnelheid gelijk aan 14 kn blijkt voor de sleepboten.

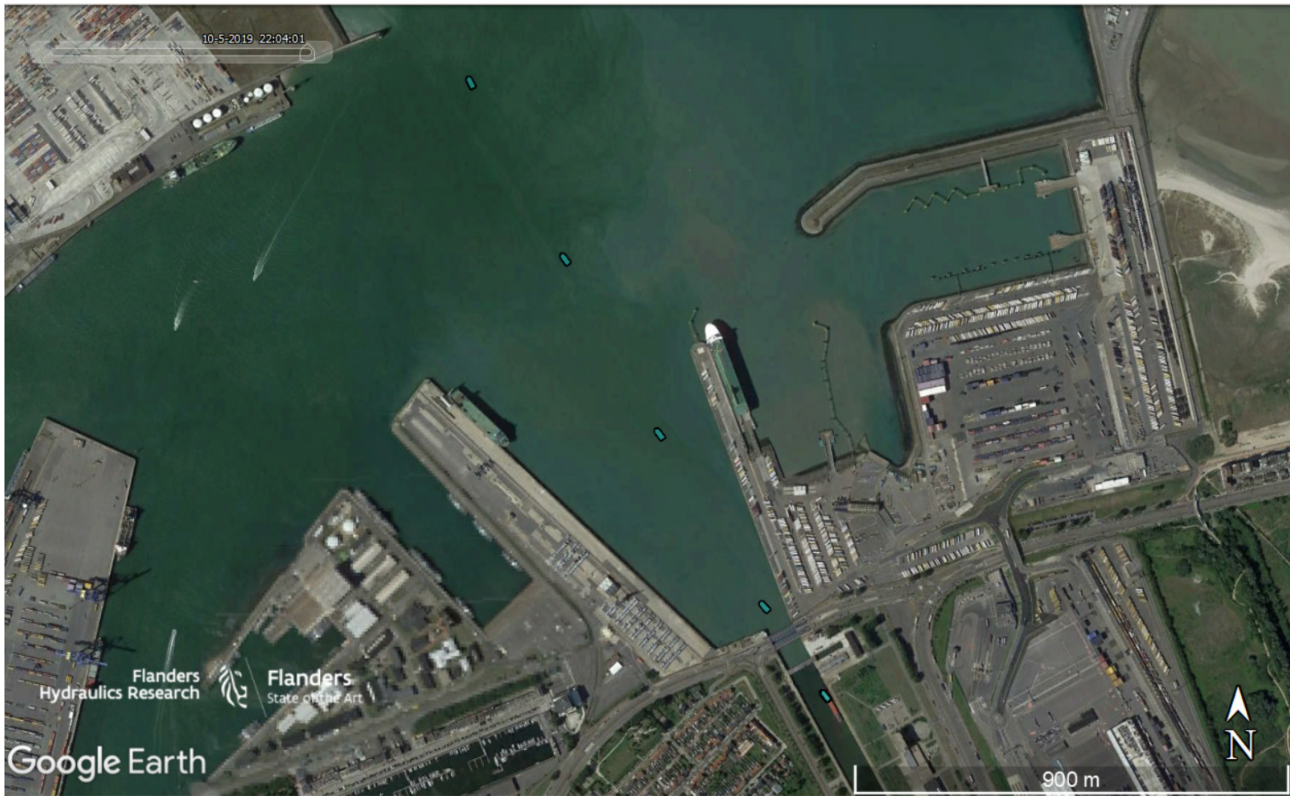
[1] De mogelijkheid bestaat om de AIS-gegevens te verrijken met gegevens uit andere databases zoals de scheepsdatabank IVS (Informatie Verstrekkend Systeem) van de GNA (Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit). Door de beperkte meerwaarde voor voorliggende analyse werd deze inspanning niet gedaan.



Figuur 7 – AIS-snelheden van sleepboten tussen passagelijnen ZeebruggeOudeKop en Vandammesluis



Figuur 8 – Illustratie vaartraject door snelvarende sleepboot (id 2617) naar Vandammesluis (plotinterval 60 s)



Figuur 9 – Illustratie vaartraject door snelvarende sleepboot (id 2165) uit Vandammesluis (plotinterval 60 s)

2.2.2 Sleepboten van en naar sleepboothaven Visart

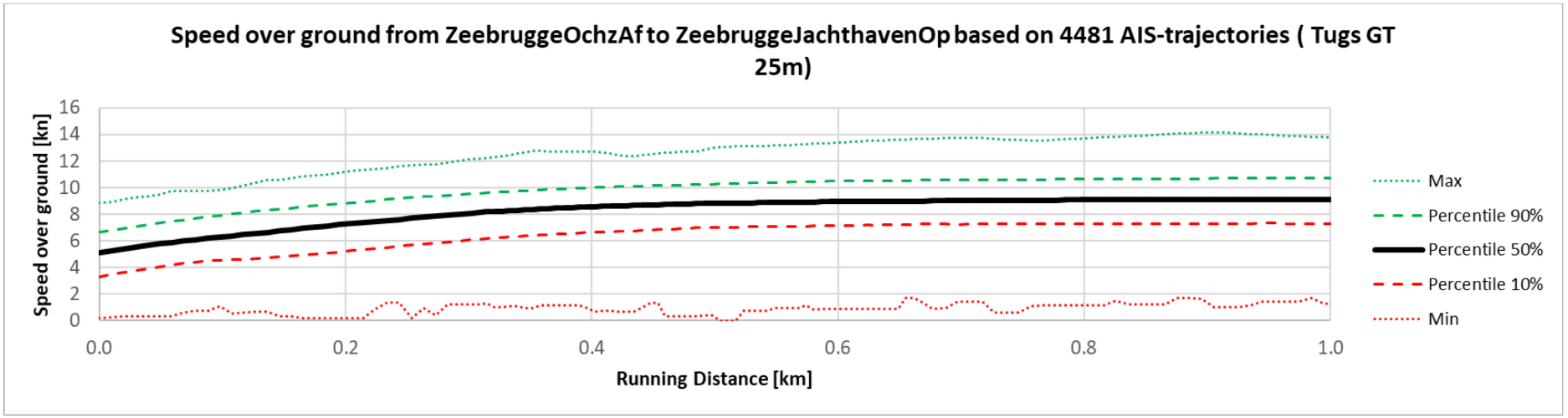
Doordat de sleepboothaven zich ter hoogte van de locatie Visart bevindt, passeren er ook op vandaag reeds regelmatig sleepboten langsheen de jachthaven. Er kan aangenomen worden dat deze sleepboten op vandaag allemaal vrijvaren. In Figuur 10 worden de vaarsnelheden van de sleepboten op dit traject weergegeven. In de onderzochte periode werden er 4481 opvaarten en 4499 afvaarten geïdentificeerd. De snelheden gehanteerd voor op- of afvaart naar de sleepboothaven zijn gelijkaardig met gemiddeld iets hogere snelheden gehanteerd door de opvaart. Ook hier blijkt dat de maximale vaarsnelheden tot 14 kn kunnen bedragen. Toch blijkt meer dan 90% van de sleepboten de vaarsnelheid te beperken tot maximaal 10.5 kn.

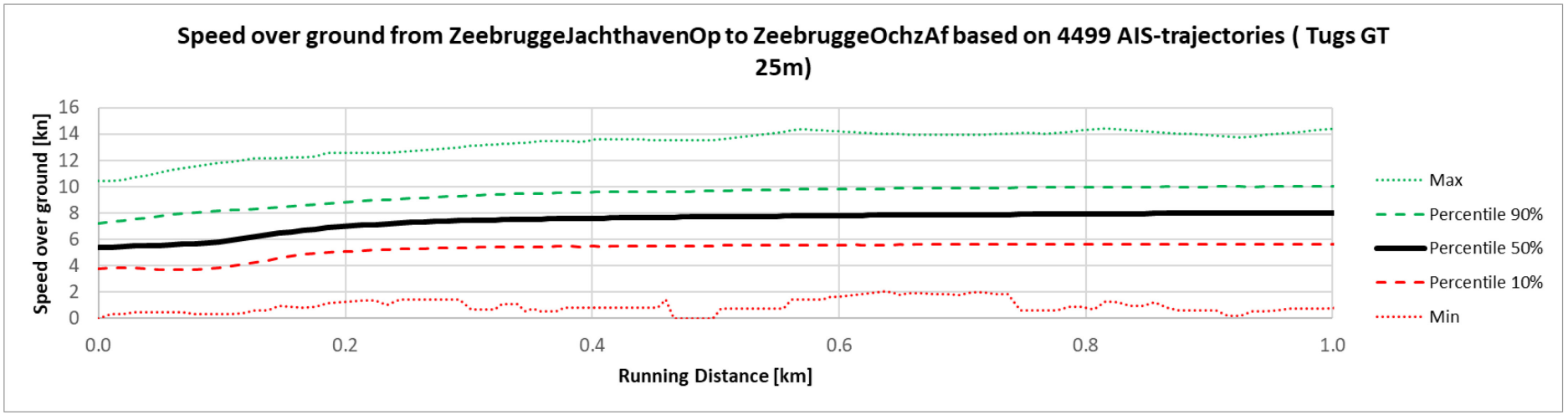
De huidige maximale vaarsnelheden ter hoogte van de huidige monding van de jachthaven (baanafstand 0.03 km) bedragen tot 10.5 kn. Een afvarend vaartraject waarvoor deze snelheid toegepast werd, wordt weergegeven in Figuur 11.

2.2.3 Vaarsnelheden sleepboten

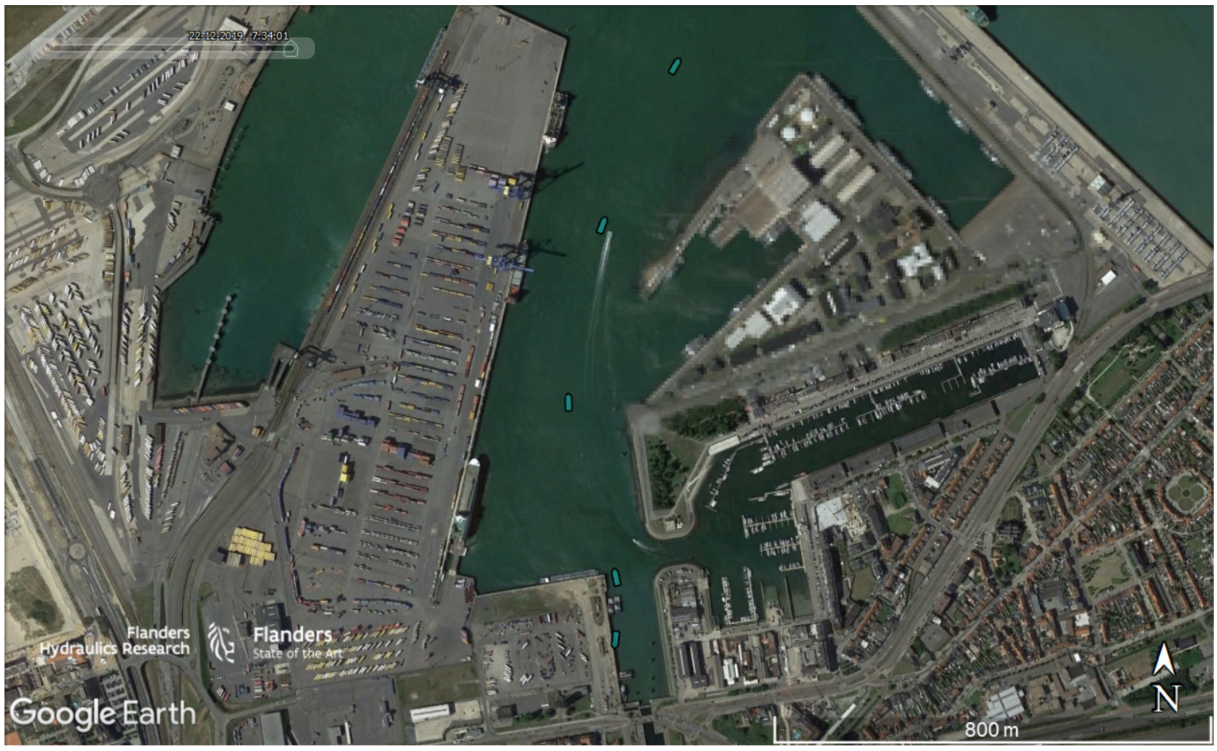
Samenvattend kan gesteld worden dat de vaarsnelheid van sleepboten een grote variatie vertoont, maar dat op de verschillende onderzochte trajecten er verschillende voorbeelden terug te vinden zijn waarbij de sleepboten aan een vaarsnelheid gelijk aan 14 kn varen. Toch blijven dergelijke hoge vaarsnelheden eerder uitzonderlijk (maar zonder snelheidsbeperkingen dus niet onmogelijk). Wanneer uitgegaan wordt van de 10% snelste sleepboottrajecten, dan blijken deze ter hoogte van Visart maximaal aan 10.5 kn te varen (in afvaart tot 10.0 kn). Opvallend hierbij is dat uitvarende sleepboten uit de Vandammesluis, ondanks dat een deel van deze sleepboten niet vrijvarend is, toch hogere vaarsnelheden hanteren. Voor dit traject is de snelheid die door de 10% snelste sleepboten (dit zijn wel allen vrijvarende sleepboten) gehanteerd werd gelijk aan 11 tot 12 kn wanneer de sleepboot zich op 600 m of meer van de sluis bevindt. De lagere vaarsnelheden ter hoogte van het militair dok doen vermoeden dat de sleepboten op het traject Visart de snelheid beperken om de hinder voor de andere vaarweggebruikers te beperken.

Voor de berekening van scheepsgolven door sleepboten uit de Visartsluis kan een maximale vaarsnelheid gelijk aan 14 kn gehanteerd worden. Uit de resultaten voor de Vandammesluis, blijkt dat deze snelheid tot op korte afstand van de sluis gerealiseerd kan worden. Er wordt echter aangeraden om de scheepsgolven door sleepboten ook bij een lagere snelheid te evalueren. Rekening houdend met de resultaten naar beide bestemmingen wordt hiervoor een vaarsnelheid gelijk aan 11 kn voorgesteld.





Figuur 10 – AIS-snelheden van sleepboten tussen passagelijnen OchzAf en JachthavenOp



Figuur 11 – Illustratie vaartraject door snelvarende sleepboot (id 10567) uit sleepboothaven Visart (plotinterval 60 s)

2.2.4 Gemiddeld schip (car-carrier) naar Vandammesluis

Een gemiddeld schip wordt in deze studie gedefinieerd als een schip met lengte tussen 170 m en 230 m. Er kan aangenomen worden dat het merendeel van deze schepen van en naar de Vandammesluis ook de passagelijn OudeKop zal passeren en dat aldus de resultaten uit de AIS-analyse de volledige vloot aan sluisinvaarten (1124) en sluisuitvaarten (1141) bestrijkt.

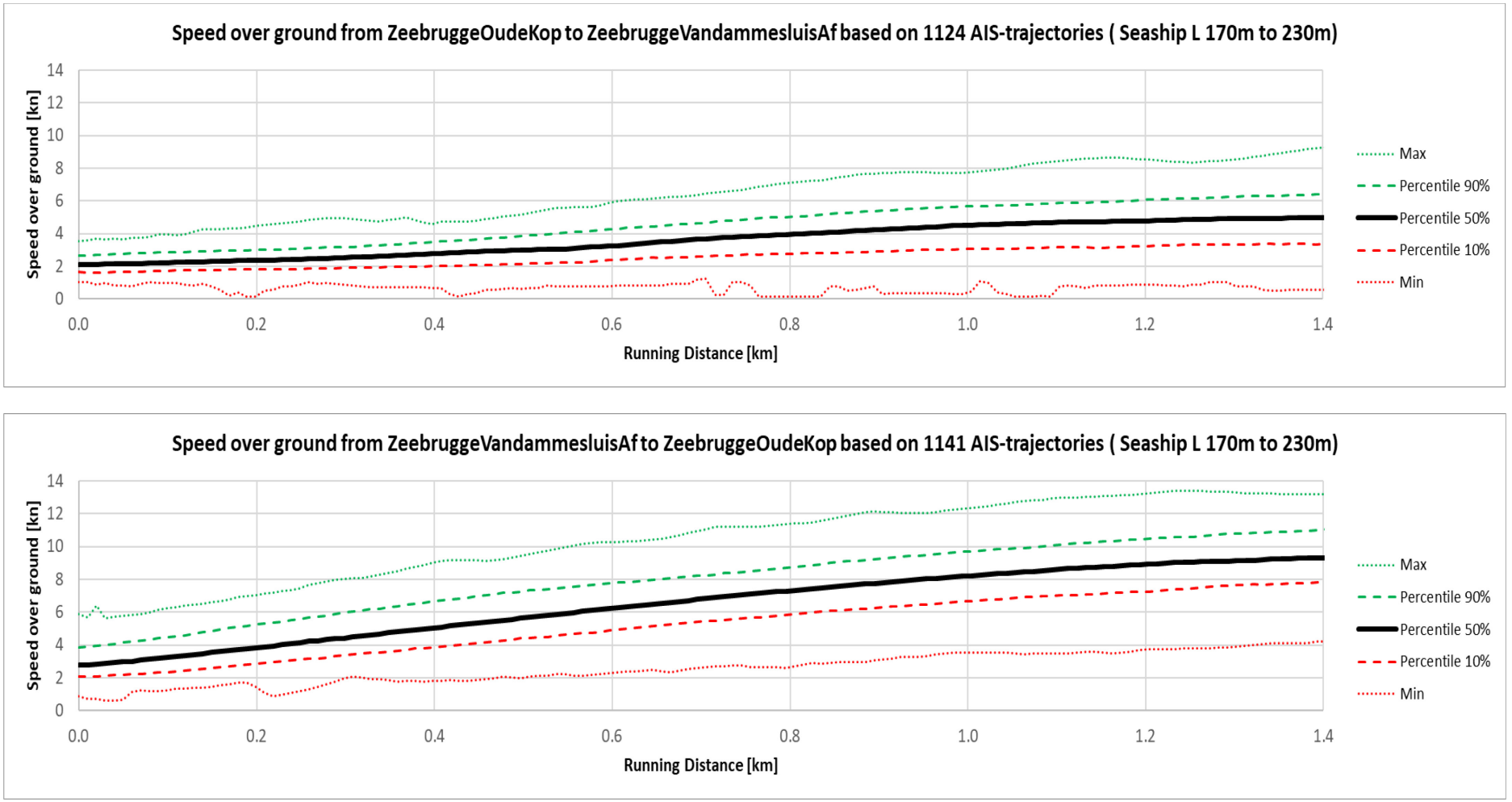
De resultaten worden weergegeven in Figuur 12. Opnieuw kan een relatief groot verschil in vaarsnelheden waargenomen worden voor de sluisinvaarten en de sluisuitvaarten. Tijdens de sluisnadering wordt het schip gepositioneerd naar de sluis aan een relatief lage snelheid en wordt de snelheid stelselmatig afgebouwd om met aanvaardbare snelheid de sluis in te varen. Bij sluisuitvaart zijn er weinig snelheidsbeperkingen op het ogenblik dat het schip de sluis verlaat (enkele de eventuele aanwezigheid van een achterste sleepboot kan in dit geval een begrenzing vormen voor de snelheidsopbouw). Bijgevolg zal een afvarend schip een relatief vlotte snelheidsopbouw realiseren. Voor zowel op- als afvaart, en in tegenstelling tot de resultaten voor sleepboten, blijken de vaarsnelheden nu wel in belangrijke mate beïnvloed door de afstand tot de sluis.

Voor sluisinvaart geldt dat in de laatste 1.0 km tot de sluis (de afstand relevant voor de toegangsgeul tot de jachthaven in NSZ) meer dan 90% van de schepen een vaarsnelheid lager dan 6 kn zal hanteren. De maximale snelheid die door een schip toegepast wordt, bedraagt op dit deel van het traject minder dan 8 kn. Deze snelheden nemen verder af tot respectievelijk 2.5 en 3.5 kn bij het bereiken van de sluis. Er kan aangenomen worden dat voor de aanloop naar NSZ gelijkaardige tot lagere vaarsnelheden (door de bocht in de aanloop naar de vaargeul) zullen gelden. De resultaten voor de Vandammesluis kunnen dus toegepast worden op de Visartsluis (met verschillende terugkeerperiodes).

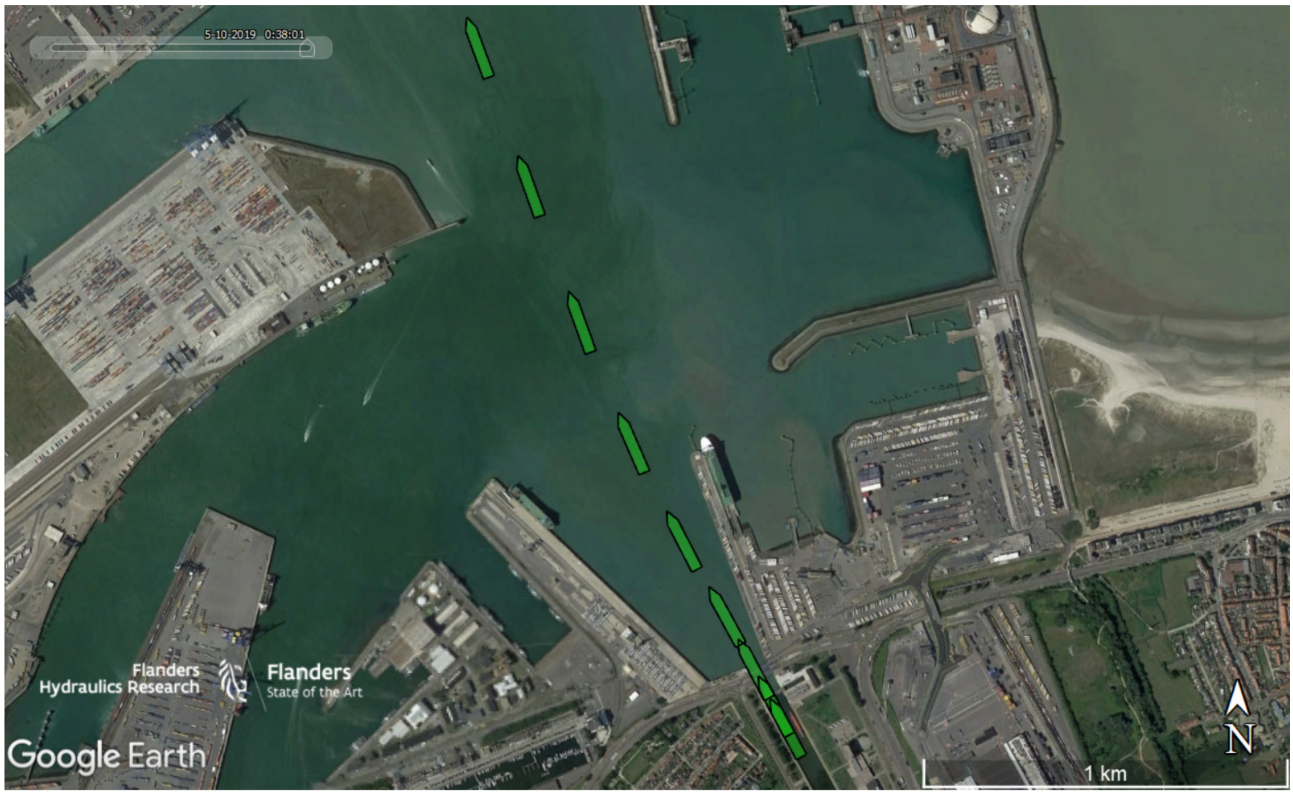
In afvaart treden merkelijk hogere vaarsnelheden op. De 90%-percentiel van de uitvaarsnelheden bedraagt 4 kn ter hoogte van de sluis en neemt stelselmatig toe tot 10 kn op 1 km afwaarts de kolk. Er blijkt bovendien een belangrijke spreiding aanwezig op de snelheden van afvarende schepen uit de sluis. Uitzonderlijk (1 op 1000) blijken op 1.0 km van de sluis vaarsnelheden tot 12.3 kn opgebouwd te worden. In Figuur 13 wordt het

traject van het snelst varende schip (op 1 km van de sluis) weergegeven, het betrof een autoschip met lengte 181 m en breedte 32 m.

Zowel voor op- als afvaart kan aangenomen worden dat de spreiding van vaarsnelheden in functie van de afstand tot de sluis zoals weergegeven in Figuur 12 ook een realistische aanname betreft voor de gemiddelde car-carrier naar NSZ.



Figuur 12 – AIS-snelheden van gemiddelde schepen tussen passagelijnen OudeKop en VandammesluisAf



Figuur 13 – Illustratie vaartraject door snelvarende car carrier (id 3479) uit Vandammesluis (plotinterval 60 s)

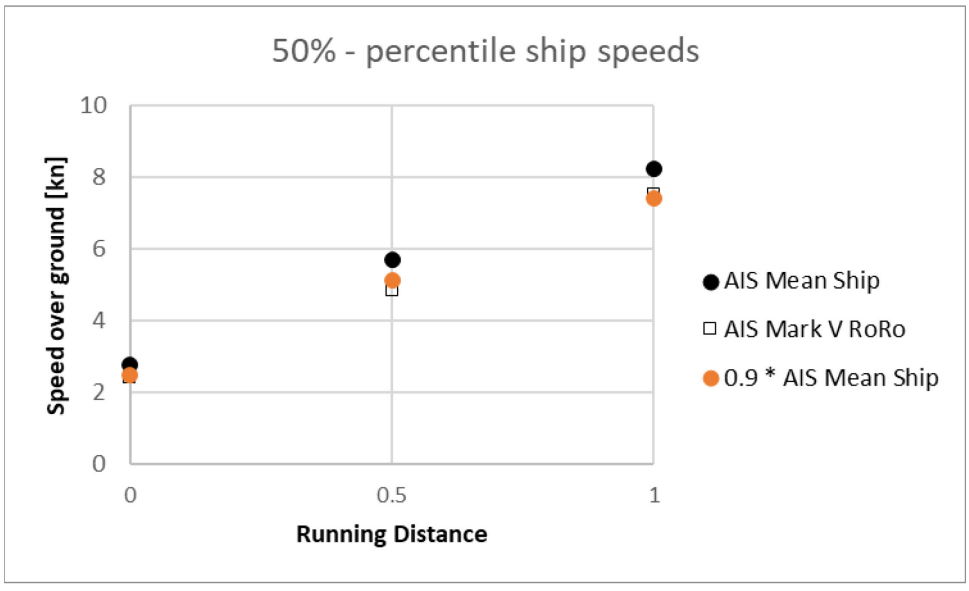
2.2.5 Car-carrier van het type Mark V

Door de AIS-schepen te filteren naar scheepslengtes groter dan 250 m, worden er zowel in opvaart als afvaart 15 sluispassages bekomen voor car-carriers van het type Mark V (265m x 32m). Deze eerder beperkte dataset laat geen uitgebreide statistische analyse naar terugkeerperiodes toe. Wel kunnen er percentielwaarden (10%; 50% en 90%) berekend worden.

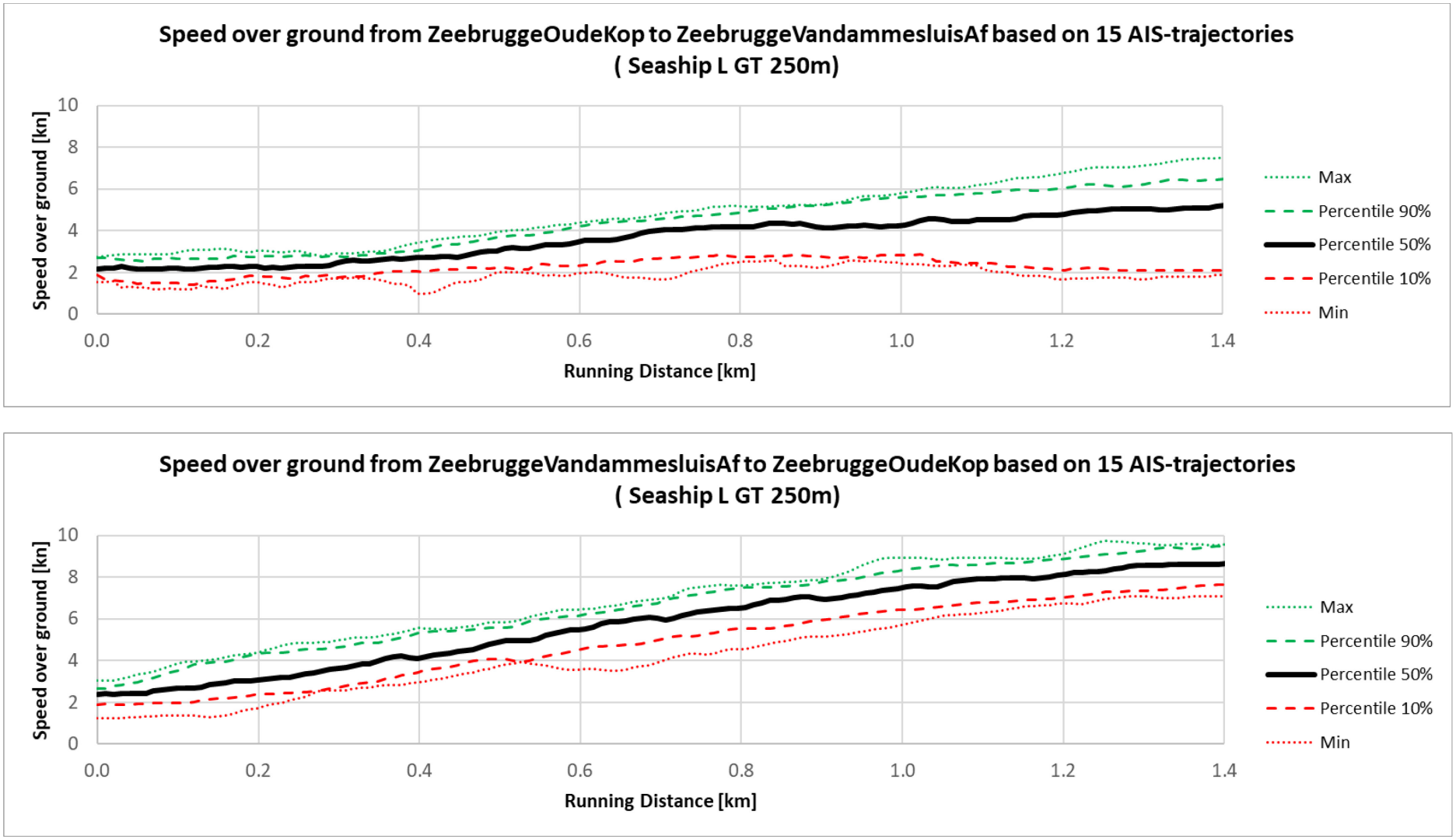
De resultaten van de AIS-analyse worden weergegeven in Figuur 15. Net als voor de gemiddelde zeevaart, blijkt er een belangrijk verschil in vaarsnelheden tussen de opvaart (sluisinvaart) en de afvaart (sluisuitvaart). In Tabel 2 wordt een vergelijking gemaakt tussen de verschillende vaartrajecten, scheepstypes en percentielwaarden. Op basis van deze tabel wordt aangeraden om voor de opvaart dezelfde snelheidsprofielen te hanteren voor de Mark V schepen als voor de gemiddelde schepen uit §2.2.4. Voor de afvaart wordt op basis van de 50%-percentiel een correctiefactor gelijk aan 90% voorgesteld ten opzichte van de statistische waarden uit §2.2.4 (zie Figuur 14).

Tabel 2 – AIS-vaarsnelheden in op- en afvaart voor verschillende scheepstypes op drie sluisafstanden

	Afstand tot sluis	Opvaart			Afvaart		
		Percentiel			Percentiel		
	[km]	10%	50%	90%	10%	50%	90%
Gemiddeld schip	0	1.65	2.09	2.64	2.07	2.76	3.86
	0.5	2.19	3.01	3.88	4.45	5.71	7.33
	1	3.05	4.53	5.66	6.68	8.23	9.72
Mark V Car Carrier	0	1.87	2.16	2.71	1.9	2.4	2.64
	0.5	2.21	3.04	3.67	4.09	4.85	5.57
	1	2.83	4.23	5.59	6.44	7.51	8.35



Figuur 14 – Benadering percentiel waarden AIS-snelheden Mark V door toepassing factor 0.9 op AIS-snelheden Gemiddeld Schip



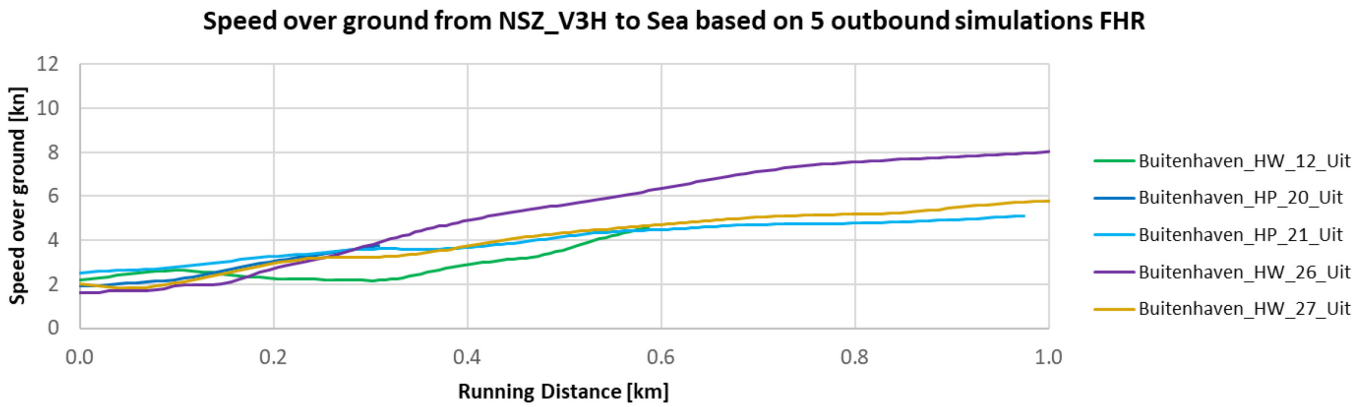
Figuur 15 – AIS-snelheden van Mark-V car-carriers tussen passagelijnen OudeKop en VandammesluisAf

2.2.6 Car-carrier NSZ

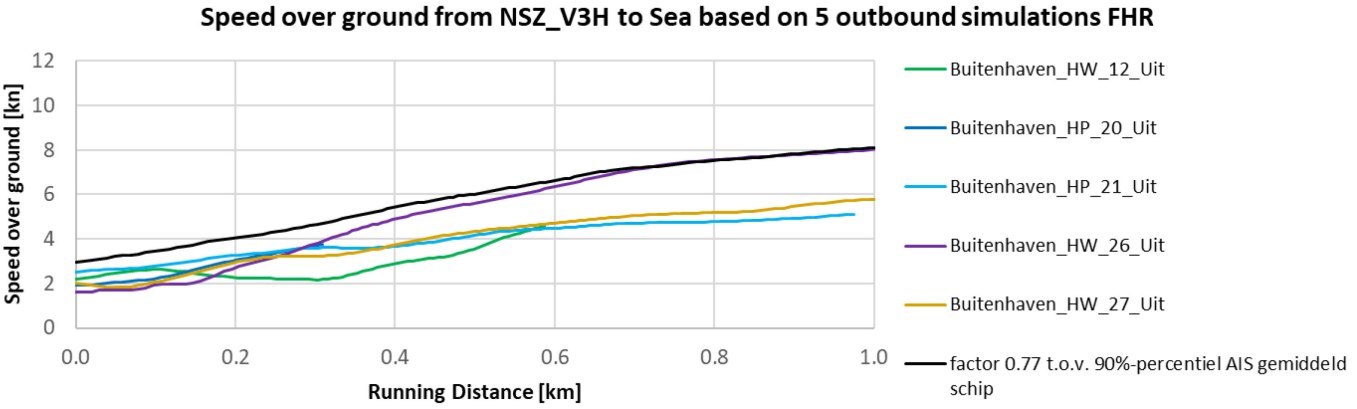
Aangezien de car-carrier van het type NSZ (265 m x 40 m) vooralsnog een fictief ontwerpschip betreft kan voor deze schepen niet teruggevallen worden op een AIS-analyse. In Verwilligen & Eloot (2022) werden er echter vijf sluisuitvaarten gesimuleerd met het ontwerpschip van CP NSZ welke eveneens verwerkt kunnen worden ten opzichte van de referentiebaan naar de Visartsluis (zie Figuur 16). Hierbij blijkt één van de sluisuitvaarten (simulatie 26) gepaard te gaan met een opvallend hoge snelheid. Dit was te wijten aan een ongunstige uitgangspositie bij het verlaten van de sluis, waarbij er getracht werd om de positie te herstellen zonder gebruik te maken van de sleepboten. Na uitvoering van de simulatie werd opgemerkt dat de sleepboten bij sluisuitvaart door het ontwerpschip van CP NSZ langer vastgehouden dienen te worden opdat de vaarsnelheden in de toegangsgeul onder controle gehouden kunnen worden. Er werd na afloop van deze simulatie gesteld dat voor het ontwerpschip van CP NSZ de vaarsnelheden in de toegangsgeul in normale omstandigheden beperkt zouden blijven tot 6 kn.

Het aantal beschikbare simulaties laat geen statistische analyse toe. Men zou kunnen aannemen dat de snelheden op 0.7 km van de sluis zoals gehanteerd in simulatie 26 gepaard gaan met een uitzonderlijk hoog snelheidsprofiel voor het ontwerpschip voor CP NSZ. Om dit hoge snelheidsprofiel door te trekken tot aan de sluis wordt op de 90%-percentiel van de AIS-vaarsnelheden voor een gemiddeld schip een factor 0.77 toegepast (zie Figuur 17). Er wordt aangeraden om het zwarte snelheidsprofiel uit Figuur 17 toe te passen als hoog snelheidsprofiel voor het ontwerpschip van CP NSZ. Tijdens de simulatievaarten (Verwilligen & Eloot, 2022) werd opgemerkt dat, indien dit noodzakelijk blijkt voor de omgeving, dan vanuit nautisch oogpunt een snelheidslimiet gelijk aan 6 kn realistisch geacht werd voor het ontwerpschip van CP NSZ. Het hoge snelheidsverloop wordt aangenomen overeen te stemmen met sluisuitvaarten zonder beperkingen opgelegd door de omgeving.

Om de impact van een mogelijke snelheidsbeperkingen in rekening te brengen wordt bovendien aangeraden om ook de impact van een beperkt snelheidsprofiel door te rekenen. Hierbij wordt de vaarsnelheid in de voorhaven beperkt tot 6 kn. Dit wordt gerealiseerd door in het hoge snelheidsprofiel de snelheden te beperken tot 6 kn.



Figuur 16 – Vaarsnelheid uitvarend ontwerpschip NSZ tijdens vaarsimulaties (Verwilligen & Eloot, 2022)

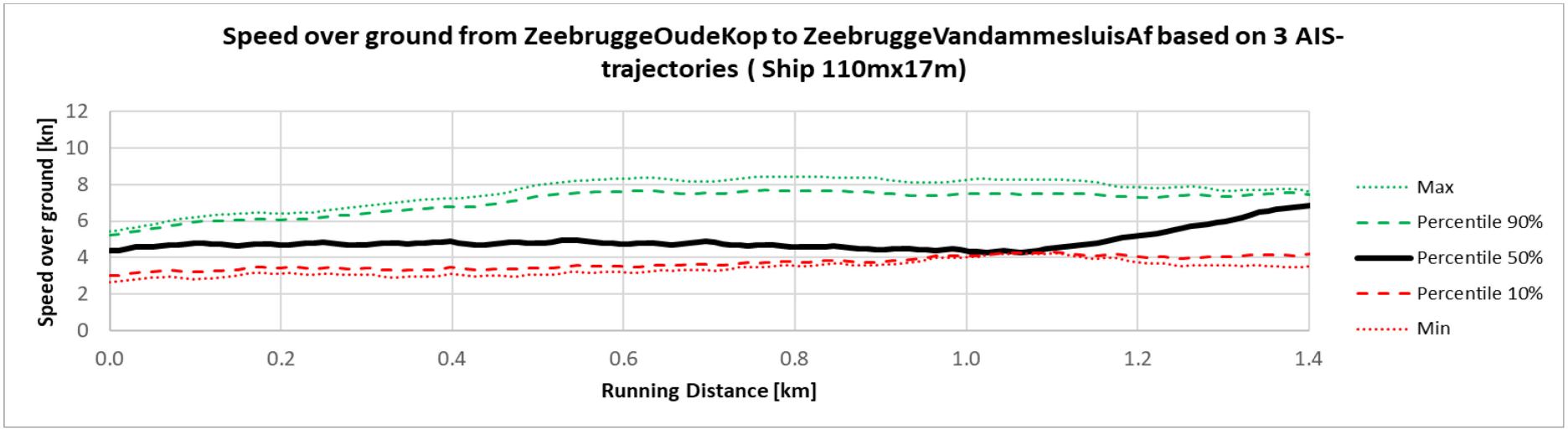


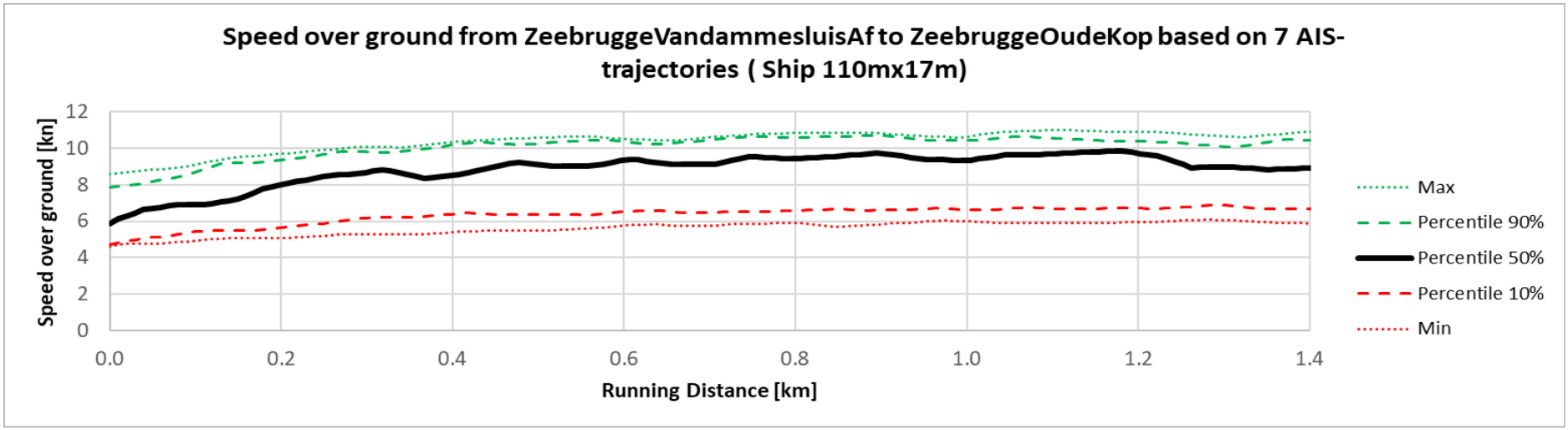
Figuur 17 – Vaarsnelheid uitvarend ontwerpschip NSZ tijdens vaarsimulaties (Verwilligen & Eloot, 2022) vergeleken met gecorrigeerde (77%) 90%-percentiel AIS-snelheden voor sluisuitvaart Vandammesluis door een gemiddeld schip.

2.2.7 Estuair binnenschip

Hoewel estuaire binnenschepen frequent de haven van Zeebrugge aanlopen, gaan deze reizen slechts uitzonderlijk gepaard met een versassing door de Vandammesluis. In combinatie met een passage van de lijn OudeKop werden er slechts drie sluisinvaarten en zeven sluisuitvaarten geregistreerd. Doordat eerder al bleek dat sluisuitvaarten gepaard gaan met belangrijk hogere vaarsnelheden en dus maatgevend zijn voor het optreden van scheepsgolven in de omgeving worden hier enkel de resultaten voor de zeven afvaarten besproken.

Uit Figuur 18 blijkt dat de vaarsnelheid van binnenschepen reeds op korte afstand van de sluis een relatief hoge waarde kan bereiken. Voor de 7 afvaarten uit de Vandammesluis blijkt binnen het onderzocht gebied een maximale vaarsnelheid gelijk aan 11 kn gehanteerd te worden. Op basis van de beperkte resultaten wordt een snelheidsprofiel voorgesteld van 9 kn bij het uitvaren van de sluis tot 11 kn op een afstand 400 m van de sluis.





Figuur 18 – AIS-snelheden van Estuaire binnenschepen tussen passagelijnen OudeKop en VandammesluisAf

3 Samenvatting en conclusie

Op basis van een AIS-analyse voor de periode 01/10/2018 tot 01/01/2020 (15 maanden) werd informatie verzameld voor de vaarsnelheden bij sluismanoeuvres naar de Pierre Vandammesluis door verschillende ontwerpschepen die toegepast zullen worden in een numeriek model voor scheepsgolven (IMDC, 2022). In deze analyse wordt aangenomen dat de vaarsnelheden naar de Pierre Vandammesluis een goede maatstaf zijn voor de vaarsnelheden naar de Nieuwe Sluis Zeebrugge (NSZ). Dit is een beperkt conservatieve waarde aangezien de sluismanoeuvres naar NSZ bemoeilijkt worden door een bochtmanoeuvre in de toegangsgeul, waardoor er beperkt lagere vaarsnelheden verwacht kunnen worden.

Aangezien de vaarsnelheden geëvalueerd dienden te worden ten opzichte van de afstand tot de sluis werd de scheepvaart van en naar de Pierre Vandammesluis geïdentificeerd als scheepvaart die tussen de sluis en de passagelijn OudeKop voer. Deze aanname is geldig voor zeevaart. Voor sleepboten en binnenschepen bleek echter dat de trajecten uit de sluis ook vaak gepaard gaan met andere trajecten/bestemmingen naar de haven. Voor deze schepen bevat de geanalyseerde dataset niet alle sluismanoeuvres.

Bijkomend werden ook de vaarsnelheden onderzocht van sleepboten op de locatie Visart. Op heden bevindt zich op de voorkeursligging van NSZ de sleepboothaven. Bijgevolg passeren er op vandaag reeds regelmatig sleepboten langsheen de toegang tot de jachthaven en het militair dok (er werden in totaal bijna 9000 trajecten van sleepboten (>25 m) van of naar Visart geïdentificeerd). De vaarsnelheden op dit traject werden gerapporteerd ten opzichte van de afstand tot het benedenhoofd van de zuidelijke Visartvariant van NSZ. De huidige monding van de jachthaven bevindt zich 30 m zuidelijker.

Tot slot werden voor het ontwerpschip voor CP NSZ ook vaarsnelheden gerapporteerd uit de vaarsimulaties uit Verwilligen & Eloot (2022).

Om de AIS-gegevens te herleiden naar de ontwerpschepen uit IMDC (2022) werd een filtering toegepast zoals beschreven in §2.1.5. Hierbij dient opgemerkt dat de scheepsklasse gemiddelde car-carrier niet enkel schepen van het type car-carrier bevatte, maar alle schepen die een gelijkaardige scheepslengte (±30 m) hadden.

Voor de sleepboten bleek een belangrijke spreiding op de vaarsnelheden waarneembaar. Wanneer gefocust wordt op de maximale vaarsnelheden dan blijken er slechts beperkte verschillen waarneembaar tussen de vaarsnelheden toegepast bij sluisinvaart en sluisuitvaart. Zowel voor de bestemming Vandammesluis als voor de bestemming Visart bleek in de onderzochte periode (15 maanden) een vaarsnelheid tot 14 kn gerealiseerd te worden. Dergelijke hoge vaarsnelheden zijn echter uitzonderlijk. Wanneer op de vaarsnelheden voor afvarende sleepboten de 90% percentiel beschouwd wordt, dan blijken de bijhorende snelheden uit de Vandammesluis hoger te liggen dan uit de Visartsluis. Dit doet vermoeden dat de sleepboten bij het varen langsheen de jachthaven en het militair dok de snelheid beperken om hinder te vermijden. Er wordt aangeraden om de scheepsgolven door sleepboten te evalueren bij twee snelheden en voor zowel op- als afvaart (totaal vier scenario's). De snelheden kunnen overeenstemmen met een uitzonderlijke (stel terugkeerperiode 1 jaar) snelheid (14 kn) en met een snelheid overeenkomstig een realistische snelheidsbeperking (11 kn).

Voor gemiddelde zeeschepen naar de Vandammesluis werd een erg ruime set aan sluismanoeuvres bekomen (ca. 1100 vaartrajecten in beide richtingen). Deze ruime dataset laat toe om statistische gegevens te verzamelen waarvan in het rapport enkel de maxima, minima, mediaan, 10%-percentiel en de 90%-percentiel aangeboden worden. Voor zeeschepen treden de grootste vaarsnelheden op bij de sluisuitvaart. Bovendien vertonen de vaarsnelheden bij sluisuitvaart een geleidelijke opbouw van aan de sluis en een erg grote onderlinge variatie. Zo varieert de vaarsnelheid door sluisuitvaart op 500 m van de sluis tussen 2.1 kn (minimum) en 9.5 kn (maximum) waarbij op basis van een voorbeeld aangetoond werd dat de grootste snelheden inderdaad door de bedoelde car-carriers toegepast werden. De afvarende dataset voor

gemiddelde zeeschepen laat toe om voor verschillende terugkeerperiodes een maximale vaarsnelheid te definiëren. Het komt de Werkgroep Jachthaven en Toegangsgeul van NSZ toe om de gewenste terugkeerperiode/frequentie te bepalen waarvoor de berekeningen uitgevoerd dienen te worden.

Voor car-carriers van het type Mark V is er slechts een beperktere dataset (15 sluisuitvaarten) beschikbaar. Op basis van de gegevens wordt voorgesteld om de snelheden voor dit scheepstype te definiëren op basis van een vermenigvuldigingsfactor 0.9 ten opzichte de resultaten voor afvarende gemiddelde schepen.

Voor car-carriers van het type NSZ zijn er geen AIS-gegevens beschikbaar aangezien dit schip op vandaag nog niet naar Zeebrugge komt. Op basis van Verwilligen & Eloot (2022) wordt een hoog snelheidsprofiel (0.77 maal het 90% snelheidsprofiel van de AIS-gegevens voor het gemiddeld schip) en een beperkt snelheidsprofiel (het hoge snelheidsprofiel maar beperkt tot 6 kn) gedefinieerd. Er wordt aangeraden om minimaal het hoog snelheidsprofiel door te rekenen. Indien een beperking van de vaarsnelheid tot 6 kn relevant is voor de hinder in de jachthaven, dan kan ook het beperkte snelheidsprofiel doorgerekend worden voor het ontwerpschip van CP NSZ.

Uit de AIS-analyse kon slechts een beperkte dataset voor afvarende estuaire binnenschepen uit de Pierre Vandammesluis (7) gehaald worden. Deze gegevens laten geen statistische analyse toe, maar tonen wel de relatief hoge vaarsnelheden die door deze schepen toegepast worden op relatief korte afstand tot de sluis. Er wordt voorgesteld om voor deze schepen de grootste vaarsnelheden te hanteren die aangeboden worden op basis van de 7 afvaarten.

4 Referenties

IMDC. (2022). Optimalisatie haventoegang jachthaven - Aannames en methodologie, versie 3.0

Verwilligen, J.; Eloot, K. (2022). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Deelrapport 4 – Simulatiestudie Zuidelijke Verschuiving 2021-2022. versie 2.0. *WL Rapporten*, 20_011_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vlaamse Overheid. (2019). Besluit van de Vlaamse Regering houdende de definitieve vaststelling van het voorkeursbesluit betreffende het complexe project `Verbetering van de nautische toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge'. Belgisch Staatsblad

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.waterbouwkundiglaboratorium.be



Vlaanderen
is wetenschap

20_011_4
WL rapporten

Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 4
Simulatiestudie Zuidelijke Verschuiving 2021-2022

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Nautische optimalisatie
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge

Deelrapport 4 –
Simulatiestudie Zuidelijke Verschuiving 2021-2022

Verwilligen, J.; Eloot, K.

Waterbouwkundig Laboratorium
Vlaanderen is wetenschap

Cover figuur © Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium

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 2022
D/2022/3241/134

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Eloot, K. (2022). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge: Deelrapport 4 – Simulatiestudie Zuidelijke Verschuiving 2021-2022. Versie 6.0. WL Rapporten, 20_011_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2022R20_011_4
Trefwoorden (3-5):	Vaarsimulaties, vaarwegontwerp, sluis, RoRo-ferry		
Kennisdomeinen:	Havens en vaarwegen > Manoeuvreergedrag > Wind > Simulaties Havens en vaarwegen > Scheepsbeweging > Ontwerp vaarweg en haven > Simulaties		
Tekst (p.):	88	Bijlagen (p.):	101
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Verwilligen, J.

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Eloot, K.	Getekend door:Katrien Eloot (Signature) Getekend op:2022-08-28 19:51:38 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Katrien Eloot
Projectleider:	Verwilligen, J.	Getekend door:Jeroen Verwilligen (Signa Getekend op:2022-08-31 09:10:43 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Jeroen Verwilligen

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, A.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sig Getekend op:2022-08-29 13:05:25 +02:0 Reden:Ik keur dit document goed Abdelkarim Bellafkih

Abstract

In 2021 en 2022 werden realtime vaarsimulaties uitgevoerd in het kader van de uitwerkingsfase van de Visartlocatie voor het Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Op basis van eerder simulatieonderzoek (2020) werd een geoptimaliseerd ontwerp van de Achterhaven uitgewerkt, waarbij ook alle voorziene havenontwikkelingen op lange termijn opgenomen werden. Op basis van de simulaties naar de Achterhaven werd gevalideerd dat het gesimuleerde ontwerp voldoet voor de toegankelijkheid van de sluis en de voorziene ligplaatsen. Ook de mogelijkheid voor scheepsontmoetingen in het Verbindingskanaal door schepen tot maximaal 32.2 m breed werd gevalideerd.

Voor de Voorhaven werd voor de zuidelijke inplantingsvariant van de sluis, de interactie tussen de sluismanoeuvres en de ebstroom uit de jachthaven onderzocht. Op basis hiervan werd geconcludeerd dat de dwarsstroom op korte afstand van de sluiskolk een hinderlijk effect heeft op de sluismanoeuvres en gemitigeerd dient te worden. Verder werden met betrekking tot de Voorhaven aanbevelingen geformuleerd aangaande de scheiding van verkeersstromen (zeevaart en pleziervaart), het ontwerp van een noodsteiger, het inzetten van sleepboten en het toepassen van technologische hulpmiddelen.

In de simulatiestudie werden ook twee varianten onderzocht voor de sluisfendering. Beide varianten bevatten drijframen in de kolk, maar onderscheiden zich door het type hoekfendering (wielfenders of buispaal). De simulaties tonen de nood voor een gepaste hoekfendering aan. Er werden aandachtspunten gedefinieerd voor beide varianten.

Inhoudstafel

Abstract III
Inhoudstafel V
Lijst van de tabellen VIII
Lijst van de figuren IX
1 Inleiding 1
2 Studieschepen 3
2.1 Ontwerpschip Manoeuvreerstudie Nieuwe Sluis Zeebrugge 3
2.2 Ontwerpschip Ontmoetingen Verbindingskanaal 4
2.3 Sleepboten 5
3 Simulatieomgevingen 6
3.1 Variant V3H 6
3.1.1 Voorhaven 7
3.1.2 Achterhaven 7
3.2 Bathymetrie 8
3.2.1 Initialisatie 10
3.2.2 Verdieping Achterhaven 10
3.2.3 Toepassing dieptes CP NSZ 14
3.2.4 Resultaat bathymetrie 15
3.3 Stroming 16
3.3.1 Buitenhaven 16
3.3.2 Achterhaven 20
3.4 Sluisfendering 20
3.4.1 Sluisfendering V3H_WF 20
3.4.2 Sluisfendering V3H_BP 24
3.5 Nautische constructies 26
3.6 Afgemeerde schepen 28
3.7 Boeien en navigatielichten 28
3.8 Wind 29
3.9 3D-model 31
4 Uitvoering en analyse 34

4.1 Organisatie 34
4.2 Uitgevoerde simulaties 34
4.3 Analyse en verwerking 36
4.3.1 Beoordeling door loodsen 36
4.3.2 Grafieken 36
4.3.3 KMZ-output 37
5 Resultaten Achterhaven 38
5.1 Sluisuitvaart 39
5.1.1 Simulatie 02 39
5.1.2 Simulatie 03 40
5.1.3 Simulatie 05 41
5.2 Sluisinvaart 43
5.2.1 Simulatie 01 43
5.2.2 Simulatie 04 44
5.2.3 Simulatie 06 46
5.2.4 Simulatie 07 49
5.2.5 Simulatie 08 52
5.2.6 Simulatie 09 52
5.3 Ontmoetingen Verbindingskanaal 53
5.3.1 Simulatie 10 54
5.3.2 Simulatie 11 55
5.4 Conclusies Achterhaven 58
6 Resultaten Voorhaven 59
6.1 Sluisuitvaart 60
6.1.1 Simulatie 12 (O5) 60
6.1.2 Simulatie 20 en 21 (WZW6) 62
6.1.3 Simulatie 26 en 27 (O6) 63
6.2 Sluisinvaart 66
6.2.1 Simulatie 13 en 25 (O5) 66
6.2.2 Simulatie 14, 15, 19 en 24 (O6) 68
6.2.3 Simulatie 16, 17, 18 en 23 (WZW6) 73
6.2.4 Simulatie 22 (WZW5) 80
6.3 Sluisinvaart vanaf noodsteiger 81
6.3.1 Simulatie 28 (WZW6) 81
6.4 Conclusies Voorhaven 82

7 Samenvatting en aanbevelingen 85
7.1 Samenvatting 85
7.2 Aanbevelingen 86
7.3 Algemene opmerkingen sluisontwerp 87
8 Referenties 88
Bijlage 1 Pilot Card simulatieschepen B1
Car Carrier NSZ (NSZ) B1
Odyssea (Mark-V) B3
Bijlage 2 Aangeleverde peilingen B5
Bijlage 3 Standaardgrafieken B8
Bijlage 4 Handleiding gebruik KMZ-bestanden B98

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Algemene kenmerken ontwerpschepen voor manoeuvreerstudie CP NSZ 3
Tabel 2 – Verticale positie en excentriciteit van wielfenders aan zeezijde sluis 22
Tabel 3 – Verticale positie en excentriciteit van wielfenders aan landzijde sluis 22
Tabel 4 – Positie wielfenders in simulatieomgeving 24
Tabel 5 – Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen voor terreinklasse 3 31
Tabel 6 – Overzicht uitgevoerde simulaties en condities 35
Tabel 7 – Condities simulaties Achterhaven 38
Tabel 8 – Overzicht scheepsontmoetingen tussen gekoppelde schepen en afgemeerde schepen (d<100 m) voor simulatie 10 54
Tabel 9 – Overzicht scheepsontmoetingen tussen gekoppelde schepen en afgemeerde schepen (d<100 m) voor simulatie 11 56
Tabel 10 – Condities simulaties Voorhaven 59

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Projectgebied Nieuwe Sluis Zeebrugge met terminologie toegepast in rapport 2

Figuur 2 – Visualisaties 3D-model CarCar_265_400_NSZ 4

Figuur 3 – Visualisatie contourlijnen CarCar_265_400_NSZ (wit: 10 m; geel: 15 m; oranje: 20 m, rood: 30 m) 4

Figuur 4 – Visualisaties 3D-model Odyssea 5

Figuur 5 – Overzichtsfiguur variant V3H 6

Figuur 6 – Weergave ontwerpplan NSZ_Algemeen overzichtsplan_optie 4_2021-03-12.dwg 7

Figuur 7 – Weergave ontwerpplan TC-NAU-AG-003_AMT_Z_8177_Verbindingskanaal_Layout_op_lange_termijn.dwg 8

Figuur 8 – Visualisatie mesh projectgebied ten opzichte van simulatorcoördinaten 9

Figuur 9 – Weergave detailgebied (celgrootte 10 m) en overgang naar ruimer simulatiegebied (celgrootte 75 m) 9

Figuur 10 – Visualisatie simulatormesh aan landzijde en zeezijde van de Nieuwe Sluis Zeebrugge 10

Figuur 11 – Profiel renovatie westelijke oever Boudewijnkanaal (Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang, 2011) 11

Figuur 12 – Verlenging renovatie linkeroever Boudewijnkanaal in Verbindingsdok met aansluiting op -13.1 m TAW (groen) via kwartkegel 12

Figuur 13 – Verdieping van bathymetrie Verbindingsdok volgens -13.1 m TAW (groen) en -10 m TAW (wit) voor aansluiting op oostelijke oever Verbindingskanaal 12

Figuur 14 – Verdieping bathymetrie Verbindingskanaal en Verbindingsdok tot -13.1 m TAW 13

Figuur 15 – Verdieping westelijke deel Verbindingsdok en Boudewijnkanaal tot -10 m TAW (geel) voor realisatie nieuwe RoRo-terminals 13

Figuur 16 – Finale Bathymetrie Verbindingsdok (oranje: -7 m TAW; geel: -10 m TAW; groen: -13.1 m TAW) 14

Figuur 17 – Bathymetrie simulatieomgeving V3H: -7 m TAW (oranje); -10 m TAW (geel); -13.1 m TAW (groen) en -15.1 m TAW (wit) 15

Figuur 18 – Maximale dwarsstroom in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis op verschillende afstanden van het benedenhoofd 17

Figuur 19 - Maximale dwarsstroom in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis in functie van de tijd 18

Figuur 20 - Maximale dwarsstroom in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis in functie van de tijd (detail) 18

Figuur 21 – Dwarsstroom 10/04/2009 05h40 in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis op verschillende afstanden van het benedenhoofd 19

Figuur 22 – Weergave stroomprofiel op aangeleverd 20m x 20m grid IMDC (2021) (rood) en na projectie op simulatormesh (zwart) 19

Figuur 23 – Weergave stroomprofiel op aangeleverd 20m x 20m grid IMDC (2021) (rood) en na projectie op simulatormesh (zwart) 20

Figuur 24 – Botskarakteristiek van wielfender zoals gemodelleerd in simulator (zwart) ten opzichte van indrukkingsproef (blauw) 21

Figuur 25 – Positionering wielfenders en drijfraam aan noordoostelijke sluishoek voor variant V3H_WF ... 23

Figuur 26 – Botskarakteristiek van buispaal zoals gemodelleerd in simulator (zwart) gebaseerd op Mannesmann Nederland (1983) 25

Figuur 27 – Weergave buispaal en drijfraam als sluisfendering voor noordwestelijke sluishoek 25

Figuur 28 – Weergave nautische constructies in de Voorhaven (sluisfenderingsvariant met buispalen) 26

Figuur 29 – Weergave nautische constructies in de Achterhaven (sluisfenderingsvariant met buispalen) ... 27

Figuur 30 – Principe scheiding verkeersstromen zeevaart naar sluis en (kleine) pleziervaart naar jachthaven 27

Figuur 31 – Positie van gele boeien op bodemdiepte -7 m TAW in Achterhaven 28

Figuur 32 – Weergave van boeien en lichtenlijn in Voorhaven..... 29

Figuur 33 – Windroos te Zeebrugge Meteopark (2010 – 2020) voor alle windsterktes (links) en voor windsterktes vanaf 5 Bft (rechts) 30

Figuur 34 – Windroos te Zeebrugge Daminstrumentatie (2010 – 2020) voor alle windsterktes (links) en voor windsterktes vanaf 5 Bft (rechts) 30

Figuur 35 – Perspectiefzicht (hoog) op Voorhaven Zeebrugge volgens simulatieomgeving V3H..... 31

Figuur 36 – Perspectiefzicht (laag) op Voorhaven Zeebrugge volgens simulatieomgeving V3H 31

Figuur 37 – Bovenaanzicht op Achterhaven Zeebrugge volgens simulatieomgeving V3H 32

Figuur 38 –Voorhaven Zeebrugge met weergave constructies volgens simulatieomgeving V3H (wielfenders) 32

Figuur 39 –Voorhaven Zeebrugge gezien vanuit sluiskolk bij laag water volgens simulatieomgeving V3H (wielfenders)..... 33

Figuur 40 –Voorhaven Zeebrugge gezien vanuit sluiskolk bij laag water volgens simulatieomgeving V3H (buispalen)..... 33

Figuur 41 – Positie schip tijdens sluisuitvaart naar Achterhaven in simulatie 02 39

Figuur 42 – Positie schip tijdens sluisuitvaart naar Achterhaven in simulatie 03 40

Figuur 43 – Uitvoering zwaaimanoeuvre over bakboord in Achterhaven in simulatie 03..... 41

Figuur 44 – Weergave van contacten tussen schip en drijfraam of kolkmuur tijdens sluisuitvaart in simulatie 05..... 42

Figuur 45 – Uitvoering zwaaimanoeuvre over stuurboord in Achterhaven in simulatie 05 42

Figuur 46 – Uitvoering brugpassage bij WZW5 in simulatie 01..... 44

Figuur 47 – Uitvoering vertrekmanoeuvre van ligplaats Bastenaken-West in simulatie 04..... 45

Figuur 48 – Ongecontroleerde sluisnadering in simulatie 04..... 45

Figuur 49 – Evolutie van de dwarse snelheid van de boeg tijdens simulatie 04 (sluisinvaart om 18’12’’) 46

Figuur 50 – Gelijktijdig contact tussen westelijke buispaal en kolkmuur in simulatie 04..... 46

Figuur 51 – Uitvoering zwaaimanoeuvre in simulatie 06 47
Figuur 52 – Naderingspositie tot de sluis in simulatie 06 48
Figuur 53 – Belangrijk contact met wielfenders en drijfraam tijdens sluisinvaart simulatie 06 48
Figuur 54 – Hoge naderingspositie en lage vaarsnelheid ter voorbereiding van brugpassage in simulatie 07 50
Figuur 55 – Naderingspositie tot brug in simulatie 07 50
Figuur 56 – Contact tussen schip en zuidelijke brugfendering in simulatie 07 51
Figuur 57 – Contact met wielfenders (oranje) in simulatie 07 51
Figuur 58 – Uitvoering zwaaimanoeuvre over bakboord in simulatie 08 52
Figuur 59 – Sluisnadering in simulatie 09 53
Figuur 60 – Illustratie korte passeerafstand (7 m om 14’12’’) door afvarend schip tot afgemeerd schip 55
Figuur 61 – Illustratie kortste afstand tussen passerende schepen in Verbindingskanaal in simulatie 11 57
Figuur 62 – Illustratie kortste afstand tussen passerende schepen in Verbindingskanaal in simulatie 11 57
Figuur 63 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 12 (8’30’’) 61
Figuur 64 – Illustratie beweging schip ten gevolge van dwarsstroom in simulatie 12 (9’10’’) 61
Figuur 65 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 21 (11’00’’) 62
Figuur 66 – Illustratie beweging schip ten gevolge van dwarsstroom in simulatie 21 (12’20’’) 63
Figuur 67 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 26 (06’40’’) 64
Figuur 68 – Conditie schip bij contact wielfenders in simulatie 26 (08’30’’) 65
Figuur 69 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 27 (05’50’’) 65
Figuur 70 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 13 (17’50’’) 67
Figuur 71 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 25 (21’30’’) 67
Figuur 72 – Conditie waarin een maximaal gebruik van voorboot en boegschroef ingezet dient te worden in simulatie 25 68
Figuur 73 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 14 (20’50’’) 70
Figuur 74 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 15 (21’30’’) 70
Figuur 75 – Contact tussen schip en westelijke buispaal in simulatie 15 71
Figuur 76 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 19 (32’50’’) 71
Figuur 77 – Contact tussen schip en westelijke wielfenders in simulatie 19 72
Figuur 78 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 24 (21’40’’) 72
Figuur 79 – Nadering van sluis vanuit lage positie in simulatie 16 75
Figuur 80 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 16 (21’40’’) 75
Figuur 81 – Contact tussen boeg en bovenste wielfender in simulatie 16 76
Figuur 82 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 17 (21’10’’) 76
Figuur 83 – Conditie waarin boeg sluis bereikt in simulatie 17 77

Figuur 84 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 18 (25’00’’)..... 77

Figuur 85 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 23 (22’10’’)..... 78

Figuur 86 – Illustratie van de beperkte hoek die de voorboot tegen de wind kan maken bij een hoge positie van de boeg 78

Figuur 87 – Contact tussen schip en wielfenders in simulatie 23 79

Figuur 88 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 22 (21’50’’)..... 80

Figuur 89 – Conditie schip bij vertrek aan noodsteiger in simulatie 28 (32’11’’)..... 81

Figuur 90 – Dieptelijnen peiling 200806_589_ZBAH_MB_DET..... B5

Figuur 91 – Dieptelijnen peiling 200806_585_BDK_MB B6

Figuur 92 – Dieptelijnen peiling 200219_245_ZBAH_MB B6

Figuur 93 – Dieptelijnen peiling 200720_559_ZBAH_SB_33 (grid) B7

Figuur 94 – Dieptelijnen peiling 200720_561_ZBAH_SB_33 (grid) B7

Figuur 95 – Presentation of Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (full simulation)..... B98

Figuur 96 – Presentation of Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (time selection) B99

Figuur 97 – Presentation of the simulation trajectories in the left panel..... B100

Figuur 98 – Presentation of Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (PLAY functionality) B101

Figuur 99 – Layers menu in Google Earth™ B101

1 Inleiding

Op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) onderzoekt het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de nautische optimalisatie van de voorkeurslocatie 'Visart' vastgelegd door de Vlaamse Regering voor Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) (Vlaamse Overheid, 2019).

Nadat de resultaten uit een eerste deskstudie (Verwilligen *et al.*, 2020) besproken werden met de beide betrokken loodswezens (DAB Loodswezen en CVBA Brabo) werd in 2020 een eerste realtime simulatiestudie uitgevoerd naar een noordelijke en zuidelijke variant van de Nieuwe Sluis Zeebrugge (Verwilligen *et al.*, 2021). Op basis van het nautische onderzoek van de voorhaven (zeezijde) bleek een belangrijke voorkeur voor de zuidelijke variant. Een aandachtspunt bij deze variant betreft echter het mogelijks hinderlijke effect van de uitstroom uit de jachthaven bij dalend getij. Deze effecten werden in Verwilligen *et al.* (2021) niet opgenomen in de simulatieomgeving. In 2021 en 2022 werden simulaties uitgevoerd om het sluisontwerp meer in detail te onderzoeken. Voorliggend rapport bevat een beschrijving van deze simulaties.

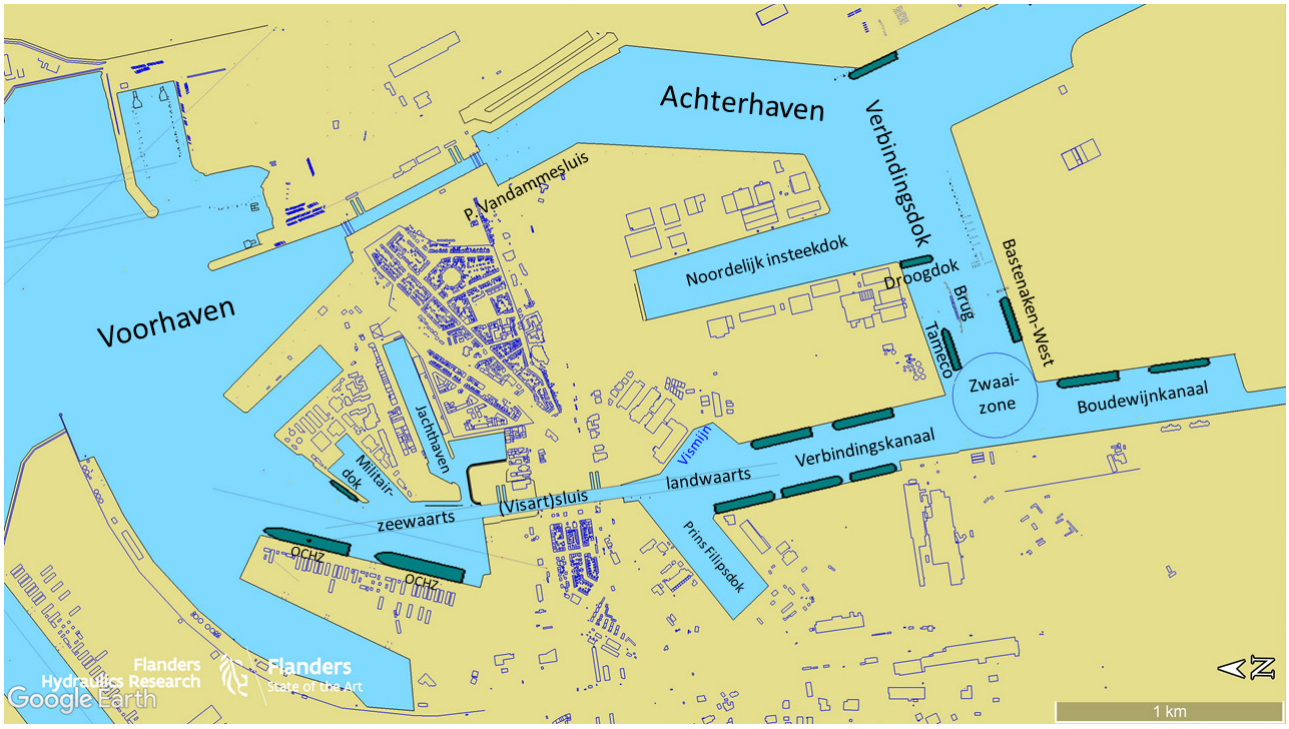
In de simulaties uitgevoerd in 2021 en 2022 werd bijzondere aandacht besteed aan:

- uitstroom van de jachthaven bij afgaand getij;
- scheiding tussen zeevaart en pleziervaart in de Voorhaven;
- nautische constructies in de toegangszone tot de sluis;
- zwaaizone in het westelijke deel van het Verbindingsdok;
- scheepsontmoetingen in de Achterhaven;
- sluisfendering.

Doordat voor deze criteria enkel de uitstroom uit de jachthaven onderscheidend is voor de noordelijke en zuidelijke varianten van de Nieuwe Sluis Zeebrugge, en de zuidelijke variant overeenkomstig het ontwerpplan (NSZ_Algemeen overzichtsplan_optie 4_2021-03-12.dwg) hiervoor als meest nadelig beschouwd wordt, werd enkel deze variant onderzocht. Voor een vergelijking tussen de noordelijke en de zuidelijke variant wordt verwezen naar Verwilligen *et al.* (2021).

De uitgevoerde simulatiestudie bevat een beoordeling van verschillende ontwerpvarianten voor zowel Buitenhaven als Achterhaven te Zeebrugge. Voor de Achterhaven werden bovendien zowel de enkele vaart door het nautische ontwerpschip als sluisuitwisseling tussen kleinere scheepstypes in rekening gebracht.

Voor een overzicht van het projectgebied, met aanduiding van de relevante locaties en bijhorende naamgeving in het rapport, wordt verwezen naar Figuur 1.



Figuur 1 – Projectgebied Nieuwe Sluis Zeebrugge met terminologie toegepast in rapport

2 Studieschepen

2.1 Ontwerpschip Manoeuvreerstudie Nieuwe Sluis Zeebrugge

Het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge werd vastgelegd in de selectiefase en betreft een RoRo-ferry die de maximale lengte voor de Achterhaven (265 m) combineert met de maximale breedte voor de Achterhaven (40 m)[1]. Het simulatieschip werd gemodelleerd in Vos *et al.* (2017) en wordt opnieuw toegepast in de simulatiestudies tijdens de uitwerkingsfase. Tabel 1 presenteert de belangrijkste eigenschappen van het ontwerpschip voor CP NSZ. Aangezien niet alle RoRo-ferries uitgerust zijn met een hekschroef, werd deze tijdens de simulatiestudie niet toegepast.

Een uitgebreid overzicht van de scheepseigenschappen wordt weergeven in de Pilot Card in Bijlage 1.

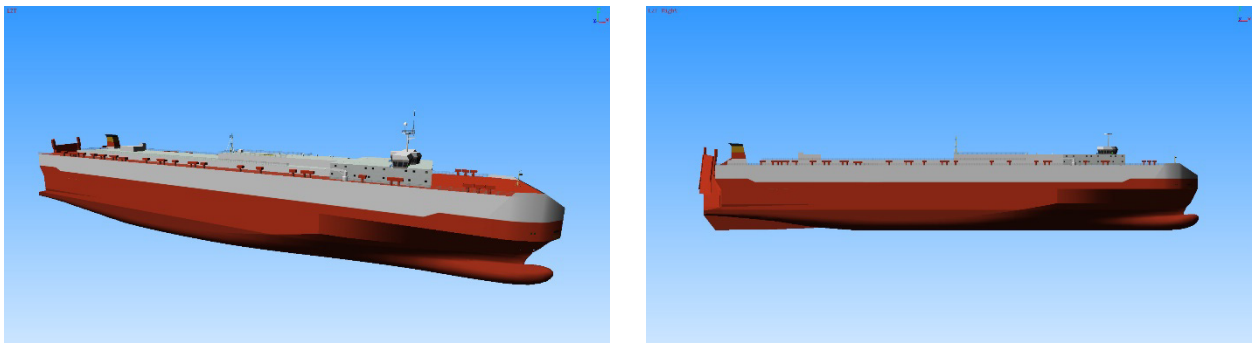
Figuur 2 toont enkele visualisaties van het 3D-model van het schip zoals gemodelleerd in de simulator.

Binnen voorliggende studie werd bijzondere aandacht besteed aan fenderingsconstructies in de sluis (zie §3.4). Een correcte modellering van de contacten tussen schip en infrastructuur vereist dan ook een gedetailleerde definitie van de scheepsromp. De scheepsromp werd gedefinieerd op basis van 28 contourlijnen op hoogtes ten opzichte van de kiel variërend tussen 8.0 m en 33.0 m. Figuur 3 geeft een grafisch overzicht van de contourlijnen van de romp op basis waarvan de contacten gesimuleerd werden.

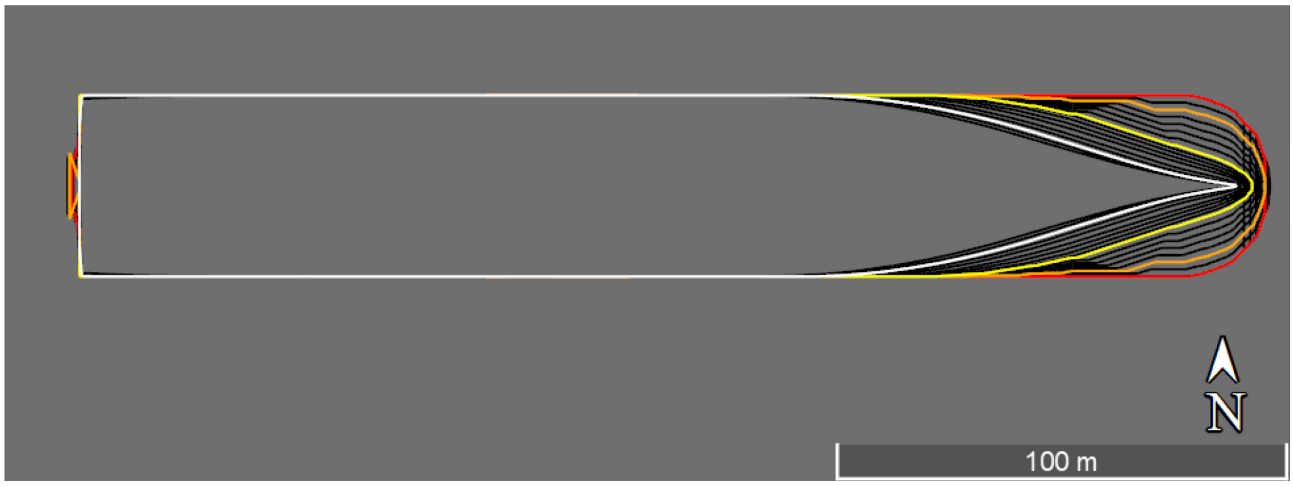
Tabel 1 – Algemene kenmerken ontwerpschepen voor manoeuvreerstudie CP NSZ

Parameter	**CP NSZ**	**Ontmoetingen Verbindingskanaal**
Scheepsnaam [-]	CarCar_265_400_NSZ	Odyssea
Scheepstype [-]	NSZ	Mark-V
L_{oa} [m]	265	265
L_{pp} [m]	247	247
B [m]	40	32.2
T [m]	9.5	11.0
Massa [ton]	45781	42659
Aantal schroeven	1	1
Aantal roeren	1	1
Vermogen boegschroef [pk]	2800	2800
Vermogen hekschroef [pk]	2800	2800
Awx [m²]	1442	988
Awy [m²]	7916	7294

[1] Het ontwerpschip voor CP NSZ verschilt van het maximale schip voor het sluisontwerp. Dit laatste betreft een Neo Panamax schip met afmetingen 366 m x 49 m x 15.3 m.



Figuur 2 – Visualisaties 3D-model CarCar_265_400_NSZ

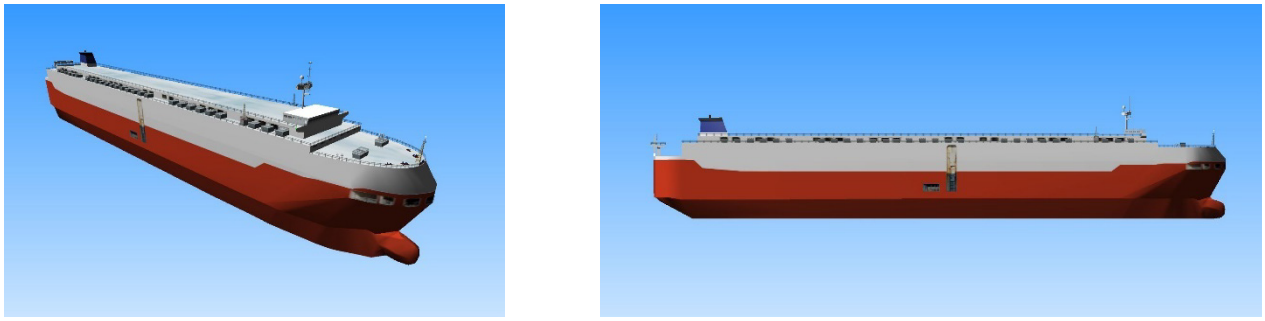


Figuur 3 – Visualisatie contourlijnen CarCar_265_400_NSZ (wit: 10 m; geel: 15 m; oranje: 20 m, rood: 30 m)

2.2 Ontwerpschip Ontmoetingen Verbindingskanaal

In het Verbindingskanaal werden ook ontmoetingen tussen twee schepen onderzocht. Hierbij werden de twee scheepsmanoeuvreersimulatoren van WL met elkaar gekoppeld opdat twee schepen in een zelfde omgeving gesimuleerd konden worden. Zoals bepaald door de opdrachtgever (aMT) en de haven (MBZ) werden ontmoetingen in het Verbindingskanaal uitgevoerd met het langste schip dat op vandaag de Achterhaven aandoet. Het betreft een RoRo-ferry van het type Mark-V die een lengte gelijk aan 265 m combineert met een breedte gelijk aan 32.2 m (scheepsnaam in simulator is Odyssea). Het maatgevende schip voor ontmoetingen ging dus gepaard met een kleinere breedte (32.2 m) dan het ontwerpschip voor NSZ (40.0 m). Voor beide schepen worden de belangrijkste eigenschappen weergegeven in Tabel 1. Doordat een Mark-V schip een bestaand scheepstype is dat steeds uitgerust is met zowel boeg- als hekschroef konden beide toegepast worden tijdens de simulaties.

Visualisaties van het 3D-model van het schip Odyssea worden weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4 – Visualisaties 3D-model Odyssea

2.3 Sleepboten

Sleepboten werden tijdens de simulatiestudie bediend door een ervaren sleepbootkapitein (Boluda Towage NV) door middel van een vereenvoudigde bedieningsconsole. Hierbij werden de sleepboten gesimuleerd door middel van een realistische vectormodellering met verschillende invloedsparameters (snelheid, sleeprichting, etc.).

Bij de start van de simulatie wordt het gebruik van sleepboten beslist in overleg tussen de deelnemende loodsen, de sleepbootkapitein en de projectleider. Er worden sleepboten ter beschikking gesteld met een bollard pull gelijk aan 65 ton en 80 ton overeenkomstig de minimale vereisten uit de concessie voor sleepdiensten Zeebrugge (NV Maatschappij van de Brugse Zeehaven, 2019).

Als basisconfiguratie voor de sleepboten werd uitgegaan van een voorboot met BP 65 ton en een achterboot met BP 80 ton. Indien deze sleepbootconfiguratie gepaard ging met onvoldoende reserves, dan werd deze aangepast.

3 Simulatieomgevingen

3.1 Variant V3H

De simulatieomgeving onderzocht in deze studie werd geconstrueerd door combinatie van onderstaande ontwerpplannen aangeleverd door aMT en MBZ:

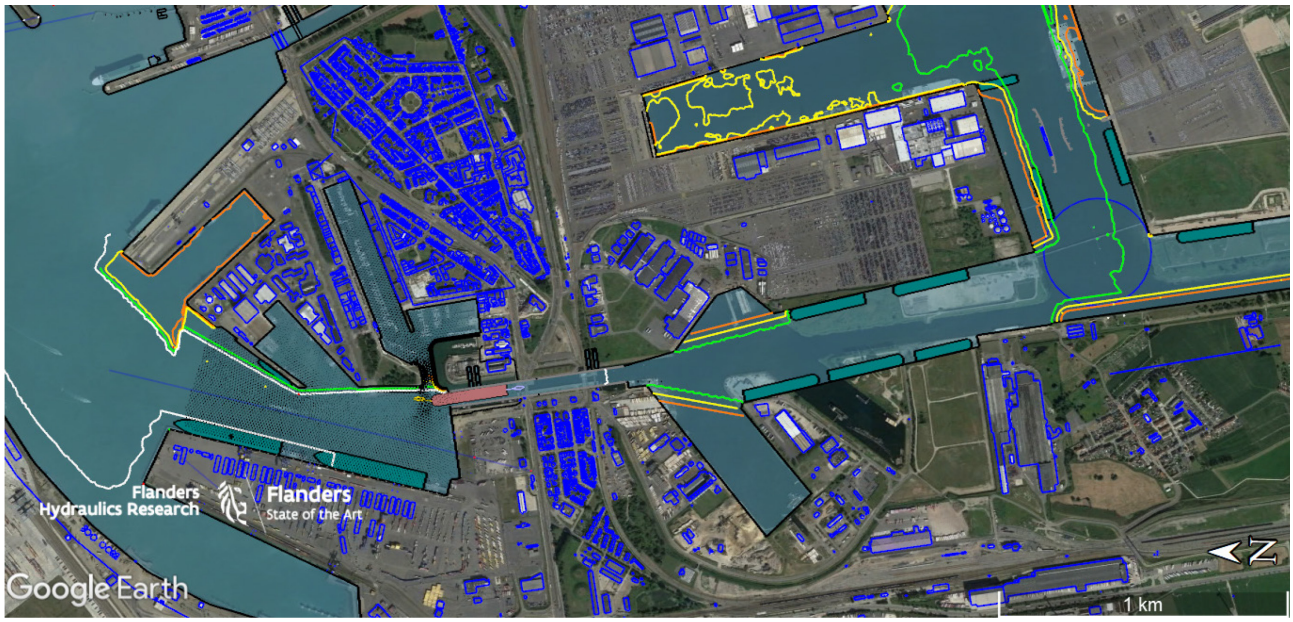
- Voorhaven en sluis: NSZ_Algemeen overzichtsplan_optie 4_2021-03-12.dwg (aMT)
- Achterhaven:
  - TC-NAU-AG-003_AMT_Z_8177_Verbindingskanaal_Layout_op_lange_termijn_zonder_luchtfoto.dwg bij diepte -13.1 m TAW (aMT)
  - 05295.dwg (MBZ, plan nieuwe brug over Verbindingsdok)
  - 05278.dwg (MBZ, voor zuidzijde Verbindingsdok en oostelijke oever Boudewijnkanaal)

Deze variant kreeg de naam V3H (zie Figuur 5). De lezer dient zich er van bewust te zijn dat de variant V3H binnen het project NSZ enkel toegepast wordt voor de nautische simulaties. De bijhorende NSZ-ontwerpen worden hierboven vernoemd.

De simulatieomgeving V3H werd gemodelleerd voor twee verschillende uitvoeringen van de sluisfendering:

- Variant V3H_WF: sluisfendering bestaande uit wielfenders en drijframen
- Variant V3H_PL: sluisfendering bestaande uit buispalen en drijframen.

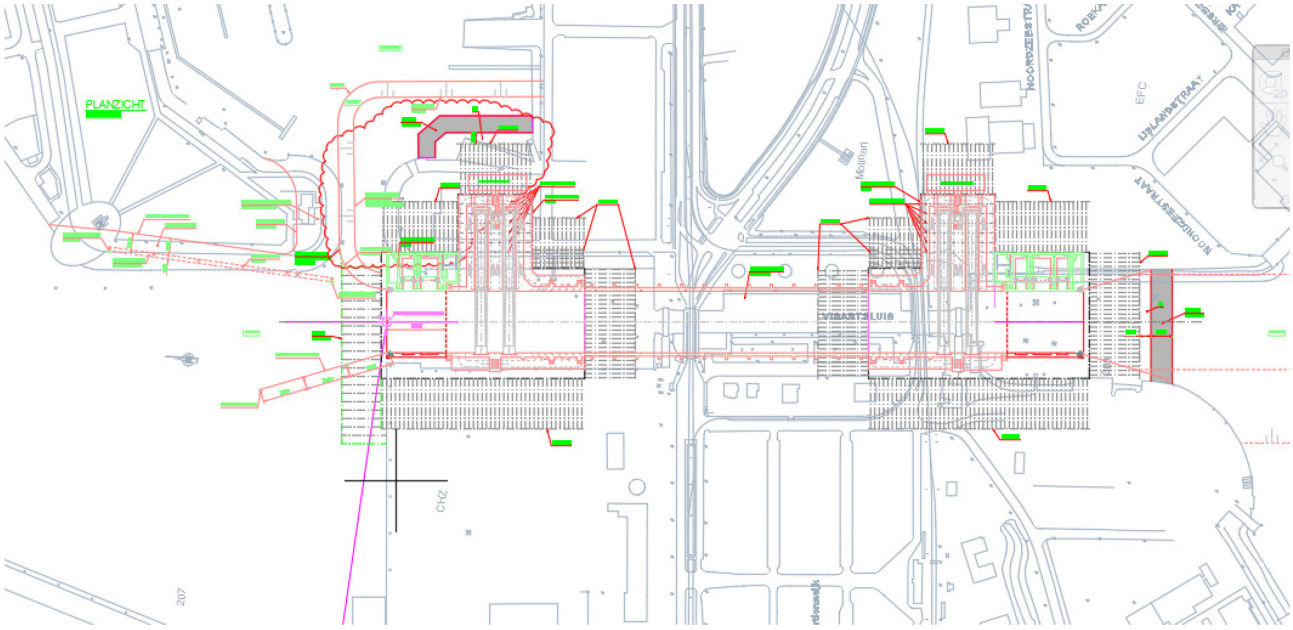
De simulatieomgeving werd gemodelleerd ten opzichte van een getransleerd Lambert72 coördinatenstelstel (verder simulatorcoördinaten genoemd). De toegepaste offset op de Lambert72-coördinaten betrof (65 000 m ; 220 000 m).



Figuur 5 – Overzichtsfiguur variant V3H

3.1.1 Voorhaven

In variant V3H is de sluis gepositioneerd overeenkomstig de zuidelijke variant, volgens de optie 4 van NSZ (zie Figuur 6). De toegang van de jachthaven bevindt zich 40 m noordelijker dan de huidige toegang tot de jachthaven. Meer informatie over de constructies in de onmiddellijke omgeving van de sluis kan nagelezen worden in §3.5.



Figuur 6 – Weergave ontwerpplan NSZ_Algemeen overzichtsplan_optie 4_2021-03-12.dwg

3.1.2 Achterhaven

Voor de Achterhaven werd een simulatieomgeving gegenereerd op basis van verschillende plannen die door of in samenspraak met het havenbedrijf MBZ opgesteld werden.

Het ontwerp van het toegangskanaal (zie Figuur 7) werd opgesteld op basis van de randvoorwaarden bepaald in Verwilligen *et al.* (2021), voor het toelaten van scheepsontmoetingen tussen twee schepen met afmetingen 265 m x 32.2 m.

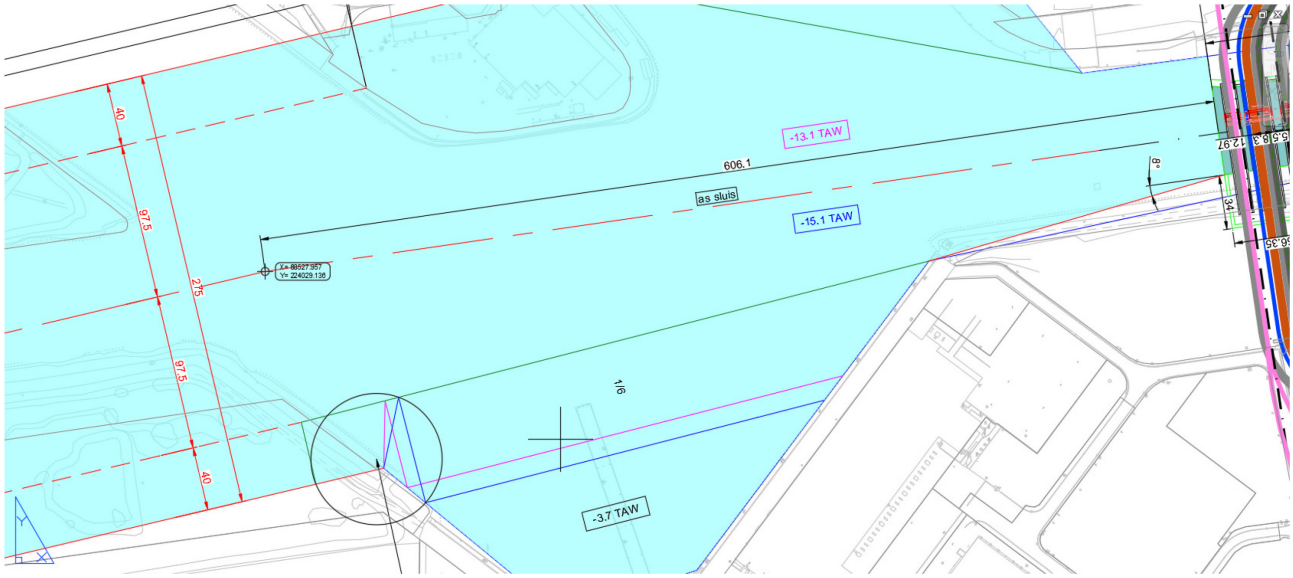
Het Verbindingskanaal volgens variant V3H gaat gepaard met een totale breedte gelijk aan 275 m waarbij aan weerszijden van het kanaal een kaaimuur voorzien is voor schepen met maximale breedte gelijk aan 40 m. Bijgevolg is er een vaarwegbreedte gelijk aan 195 m beschikbaar tussen de afgemeerde schepen (t.o.v. advieswaarde 196 m uit (Verwilligen *et al.*, 2021)).

Het Verbindingskanaal wordt bovendien geknikt georiënteerd ten opzichte van de sluis. De eerste 606 m tot het sluisfront wordt de vaaras in lijn met sluisas getekend. Vanaf dan vormt het toegangskanaal een hoek van 5° (oriëntatie 346.7°) om een vlotte aansluiting op het Verbindingsdok te realiseren.

Voor de waterdiepte van het toegangskanaal gelden er momenteel twee ontwerpwaarden, het betreffen ontwerpdieptes -13.1 m TAW en -15.1 m TAW. Wanneer deze gecombineerd worden met een nominaal havenpeil gelijk aan +3.4 m TAW stemmen de ontwerpdieptes overeen met een waterdiepte gelijk aan respectievelijk 16.5 m of 18.5 m. Voor een schip met diepgang 9.5 m (zoals toegepast in de simulatiestudie) zijn deze dieptes niet onderscheidend. De bodem in variant V3H werd gemodelleerd volgens een ontwerpdiepte gelijk aan -13.1 m TAW.

Verder werd bij het modelleren van de Achterhaven rekening gehouden met onderstaande havenontwikkelingen:

1. de bouw van een nieuwe brug over het Verbindingsdok met doorvaartbreedte 55 m met bijhorende navigatielichten in het verlengde van de bruggeleidingen;
2. de installatie van een droogdok in het Verbindingsdok ten noordoosten van de brug;
3. de ontwikkeling van een RoRo-terminal in het Verbindingsdok ten zuidwesten van de brug (Bastenaken-West);
4. de verbreding van het zuidelijke Boudewijnkanaal met inrichting RoRo-terminals op de oostelijke oever;
5. de renovatie van de westelijke oever van het Verbindingskanaal in overeenstemming met de reeds uitgevoerde renovatie in het Boudewijnkanaal.



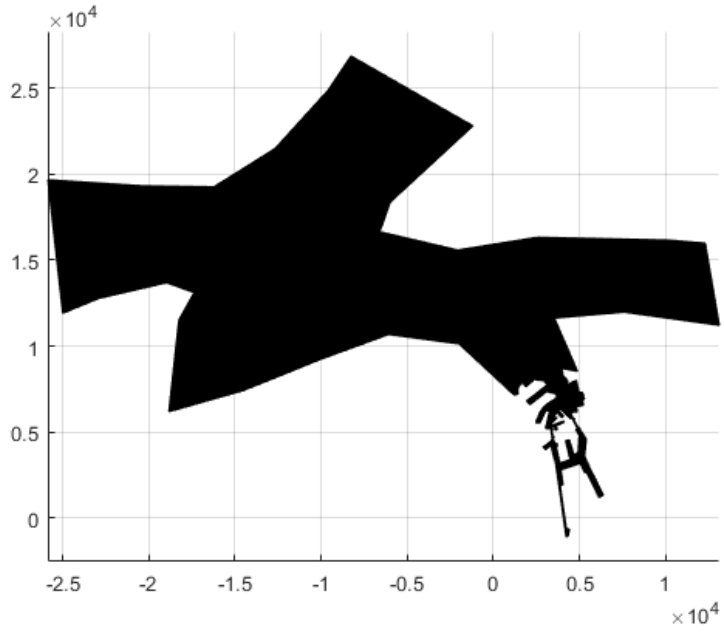
Figuur 7 – Weergave ontwerpplan TC-NAU-AG-003_AMT_Z_8177_Verbindingskanaal_Layout_op_lange_termijn.dwg

3.2 Bathymetrie

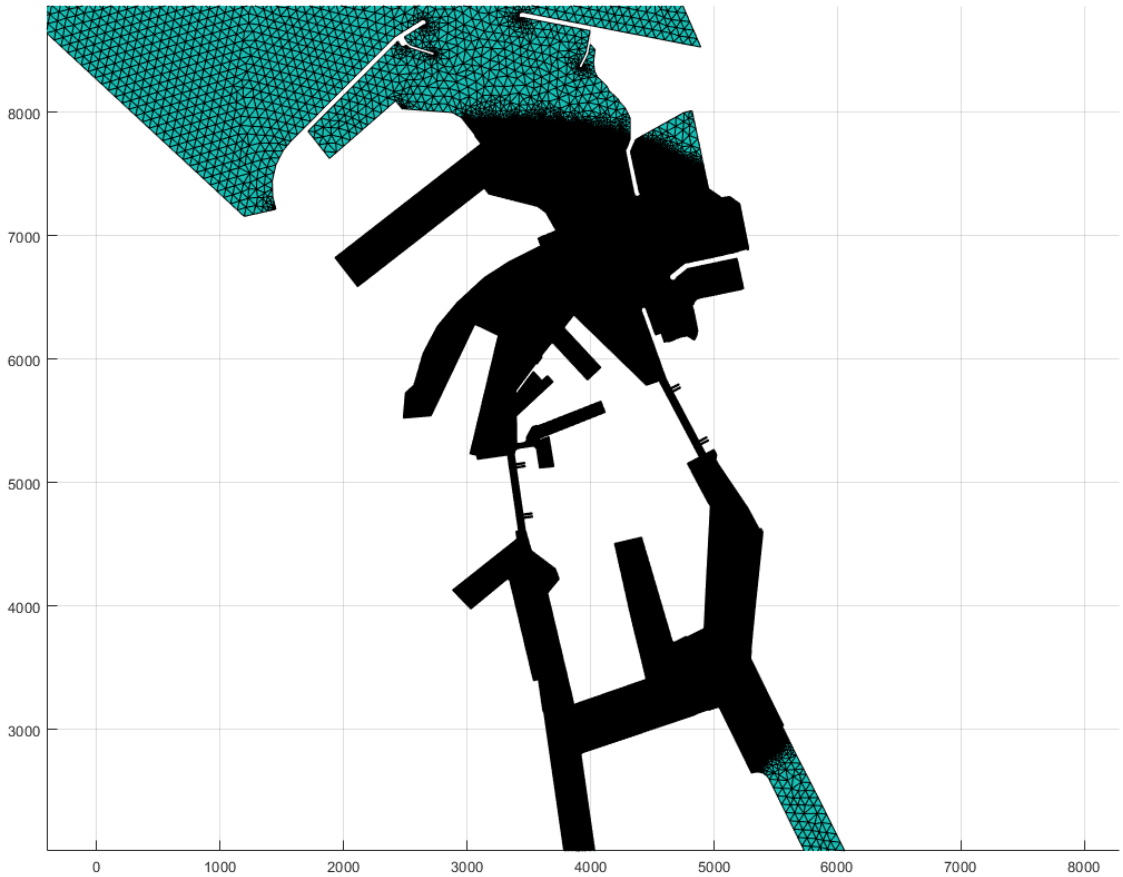
De rand van de vaaromgeving werd gedefinieerd als de waterlijn bij een waterpeil gelijk aan +3.4 m TAW (zie Figuur 8). Deze waterlijn werd gemeshed met een celgrootte gelijk aan 10 m binnen het studiegebied en toenemend tot 75 m voor delen van de omgeving die minder relevant zijn voor deze studie (Figuur 9).

Het opstellen van een bathymetrie werd uitgevoerd op basis van onderstaande methodologie:

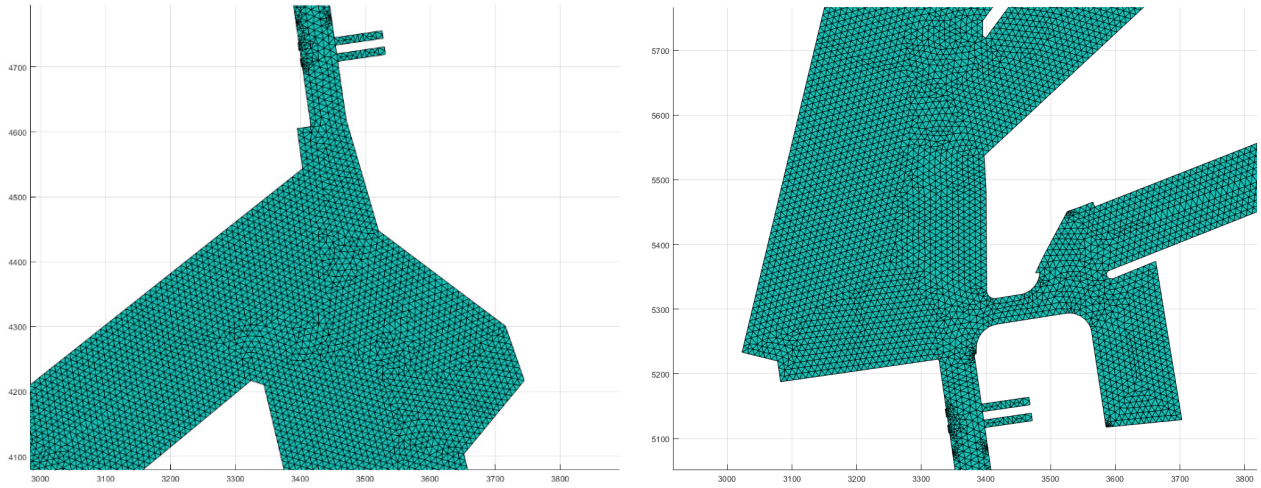
1. definitie bodemdieptes op basis van peilingen beschikbaar in de simulatiedatabase;
2. verdieping bathymetrie Verbindingsdok voor aansluiting op projectgebied en aanpassing aan toekomstige ontwikkelingen MBZ;
3. conversie van ontwerpplannen tot 3D-surface projectgebied en toepassing in simulatieomgeving.



Figuur 8 – Visualisatie mesh projectgebied ten opzichte van simulatorcoördinaten



Figuur 9 – Weergave detailgebied (celgrootte 10 m) en overgang naar ruimer simulatiegebied (celgrootte 75 m)



Figuur 10 – Visualisatie simulatormesh aan landzijde en zeezijde van de Nieuwe Sluis Zeebrugge

3.2.1 Initialisatie

In eerste instantie werd de bodemmesh geïnitialiseerd op basis van op WL beschikbare dieptegegevens voor de haven van Zeebrugge. Hiervoor werden onderstaande projecties uitgevoerd (in volgorde van prioriteit in de verwerking en omgekeerde volgorde van processing):

- Multibeam-peilingen 2020 (zie Bijlage 2)
  - 200806_589_ZBAH_MB_DET
  - 200806_585_ZBAH_MB
  - 200219_245_ZBAH_MB
- Singlebeam peilingen 2020 (zie Bijlage 2)
  - 200720_559_ZBAH_SB_33
  - 200720_561_ZBAH_SB_33
- Dieptegegevens 2017 voor volledig projectgebied

3.2.2 Verdieping Achterhaven

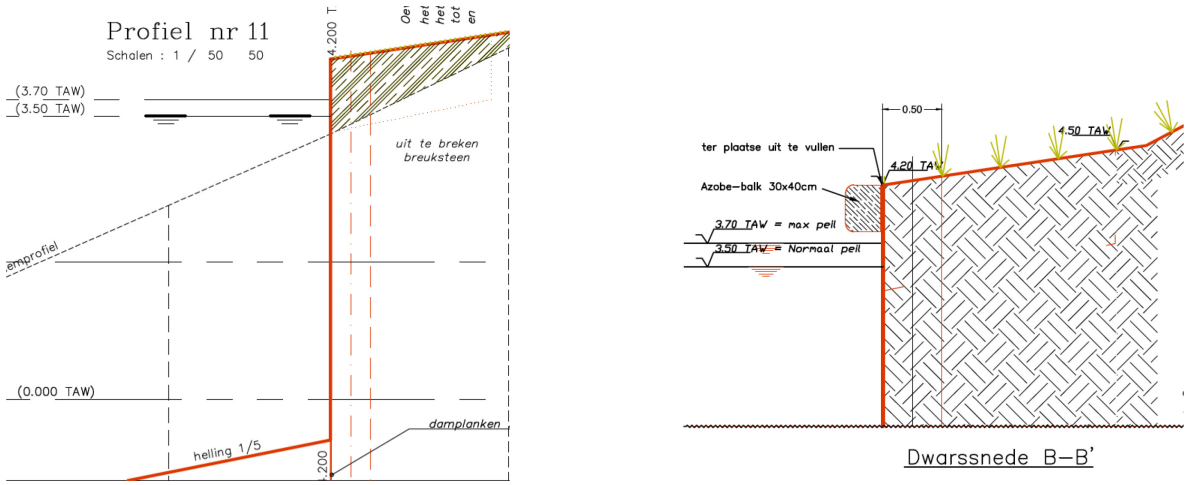
Het projectgebied voorziet in een verdieping van het Verbindingskanaal tot -13.1 m TAW. Om het kanaal op gepaste manier te laten overgaan in de bathymetrie van het Verbindingsdok werden onderstaande aannames gehanteerd. Deze aanpassingen van de bathymetrie werden enkel toegepast indien de huidige bathymetrie (zie §3.2.1) minder diep was. Er worden hierbij dus geen verondiepingen van de huidige bathymetrie toegepast.

1. De oeverrenovatie van de linkeroever van het Boudewijnkanaal wordt doorgetrokken tot aan de noordzijde van het Verbindingsdok. Het bijhorende profiel (zie Figuur 11) bestaat uit een verticale kaaimuur tot diepte -0.5 m TAW gevolgd door een talud onder helling 1/5. Het talud wordt doorgetrokken tot diepte -13.1 m TAW. Op het noordelijke eindpunt van de oever van het Verbindingsdok wordt een kwartkegel voorzien om de overgang te maken naar het projectgebied van NSZ. Ten noorden van deze kwartkegel worden de aansluitende kaaimuren verticaal verondersteld tot op -13.1 m TAW (zie Figuur 12).
2. Ten oosten van het Verbindingskanaal wordt verondersteld dat de -13.1 m TAW dieptelijn verder gezet werd onder een horizontale helling 1/4 ten opzichte van oostelijke oever van het Verbindingskanaal. Deze dieptelijn wordt gecombineerd met een verticale helling 1/5 (zie Figuur 13).
3. Tussen de beide oevers (1 en 2) wordt de zone tussen de dieptelijnen op -13.1 m TAW verdiept tot deze -13.1 m TAW (zie Figuur 14). Deze verdieping wordt doorgetrokken tot aan de Nieuwe Sluis

Zeebrugge (maar wordt later, zie §3.2.3, nog aangepast aan de ondiepere zijdokken van het Verbindingskanaal).

4. Behalve voor de aansluiting van het Verbindingskanaal op het Verbindingsdok, dienden er ook een aantal verdiepingen uitgevoerd te worden aan de nieuw RoRo-terminals die door MBZ voorzien worden aan de zuidwestelijke oever van het Verbindingsdok (Bastenaken-West) en aan de oostelijke oever van het Verbindingsdok. Deze zone werd verondersteld bij een aanlegdiepte van -10 m TAW (zie Figuur 15). Aan de westzijde gaat deze verdieping over in het talud van de gerenoveerde linkeroever van het Boudewijnkanaal/Verbindingsdok.

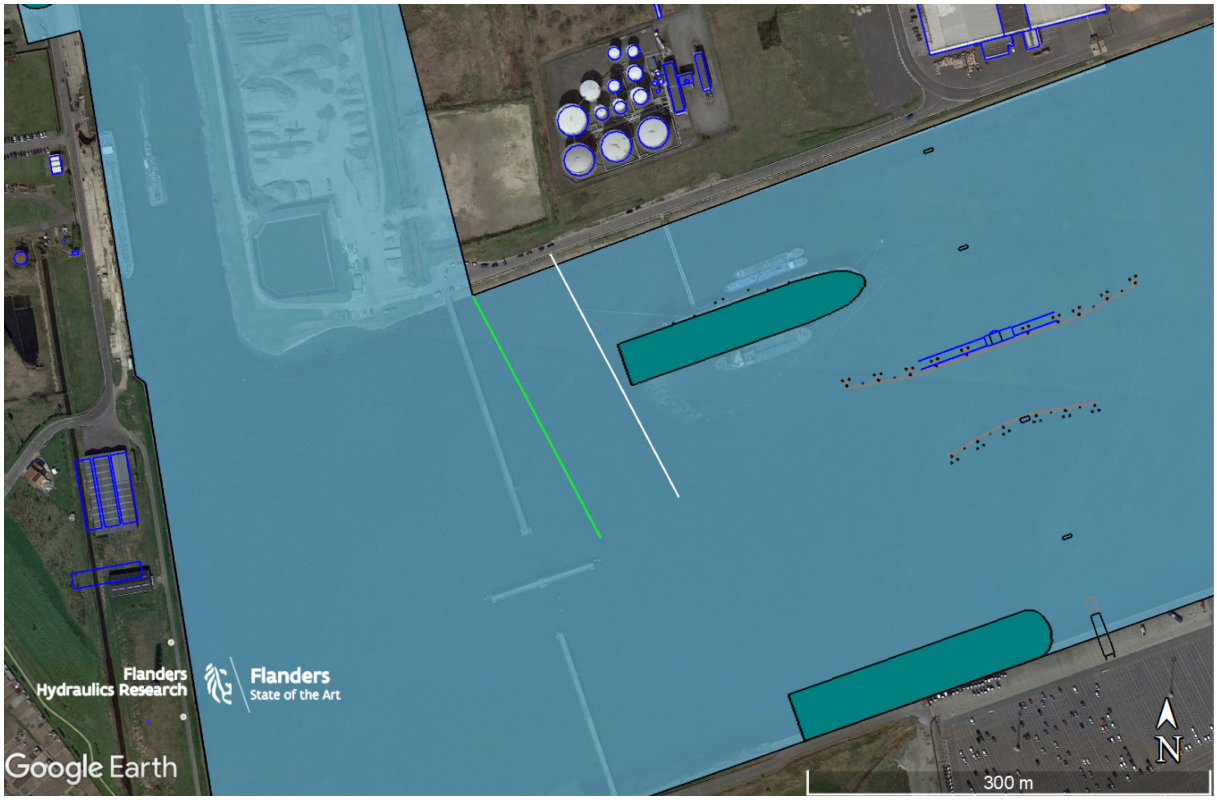
Door bovenstaande verdiepingen te realiseren ten opzichte van een recente peiling wordt de bathymetrie bekomen zoals weergeven in Figuur 16. De beperkingen op de dieptelijn -7 m TAW werden in de simulatieomgevingen aangeduid met gele boeien.



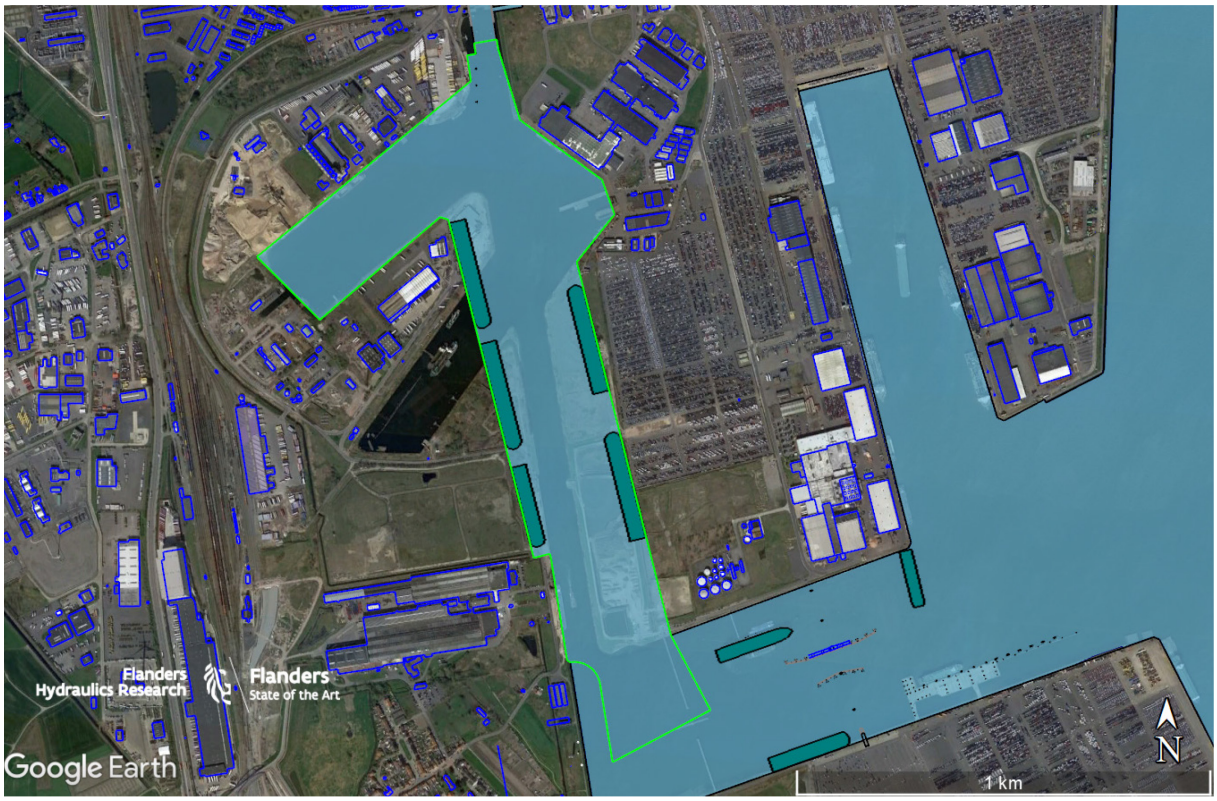
Figuur 11 – Profiel renovatie westelijke oever Boudewijnkanaal (Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang, 2011)



Figuur 12 – Verlenging renovatie linkeroever Boudewijnkanaal in Verbindingsdok
met aansluiting op -13.1 m TAW (groen) via kwartkegel



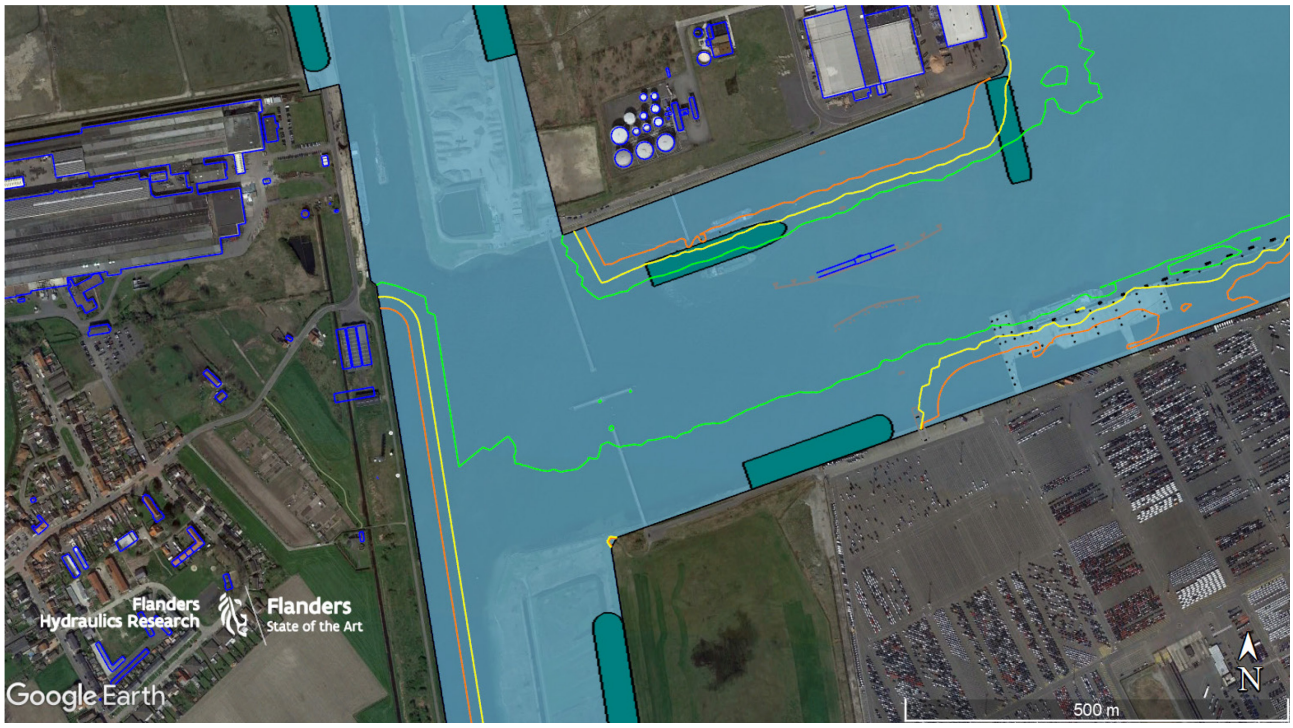
Figuur 13 – Verdieping van bathymetrie Verbindingsdok volgens -13.1 m TAW (groen) en -10 m TAW (wit)
voor aansluiting op oostelijke oever Verbindingskanaal



Figuur 14 – Verdieping bathymetrie Verbindingskanaal en Verbindingsdok tot -13.1 m TAW



Figuur 15 – Verdieping westelijke deel Verbindingsdok en Boudewijnkanaal tot -10 m TAW (geel)
voor realisatie nieuwe RoRo-terminals



Figuur 16 – Finale Bathymetrie Verbindingsdok (oranje: -7 m TAW; geel: -10 m TAW; groen: -13.1 m TAW)

3.2.3 Toepassing dieptes CP NSZ

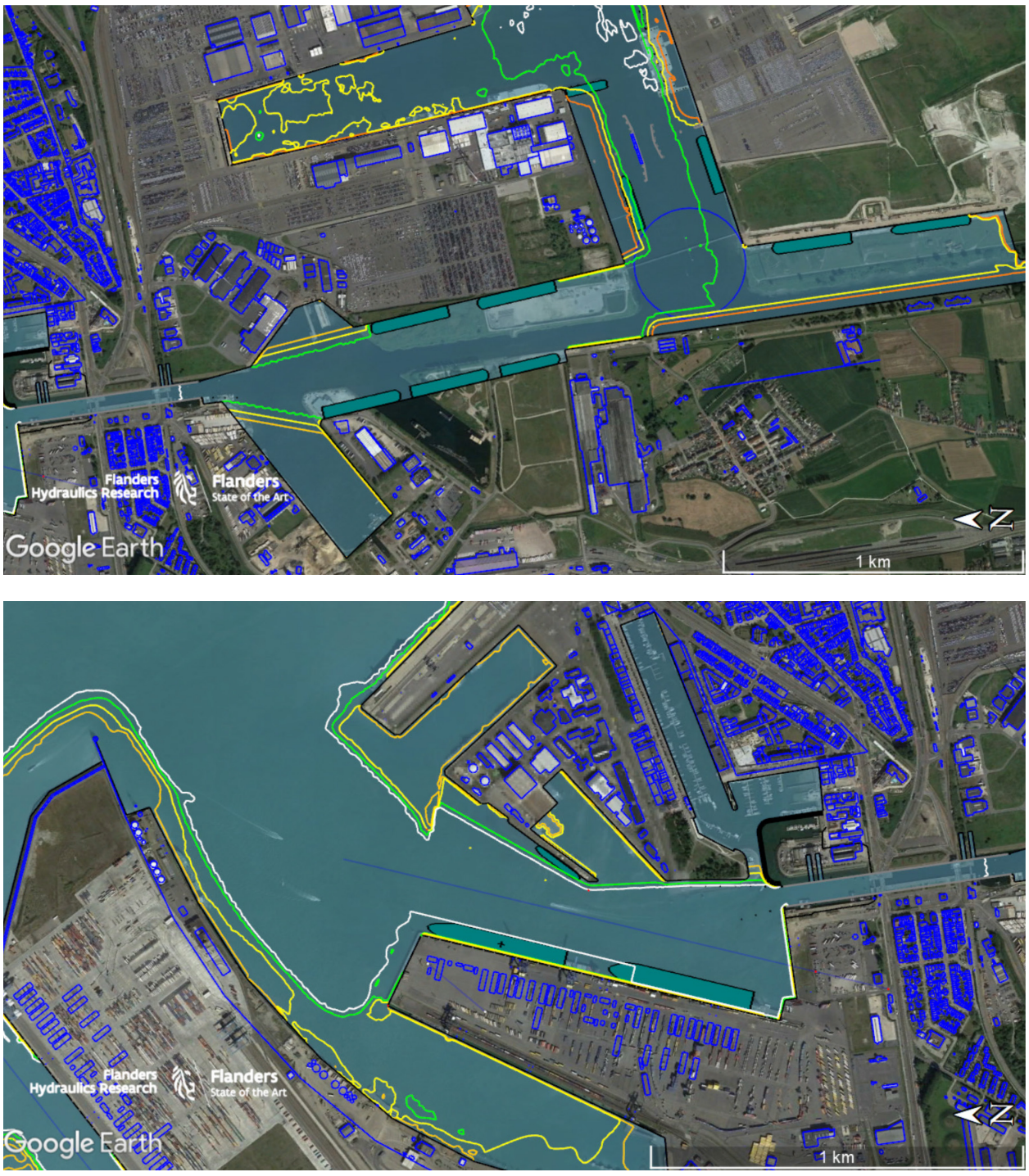
In het kader van het project CP NSZ werd er voor de zeezijde en de landzijde een detailontwerp gemaakt van het bodemprofiel.

1. Bodemplan zeezijde: Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang (2021a).
2. Bodemplan landzijde: variant -13.1 m TAW uit Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang (2021c)

Op basis van deze plannen werden de bodemgegevens in de onmiddellijke omgeving van de vaarweg door WL gedigitaliseerd tot een bodemoppervlak en werden deze rechtstreeks geprojecteerd op de mesh (dus ongeacht de eerdere aanpassingen aan de bathymetrie zoals beschreven in eerdere paragrafen).

3.2.4 Resultaat bathymetrie

De uiteindelijke bathymetrie toegepast in de simulatiestudie wordt weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17 – Bathymetrie simulatieomgeving V3H: -7 m TAW (oranje); -10 m TAW (geel); -13.1 m TAW (groen) en -15.1 m TAW (wit)

3.3 Stroming

3.3.1 Buitenhaven

De zeezijde van de Visartsluis bevindt zich in een getijafhankelijk gebied, waarbij het getij aanleiding geeft tot waterpeilvariatie en stroming. Met name de uitstroom van de jachthaven bij afgaand tij (eb) werd geacht mogelijk hinderlijk te zullen zijn voor de sluismanoeuvres. Om hierover uitsluitsel te geven werden door IMDC numerieke berekeningen uitgevoerd van de getijstroom in de zeewaartse voorhaven van de Nieuwe Sluis (IMDC, 2021). De numerieke berekeningen werden uitgevoerd met een hydrodynamisch model TELEMAC-3D met densiteitsvergelijkingen. Omwille van het grotere oppervlak van de jachthaven bij een westelijke positie van de deuren, werd deze variant van de zuidelijke verschuiving doorgerekend. De verschillen met de variant van de zuidelijke verschuiving met deuren aan de oostzijde van de sluis (zoals meegenomen in de simulatiestudie) zijn echter verwaarloosbaar.

De aangelegde randvoorwaarden stemmen overeen met een 16-daagse springtij-doodtij cyclus (05/04/2009 tot 21/04/2009). Bovendien werd tijdens deze periode ook een zoetwaterafvoer aan het model aangelegd overeenkomstig de werkelijke afvoerdebieten in deze periode.

Het model levert driedimensionale stroomprofielen voor 10 lagen over de waterkolom. De resultaten werden onder de vorm van een netCdf-file ter beschikking gesteld van het WL op een 20m x 20m-grid, wat een grof grid is gegeven de breedte van de jachthaventoegang (40 m) en de sterke lokale variatie van het stroombeeld.

Om driedimensionale stroomvelden te herleiden tot een tweedimensionaal (horizontaal) stroomveld voor een schip bij diepgang 10.0 m[2] dient een dieptemiddeling uitgevoerd te worden over de bovenste 10 m van de waterkolom. Deze middeling werd door WL uitgevoerd volgens een directionele kwadratische middeling.

Een eerste analyse van de modelresultaten werd uitgevoerd door de dwarscomponent van de tweedimensionale stromingsvectoren uit te lezen in het verlengde van de sluisas van de Nieuwe Sluis. De maximale dwarsstroom (absolute waarde) die gedurende de doorgerekende periode in het verlengde van de sluis optrad wordt weergegeven in Figuur 18. De maximale dwarsstroom bedraagt ca. 0.14 kn en treedt op op ca. 90 m van de sluistoegang. De maximale dwarsstroom die in het verlengde van de sluis optreedt, kan ook uitgezet worden in functie van de rekentijd van het model (zie Figuren 19 en 20). Hieruit blijkt dat de grootste dwarsstroom optrad bij de ebconditie van springtij (10/04/2009 05h40). Behalve de getijwerking bleek op basis van IMDC (2021) ook de aanvoer van zoetwater en de bijhorende densiteitsstroming een belangrijke invloed te hebben op de optredende dwarsstroom in de bovenste 10 m van de waterkolom. Hierbij bleken belangrijke afvoerdebieten een verlagende invloed te hebben op de ebstroom uit de jachthaven. Doordat de jachthaven zouter is dan de voorhaven van de Nieuwe Sluis treedt er een oostwaartse stroming op in de bovenste waterkolom die de ebstroom tegenwerkt. Wanneer er lange tijd geen zoet water geloosd wordt in de buitenhaven, dan kan een omgekeerd effect verwacht worden. Een dergelijke situatie maakte echter geen deel uit van de simulaties in IMDC (2021) waardoor het verwachte nadelige effect van densiteit op de uitstroom van de jachthaven niet gekwantificeerd kan worden.

Bovendien bleek ter hoogte van het talud van de jachthavenmonding een lokaal belangrijke concentratie van stroomsnelheden aan de bodem op te treden. Deze vaststelling kon niet fysisch verklaard worden maar gaf aanleiding tot een kleinere dwarsstroom in de bovenste waterkolom.

Ten slotte wordt nog opgemerkt dat een datalevering op een grof grid (20 m x 20 m) een onderschatting van de stroming betreft, aangezien de lokale maxima in het stroomveld niet gecapteerd worden. De 20 m x 20 m grids bekomen uit IMDC (2021) werden geprojecteerd op het simulatormesh zoals weergegeven in Figuren 8 tot 10. De simulatormesh is triangulair en heeft een celgrootte gelijk aan 10 m in de omgeving van de jachthaven. In Figuren 22 en 23 wordt het stroomveld zoals toegepast in de simulator (100%) weergegeven

[2] De simulaties werden uitgevoerd bij een diepgang 9.5 m. Het verschil met een dieptemiddeling voor een diepgang gelijk aan 10.0 m of 9.5 m is echter verwaarloosbaar.

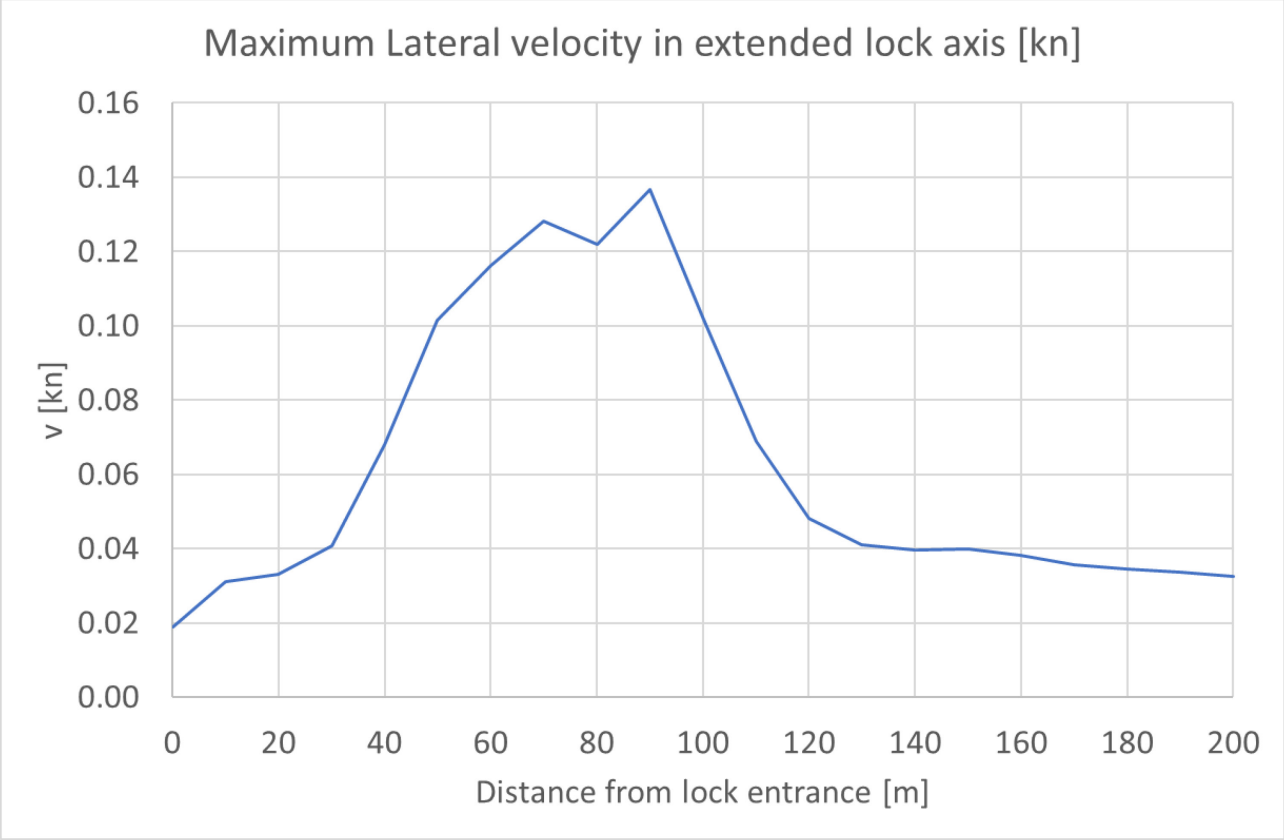
in combinatie met de aangeleverde punten uit IMDC (2021). Deze figuren illustreren, behalve het stroomveld, ook het verschil in resolutie tussen beide meshes. WL is zich ervan bewust dat de projectie van het stroomveld aangeleverd door IMDC op de simulatormesh een bijkomende onderschatting van de stroomsnelheden veroorzaakt. Door de hoge resolutie van de simulatormesh is dit effect beperkt zoals aangetoond wordt in Figuur 21.

Wegens de onzekerheid over densiteitsstroming, de onverwacht hoge uitstroomsnelheden aan de bodem, en de onderschatting van de stroomvectoren door het grove mesh worden simulaties uitgevoerd bij onderstaande stroomvelden:

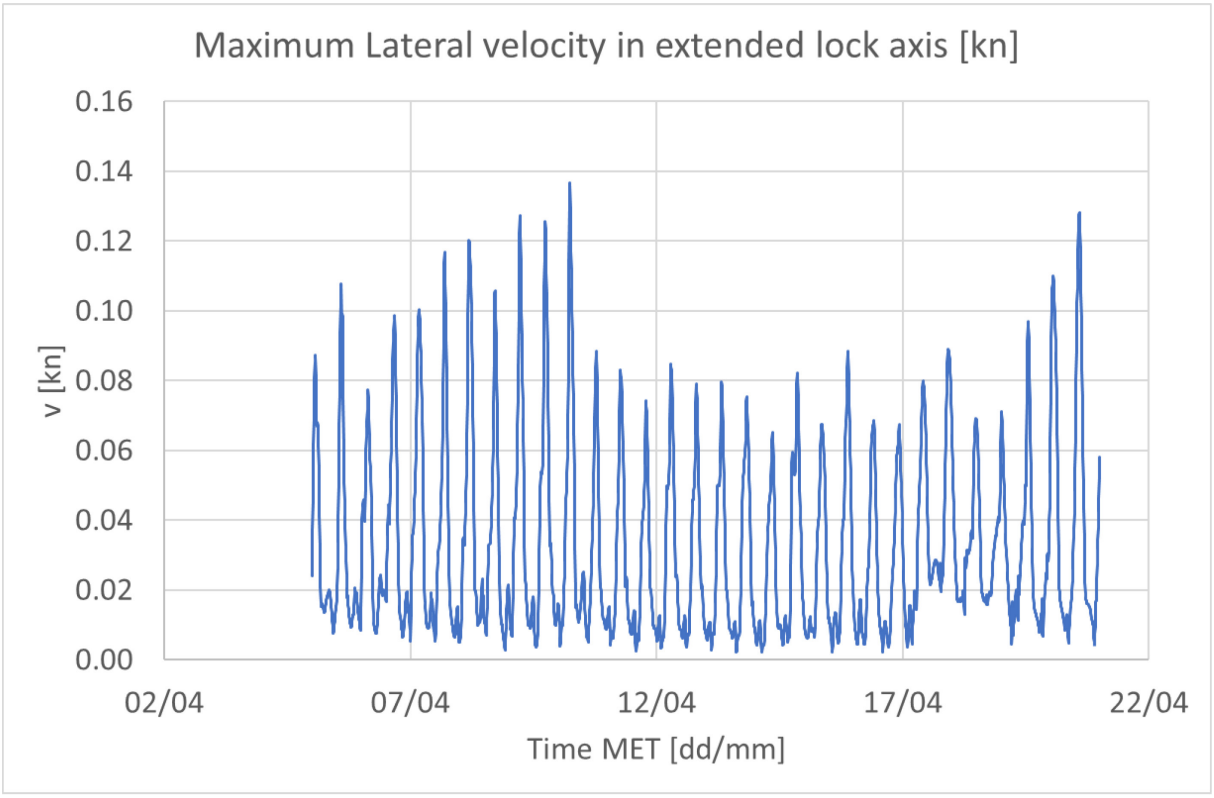
1. Stroomprofiel volgens 10/04/2009 05h40 volgens diepgangsmiddeling 10.0 m (zie Figuur 21)
2. Stroomprofiel (1) met 50% toename ter compensatie van mogelijkse onderschatting door het numerieke model.

Figuur 21 illustreert de grootte van de dwarsstroom in het verlengde van de sluiskolk bij de stroomvelden zoals toegepast in de simulator. De uitstroom van de jachthaven resulteert in een lokale dwarsstroom op ca. 90 m van de sluistoegang met waarden tot 0.14 kn, wanneer uitgegaan wordt van de simulatieresultaten uit IMDC (2021), en 0.20 kn wanneer een veiligheidsfactor 1.5 toegepast wordt op de stroomsnelheden.

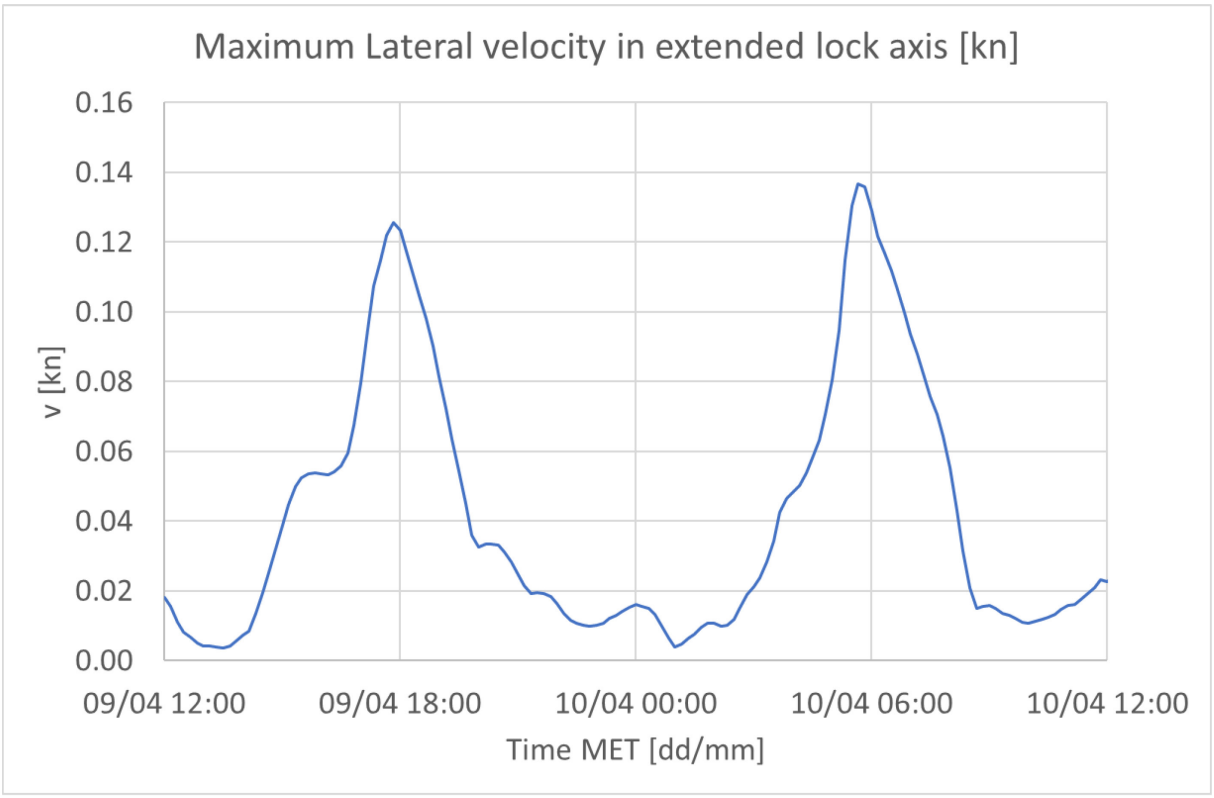
De door IMDC gemodelleerde tijstand bedroeg -0.69 m NAP = +1.64 m TAW op 10/04/2009 05h40. Simulaties werden in de buitenhaven bij deze tijstand uitgevoerd.



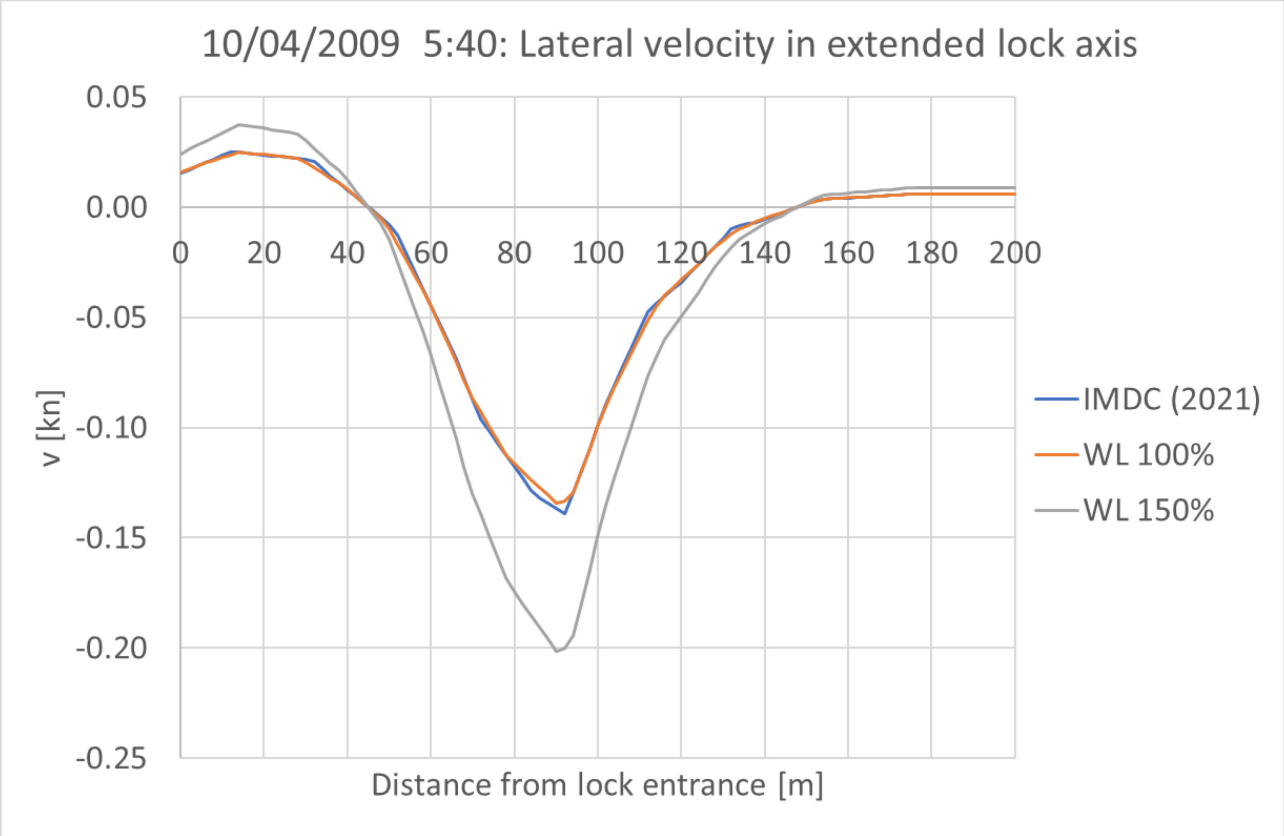
Figuur 18 – Maximale dwarsstroom in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis op verschillende afstanden van het benedenhoofd (verwerkt op grid IMDC (2021))



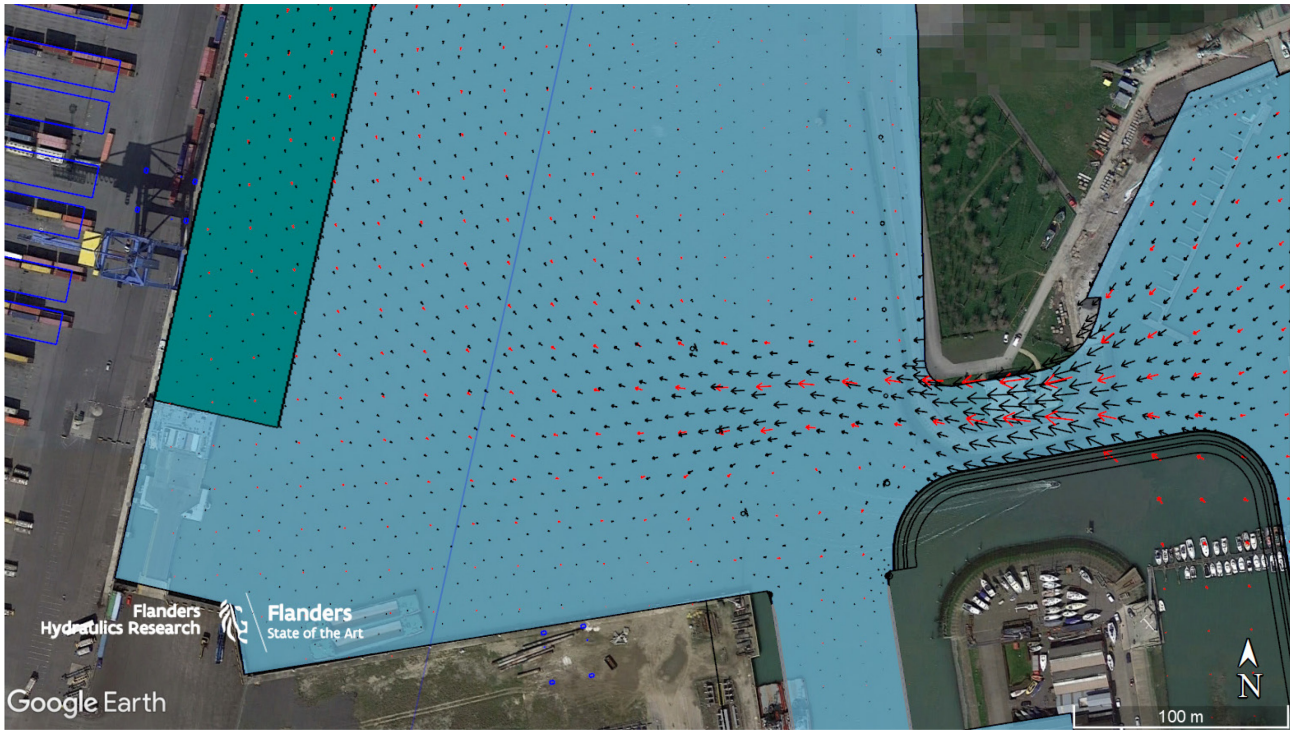
Figuur 19 - Maximale dwarsstroom in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis in functie van de tijd (verwerkt op grid IMDC (2021))



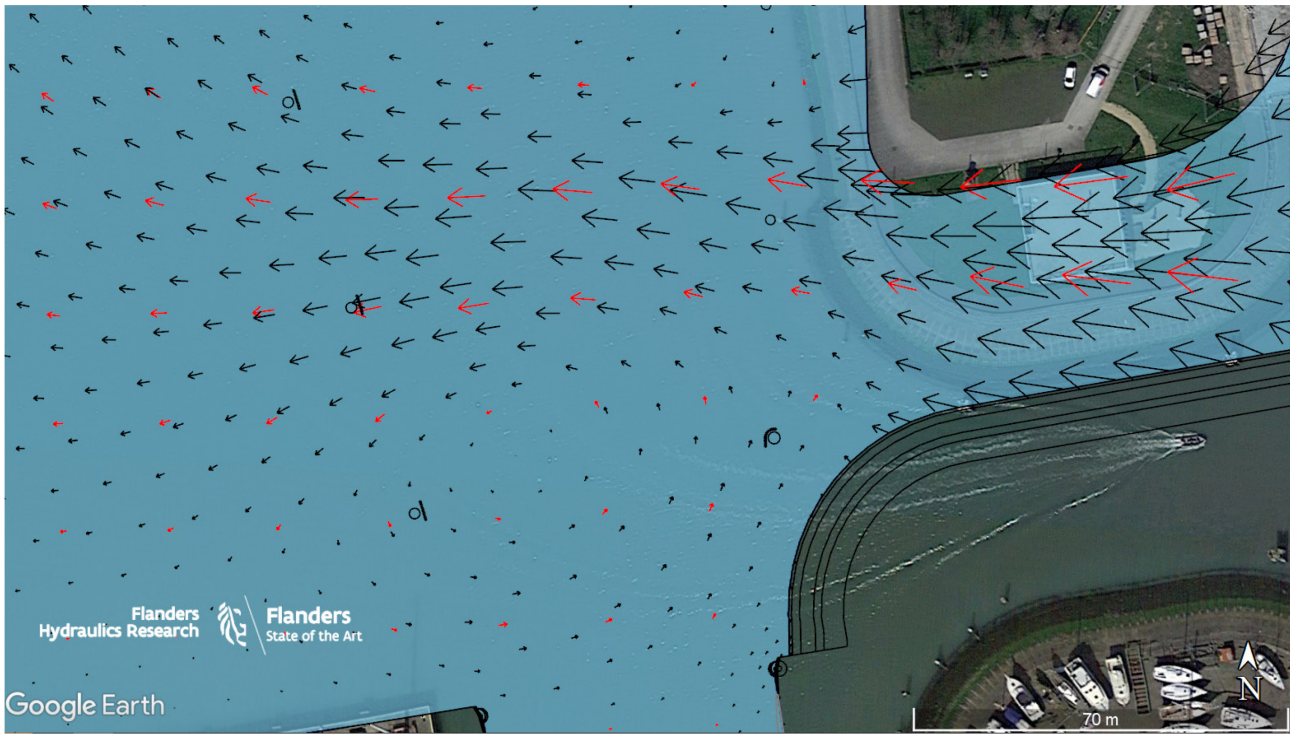
Figuur 20 - Maximale dwarsstroom in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis in functie van de tijd (detail) (verwerkt op grid IMDC (2021))



Figuur 21 – Dwarsstroom 10/04/2009 05h40 in het verlengde van de sluisas Nieuwe Sluis op verschillende afstanden van het benedenhoofd (verwerkt op grid IMDC (2021); op simulatormesh en op simulatormesh met factor 1.5)



Figuur 22 – Weergave stroomprofiel op aangeleverd 20m x 20m grid IMDC (2021) (rood) en na projectie op simulatormesh (zwart)



Figuur 23 – Weergave stroomprofiel op aangeleverd 20m x 20m grid IMDC (2021) (rood) en na projectie op simulatormesh (zwart) (detail)

3.3.2 Achterhaven

Aan de landzijde van de sluis werd geen stroming gedefinieerd en werd het waterpeil op +3.4 m TAW gedefinieerd.

3.4 Sluisfendering

Voor de variant V3H werden er twee verschillende uitvoeringen van de sluisfendering gemodelleerd. Een eerste uitvoering gaat uit van wielfenders geïntegreerd in de sluisconstructie, terwijl de tweede uitvoering gepaard gaat met een geleidingsconstructie bestaande uit buispalen voor de sluis. Beide uitvoeringen worden gecombineerd met drijframen in de sluis. De twee fenderuitvoeringen stemmen overeen met twee simulatieomgevingen welke respectievelijk V3H_WF en V3H_PL genoemd worden.

3.4.1 Sluisfendering V3H_WF

Drijframen

Aan beide zijden van de sluis worden drijframen voorzien met breedte en hoogte gelijk aan 0.915 m. De drijframen zijn vlottend uitgevoerd langs 0.035 m brede verticale wrijfhouten in de kolkmuur. De drijframen bevinden zich bijgevolg tot 0.95 m dwars van de kolk.

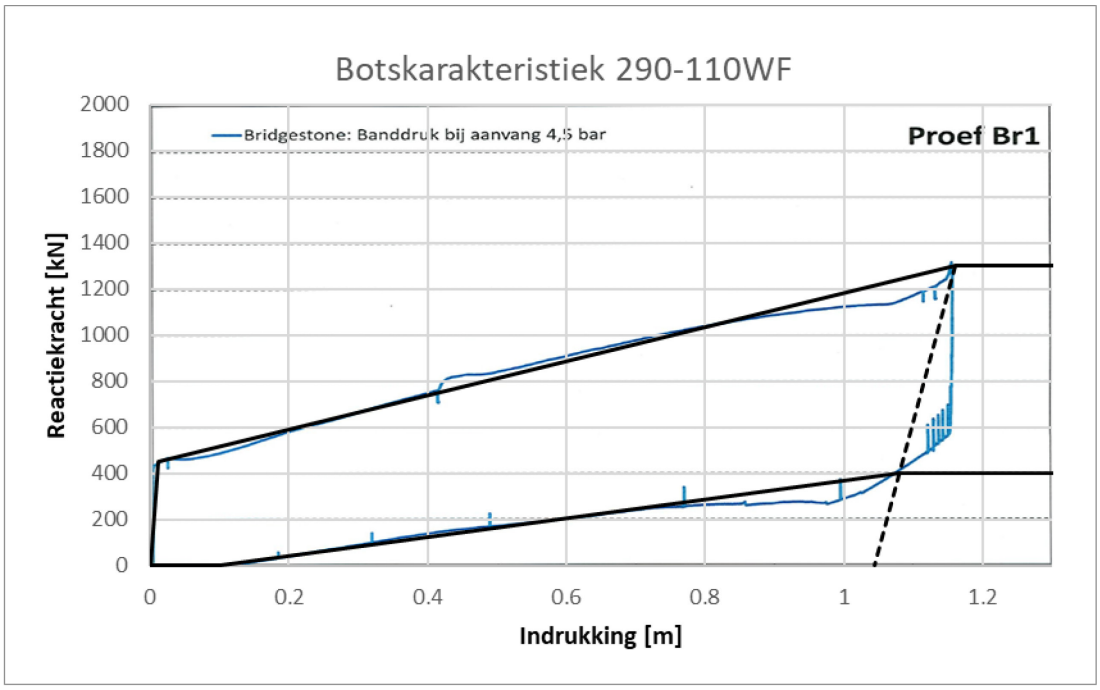
Aan de uiteinden van de drijframen werd een afschuining met helling 1/8 gerealiseerd tot op 0.305 m.

Wielfenders

Voor de fenderuitvoering met wielfenders wordt gebruik gemaakt van hetzelfde type wielfenders als op heden aanwezig in de Pierre Vandammesluis, de Kieldrechtsluis, de Berendrechtsluis en de Zandvlietsluis. Deze wielfenders combineren een banddiameter 2.9 m met een bandhoogte 1.1 m en staan in catalogi (Trelleborg Marine and Infrastructure, 2017) bekend als het type 290-110WF.

De wielfenders van het type 290-110WF faciliteren een maximale indrukking van 1.2 m. Via het Havenbedrijf Antwerpen beschikt WL over de indrukkingskarakteristieken uit labo-onderzoek (Universiteit Gent. Vakgroep Bouwkundige Constructies. Laboratorium Magnel voor Betononderzoek, 2011). Dit document werd als input gebruikt voor het modelleren van de botskarakteristieken van de wielfenders in de simulator (zie Figuur 24).

De maximale indrukking van de wielfender bedraagt 1300 kN en gaat gepaard met een opgenomen energie gelijk aan 1000 kNm. Bij relaxatie wordt een energie gelijk aan 264 kNm (26%) teruggegeven.



Figuur 24 – Botskarakteristiek van wielfender zoals gemodelleerd in simulator (zwart) ten opzichte van indrukkingsproef (blauw) uit Universiteit Gent. Vakgroep Bouwkundige Constructies. Laboratorium Magnel voor Betononderzoek (2011)

Aantal wielfenders

Het aantal wielfenders voorzien op elke sluishoek wordt in eerste instantie bepaald door de verticale positie van het sluisplateau en de maatgevende waterstanden. Enerzijds dienen de wielfenders te vermijden dat de boeg van het schip contact kan maken met de kolk (randvoorwaarde bovenzijde) en anderzijds dient vermeden te worden dat bij lage waterstanden schepen onder de onderste wielfender door kunnen varen (randvoorwaarde onderzijde). Verder dient het aantal wielfenders ook afgestemd te worden op de verwachte energie die nodig is om het schip op te vangen.

Voor de zeezijde van de sluis geldt dat het sluisplateau zich op +10 m TAW bevindt en het LLW[3]-peil -0.58 m TAW bedraagt. Er werd een enkele rij van vijf wielfenders voorzien aan de beide afwaartse sluishoeken.

[3] LLW: Laagste laag water: laagste gemeten peil in de periode 2001 - 2010

Het midden (as) van de bovenste wielfender werd verondersteld op 1.1 m onder het sluisplateau (8.9 m TAW). Vervolgens werd een wielfender ingetekend met verticale tussenafstand 2.2 m. Ter hoogte van de wielfenders is een contact met de uitwaaierende boeg van een RoRo-ferry aannemelijk. Om deze boegvorm op te vangen worden de bovenste twee wielfenders excentrisch geplaatst ten opzichte van de drie onderste wielfenders. Ook de betonconstructie van de sluis dient vanzelfsprekend op dezelfde manier teruggetrokken te worden. In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de verticale positie en excentriciteit van de wielfenders gesimuleerd aan de zeezijde.

Aan de landzijde van de sluis bevindt het sluisplateau zich op +7 m TAW en het waterniveau op +3.4 m TAW. Op basis van andere sluizen (bvb. Pierre Vandammesluis) wordt een minimum aantal van drie wielfenders vereist geacht om de energie van een schip op te nemen. De beschikbare hoogte aan de landzijde van de sluis volstaat niet om drie wielfenders droog te realiseren. Bijgevolg wordt een lokale verhoging van het sluisplateau verondersteld tot +8.1 m TAW en worden de twee onderste wielfenders op 1.6 m van elkaar geplaatst. Aan de landzijde wordt enkel een excentriciteit toegepast op de bovenste van de drie wielfenders.

Tabel 2 – Verticale positie en excentriciteit van wielfenders aan zeezijde sluis

	Naam	Bovenzijde	Onderzijde	As	Excentriciteit
	[-]	[m TAW]	[m TAW]	[m TAW]	[m]
Zeezijde	Wielfender 1	9.45	8.35	8.9	-0.5
	Wielfender 2	7.25	6.15	6.7	-0.25
	Wielfender 3	5.05	3.95	4.5	0
	Wielfender 4	2.85	1.75	2.3	0
	Wielfender 5	0.65	-0.45	0.1	0

Tabel 3 – Verticale positie en excentriciteit van wielfenders aan landzijde sluis

	Naam	Bovenzijde	Onderzijde	As	Excentriciteit
	[-]	[m TAW]	[m TAW]	[m TAW]	[m]
Landzijde	Wielfender 1	7.55	6.45	7	-0.25
	Wielfender 2	5.35	4.25	4.8	0
	Wielfender 3	3.75	2.65	3.2	0

Horizontale uitlijning wielfenders

De wielfenders worden gepositioneerd ter hoogte van een afschuining van de sluiskolk. De betonnen constructie van de kolkhoek werd aangepast in overeenstemming met de wielfenderkasten en de excentrische positie van de bovenste wielfenders. Bij het ontwerp van de wielfenders en de kolkhoek werd uitgegaan van onderstaande aannames (zie ook Figuur 25):

1. De onderste wielfenders zijn uitgelijnd met het drijfraam en bevinden zich 0.95 m binnen de kolk
2. De wielfenders bevinden zich 1.2 m (de maximale indeuking) uit de kolkmuur;
3. De horizontale afschuining van de sluishoek wordt gerealiseerd onder een helling 1/8.
4. De excentriciteit van de bovenste wielfender(s) wordt gerealiseerd volgens de richting van de wielfenderkast.

Een principe schets van de positionering van drijframen en wielfenders in de variant V3H_WF wordt weergegeven in Figuur 25. De precieze positie van de wielfenders zoals toegepast in de simulatiestudie wordt beschreven door de parameters in Tabel 4.

De weergave van de wielfenders in de simulatieomgeving wordt geïllustreerd in Figuur 39.



Figuur 25 – Positionering wielfenders en drijfraam aan noordoostelijke sluishoek voor variant V3H_WF

Tabel 4 – Positie wielfenders in simulatieomgeving

		Naam	As	Middelpunt Band		Oriëntatie kast
		[-]	[m TAW]	L72 [m]		[deg to N]
Zeezijde	West	Wielfender 1	8.9	68326.51	225220.74	67.72
		Wielfender 2	6.7	68326.76	225220.78	67.72
		Wielfender 3	4.5	68327.01	225220.81	67.72
		Wielfender 4	2.3	68327.01	225220.81	67.72
		Wielfender 5	0.1	68327.01	225220.81	67.72
	Oost	Wielfender 1	8.9	68382.94	225228.78	275.79
		Wielfender 2	6.7	68382.69	225228.75	275.79
		Wielfender 3	4.5	68382.45	225228.71	275.79
		Wielfender 4	2.3	68382.45	225228.71	275.79
		Wielfender 5	0.1	68382.45	225228.71	275.79
Landzijde	West	Wielfender 1	7	68415.26	224609.92	95.79
		Wielfender 2	4.8	68415.51	224609.96	95.79
		Wielfender 3	3.2	68415.51	224609.96	95.79
	Oost	Wielfender 1	7	68471.20	224617.89	-112.28
		Wielfender 2	4.8	68470.95	224617.86	-112.28
		Wielfender 3	3.2	68470.95	224617.86	-112.28

3.4.2 Sluisfendering V3H_BP

Een alternatieve bescherming van de sluishoeken betreft het realiseren van een beschermingsconstructie voor de sluis. Mogelijkheden hierbij betreffen een remmingswerk, een dukdalf of een buispaal. In analogie met het ontwerp van de Vandammesluis wordt in deze variant uitgegaan van een enkele buispaal in de onmiddellijke omgeving van de kolkhoek.

Drijfraam

Net als in de variant met wielfenders, werden in de tweede sluisfenderingsvariant drijframen voorzien over de volledige lengte van de sluis. Het enige verschil tussen de drijframen voor beide sluisfenderingsvarianten betreft de lengte van het drijfraam. In de variant met buispalen is de lengte van het drijfraam iets langer doordat de kopse kant van het drijfraam doorloopt tot het einde van de rechte kolkwand (zie Figuur 27). De afschuining van de kolkhoek werd hierbij overgenomen uit het plan van aMT (zie §3.1).

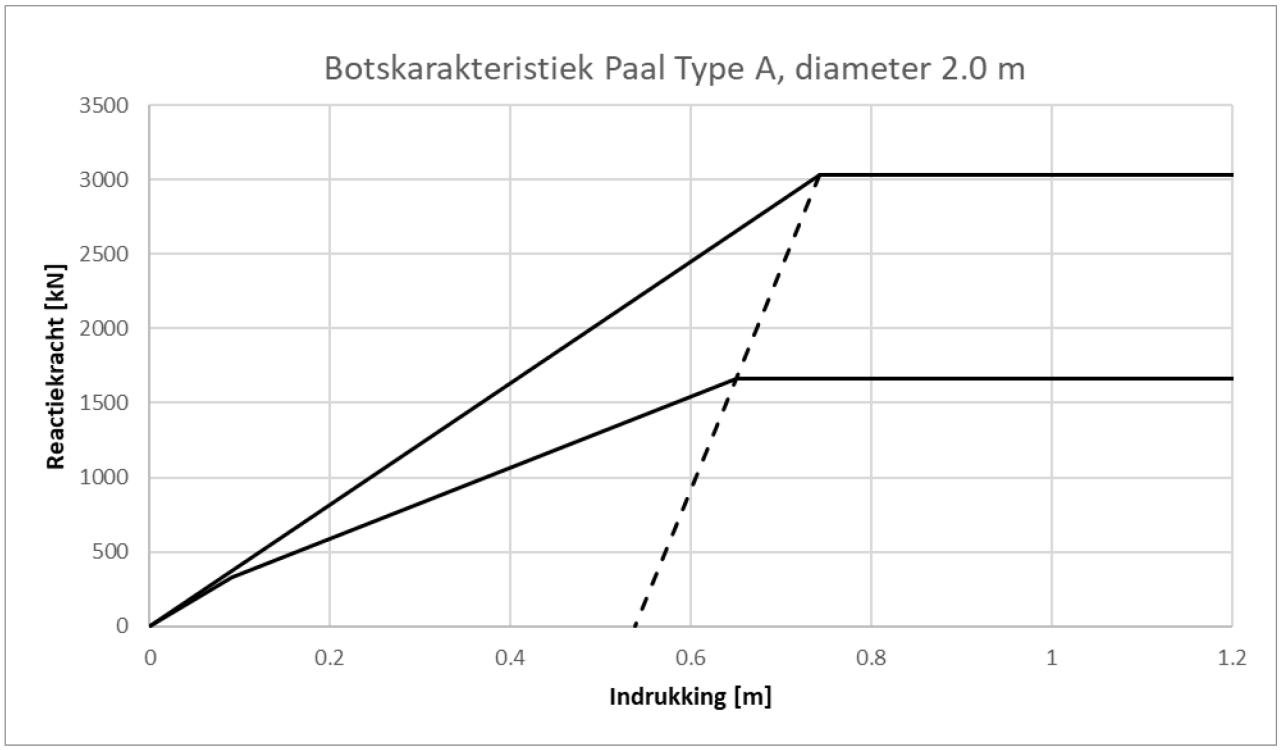
Buispaal

De vormgeving van de buispalen werd gebaseerd op het ontwerp van buispalen voor de Vandammesluis (Ministerie van Openbare Werken, 1983) waarbij de stijfheid van de buispalen (zie Figuur 26) bepaald werd op basis van de rekennota in Mannesmann Nederland (1983).

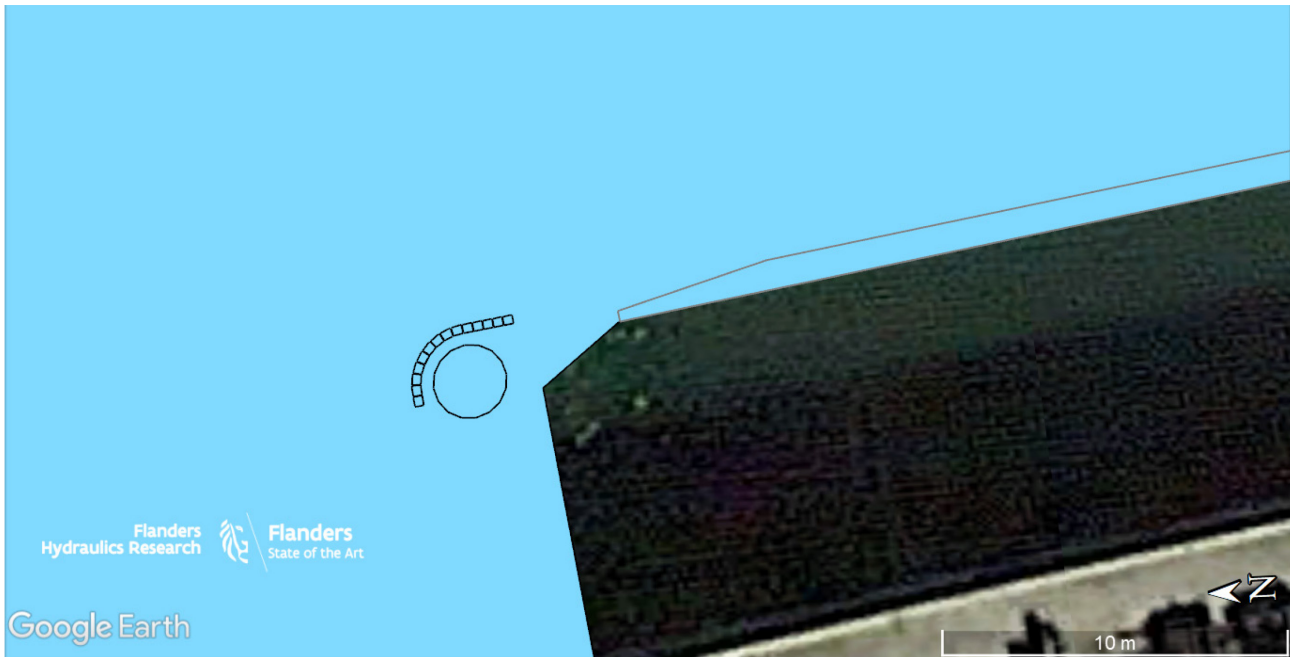
De bovenzijde van de buispalen (die overeenkomt met de hoogte waarop het schip contact maakt met de paal) werd gedefinieerd op +10 m TAW in de Voorhaven en +7 m TAW in de Achterhaven.

De ligging van de buispalen werd ingetekend op 1 m van de frontmuur (dus centrum op 2 m dwars van de frontmuur) en met de fendering uitgelijnd op het verlengde van de drijframen (zie Figuur 27).

De weergave van de buispalen in de simulatieomgeving wordt geïllustreerd in Figuur 40.



Figuur 26 – Botskarakteristiek van buispaal zoals gemodelleerd in simulator (zwart) gebaseerd op Mannesmann Nederland (1983)



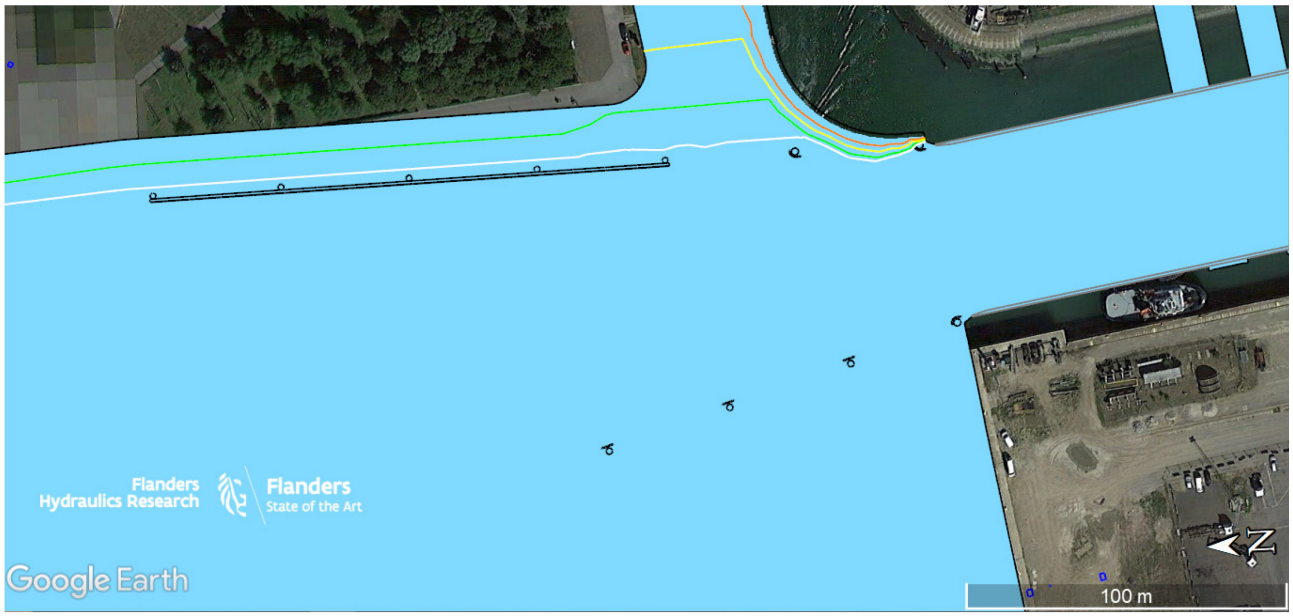
Figuur 27 – Weergave buispaal en drijfraam als sluisfendering voor noordwestelijke sluishoek

3.5 Nautische constructies

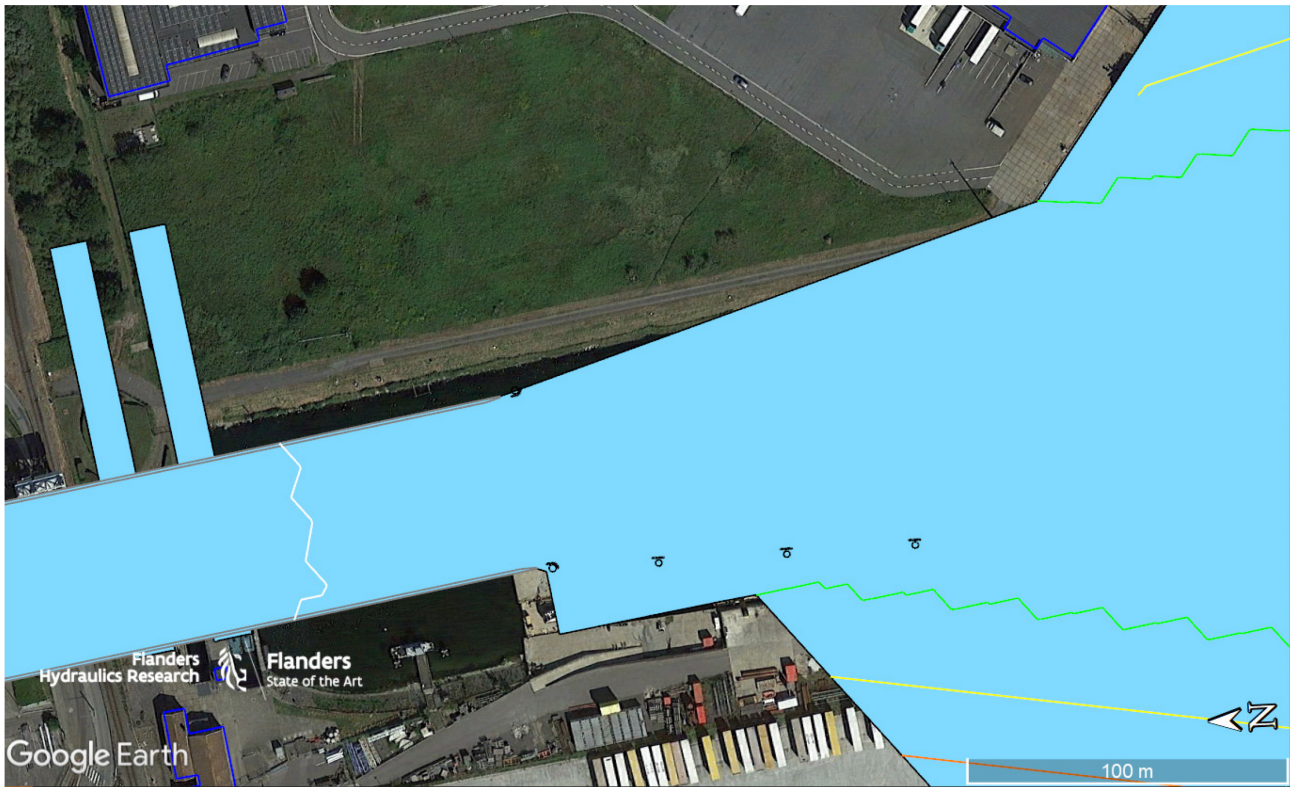
In overeenstemming met de ontwerpplannen van aMT en gebaseerd op het huidige ontwerp van de Vandammesluis werd in de variant V3H rekening gehouden met een openingshoek van de voorhaven gelijk aan 8°. Onder deze hoek werden onderstaande constructies voorzien:

- Voorhaven (zie Figuur 28)
  - Oostzijde:
    - Buispaal in het verlengde van de zuidelijke kaaimuur van de toegang van de jachthaven
    - Noodsteiger (160 m) startend in het verlengde van de noordelijke kaaimuur van de toegang van de jachthaven
  - Westzijde:
    - Drie buispalen met een onderlinge afstand gelijk aan 40 m (verwijderd op de laatste simulatiedag)
- Achterhaven (zie Figuur 29)
  - Oostzijde
    - Kaaimuur met lengte 170 m (tot aan Vismijn)
  - Westzijde
    - Drie buispalen met een onderlinge afstand gelijk aan 40 m (verwijderd op de laatste simulatiedag)

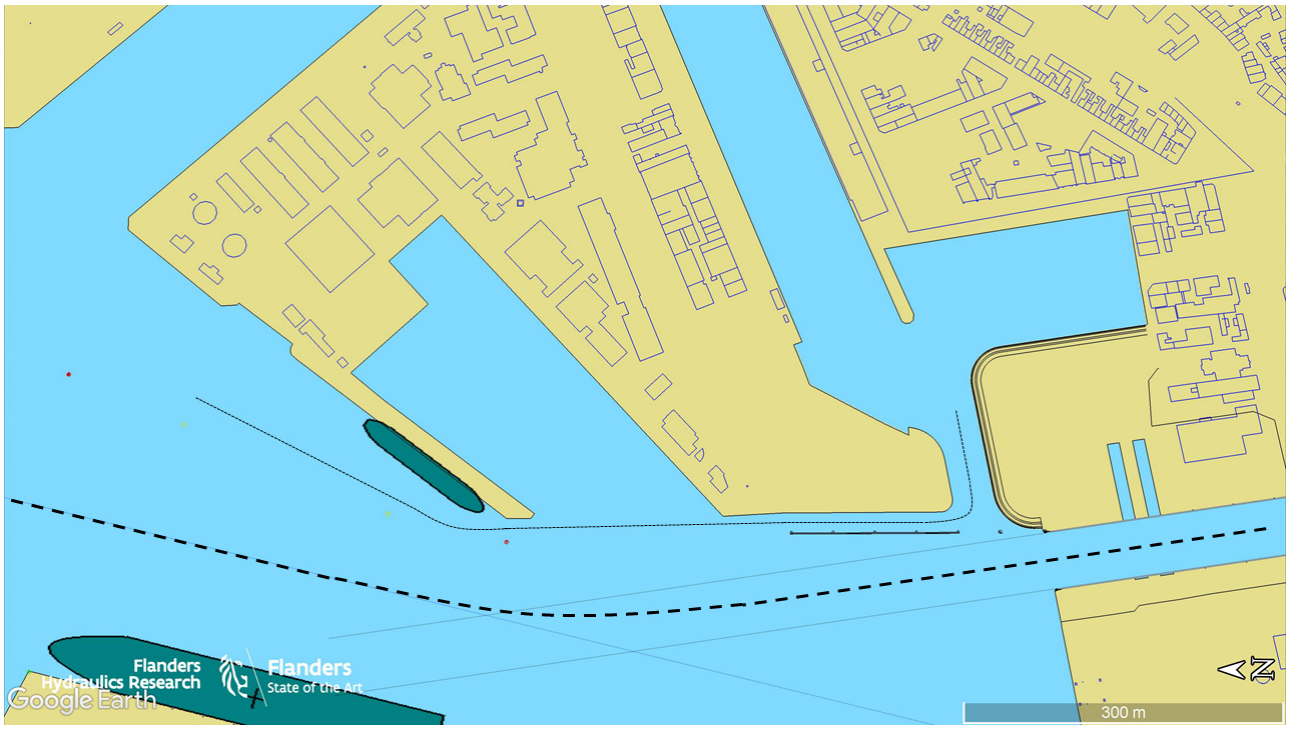
De noodsteiger in de Voorhaven heeft een dubbele functie. Enerzijds is dit een steiger waar in geval van calamiteiten, zeeschepen kunnen afmeren en anderzijds is deze noodsteiger een fysieke scheiding tussen de toegangszone tot de sluis en een parallelle vaarweg voor de pleziervaart (het zogenaamde fietspad). De beschikbaarheid van het fietspad voor pleziervaart heeft als doel om de verkeersstromen zo veel als mogelijk te scheiden en de stremming van de jachthaven door sluismanoeuvres door zeevaart tot een minimum te beperken. Meer noordelijk worden de zeevaart en pleziervaart gescheiden door achtereenvolgens een rode en twee gele boeien (zie Figuur 30).



Figuur 28 – Weergave nautische constructies in de Voorhaven (sluisfenderingsvariant met buispalen)



Figuur 29 – Weergave nautische constructies in de Achterhaven (sluisfenderingsvariant met buispalen)



Figuur 30 – Principe scheiding verkeersstromen zeevaart naar sluis en (kleine) pleziervaart naar jachthaven

3.6 Afgemeerde schepen

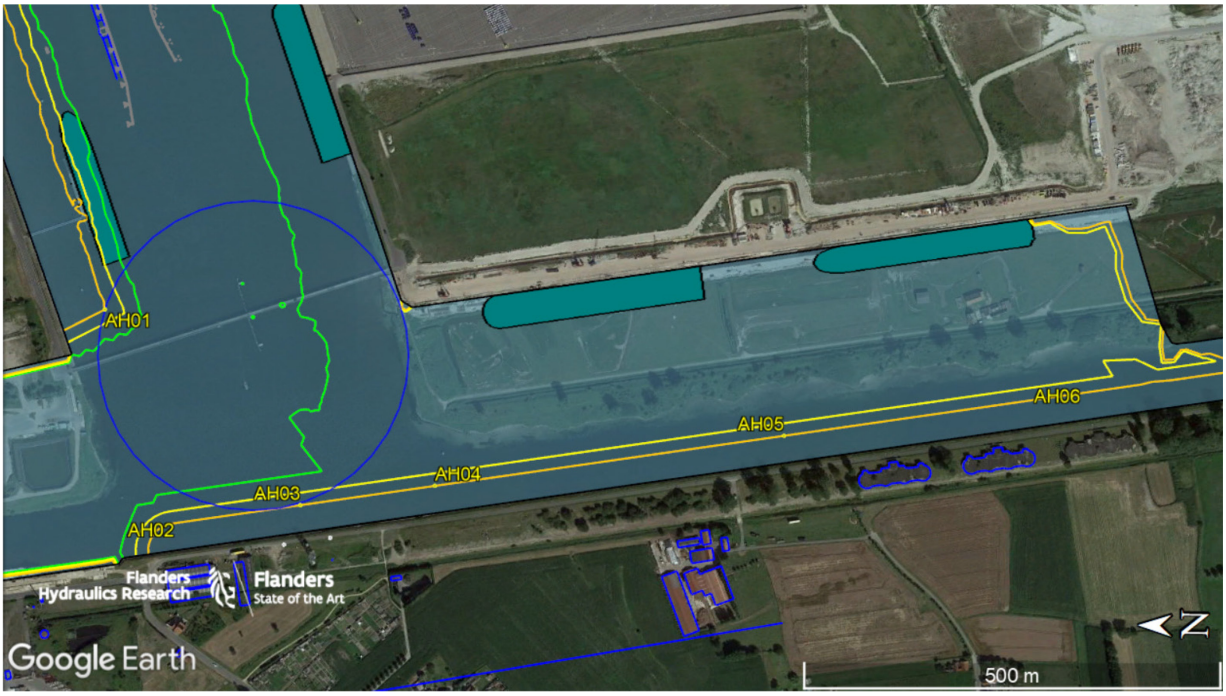
Tijdens de simulatiestudie werden er schepen afgemeerd op onderstaande locaties (zie Figuur 1):

- Voorhaven
  - OCHZ: containerschepen met breedte 51.2 m[4]
  - Buitenzijde Militair Dok: marineschip met breedte 18.0 m
- Achterhaven
  - Verbindingskanaal West: 3 RoRo-ferries met breedte 40.0 m
  - Verbindingskanaal Oost: 2 RoRo-ferries met breedte 40.0 m
  - Tameco-steiger (NW Verbindingsdok): tanker met breedte 32.2 m
  - RoRo-terminal Bastenaken-West (ZW Verbindingsdok): RoRo-Ferry met breedte 40 m
  - RoRo-terminal Boudewijnkanaal Zuid: 2 RoRo-ferries met breedte 40.0 m
  - NO Verbindingsdok: droogdok met lengte 138 m

Tijdens de simulatiestudie werd opgemerkt dat bij belangrijke aflandige wind, afgemeerde schepen gedurende lange tijd opgedrukt worden door sleepboten. Het bijhorende ruimtebeslag door deze sleepboten wordt niet in rekening gebracht in de simulatiestudie.

3.7 Boeien en navigatielichten

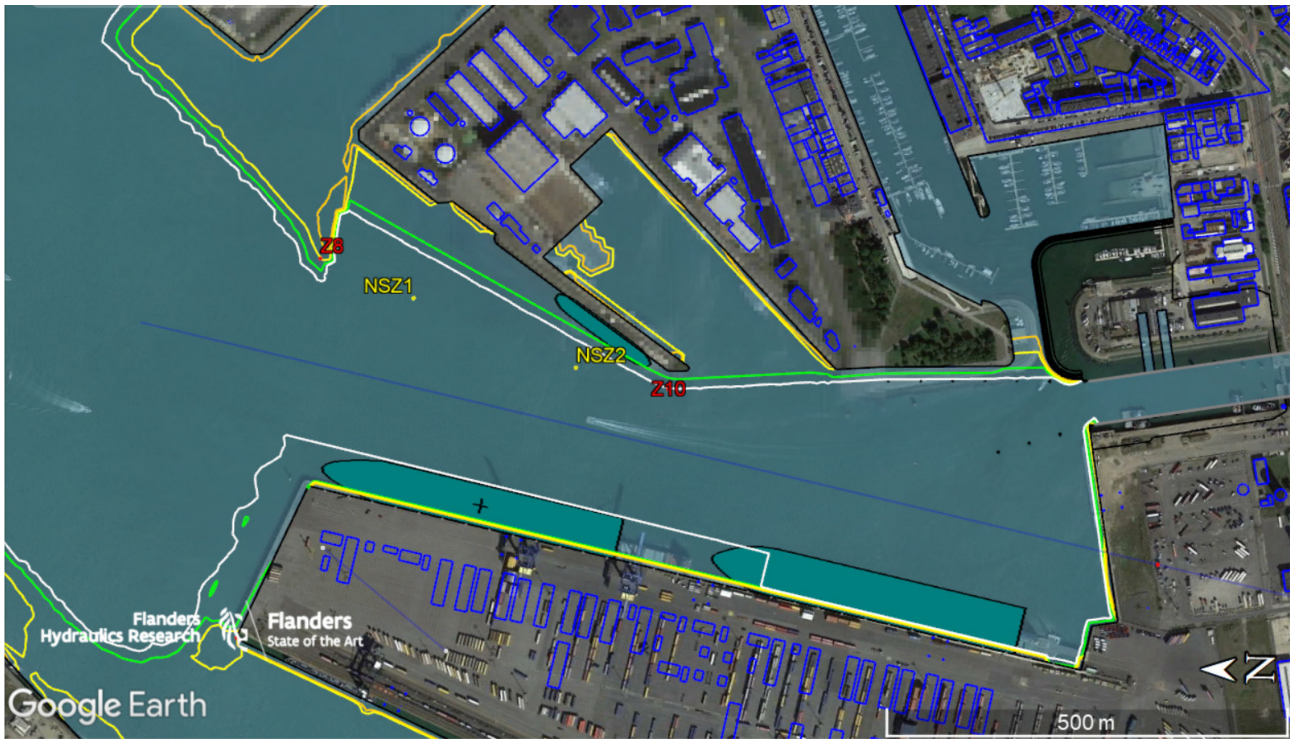
In de Achterhaven worden gele boeien uitgelegd op een bodemdiepte gelijk aan -7.0 m TAW overeenkomstig een waterdiepte gelijk aan 10.4 m (zie Figuur 31).



Figuur 31 – Positie van gele boeien op bodemdiepte -7 m TAW in Achterhaven

[4] Er werd opgemerkt dat de huidige generatie van ULCS breedtes tot 60 m (en in de toekomst nog meer) kunnen hebben. De impact van gebeurlijk grotere scheepsbreedtes van afgemeerde schepen aan OCHZ is echter beperkt.

In de Voorhaven werd de boei Z10 verplaatst en werden de gele boeien NSZ1 en NSZ2 toegevoegd om de scheiding tussen de vaarweg voor pleziervaart en zeevaart aan te duiden (zie Figuur 32). Bovendien werd in de Voorhaven de positie van de lichtenlijn verplaatst ten opzichte van de huidige lichtenlijn voor OCHZ conform de aanbeveling uit Verwilligen *et al.* (2021). De lichtenlijn in simulatieomgeving V3H bevindt zich op 150 m uit de kaaimuur en dient het invaren van de Voorhaven naar de sluis te faciliteren.



Figuur 32 – Weergave van boeien en lichtenlijn in Voorhaven

3.8 Wind

Simulaties werden uitgevoerd bij belangrijke windcondities waarbij aangenomen kan worden dat de sluismanoeuvres nog steeds uitvoerbaar dienen te zijn.

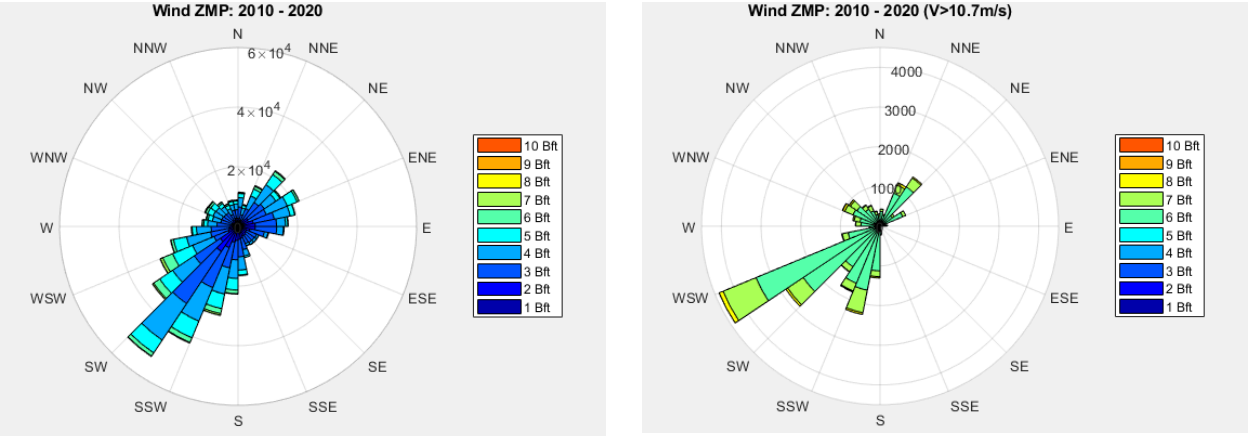
Figuur 33 toont een windroos voor de 10-minuut gemiddelde windsnelheden te meetstation Zeebrugge Meteopark. Dit station bevindt zich op korte afstand van de Pierre Vandammesluis. Uit Figuur 33 blijkt dat de dominante windrichting voor de hogere Beaufortklassen westzuidwestelijk georiënteerd is. Deze windrichting gaat bovendien gepaard met een dwarse invalshoek ten opzichte van de sluis en is nautisch ongunstig (dit geldt zowel voor de huidige Pierre Vandammesluis als voor de Visartsluis). Beide factoren (frequentie van voorkomen en oriëntatie ten opzichte van de sluis) leidden ertoe dat het merendeel van de simulaties uitgevoerd werd bij een westzuidwestelijke windrichting bij een kracht gelijk aan 6 Bft.

In Figuur 34 worden de windmetingen te Zeebrugge Daminstrumentatie weergegeven. Deze locatie bevindt zich op de westelijke havendam van Zeebrugge (ter hoogte van het Wielingendok). Doordat deze locatie minder beschut is, worden hier hogere windsnelheden opgemeten dan ter hoogte van Zeebrugge Meteopark. Met name voor de windrichtingen uit westelijke richting blijkt een belangrijke luwte op te treden ter hoogte van de Pierre Vandammesluis. Deze luwte wordt veroorzaakt door de bewoning aan de westzijde van de Pierre Vandammesluis. Het is niet duidelijk of een gelijkaardige windafscherming bereikt wordt voor de omgeving Visart.

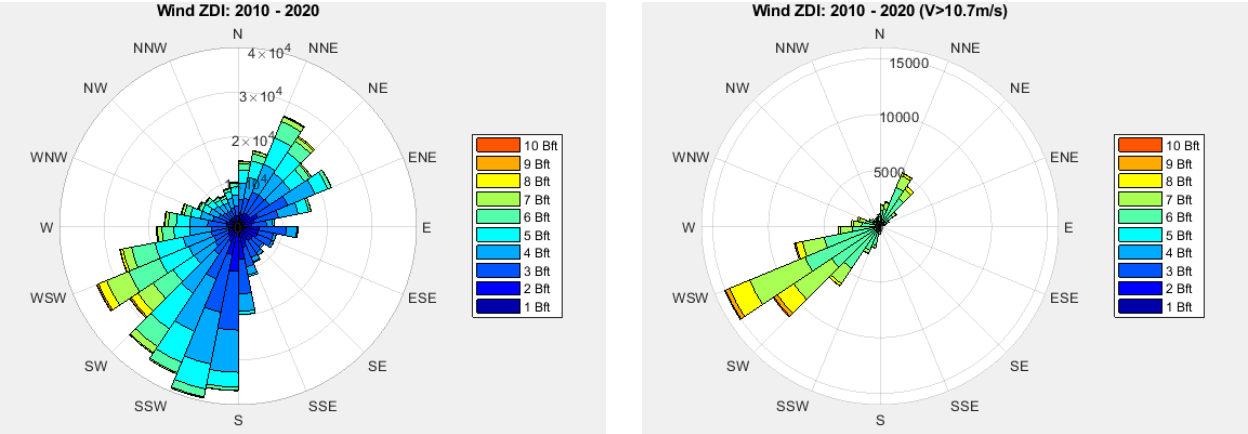
De wind werd gesimuleerd door middel van een uniform windveld (dus geen afscherming van bruggen, afgemeerde schepen of gebouwen) en met een variërende vlagerigheid. De windconditie werd gedefinieerd

op basis van de synoptisch gemiddelde waarde voor de windsnelheid en de windrichting, gecombineerd met een ruwheidsfactor welke de vlagerigheid van het windveld bepaalt. De vlagerigheid werd berekend op basis van een Von Karmanspectrum, waarvan de spreiding afhankelijk is van de terreinruwheid volgens de ruwheidsklassen van Davenport (Davenport, 1967). Voor de simulatieomgeving Zeebrugge werd de ruwheidsklasse 3[5] toegepast.

Om de windcondities te relateren aan de Beaufortschaal werd de synoptisch gemiddelde windsnelheid bepaald als de gemiddelde windsnelheid welke geldt voor de Beaufortklasse. Ten gevolge van de vlagerigheid echter zal de effectieve windsnelheid in de simulatieomgeving niet steeds overeenkomen met de ingestelde Beaufortklasse. Zo kan, bij het optreden van windvlagen, de windsnelheid kortstondig waarden aannemen overeenkomstig een hogere beaufortklasse. De procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen wordt weergegeven in Tabel 5. Voor een gekozen Beaufortklasse van 6 Bft tijdens de simulaties zal bijvoorbeeld volgens Tabel 5 gedurende 20 % van de tijd de windsnelheid overeenkomen met 7 Bft.



Figuur 33 – Windroos te Zeebrugge Meteopark (2010 – 2020) voor alle windsterktes (links) en voor windsterktes vanaf 5 Bft (rechts)



Figuur 34 – Windroos te Zeebrugge Daminstrumentatie (2010 – 2020) voor alle windsterktes (links) en voor windsterktes vanaf 5 Bft (rechts)

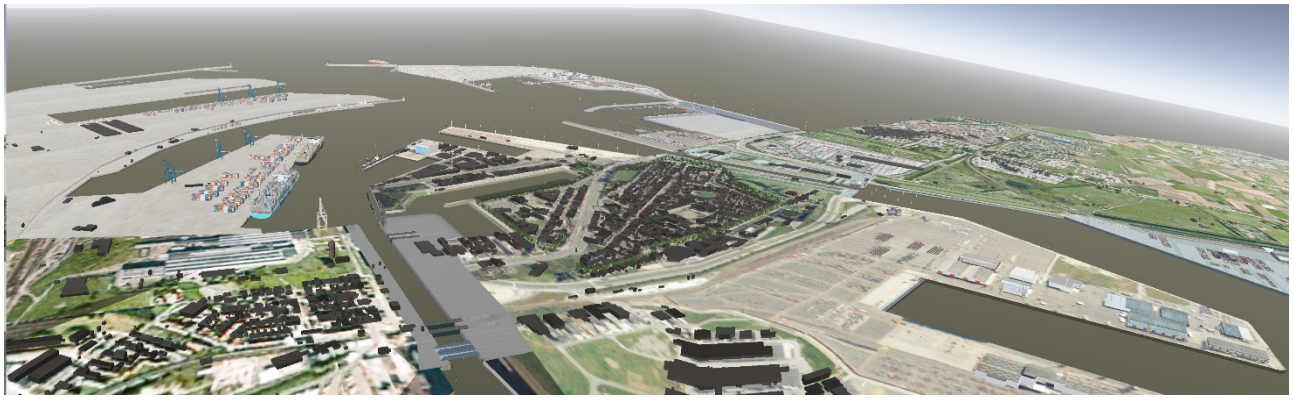
[5] De Davenport ruwheidsklasse 3 wordt beschreven als: open ruimte, zeer korte begroeiing, enkele alleenstaande hindernissen (hoogte < 10% van de afstand tot het meetpunt). Vb. vliegveld.

Tabel 5 – Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen voor terreinklasse 3

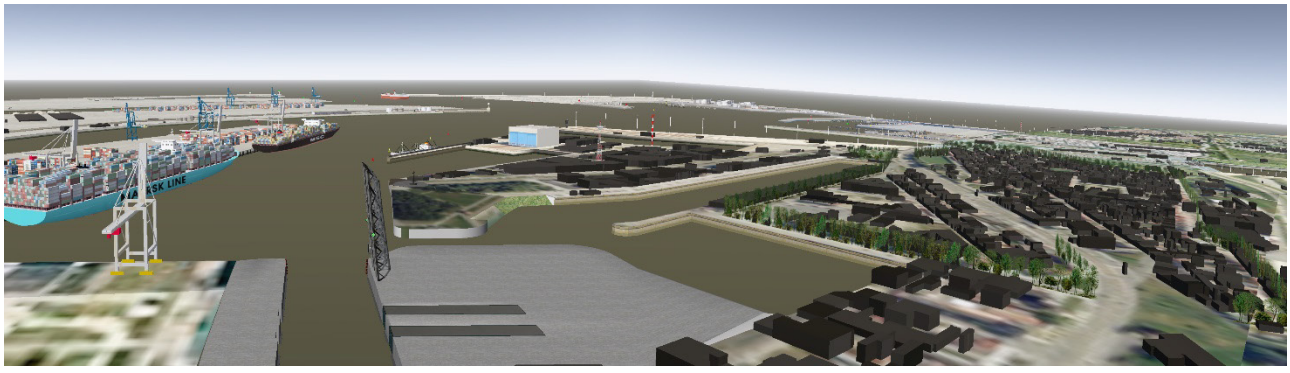
Gemiddelde windsnelheid		Procentuele verdeling van de werkelijke wind over de Beaufortklassen						
Bft	m/s	3 Bft	4 Bft	5 Bft	6 Bft	7 Bft	8 Bft	9 Bft
4	6.7	2.7	84.6	12.7				
5	9.4	0.7	18.5	61.6	18.9	0.3		
6	12.3	0.1	1.9	21.6	54.9	20.5	1	
7	15.5		0.2	3.5	23.7	46.8	23.6	2.2

3.9 3D-model

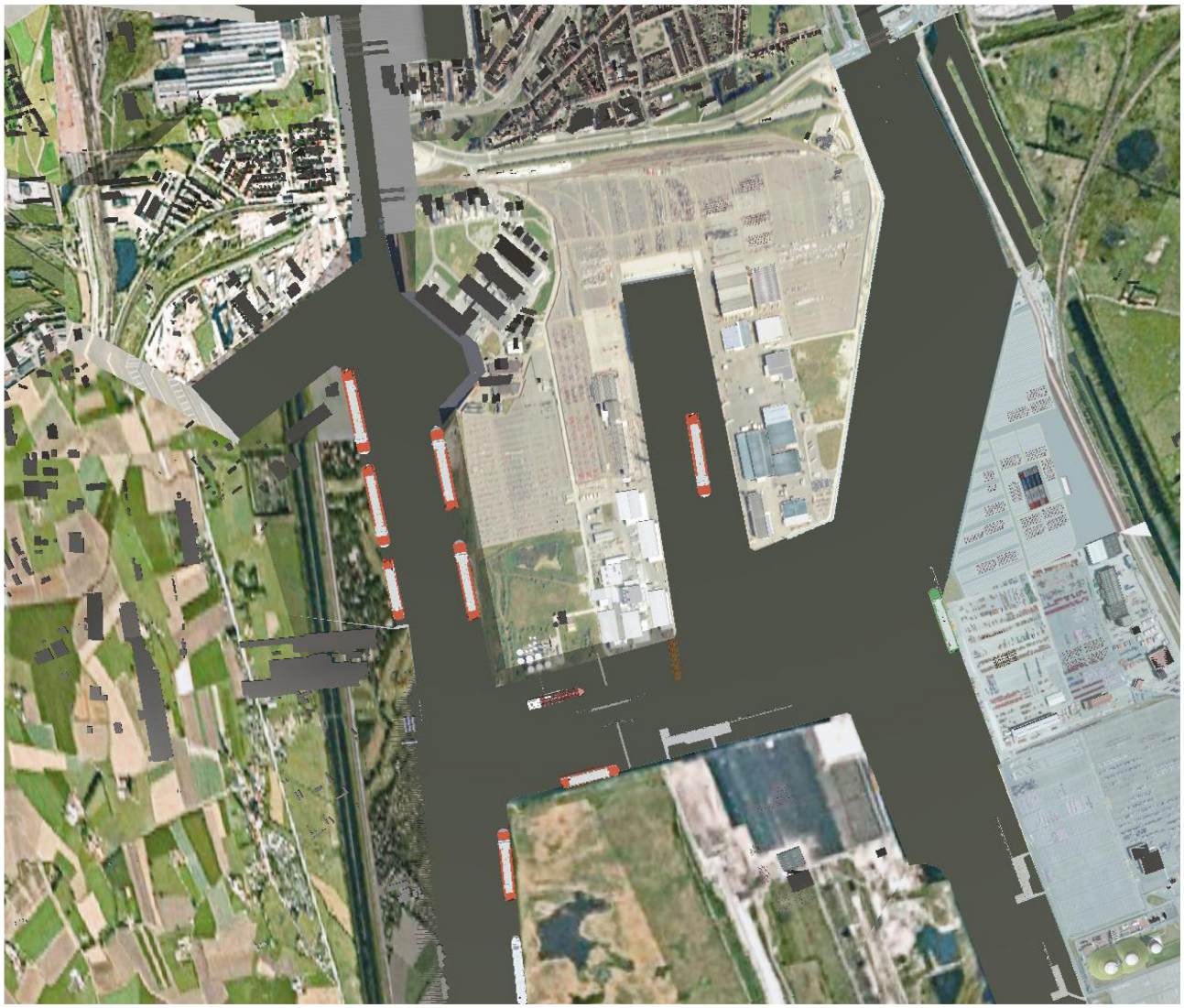
De simulaties werden uitgevoerd in een digitaal 3D-model dat overeenstemde met de ontwerpplannen (zie §3.1) gecombineerd met de huidige toestand van de haven van Zeebrugge zoals beschikbaar in de simulatoren van WL. Bijkomend werd er ook een provisoire intekening toegevoegd van de sluisinfrastructuur (basculebruggen en deuren) aangezien deze merktekens bevatten die het positioneren naar de sluis faciliteren. In Figuren 35 tot 40 worden enkele afbeeldingen weergegeven van het 3D-model van de simulatieomgeving zoals beschikbaar tijdens de simulaties.



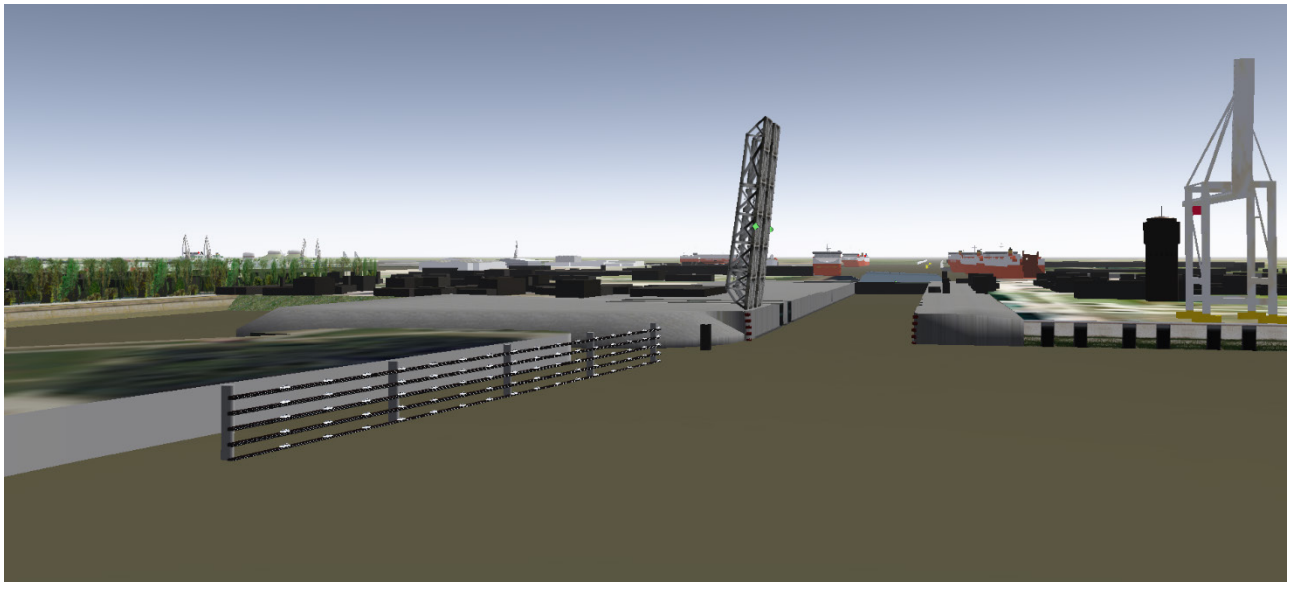
Figuur 35 – Perspectiefzicht (hoog) op Voorhaven Zeebrugge volgens simulatieomgeving V3H



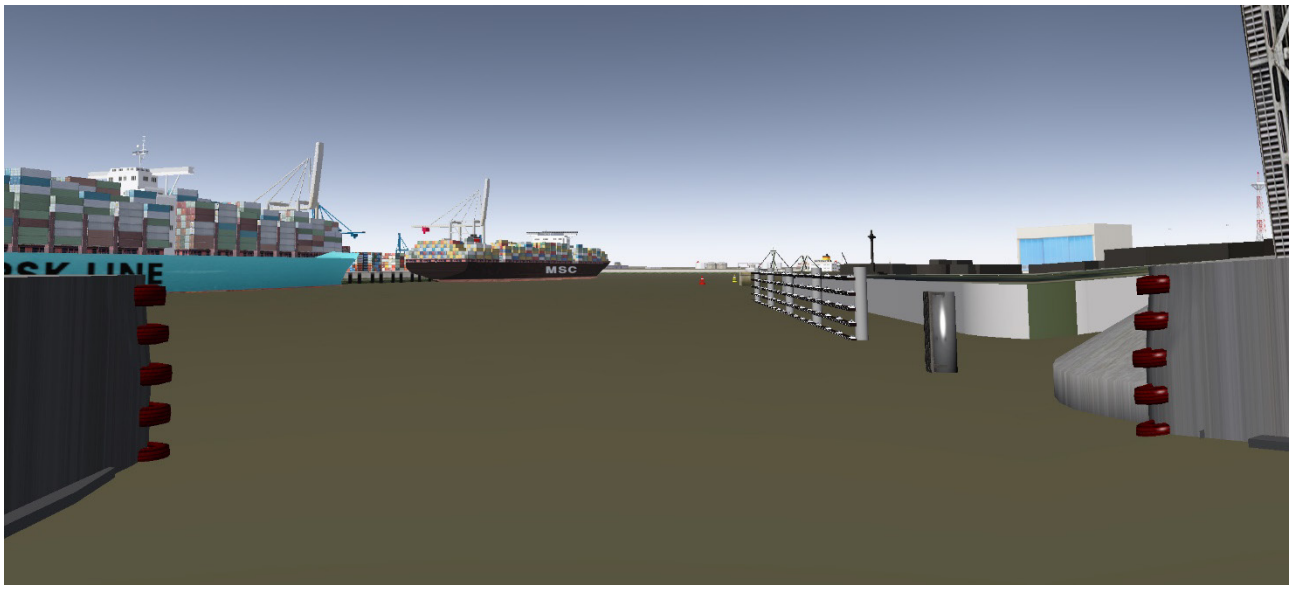
Figuur 36 – Perspectiefzicht (laag) op Voorhaven Zeebrugge volgens simulatieomgeving V3H



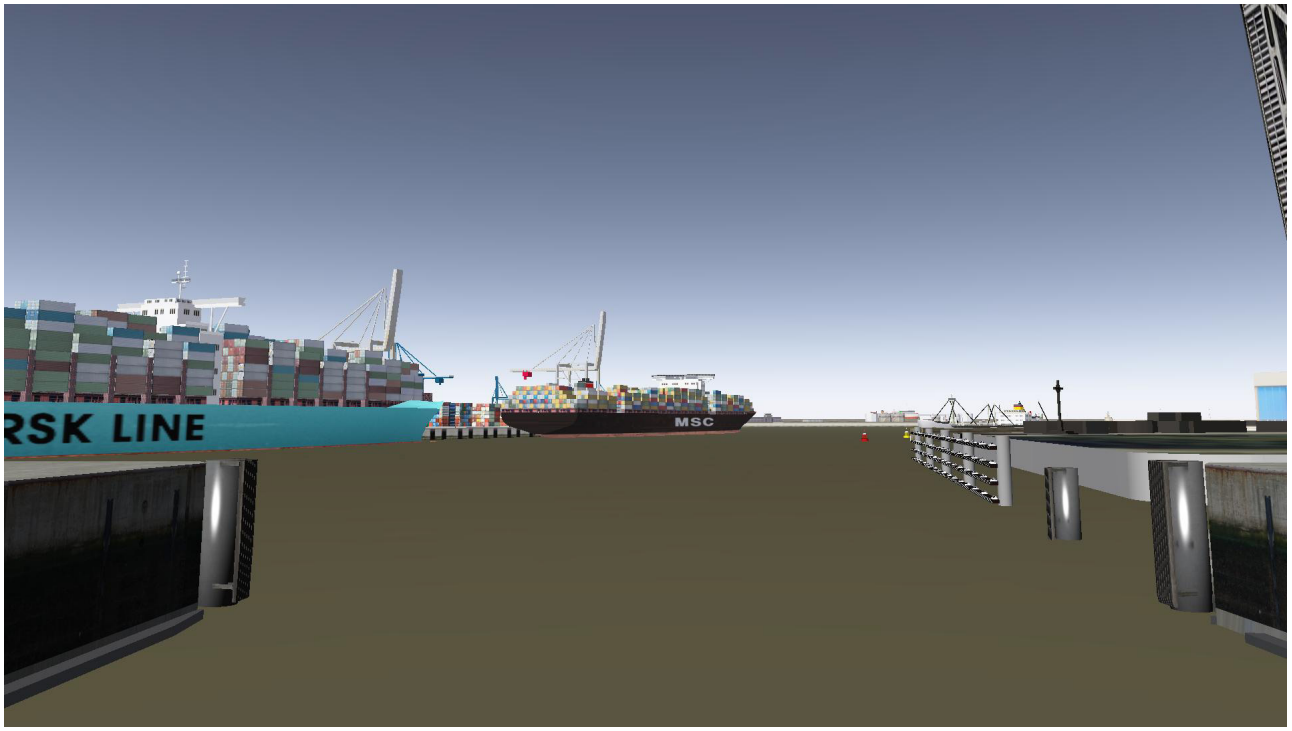
Figuur 37 – Bovenaanzicht op Achterhaven Zeebrugge volgens simulatieomgeving V3H



Figuur 38 –Voorhaven Zeebrugge met weergave constructies volgens simulatieomgeving V3H (wielfenders)



Figuur 39 –Voorhaven Zeebrugge gezien vanuit sluiskolk bij laag water volgens simulatieomgeving V3H (wielfenders)



Figuur 40 –Voorhaven Zeebrugge gezien vanuit sluiskolk bij laag water volgens simulatieomgeving V3H (buispalen)

4 Uitvoering en analyse

4.1 Organisatie

Er werden in het kader van deze studie drieënhalf simulatiedagen georganiseerd in april 2021 en januari 2022. Gedurende anderhalve simulatiedag in april 2021, werd de Achterhaven onderzocht en werden er 9 gewone en 2 gekoppelde simulaties uitgevoerd door de havenloodsen uit Zeebrugge. In januari 2022 werden er gedurende twee simulatiedagen 17 simulaties uitgevoerd door kustloodsen van DAB Loodswezen.

Tijdens alle simulaties werd een sleepbootkapitein (Boluda Towage NV) ingezet om een realistische toepassing van de sleepboten te garanderen. In geval van gekoppelde simulaties, werden de sleepboten van het opvarende schip (sluisuitvaart) bediend door de projectleider van WL.

Alle simulaties werden uitgevoerd op de simulator SIM360+ van het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen. Deze simulator biedt een beeldhoek van 360° in combinatie met vloerprojectie voor het manoeuvreren op korte afstand van kaaien of kolkmuren. In geval van gekoppelde simulaties werd ook de simulator SIM225 ingezet. Hierbij werd SIM225 toegepast voor de sluisuitvaarten en SIM360+ voor de sluisinvaarten.

4.2 Uitgevoerde simulaties

Een overzicht van de condities waarbij de simulaties uitgevoerd werden, wordt weergegeven in Tabel 6. De simulaties worden chronologisch genummerd met een doorlopende nummering voor de Achterhaven en de Buitenhaven.

De naamgeving van de simulaties bevat bovendien de identificatiecode van de gesimuleerde ontwerpvarianten (H) en een aanduiding van de sluisfendering (W: wielfenders en P: buispalen).

Voor gekoppelde simulaties in de Achterhaven (HW_10 en HW_11) worden de simulaties op beide simulatoren vermeld in Tabel 6. Deze simulaties kregen eenzelfde naam, maar onderscheiden zich in het vaartraject naar of van de sluis.

Tabel 6 – Overzicht uitgevoerde simulaties en condities

Locatie	Datum	Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten	Stroming	Wind-Kracht	Wind-richting
					[BP tons]	[%]	[Bft]	[-]
Achterhaven	26/04/21	HW_01	In	NSZ	65+80	-	5	WZW
Achterhaven	26/04/21	HW_02	Uit	NSZ	65+80	-	6	WZW
Achterhaven	26/04/21	HW_03	Uit	NSZ	65+80	-	6	WZW
Achterhaven	26/04/21	HP_04	In	NSZ	65+80	-	6	O
Achterhaven	26/04/21	HP_05	Uit	NSZ	65+80	-	6	O
Achterhaven	26/04/21	HW_06	In	NSZ	65+80	-	6	WZW
Achterhaven	26/04/21	HW_07	In	NSZ	65+80	-	6	NO
Achterhaven	3/05/21	HP_08	In	NSZ	65+80	-	5	O
Achterhaven	3/05/21	HW_09	In	NSZ	65+80	-	6	WZW
Achterhaven	3/05/21	HW_10	In	Mark-V	65+80	-	5	WZW
Achterhaven	3/05/21	HW_11	In	Mark-V	65+80	-	6	WZW
Achterhaven	3/05/21	HW_10	Uit	Mark-V	65+80	-	5	WZW
Achterhaven	3/05/21	HW_11	Uit	Mark-V	65+80	-	6	WZW
Buitenhaven	13/01/22	HW_12	Uit	NSZ	65+80	150%	5	O
Buitenhaven	13/01/22	HW_13	In	NSZ	65+80	100%	5	O
Buitenhaven	13/01/22	HW_14	In	NSZ	65+80	100%	6	O
Buitenhaven	13/01/22	HP_15	In	NSZ	65+80	150%	6	O
Buitenhaven	13/01/22	HW_16	In	NSZ	65+80	150%	6	WZW
Buitenhaven	13/01/22	HW_17	In	NSZ	65+80	150%	6	WZW
Buitenhaven	13/01/22	HP_18	In	NSZ	80+2x65	150%	6	WZW
Buitenhaven	13/01/22	HW_19	In	NSZ	80+2x65	150%	6	O
Buitenhaven	21/01/22	HP_20	Uit	NSZ	65+80	150%	6	WZW
Buitenhaven	21/01/22	HP_21	Uit	NSZ	65+80	150%	6	WZW
Buitenhaven	21/01/22	HP_22	In	NSZ	65+80	150%	5	WZW
Buitenhaven	21/01/22	HW_23	In	NSZ	80+2x65	150%	6	WZW
Buitenhaven	21/01/22	HW_24	In	NSZ	80+2x65	150%	6	O
Buitenhaven	21/01/22	HW_25	In	NSZ	65+80	150%	5	O
Buitenhaven	21/01/22	HW_26	Uit	NSZ	65+80	150%	6	O
Buitenhaven	21/01/22	HW_27	Uit	NSZ	65+80	150%	6	O
Buitenhaven	21/01/22	HW_28	In	NSZ	65+80 >> 65+80+65	150%	6	WZW

4.3 Analyse en verwerking

De simulaties leiden tot onderstaande output:

- Beoordeling van de simulatie door loodsen en sleepbootkapitein;
- Overzichtsgrafieken met tijdsevolutie van de belangrijkste parameters;
- KMZ-weergave voor geanimeerde replay van simulatie.

De output van de simulaties wordt hieronder in meer detail gepresenteerd.

4.3.1 Beoordeling door loodsen

Na elke simulatie werd door de onderzoeker een nabespreking gevoerd met de loodsen en sleepbootkapitein waarbij het uitgevoerde manoeuvre geëvalueerd werd. Behalve een mondelinge bespreking van het manoeuvre werd de simulatie cijfermatig beoordeeld op reserve en moeilijkheidsgraad. Hiervoor werd onderstaande waardeschaal gehanteerd:

- Reserves:
    1. gelukt met veel reserve;
    2. gelukt met voldoende reserve;
    3. gelukt met weinig reserve;
    4. ten einde gebracht met incidenten (geen schade)
    5. niet gelukt met schade;
    6. niet gelukt/opgegeven.
- Moeilijkheidsgraad:
    1. het werd vlot uitgevoerd;
    2. het werd normaal uitgevoerd;
    3. meer dan normale moeilijkheid;
    4. het was moeilijk;
    5. het was uiterst moeilijk;
    6. onuitvoerbaar.

Bovendien werd een ja/neen vraag gesteld of het gesimuleerde manoeuvre ook in realiteit uitgevoerd zou worden.

Bij de bespreking van de simulaties worden deze beoordelingen in tabelvorm voorgesteld per scenario.

4.3.2 Grafieken

Het verloop van de belangrijkste parameters tijdens de simulatie wordt weergegeven aan de hand van grafieken (zie Bijlage 3). In deze grafieken worden op drie pagina's de belangrijkste parameters voorgesteld in functie van de tijd:

- Pagina 1: Manoeuvreercondities:
    - Snelheid
        - langsscheepse snelheid van het schip gemeten over de grond [kn];
        - dwarsscheepse snelheid van het schip gemeten over de grond (positief naar stuurboord) [kn];
        - giersnelheid van het schip gemeten over de grond (positief over stuurboord) [°/min];

  - Roerwerking
    - stand hoofdroer (positief naar bakboord) [°];
  - Schroefwerking
    - schroeftoerental van hoofdschroef [rpm];
  - Boegschroef en hekschroef
    - Toerental boegschroef (positief naar stuurboord) [rpm];
    - Toerental hekschroef (positief naar stuurboord) [rpm];
  - Sleepbootassistentie
    - Stuwkracht geleverd door elk van de sleepboten die deelnamen aan de simulatie [ton]

- Pagina 2: Omgevingscondities:
  - Stroom
    - langsscheepse stroomsnelheid [kn];
    - dwarsscheepse stroomsnelheid (positief naar stuurboord) [kn];
    - giersnelheid van de stroom (positief over stuurboord) [°/min];
  - Relatieve wind
    - relatieve windsnelheid [m/s];
    - windrichting t.o.v. schip (positief naar stuurboord) [°];
  - Absolute wind
    - absolute windsnelheid [m/s];
    - windrichting t.o.v. Noorden (positief in wijzerzin) [°];
  - Waterdiepte
    - Diepte midscheeps [m].

- Pagina 3: Contacten:
  - Dwarse beweging van de boeg
    - Dwarse beweging ter hoogte van de voorste loodlijn [kn];
  - Indrukking hoekfendering
    - Indrukking van de fender met vermelding naam fender [m];
  - Indrukking drijfraam
    - Indrukking drijfraam met vermelding naam fender [m]
  - Totale krachten gerefereerd aan middenschip ten gevolge van contacten
    - Kracht (X) in langsscheepse richting [ton];
    - Kracht (Y) in dwarsscheepse richting [ton];
    - Giermoment (N) [ton.m].

4.3.3 KMZ-output

De meeste intuïtieve manier om het verloop van de simulaties voor te stellen is een presentatie van de simulaties in Google Earth™ door middel van de KMZ-bestanden die digitaal toegevoegd werden aan dit rapport. In deze KMZ-bestanden wordt het vaartraject weergegeven samen met dezelfde grafieken welke deel uit maken van Pagina 1: Manoeuvreercondities, beschreven in §4.3.2.

Bijlage 4 biedt een handleiding bij het gebruik van de KMZ-bestanden in Google Earth™.

5 Resultaten Achterhaven

Er werden tijdens deze studie elf simulaties uitgevoerd naar de Achterhaven van Zeebrugge. Twee simulaties betroffen gekoppelde simulaties waarbij scheepsontmoetingen in het Verbindingskanaal onderzocht werden. Het aantal simulaties naar de Achterhaven was in deze studie relatief laag. Dit heeft te maken met de verregaande optimalisatie (breedte Verbindingskanaal van initieel 90 m naar 195 m in variant V3H, zie §3.1.2) die uitgevoerd werd op het projectontwerp naar aanleiding van de eerste simulatiestudie (Verwilligen *et al.*, 2021). De simulaties dienden aan te tonen dat het aangepaste ontwerp V3H (§3.1.2), dat voldoet aan de aanbevelingen uit Verwilligen *et al.* (2021), gevalideerd kon worden.

Tabel 7 presenteert een overzicht van de condities waarbij de simulaties naar de Achterhaven uitgevoerd werden. De bespreking van deze simulaties zal gegroepeerd worden volgens onderstaande manoeuvres:

1. sluisuitvaart;
2. sluisinvaart;
3. ontmoetingen Verbindingskanaal.

Tabel 7 – Condities simulaties Achterhaven

Simu-latie	Sluis-traject	Schip	Sleep-boten	Wind-Kracht	Wind-richting	Reserve	Moeilijk-heids-graad	Aanvaard-baarheid
			[BP tons]	[Bft]	[-]	[-]	[-]	[-]
HW_01	In	NSZ	65+80	5	WZW	3	3	JA
HW_02	Uit	NSZ	65+80	6	WZW	-	-	-
HW_03	Uit	NSZ	65+80	6	WZW	3	3	JA
HP_04	In	NSZ	65+80	6	O	5	4	JA
HP_05	Uit	NSZ	65+80	6	O	2	2	JA
HW_06	In	NSZ	65+80	6	WZW	3	4	JA
HW_07	In	NSZ	65+80	6	NO	3	4	JA
HP_08	In	NSZ	65+80	5	O	3	3	JA
HW_09	In	NSZ	65+80	6	WZW	5	3	JA[6]
HW_10	In	Mark-V	65+80	5	WZW	3	3	JA
HW_11	In	Mark-V	65+80	6	WZW	3	3	JA
HW_10	Uit	Mark-V	65+80	5	WZW	3	3	JA
HW_11	Uit	Mark-V	65+80	6	WZW	3	3	JA

[6] Mits aanpassing aan configuratie afgemeerde schepen.

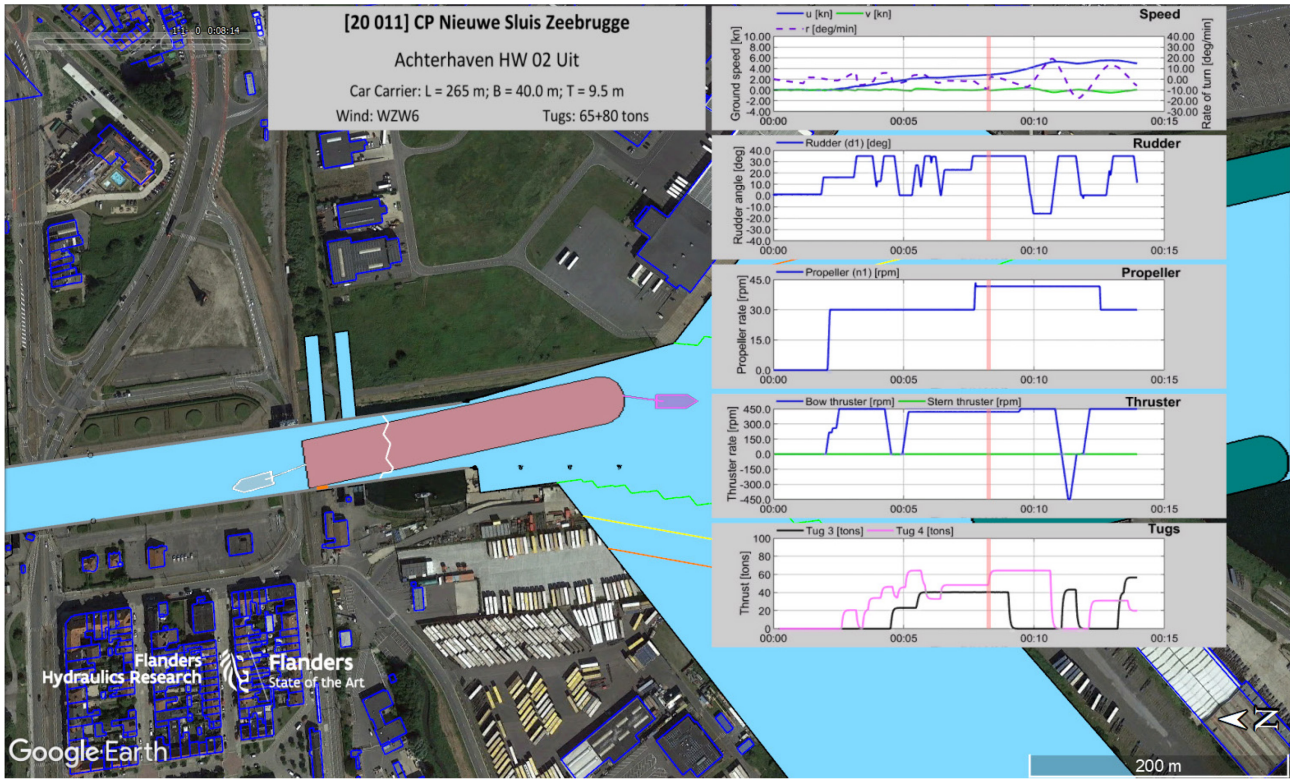
5.1 Sluisuitvaart

Uit Tabel 7 blijkt dat er drie uitvaarten uitgevoerd werden met het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge.

5.1.1 Simulatie 02

Een eerste sluisuitvaart werd gesimuleerd in Simulatie 02 bij een zuidwestelijke windrichting met kracht 6 Beaufort. Het betrof de eerste simulatie die door deze loods uitgevoerd werd. De loods ondervond problemen met het positioneren van het schip op basis van het op de simulator aangeboden perspectiefzicht. Hierdoor werd het achterschip op erg korte afstand van de westelijke kolkmuur gehouden en verliet het schip de sluis bij een ongunstige drifthoek (zie Figuur 41). Er kan opgemerkt worden dat, voorafgaand aan het tijdstip weergegeven in Figuur 41, een relatief intensief gebruik van voorste sleepboot (75%) en boegschroef (100%) niet kon verhelpen dat de boeg in belangrijke mate verlijerde. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de voorste sleepboot slechts gevraagd werd om een erg kleine hoek naar stuurboord toe te passen en dat er door het opsturen van het achterschip een ongunstige drifthoek ten opzichte van de wind gerealiseerd wordt. Hoewel de loods aangaf dat de ongunstige uitgangspositie uit de sluis voornamelijk te wijten was aan de verkeerde interpretatie van het simulatorbeeld door de loods, werd opgemerkt dat de sleepboot vooraan met kracht 65 ton, slechts gepaard gaat met een beperkte reserve ten opzichte van een dwarse wind met kracht 6 Beaufort.

Simulatie 02 werd beschouwd als een gewenningsvaart en kreeg bijgevolg geen verdere beoordeling. Door de ongunstige uitvaarconditie uit de sluis, werd de simulatie afgebroken na het passeren van de Vismijn.



Figuur 41 – Positie schip tijdens sluisuitvaart naar Achterhaven in simulatie 02

5.1.2 Simulatie 03

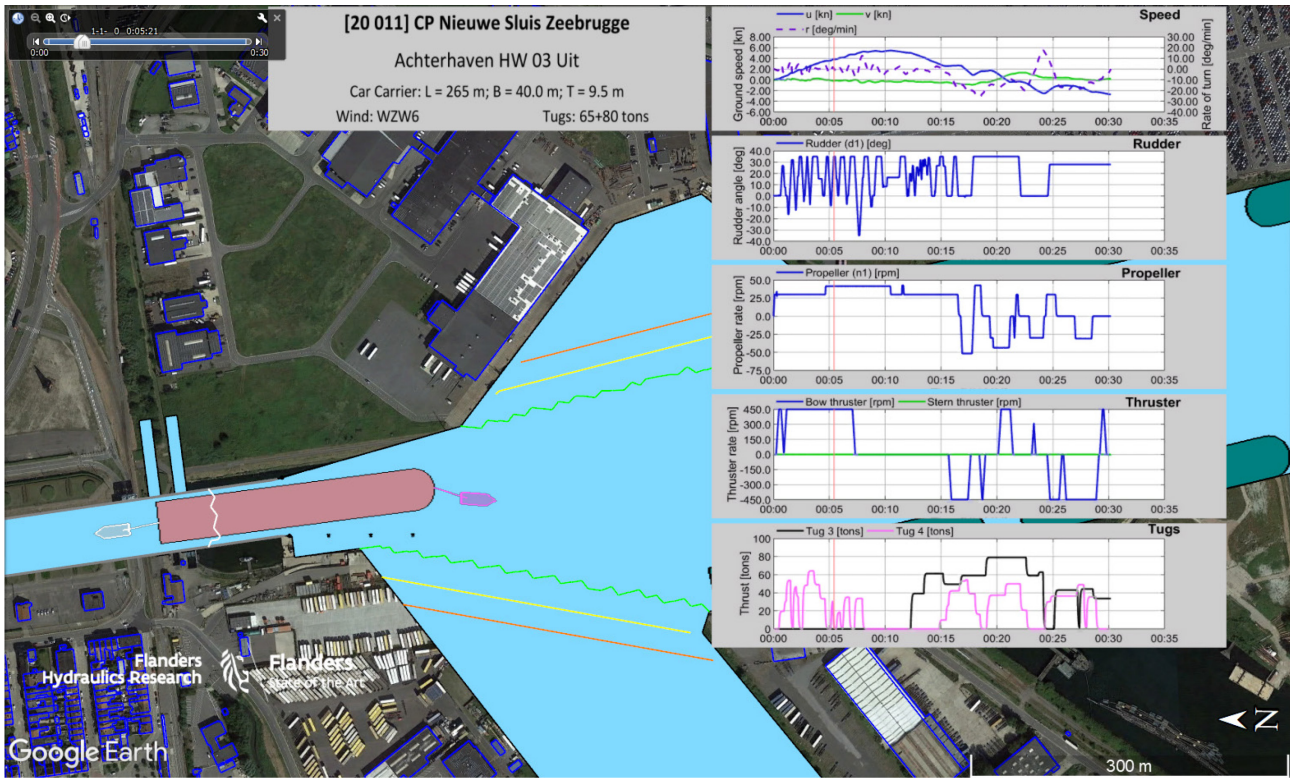
In Simulatie 03 werden dezelfde condities als in simulatie 02 herhaald maar werd de simulatie uitgevoerd door een andere loods. Uit Figuur 42 blijkt nu een gunstigere uitvaarpositie gerealiseerd te kunnen worden. Om de boeg voldoende hoog ten opzichte van de wind te kunnen ophouden, was er een belangrijk gebruik van boegschroef en voorste sleepboot noodzakelijk terwijl het schip zich in de sluis bevond (tot 06'00''). De loodsen merkten op dat ze in realiteit een minder grote kracht noodzakelijk achten om de boeg te controleren tegen de wind. Enerzijds wordt dit verklaard door de afwezigheid van windafscherming in de simulatieomgeving (waar een schip in een sluis zich in realiteit gedeeltelijk in de luwte van de kolk zal bevinden) en anderzijds het niet in rekening brengen van een verhoogd effect van de boegschroef op korte dwarsafstand van de kolkmuur.

Er werd in deze simulatie opgemerkt dat de openingshoek van de sluisaanloop zeker niet minder dan 8° mag bedragen. De ontwerpwaarde toegepast in variant V3H werd anderzijds wel gevalideerd.

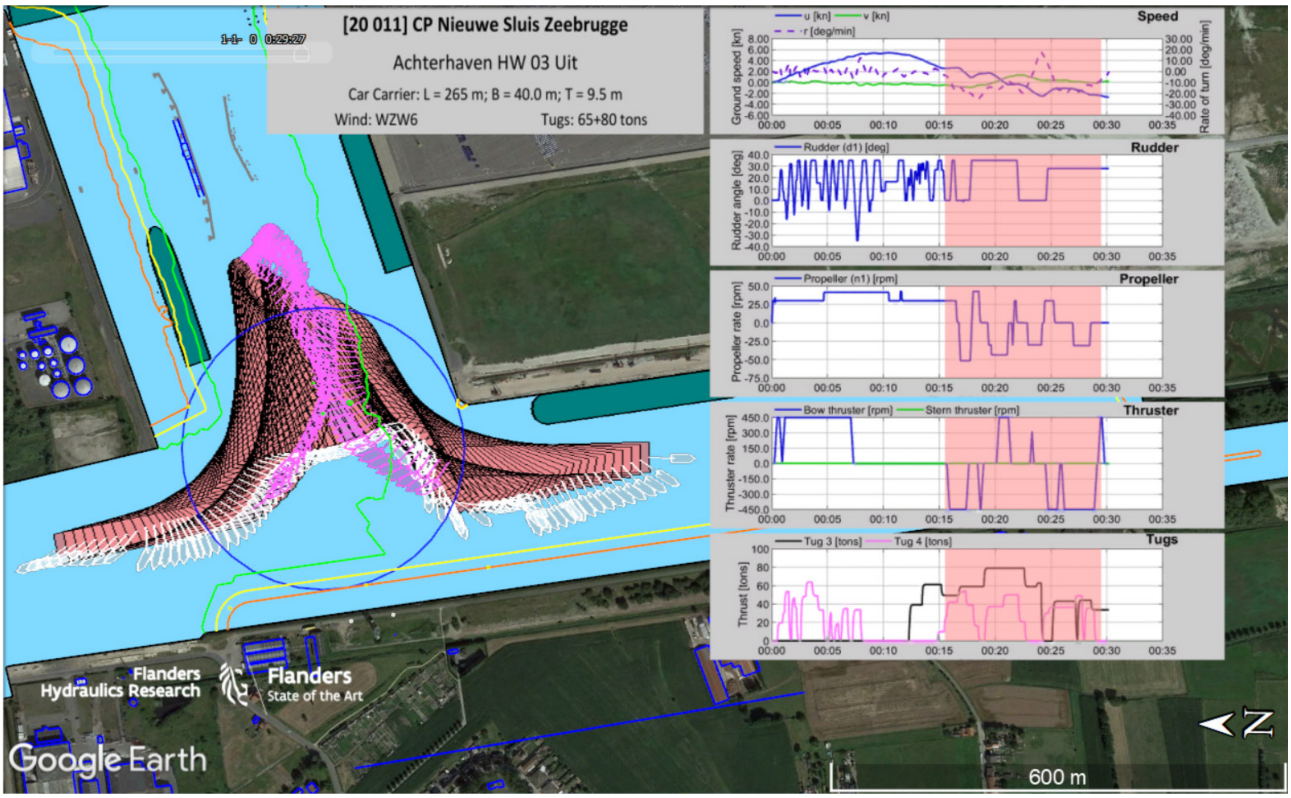
Door de moeilijke controle van het schip tegen de wind, werd de vaarsnelheid in het Verbindingskanaal opgedreven tot 5.8 kn. Bij snelheden hoger dan 5 kn werd er echter geen gebruik gemaakt van de voorste sleepboot, aangezien deze bij dergelijke snelheden slechts een lage effectiviteit heeft. Er werd gesteld dat de vaarsnelheid in het Verbindingskanaal eigenlijk niet boven de 5 kn zou mogen uitkomen.

In simulatie 03 werd aangenomen dat het opvarende schip een bestemming had op de zuidelijke ligplaats in het Boudewijnkanaal. Aangezien RoRo-ferries steeds met de stuurboordzij dienen af te meren, diende het schip een zwaaimanoeuvre uit te voeren in de zwaaicirkel ten westen van het Verbindingsdok (zie Figuur 43). De beschikbare ruimte werd hiervoor positief beoordeeld.

De beschikbare reserve aan de boeg bij assistentie door een 65 ton voorboot werd beperkt ervaren bij een dwarse windrichting bij kracht 6 Beaufort. Om deze reden werd de simulatie beoordeeld als gelukt met weinig reserve en meer dan normale moeilijkheidsgraad. Het ontwerp werd gunstig geëvalueerd.



Figuur 42 – Positie schip tijdens sluisuitvaart naar Achterhaven in simulatie 03



Figuur 43 – Uitvoering zwaaimanoeuvre over bakboord in Achterhaven in simulatie 03

5.1.3 Simulatie 05

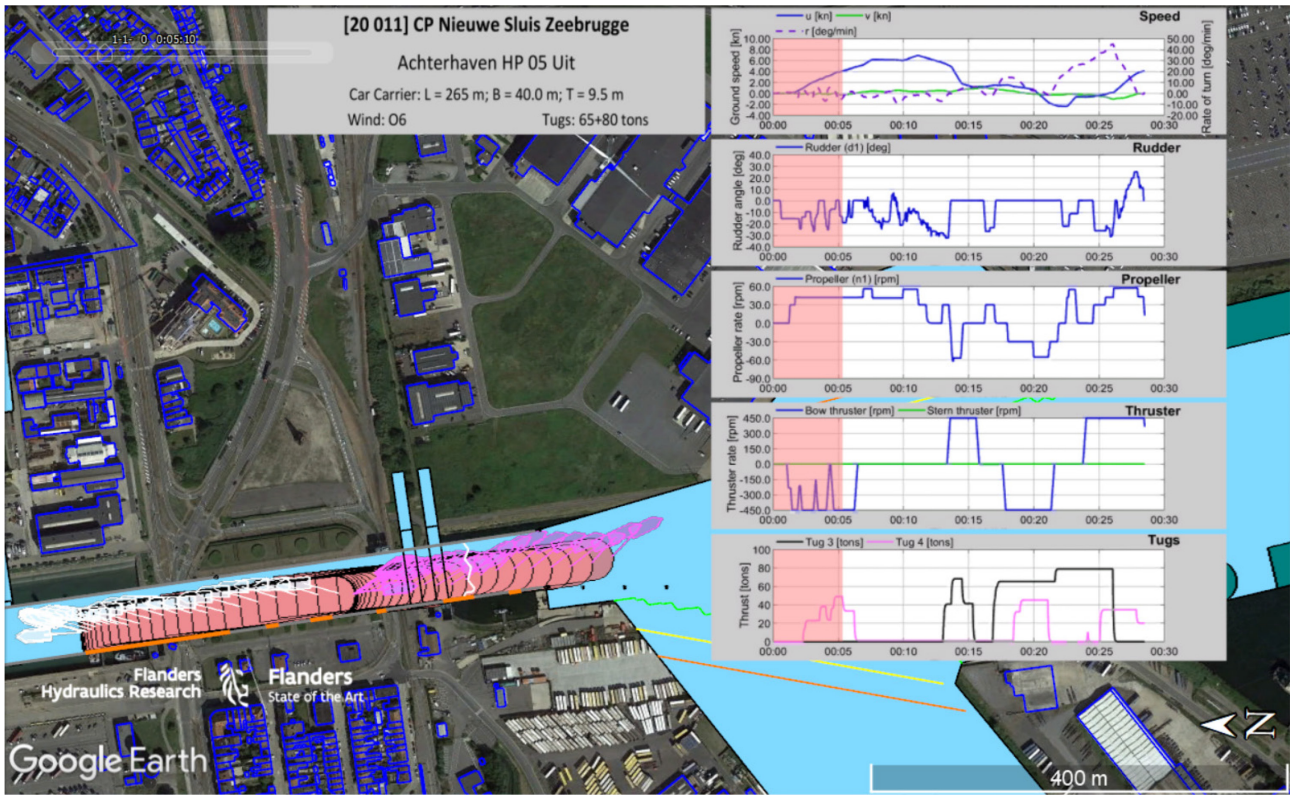
Ook simulatie 05 werd op de eerste simulatiedag uitgevoerd, door de loods die ook de eerste sluisuitvaart in simulatie 02 uitvoerde. In tegenstelling tot eerdere sluisuitvaarten werd nu een oostelijke windrichting onderzocht.

Uit Simulatie 02 bleek reeds dat de uitvoerende loods moeilijkheden had om de positie van het schip ten opzichte van de sluis correct te interpreteren op de simulator. Dit gaf ook in deze simulatie aanleiding tot verschillende contacten met het drijfraam en de kolkmuur tijdens de sluisuitvaart (zie Figuur 44).

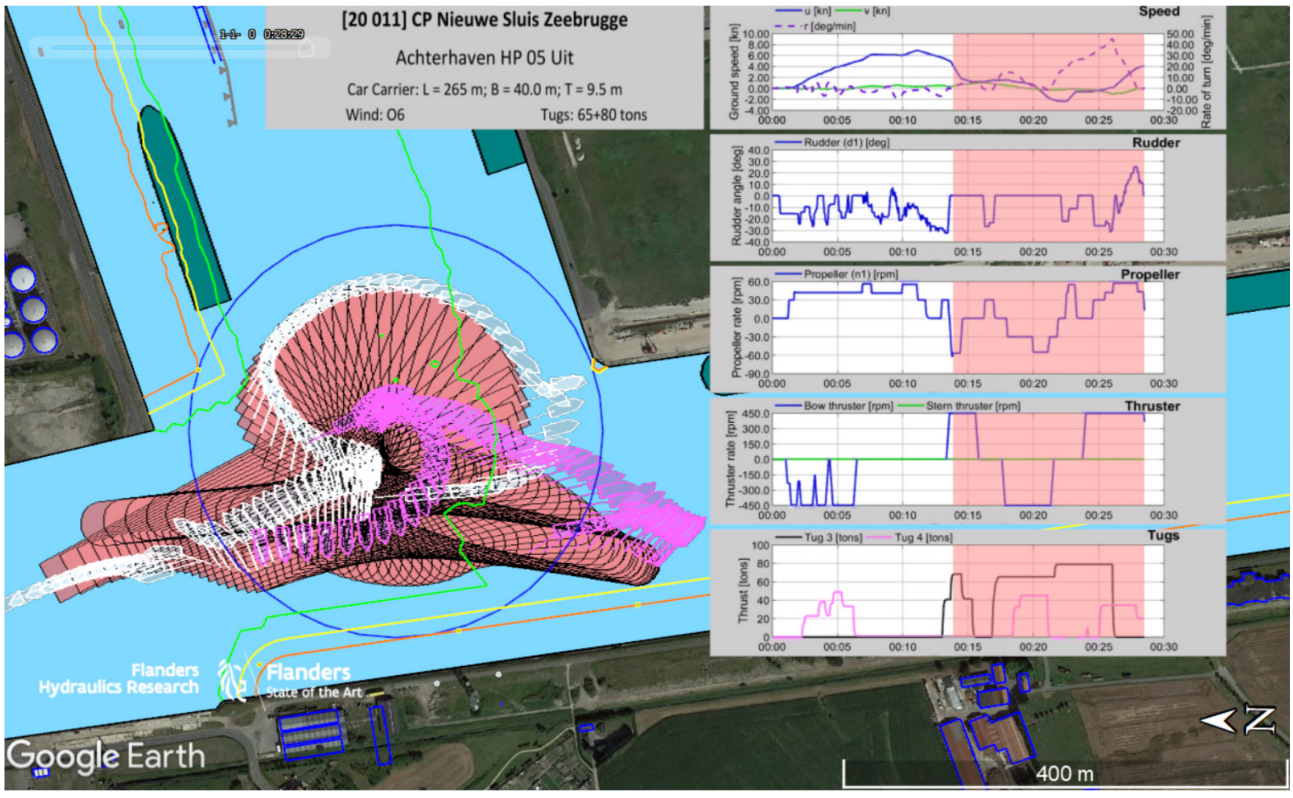
Bij het varen in het Verbindingskanaal werd de snelheid opgedreven tot 7 kn. Nochtans hadden de loodsen eerder aangegeven dat de snelheid in het Verbindingskanaal bij belangrijke dwarswind beter beperkt wordt tot 5 kn, opdat de voorste sleepboot nog zou kunnen assisteren. Tijdens de toepassing van hoge vaarsnelheden in het Verbindingskanaal werd de voorboot niet toegepast.

De bestemming van het schip betrof de zuidoostelijke ligplaats in het Verbindingskanaal. Om op deze locatie aan stuurboord af te meren, diende het schip eerst 180° gezwaaid te worden. Hoewel de loodsen achteraf toegaven dat een dergelijk zwaaimanoeuvre bij oostenwind steeds over bakboord uitgevoerd zou worden, werd er in deze simulatie voor gekozen om het zwaaimanoeuvre over stuurboord uit te voeren (als argumentatie gaf de loods de gunstige werking van het schroefeffect aan bij een zwaaimanoeuvre over stuurboord). Hoewel de beschikbare ruimte zich beter leent voor een zwaaimanoeuvre over bakboord, kon ook in deze simulatie een aanvaardbaar zwaaimanoeuvre over stuurboord uitgevoerd worden.

Tijdens de nabespreking van simulatie 05 bleek dat de uitvoering van de simulatie niet ideaal was, maar dat de beschikbare ruimte en het ontwerp voldoende was om op aanvaardbare manier het gevraagde manoeuvre uit te voeren. Bijgevolg werd een gunstige beoordeling toegekend aan de simulatie. Er werd gesteld dat de simulatie uitgevoerd werd met voldoende reserve en normale moeilijkheidsgraad.



Figuur 44 – Weergave van contacten tussen schip en drijfraam of kolkmuur tijdens sluisuitvaart in simulatie 05



Figuur 45 – Uitvoering zwaaimanoeuvre over stuurboord in Achterhaven in simulatie 05

5.2 Sluisinvaart

Er werden vanuit verschillende ligplaatsen in de Achterhaven zes sluisinvaarten uitgevoerd.

5.2.1 Simulatie 01

De eerste simulatie die uitgevoerd werd, betrof een afvaart van op een positie in de oostelijke haven die bijgevolg gepaard ging met een passage van de nieuwe brug over het Verbindingsdok. De simulatie werd aangevat ter hoogte van de monding van het Zuidelijke Insteekdok.

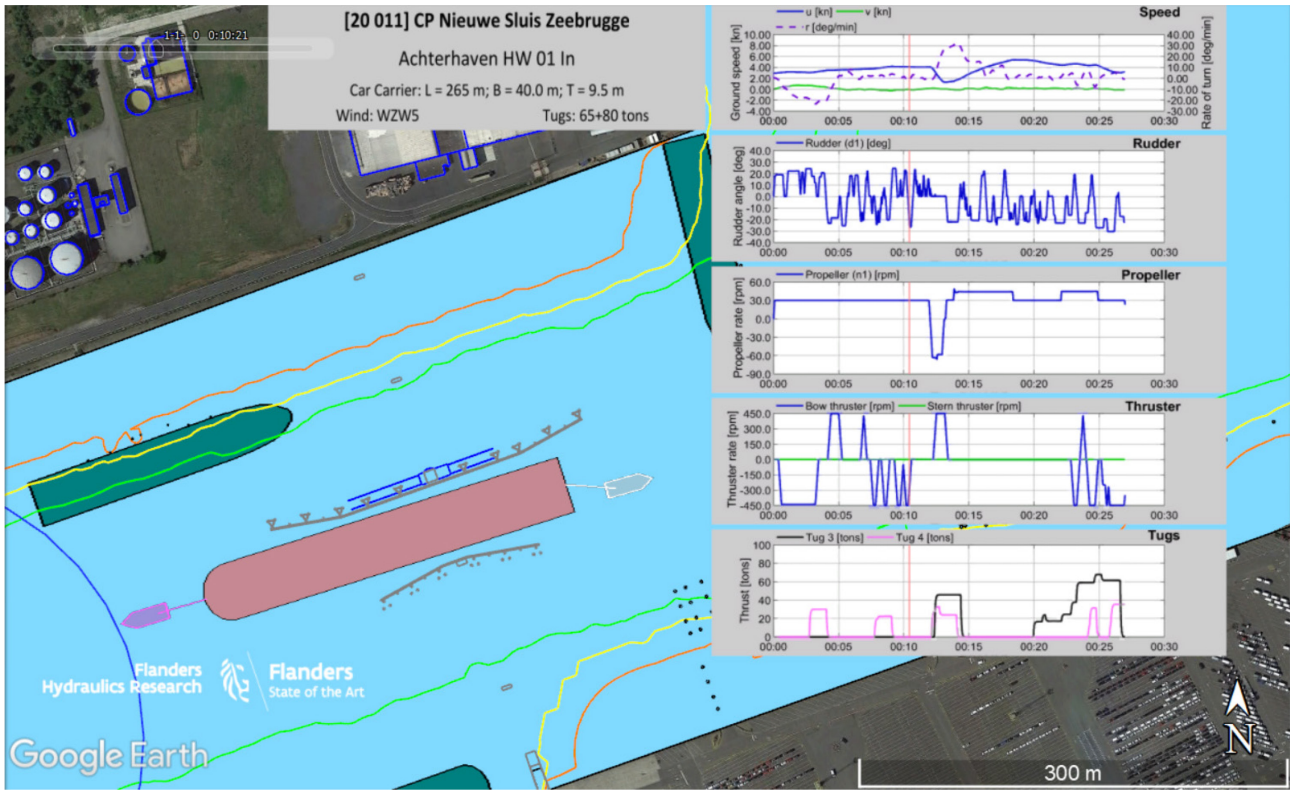
Doordat simulatie 01 de eerste simulatie betrof, werd deze uitgevoerd bij een windkracht gelijk aan 5 Bft bij windrichting WZW. Deze windrichting is relatief gunstig voor de uitvoering van de brugpassage. De brugpassage kon dan ook uitgevoerd worden met een beperkt gebruik van de sleepboten (enkel de voorboot werd tot maximaal 30% stuwkracht ingezet) en zonder contact te maken met de brugfendering. Ook het daaropvolgende bochtmanoeuvre naar het Verbindingskanaal kon vlot uitgevoerd worden met een matig gebruik van de sleepboten (tot maximaal 50% stuwkracht).

De doorvaart van het Verbindingskanaal werd uitgevoerd aan 5 kn. Deze snelheid werd slechts in beperkte mate afgebouwd bij de sluisinvaart (4.5 kn) wat door de loods als normaal beschouwd werd[7]. De sluisinvaart werd gecontroleerd uitgevoerd tot op het ogenblik dat de boeg zich in de sluis bevond. Op dat ogenblik besloot de loods om de achterboot niet langer recht achteruit te laten te trekken, maar onder een hoek naar het westen (om ook het achterschip tegen de wind op te trekken). Doordat op datzelfde ogenblik de voorboot zich binnen de kolk bevond en bijgevolg slechts een beperkte dwarskracht kan uitoefenen op de boeg om de kracht op het achterschip te compenseren, verlijerde de boeg tot tegen de drijframen (de simulatie werd beëindigd voordat er contact optrad).

De loods oordeelde dat het evenwicht tot de wind moeilijk te vinden was en oordeelde dat, ondanks de windkracht gelijk aan 5 Beaufort, de simulatie gepaard ging met weinig reserves en een meer dan normale moeilijkheidsgraad. Toch wordt de beschikbare ruimte voor de uitvoering van de manoeuvres gunstig geëvalueerd.

In de marge van deze simulatie merken de loodsen op dat de passage van de brug met het ontwerpschip van de Nieuwe Sluis Zeebrugge gepaard zal gaan met een belangrijk risico op contact (met name voor dwarse windrichtingen ten opzichte van het Verbindingsdok).

[7] De sluisinvaarsnelheden die door de havenloodsen toegepast werden, waren merkelijk hoger dan deze toegepast door de kustloodsen die deelnamen aan de studie. Deze vaststelling kan ook gemaakt worden wanneer de invaarsnelheden tot de Pierre Vandammesluis geanalyseerd worden op basis van AIS-gegevens.



Figuur 46 – Uitvoering brugpassage bij WZW5 in simulatie 01

5.2.2 Simulatie 04

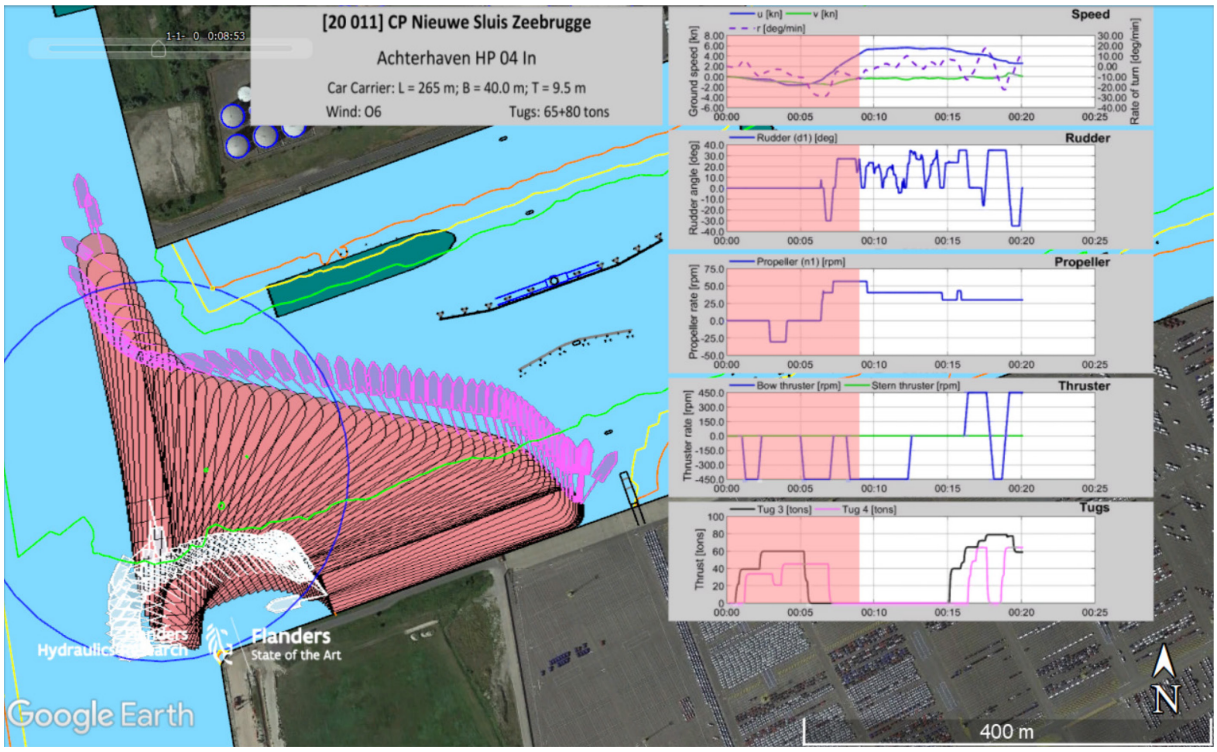
Simulatie 04 werd uitgevoerd bij een oostelijke wind met kracht 6 Beaufort. De simulatie werd aangevat met het schip afgemeerd aan de ligplaats Bastenaken-West ten zuidwesten van het Verbindingsdok. De beschikbare ruimte in de zwaaizone bleek voldoende om het vertrekmanoeuvre vanaf deze kaai vlot te kunnen uitvoeren (zie Figuur 47).

De simulatie werd uitgevoerd door dezelfde loods die eerder simulatie 02 uitvoerde. Net als in andere simulaties had deze loods ook in stimulatie 04 moeilijkheden om het schip te controleren ten opzichte van de wind. Deze moeilijkheden waren voornamelijk ingegeven door de moeilijke positionering op simulator die door deze loods ervaren werd. Hierdoor werd de sluisnadering erg ongecontroleerd uitgevoerd, waarvan de vaarbaanplot in Figuur 48 als illustratie toegevoegd wordt. Bij een gecontroleerde sluisnadering wordt het schip op ruime afstand van de sluis opgelijnd, om in een zo stabiel mogelijk conditie de sluis in te varen. De beschikbare ruimte in het Verbindingskanaal laat ook een gecontroleerde oplijning naar de sluis toe, maar zoals blijkt uit Figuur 48, slaagde de loods er niet in om tijdens het oplijnen een evenwicht te realiseren tussen de windkracht enerzijds en de manoeuvreerhulpmiddelen (sleepboten, boegschroef en roer) anderzijds. Een erg duidelijke illustratie hiervan betreft ook de dwarse snelheid van de boeg (zie Figuur 49). Bij het positioneren van een schip naar de sluis wordt er getracht om de boeg gecontroleerd in de kolk te brengen. Hierbij worden de dwarssnelheden van de boeg zo laag mogelijk gehouden bij de sluisaanloop en de sluisinvaart. Uit Figuur 49 blijkt dat voorafgaand en tijdens de sluisinvaart (18’12’’) de dwarssnelheden ter hoogte van de boeg afwisselend waarden tussen 1 kn naar bakboord en 1.5 kn naar stuurboord bedroegen.

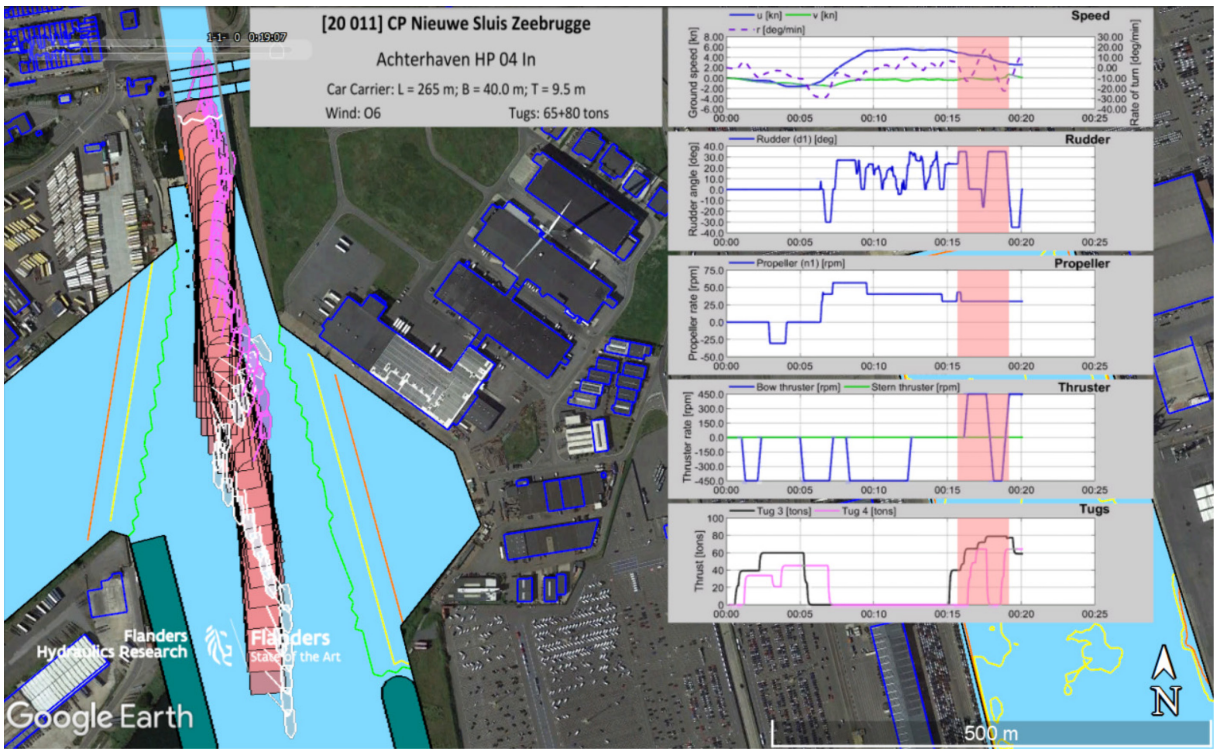
Uiteindelijk resulteerde de ongecontroleerde sluisinvaart in een belangrijke impact tussen het schip en de buispaal aan de westzijde van de sluis enerzijds en een gelijktijdig contact tussen de boeg en de westelijke kolk anderzijds (zie Figuur 50). Uit Bijlage 3 blijkt dat de bijhorende verplaatsing van de buispaal ca. 0.7 m bedraagt (dit is meer dan waarvoor deze buispaal ontworpen werd).

Er wordt geconcludeerd dat de resultaten uit deze simulatie ongunstig zijn, dat de simulatie moeilijk was en gepaard ging met schade. Toch werd ook gesteld dat het invaarmanoeuvre in principe niet moeilijker of

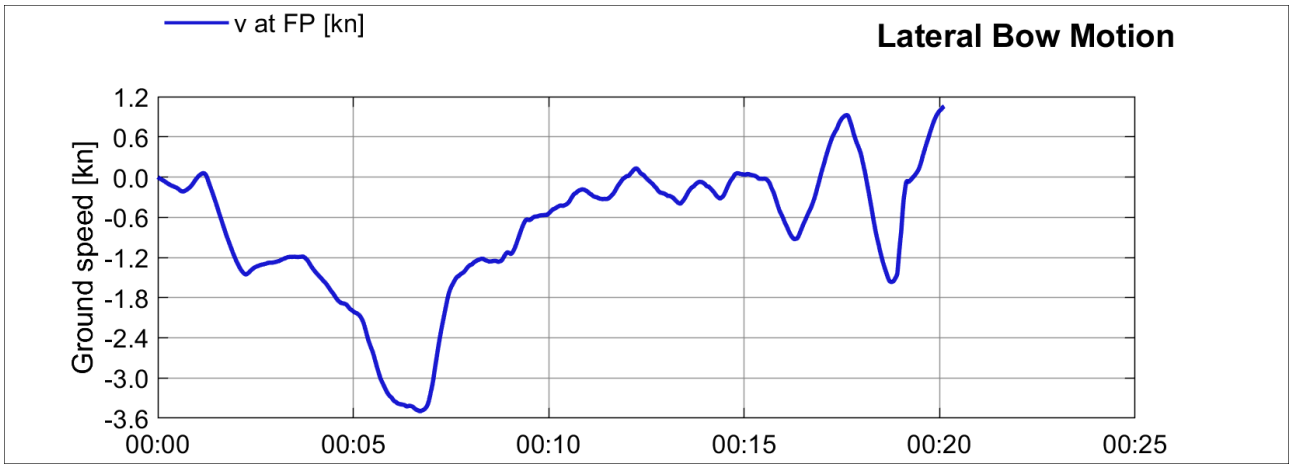
ongunstiger zou mogen zijn dan de bestaande sluisinvaarten naar de Pierre Vandammesluis. De ongunstige resultaten uit de simulatie werden dan ook toegeschreven aan het moeilijk functioneren van de loods op de simulator. Er werd aangenomen dat de sluisinvaart in realiteit gunstig uitvoerbaar zou zijn bij de onderzochte windconditie.



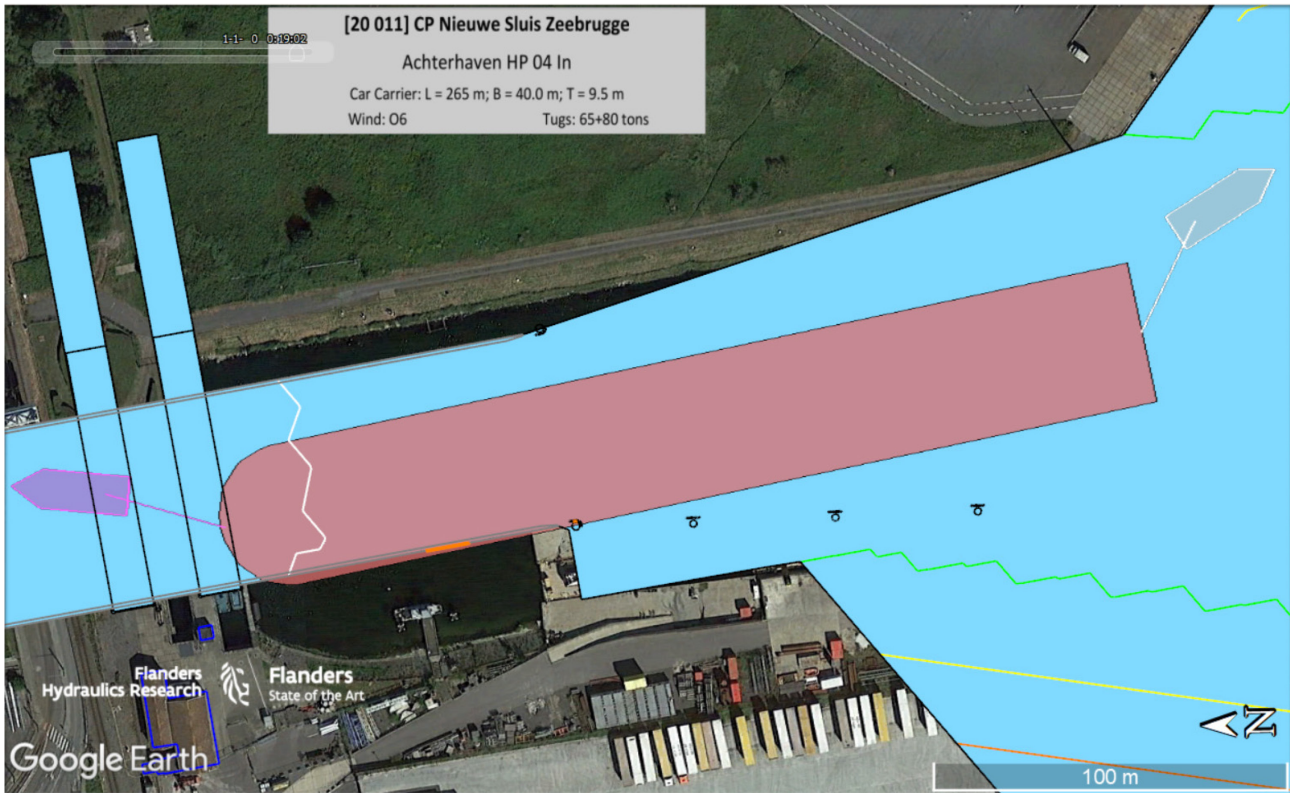
Figuur 47 – Uitvoering vertrekmanoeuvre van ligplaats Bastenaken-West in simulatie 04



Figuur 48 – Ongecontroleerde sluisnadering in simulatie 04



Figuur 49 – Evolutie van de dwarse snelheid van de boeg tijdens simulatie 04 (sluisinvaart om 18’12’’)



Figuur 50 – Gelijktijdig contact tussen westelijke buispaal en kolkmuur in simulatie 04

5.2.3 Simulatie 06

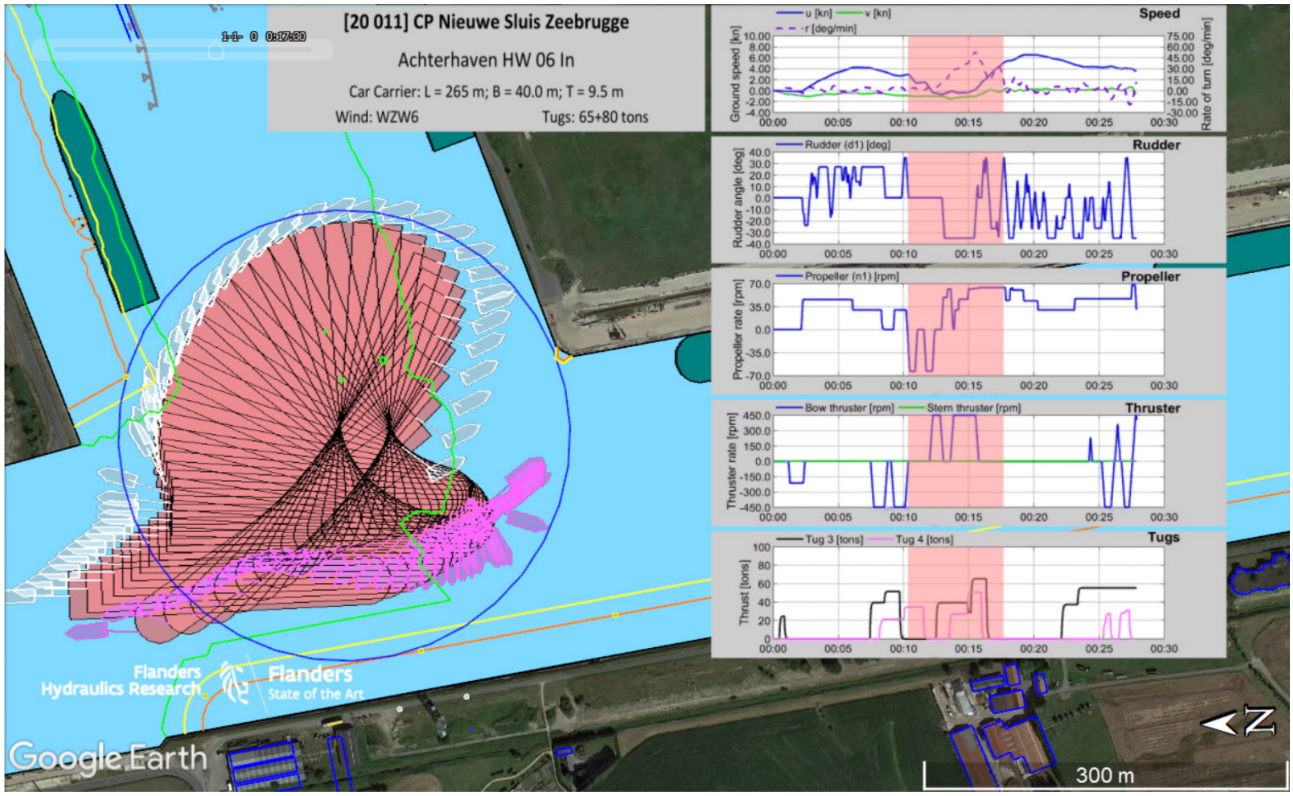
In simulatie 06 werd de simulatie uitgevoerd bij windconditie WZW6 en werd de simulatie aangevat aan een westelijke ligplaats in het Verbindingskanaal. Hierdoor diende in het begin van de simulatie het schip door te varen naar de zwaaiplaats, vervolgens te zwaaien om uiteindelijk terug naar de sluis toe te varen.

Simulatie 06 werd uitgevoerd door de loods die wel slaagde in een correcte positionering van het schip op de simulator.

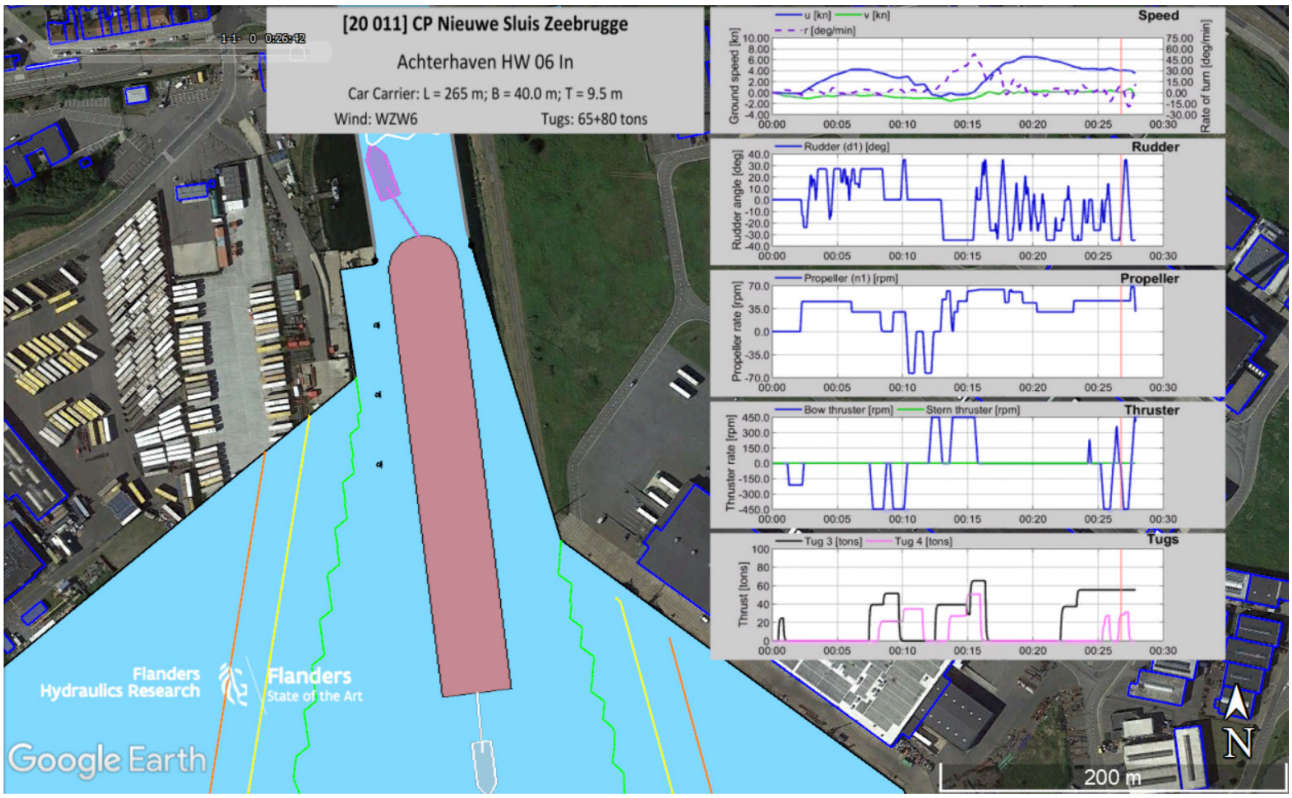
In simulatie 05 (zie §5.1.3) werd een gelijkaardig zwaaimanoeuvre uitgevoerd bij oostenwind. Hoewel in simulatie 05 het zwaaimanoeuvre over stuurboord uitgevoerd werd, werd toen opgemerkt dat bij oostenwind er veelal een voorkeur gegeven zou worden aan zwaaien over bakboord. Bij een westzuidwestelijke windrichting echter zal er meestal over stuurboord gezwaaid worden, zo ook in simulatie 06. Het zwaaimanoeuvre kon gunstig uitgevoerd worden. De loodsen merkten op dat een grotere ervaring met de beschikbare ruimte het manoeuvre nog zou verbeteren aangezien achteraf gezien het schip nog verder zuidelijk zou doorvaren voor het zwaaien aan te vatten. In simulatie 06 kwam het achterschip immers nog relatief dicht (36 m) bij de afgemeerde tanker aan de Tameco-ligplaats terecht. De beschikbare ruimte in de zwaaizone werd positief beoordeeld.

De sluisnadering werd nu vanop een relatief hoge positie uitgevoerd met een kleine koersafwijking in de richting van de wind (zie Figuur 52). Bijgevolg werd het schip de sluis ingedraaid door een maximale roerhoek naar bakboord. Hierdoor verlijerde het schip echter in belangrijke mate en werd het evenwicht met de wind opnieuw verloren en kwam het schip midscheeps in contact met de wielfenders en de drijframen. Bij dit contact werden de twee onderste wielfenders tot 1.5 m ingedrukt en de bovenste wielfender tot 1.28 m. De drie wielfenders werden dus verder ingedrukt dan hun operationele toepassingsgebied en zouden in realiteit dus beschadigd zijn door het contact.

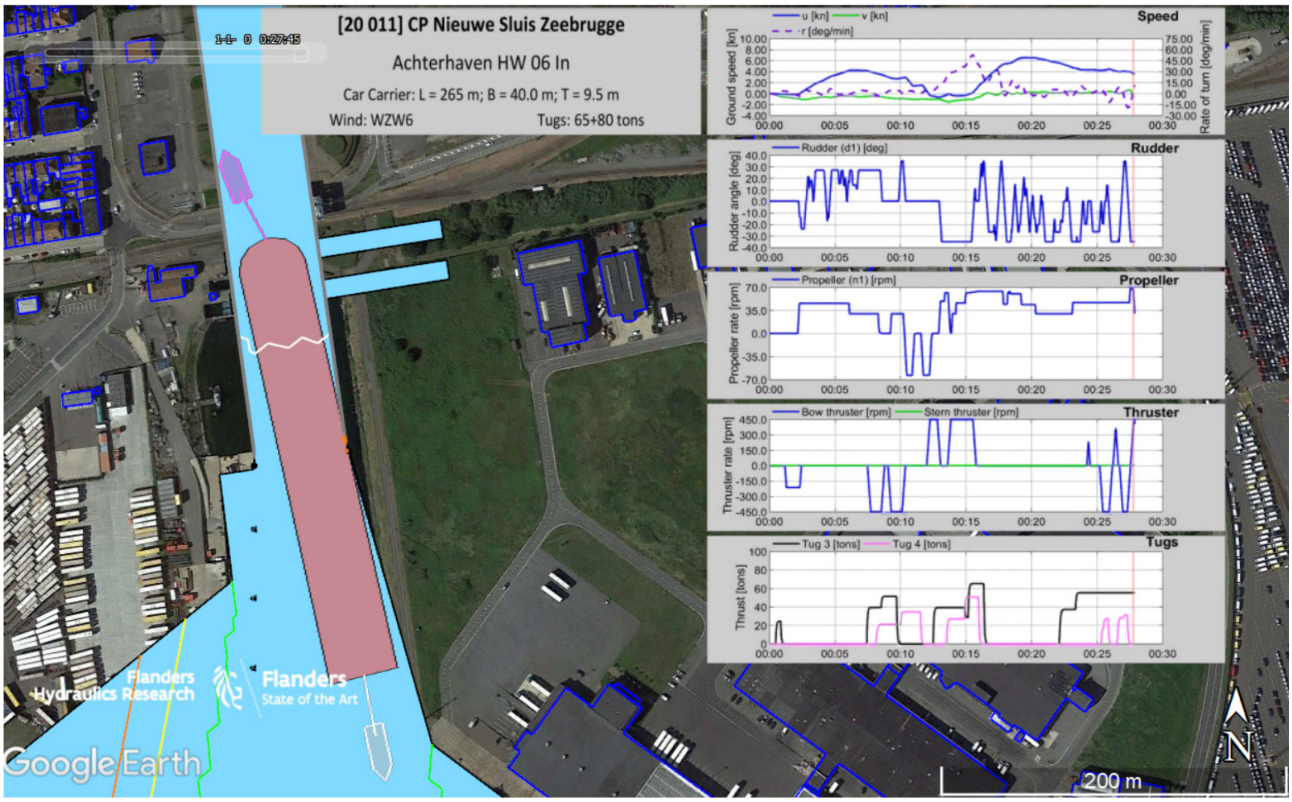
De loodsen oordeelden echter dat in realiteit de boeg beter opgewerkt zou kunnen worden door de boegschroef en de voorste sleepboot, waardoor een maximale roerhoek naar bakboord (de aanleiding voor het incident in simulatie 06) in realiteit niet noodzakelijk zou zijn. Om deze reden wordt de simulatie beoordeeld als een simulatie met meer dan normale moeilijkheid die gepaard ging met een incident zonder schade. Er werd opnieuw herhaald dat het simulatieontwerp een even gunstige nadering van de Nieuwe Sluis Zeebrugge toelaat dan voor de Pierre Vandammesluis.



Figuur 51 – Uitvoering zwaaimanoeuvre in simulatie 06



Figuur 52 – Naderingspositie tot de sluis in simulatie 06



Figuur 53 – Belangrijk contact met wielfenders en drijfraam tijdens sluisinvaart simulatie 06

5.2.4 Simulatie 07

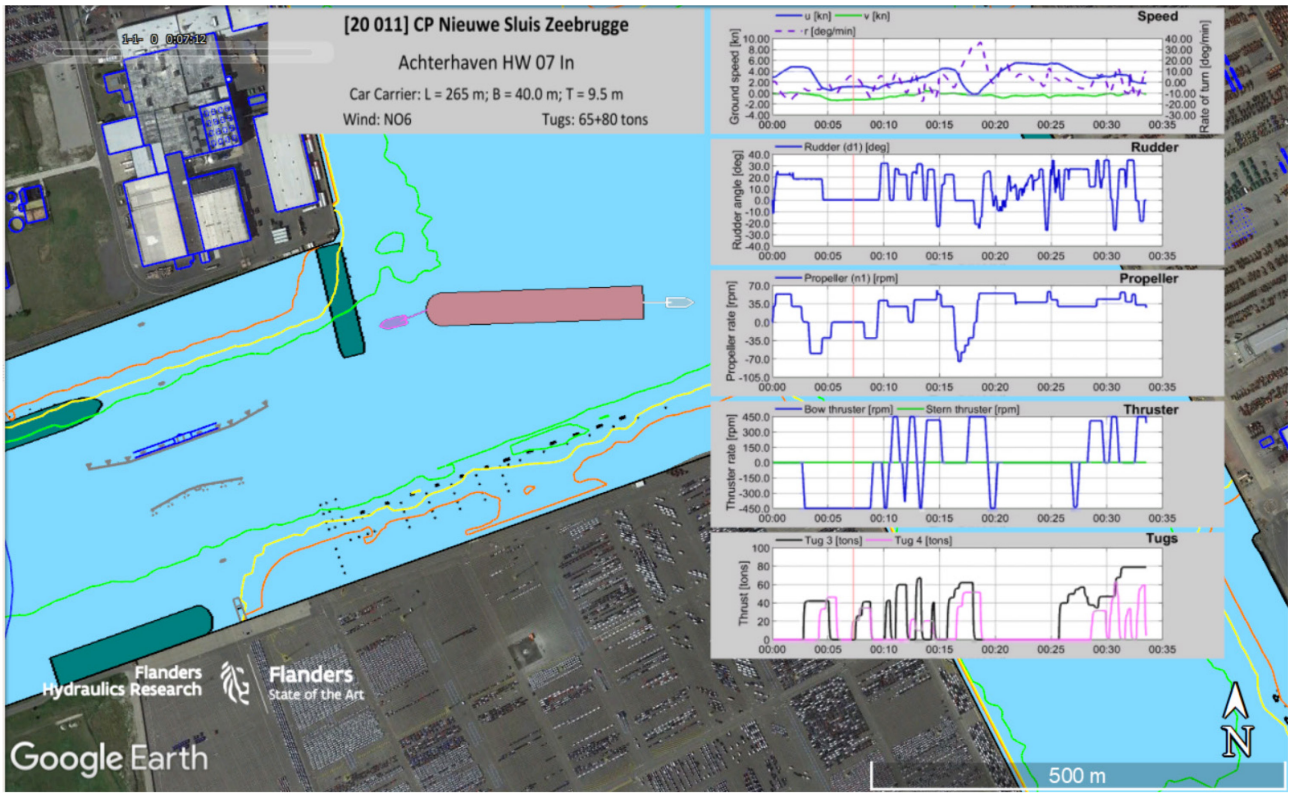
Simulatie 07 werd uitgevoerd vanuit het oostelijke deel van de haven bij een windconditie NO6. De brugpassage diende bijgevolg uitgevoerd te worden bij een relatief dwarse windrichting.

De simulatie werd uitgevoerd door de loods die eerder al problemen had bij het positioneren van het schip op simulator. Ook bij het naderingsmanoeuvre naar de brug kwam dit opnieuw tot uiting.

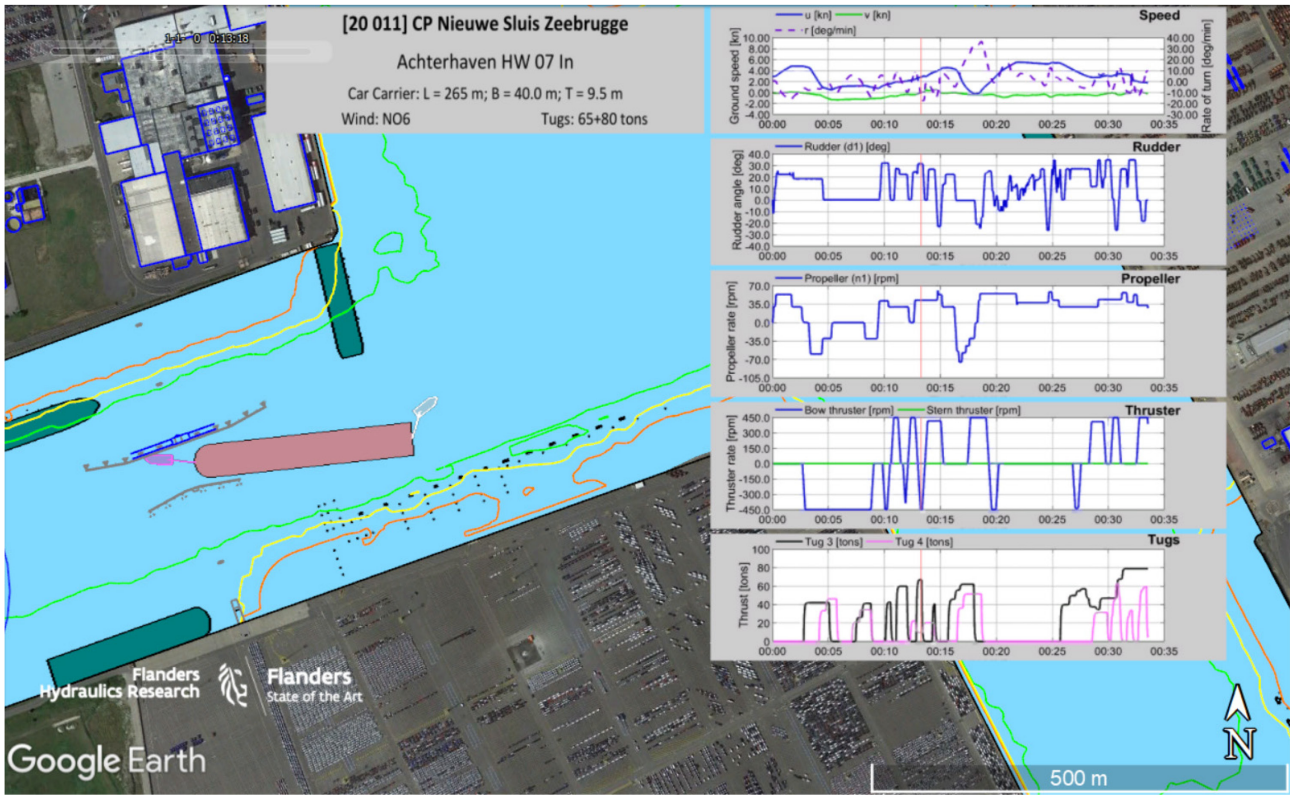
De brug werd vanuit een erg hoge positie en aan een erg lage snelheid genaderd (zie Figuur 54) om uiteindelijk te verlijeren tot een relatief lage positie bij het bereiken van de brug (zie Figuur 55) waarna een contact optrad aan bakboord (zie Figuur 56). Later tijdens de brugpassage trad er ook een contact op aan stuurboord. Hoewel de contacten met de brugfendering deels ingegeven waren door de moeilijke interpretatie van de scheepspositie op de simulator door deze loods, werd bevestigd dat de brugpassage van dit schip, bij een noordoostelijke wind met kracht 6 Beaufort ook in realiteit een hoge waarschijnlijkheid heeft op contacten met de brug.

Een noordoostelijke windrichting is een relatief gunstige windrichting voor de sluisinvaart. Mede door de kopwind, werd de sluisinvaart nu aan relatief lage snelheid uitgevoerd (3 kn)). Toch bleek de loods opnieuw problemen te ervaren met een gunstige positionering van het schip naar de sluis en landde de boeg op de westelijke wielfenders (zie Figuur 57). Merk op dat tijdens het contact met de wielfenders de boegschroef niet toegepast werd. Dit illustreert dat de loods zich niet bewust was van het contact (en dat dit dus grotendeels te wijten is aan de moeilijkheden die de loods had met de positionering op simulator). Doordat het contact met de wielfenders optrad ter hoogte van de boeg, en de boeg een belangrijke uitwaaiering vertoont op die langspositie (zie Figuur 3), wordt voornamelijk de bovenste wielfender ingedrukt (tot 2.3 m). De tweede wielfender werd maximaal tot 0.5 m ingedrukt en de onderste wielfender werd niet geraakt.

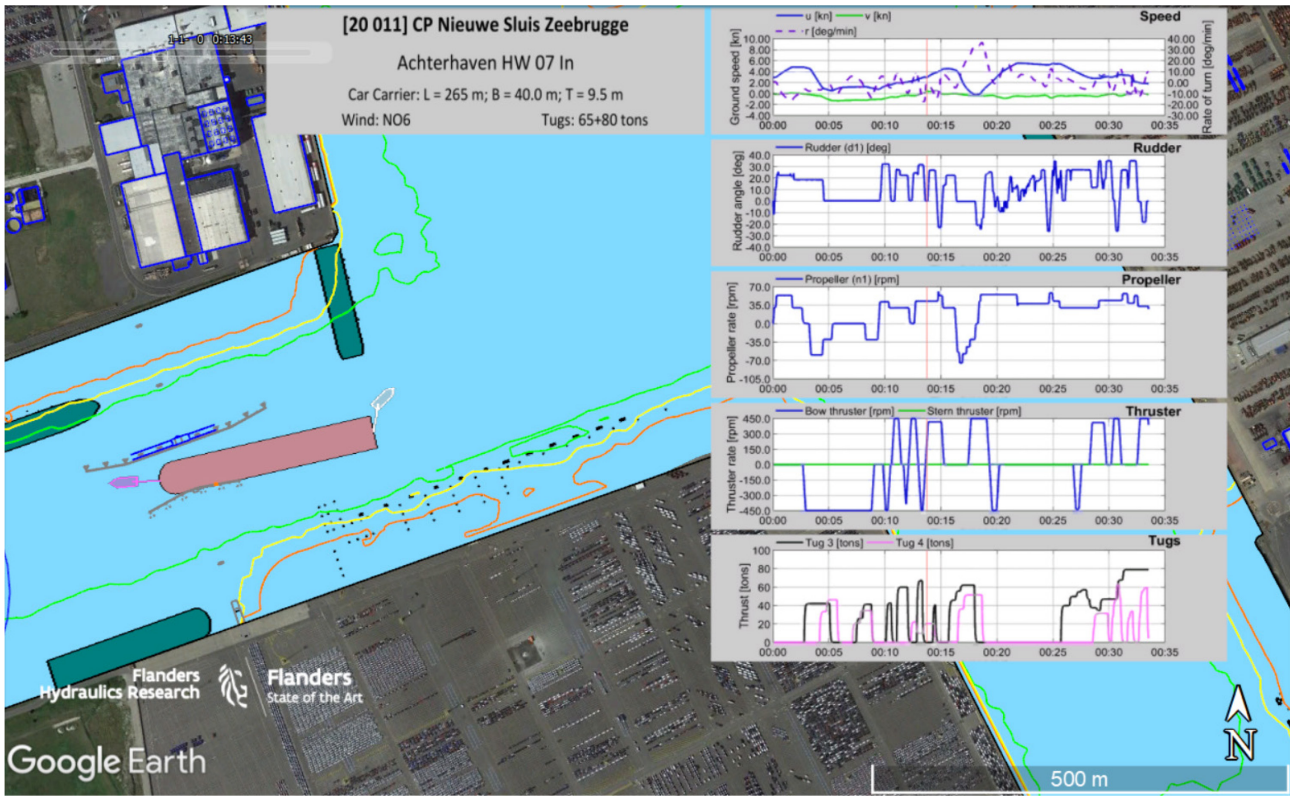
Hoewel in deze simulatie de bovenste wielfender verder ingedrukt werd dan aanvaardbaar, werd de simulatie toch beoordeeld als beëindigd met incidenten zonder schade. Dit omdat de resultaten in de simulator in belangrijke mate bepaald werden met de moeilijkheden van de loods met de interpretatie van het simulatorbeeld. Er werd gesteld dat de simulatie moeilijk was.



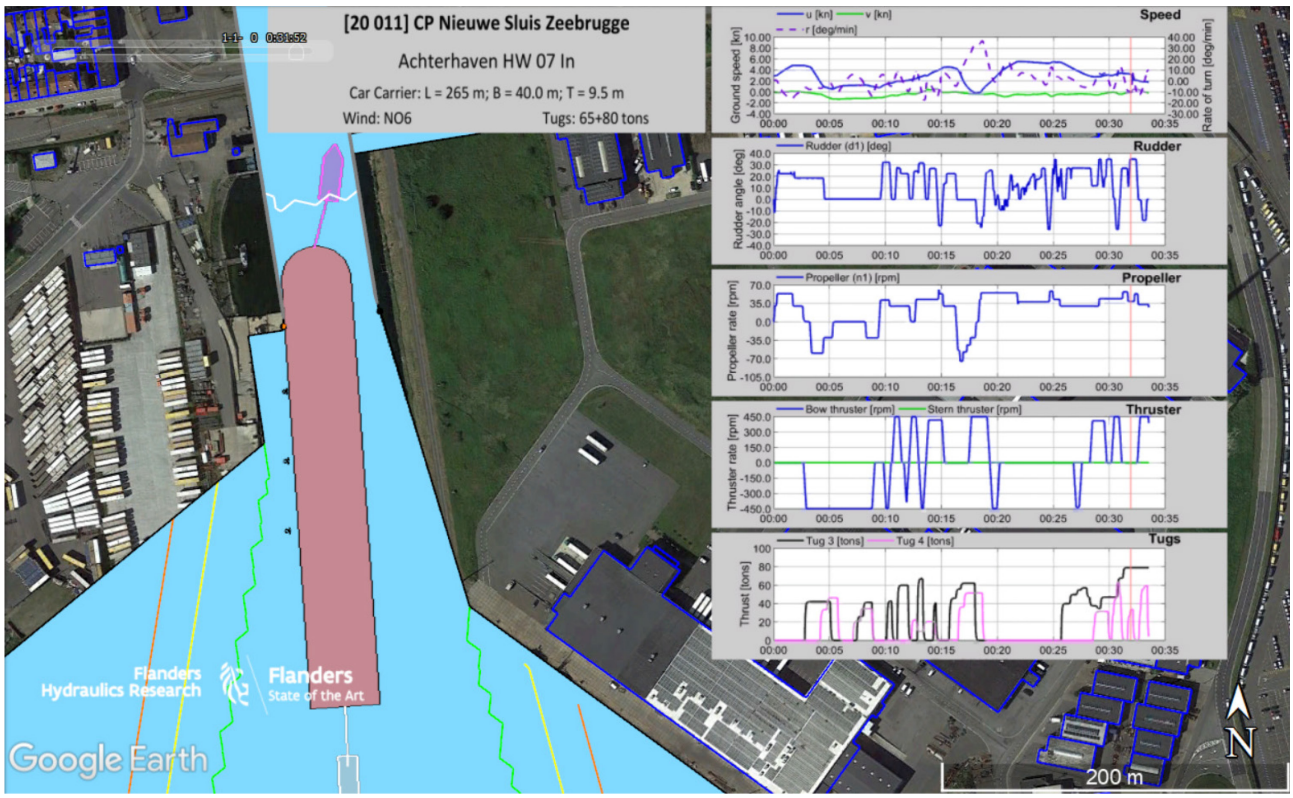
Figuur 54 – Hoge naderingspositie en lage vaarsnelheid ter voorbereiding van brugpassage in simulatie 07



Figuur 55 – Naderingspositie tot brug in simulatie 07



Figuur 56 – Contact tussen schip en zuidelijke brugfendering in simulatie 07



Figuur 57 – Contact met wielfenders (oranje) in simulatie 07

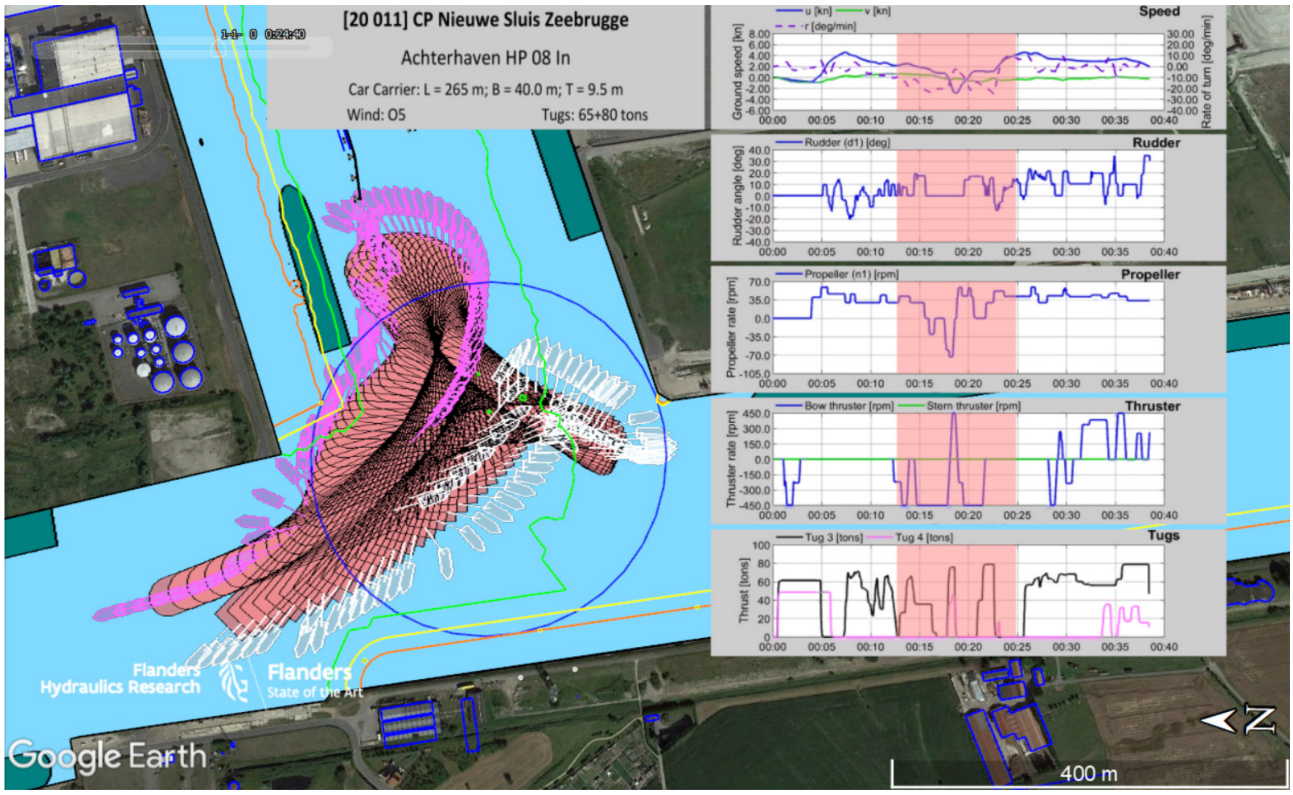
5.2.5 Simulatie 08

Simulatie 08 was de eerste simulatie van de tweede simulatiedag en werd net als simulatie 01 uitgevoerd bij een windkracht 5 Beaufort, maar nu gecombineerd met een oostelijke windrichting.

Het schip vertrok aan de westelijke ligplaats in het Verbindingskanaal en diende bijgevolg eerst te zwaaien in de zwaaizone. Het zwaaimanoeuvre bij oostenwind werd in simulatie 08 uitgevoerd over bakboord (zie Figuur 58). Het zwaaimanoeuvre werd op een erg noordelijke positie uitgevoerd waarbij het schip op korte afstand van de brug, de tanker afgemeerd te Tameco en de noordoostelijke gele boei passeerde. De beschikbare ruimte in het zuidelijke deel van de zwaaizone (inclusief het mondingsgebied van het Boudewijnkanaal) werden bijgevolg niet optimaal gebruikt in deze simulatie. De loodsen geven aan dat de uitvoering van het zwaaimanoeuvre duidelijk voor verbetering vatbaar is en dat de beschikbare ruimte beter benut zou kunnen worden. De beschikbare ruimte in de zwaaizone werd positief beoordeeld, ook voor een zwaaimanoeuvre over bakboord.

Het sluisnaderingsmanoeuvre werd erg rustig uitgevoerd, waarbij de loods reeds bij het begin van het Verbindingskanaal een vaarsnelheid gelijk aan 3 kn toepaste. De sluisnadering en sluisinvaart konden op een gecontroleerde manier uitgevoerd worden, zonder contact te maken met de sluisfendering.

De simulatie werd beoordeeld als geslaagd met weinig reserve en een meer dan normale moeilijkheidsgraad.



Figuur 58 – Uitvoering zwaaimanoeuvre over bakboord in simulatie 08

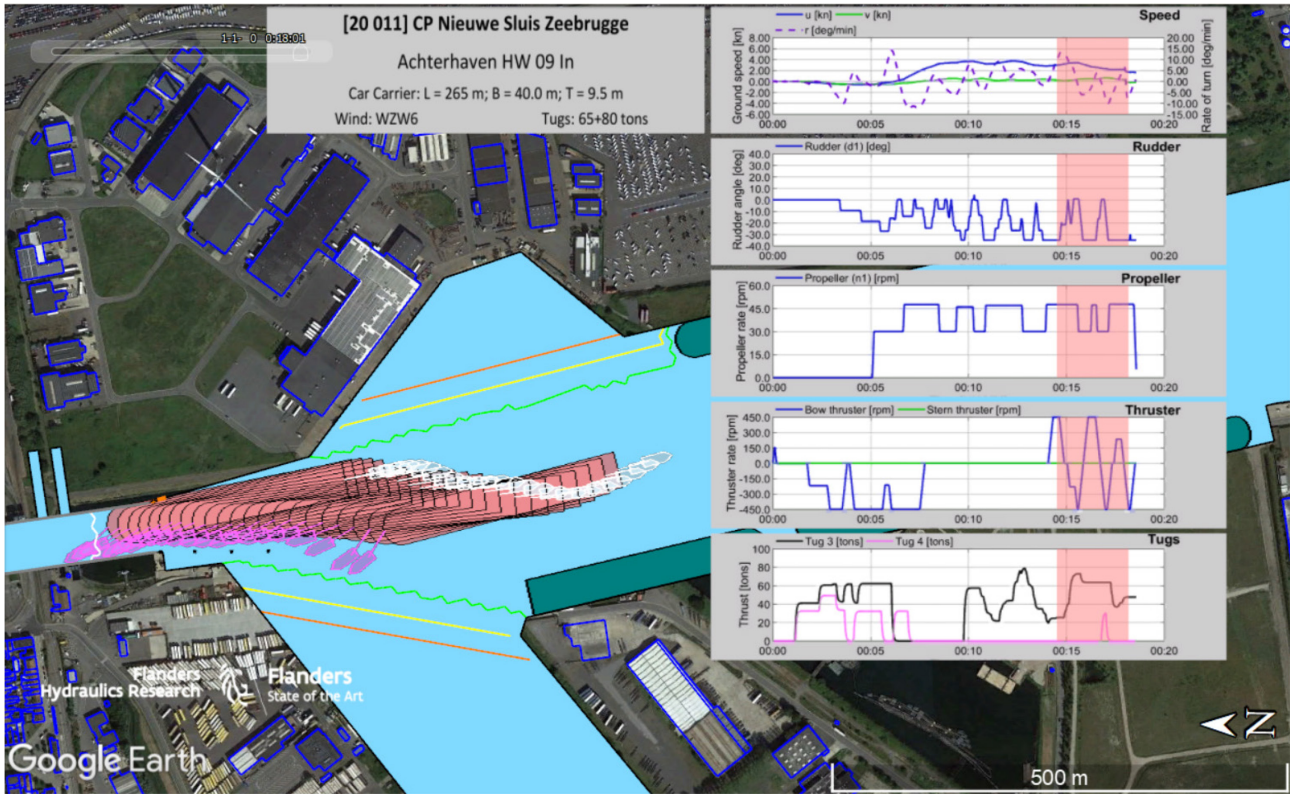
5.2.6 Simulatie 09

In simulatie 09 werd een sluisinvaart gesimuleerd waarbij de simulatie aangevat werd op één van de ligplaatsen in het oosten van het Verbindingskanaal. Voor de uitvoerende loods was dit de eerste simulatie die hij ooit uitvoerde.

De sluis werd vanuit een hoge positie genaderd, waarbij het schip op korte afstand van de sluis verlijerde (zie Figuur 59). Bij het invaren van de sluis kon deze lijwaartse beweging onvoldoende gecompenseerd worden waardoor het schip op de bovenste oostelijke wielfender landde (indrukking 1.13 m). Hierbij dient opgemerkt

te worden dat de loods weinig hulpmiddelen inzette om het contact tussen boeg en wielfenders te vermijden. Zo werd de boegschroef het grootste deel van de tijd naar stuurboord ingezet (dus met de wind mee) en werd de voorste sleepboot slechts heel kortstondig ingezet.

Na uitvoering van de simulatie stelde de loods dat het meest noordelijk afgemeerde schip aan de westelijke kaaimuur van het Verbindingskanaal hinderlijk was voor de sluisnadering vanuit een hoge positie bij een westelijke wind. Op basis van de resultaten uit deze simulatie (en op basis van eerdere sluissimulatiestudies die WL uitvoerde) wordt echter aanbevolen om de sluis vanuit een gecontroleerde evenwichtspositie te benaderen en bijgevolg de sluisnadering zoveel als mogelijk in de aslijn van de sluis uit te voeren. Bij een dergelijke uitvoering is de positie van het meest noordelijke afgemeerde schip niet hinderlijk.



Figuur 59 – Sluisnadering in simulatie 09

5.3 Ontmoetingen Verbindingskanaal

Er werden in deze studie twee gekoppelde simulaties uitgevoerd waarbij ontmoetingen in het Verbindingskanaal onderzocht werden. Het ontwerpschip voor de ontmoetingen in het Verbindingskanaal combineert een lengte gelijk aan 265 m met een breedte gelijk aan 32.2 m (en is dus ca. 8 m smaller dan het ontwerpschip voor CP NSZ).

De mogelijkheid tot ontmoetingen in het Verbindingskanaal verhogen de capaciteit van de sluis doordat de wisseltijden tussen een opvarend en afvarend schip drastisch verkorten. Zonder ontmoetingsmogelijkheden in het Verbindingskanaal kunnen twee maatgevende schepen elkaar pas in het oostelijk deel van het Verbindingsdok ontmoeten, waarbij er ca. 60 minuten verstrijken tussen het tijdstip dat het opvarende schip de sluis verlaat en het afvarende schip de sluis invaart. Indien de ontmoeting plaats kan vinden in het Verbindingskanaal dan verminderde deze tijd tot ca. 20 minuten (Verwilligen *et al.*, 2021).

5.3.1 Simulatie 10

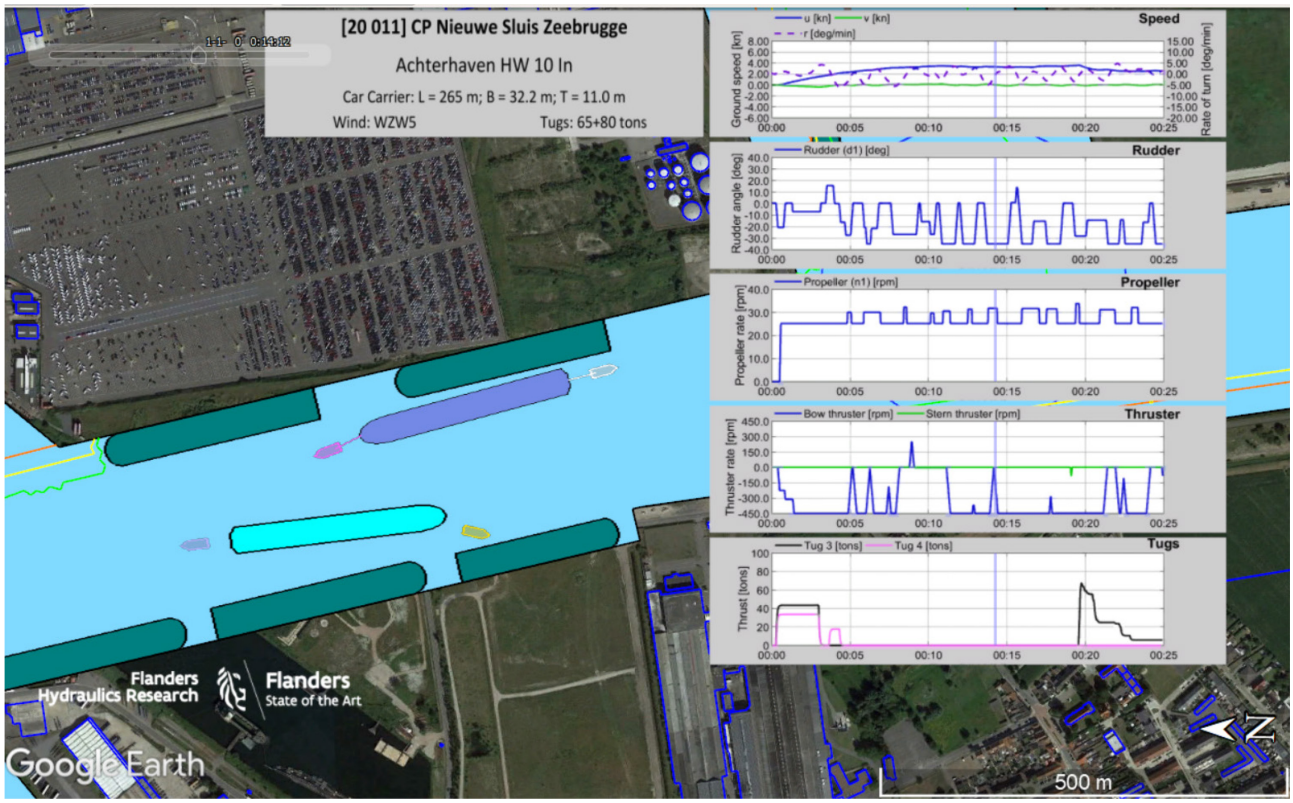
Simulatie 10 betrof een ontmoeting in het Verbindingskanaal bij windconditie WZW5.

Het afvarende schip vertrok in deze simulatie aan de noordelijke ligplaats van de terminal in het Boudewijnkanaal. Het schip kon bijgevolg zonder noemenswaardig manoeuvre (of koerswijziging) naar de sluis varen. Om zoveel mogelijk ruimte te laten voor het opvarende schip koos de loods ervoor om zo dicht mogelijk bij de afgemeerde schepen aan de oostzijde van het Verbindingskanaal te varen. Uit Tabel 8 blijkt dat het afvarende schip het meest zuidelijke afgemeerde schip aan de oostelijke kaai van het Verbindingskanaal passeerde op 7 m en het noordelijke schip op 12 m. De bijhorende vaarsnelheden bedroegen minder dan 3.5 kn. De loods stelde dat hij voldoende controle had ten opzichte van de west-zuidwestelijke wind om deze passeerafstanden op een veilige manier te realiseren. Toch werd tijdens de nabespreking toegegeven dat dergelijke kleine passeerafstanden geen standaardmanoeuvre zijn en dat deze in de simulatie een te gunstige situatie opleverden voor het opvarende schip (zie Figuur 60). Hierdoor was de passeerafstand tussen de ontmoetende schepen onderling (70 m) dan ook relatief groot.

De beoordeling van deze simulatie werd uitgesteld tot wanneer de ontmoeting een tweede maal gesimuleerd werd (in simulatie 11).

Tabel 8 – Overzicht scheepsontmoetingen tussen gekoppelde schepen en afgemeerde schepen (d<100 m) voor simulatie 10

Simulation	Time	Speed	Vre ship	Vre condition	Passing distance
[-]	[mm:ss]	[kn]	[-]	[-]	[m]
Achterhaven_HW_10_In	14:12	3.3	carCar_265_400_NSZ_95	moored	7
Achterhaven_HW_10_In	14:58	3.2	stern65	coupled	120
Achterhaven_HW_10_In	15:06	3.2	odyssea	coupled	70
Achterhaven_HW_10_In	16:39	3.2	stern80	coupled	73
Achterhaven_HW_10_In	17:44	3.4	carCar_265_400_NSZ_95	moored	12
Achterhaven_HW_10_Uit	10:41	4.3	carCar_265_400_NSZ_95	moored	86
Achterhaven_HW_10_Uit	12:54	3.0	carCar_265_400_NSZ_95	moored	56
Achterhaven_HW_10_Uit	13:57	3.4	carCar_265_400_NSZ_95	moored	34
Achterhaven_HW_10_Uit	14:29	3.7	RoRo_200_365_95	moored	36
Achterhaven_HW_10_Uit	14:45	3.8	stern65	coupled	66
Achterhaven_HW_10_Uit	15:06	3.5	odyssea	coupled	70
Achterhaven_HW_10_Uit	16:39	3.1	stern80	coupled	77
Achterhaven_HW_10_Uit	19:18	2.5	carCar_265_400_NSZ_95	moored	86
Achterhaven_HW_10_Uit	24:20	1.5	RoRo_200_365_95	moored	79



Figuur 60 – Illustratie korte passeerafstand (7 m om 14’12’’) door afvarend schip tot afgemeerd schip

5.3.2 Simulatie 11

In simulatie 11 werd een ontmoeting in het Verbindingskanaal onderzocht bij een windconditie WZW6.

Uit Tabel 9 blijkt dat het afvarende schip in deze simulatie grotere afstanden respecteerde tot de afgemeerde schepen in het Verbindingskanaal. De kleinste afstand bedroeg 22 m. Bovendien blijkt uit Figuur 61 dat het afvarende schip geen sleepbootgebruik toepaste voor de vaart door het Verbindingskanaal. De sleepboten werden enkel toegepast bij het verlaten van de kaai en bij het invaren van de sluis.

Het opvarende schip passeerde de afgemeerde schepen op een minimale afstand gelijk aan 37 m en voerde de vaart door het Verbindingskanaal aan opvallend lage snelheid uit (minimaal 1.1 kn, zie Figuur 62). Mede door de lage vaarsnelheid dient het opvarende schip wel sleepboothulp in te zetten in het Verbindingskanaal om voldoende aan stuurboord te varen om ruimte te laten voor het afvarende schip. Hierbij werd de voorste sleepboot tot 75% gebruikt tijdens de sluisuitvaart en tot 50% tijdens de vaart door het Verbindingskanaal. De achterste sleepboot werd voornamelijk ingezet om de snelheid te controleren en in minder mate om het achterschip op te trekken tegen de wind. Voorafgaand aan de ontmoeting werd de achterboot intensief ingezet in het Verbindingskanaal.

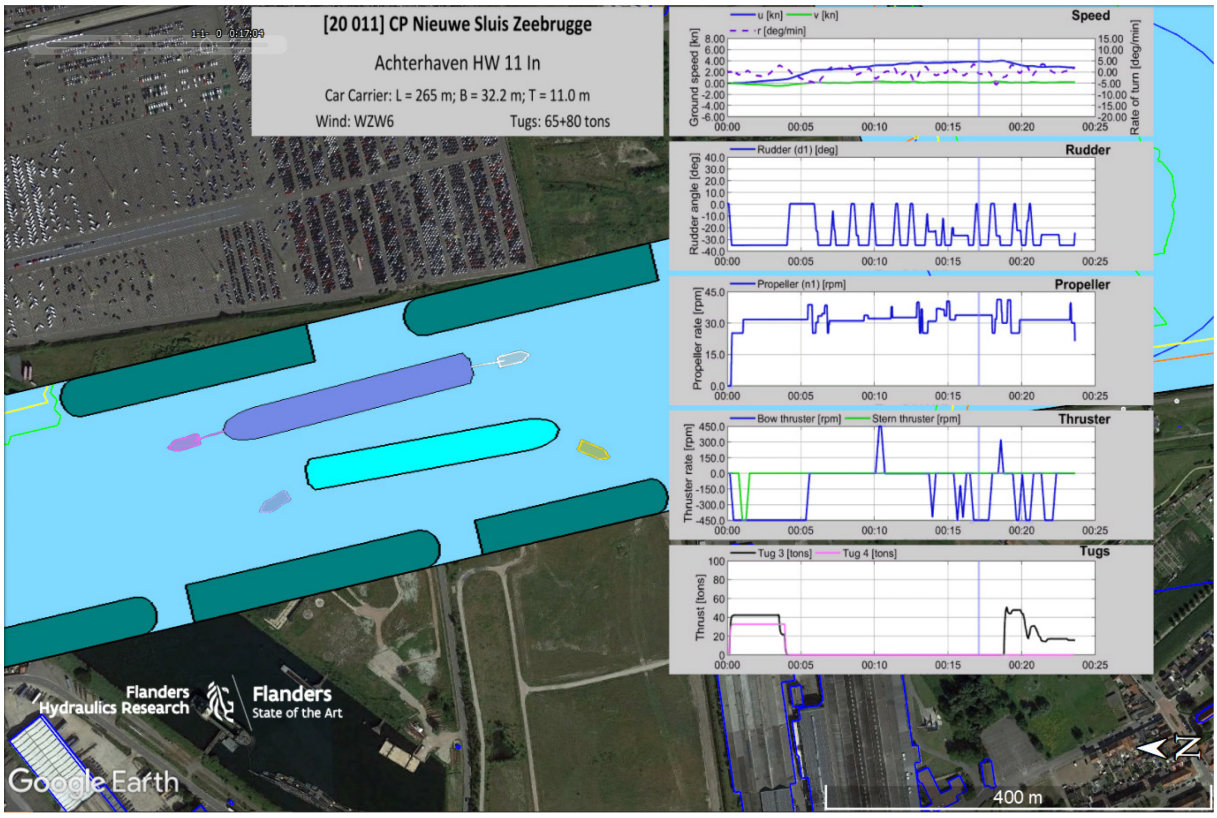
Tijdens de nabespreking werd opgemerkt dat het opvarende schip een erg lage snelheid hanteerde. In realiteit wordt een vaarsnelheid gelijk aan 3 kn realistisch geacht voor de uitvoering van de ontmoeting. De vaartijd van het opvarende schip is in deze simulatie dan ook langer dan wat in realiteit verwacht zou worden.

De ontmoeting tussen beide schepen vond plaats na 17 minuten simulatietijd en ging gepaard met een onderlinge afstand tussen de varende schepen gelijk aan 35 m. Er kan dus gesteld worden dat de afstanden tot afgemeerde schepen enerzijds en tot de varende schepen anderzijds evenwichtig verdeeld is over de beschikbare vaarwegbreedte.

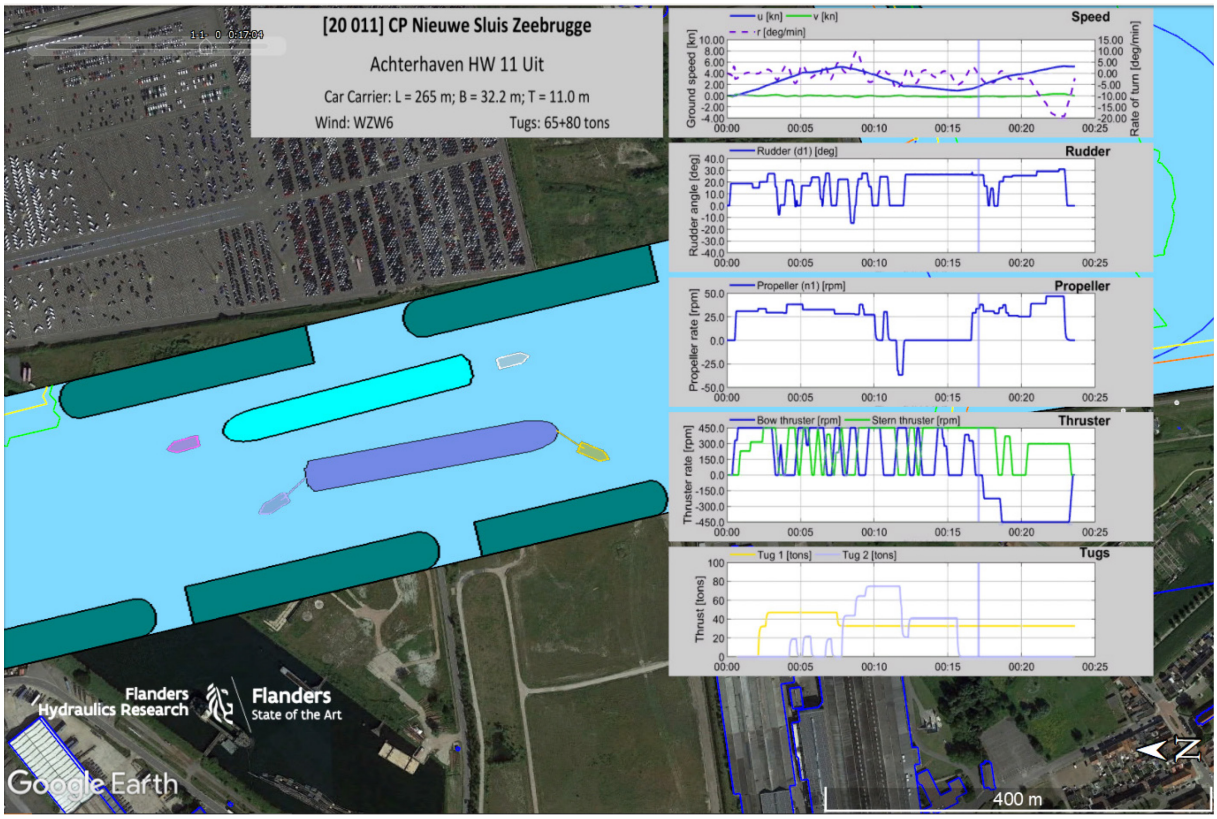
De loodsen merkten op dat de simulatie gepaard ging met weinig reserve en een meer dan normale moeilijkheid had. Er wordt niet uitgesloten dat er operationele beperkingen (wind) ingesteld dienen te worden. Anderzijds wordt vermeld dat de toegepaste windconditie reeds een extreem scenario is en dat het beschikbare vaarwegontwerp bij meer gematigde windcondities de ontmoeting in het Verbindingskanaal zeker wel toelaat. In geval van extreme windcondities kan er uitgeweken worden naar alternatieve ontmoetingslocaties op grotere afstand van de sluis.

Tabel 9 – Overzicht scheepsontmoetingen tussen gekoppelde schepen en afgemeerde schepen (d<100 m) voor simulatie 11

Simulation	Time	Speed	Vre ship	Vre condition	Passing distance
[-]	[mm:ss]	[kn]	[-]	[-]	[m]
Achterhaven_HW_11_In	16:15	3.8	carCar_265_400_NSZ_95	moored	22
Achterhaven_HW_11_In	16:22	3.8	stern65	coupled	88
Achterhaven_HW_11_In	16:56	3.8	odyssea	coupled	35
Achterhaven_HW_11_In	16:58	3.9	stern80	coupled	59
Achterhaven_HW_11_In	18:53	3.9	carCar_265_400_NSZ_95	moored	17
Achterhaven_HW_11_Uit	11:07	2.7	carCar_265_400_NSZ_95	moored	86
Achterhaven_HW_11_Uit	12:02	1.7	carCar_265_400_NSZ_95	moored	65
Achterhaven_HW_11_Uit	12:37	1.7	carCar_265_400_NSZ_95	moored	37
Achterhaven_HW_11_Uit	14:45	1.1	RoRo_200_365_95	moored	45
Achterhaven_HW_11_Uit	16:13	1.1	stern65	coupled	44
Achterhaven_HW_11_Uit	16:56	1.5	odyssea	coupled	35
Achterhaven_HW_11_Uit	17:45	2.3	stern80	coupled	53
Achterhaven_HW_11_Uit	20:36	4.1	carCar_265_400_NSZ_95	moored	86
Achterhaven_HW_11_Uit	23:37	5.2	RoRo_200_365_95	moored	29



Figuur 61 – Illustratie kortste afstand tussen passerende schepen in Verbindingskanaal in simulatie 11 (grafieken afvarend schip)



Figuur 62 – Illustratie kortste afstand tussen passerende schepen in Verbindingskanaal in simulatie 11 (grafieken opvarend schip)

5.4 Conclusies Achterhaven

Een opvallend hoog aantal simulaties naar de Achterhaven ging gepaard met onaanvaardbare contacten met de sluisfendering. Toch wordt in alle simulaties de beschikbare ruimte overeenkomstig ontwerp V3H als gunstig beoordeeld en wordt gesteld dat de moeilijkheidsgraad van de sluismanoeuvres gelijk is aan de huidige sluismanoeuvres naar de Pierre Vandammesluis. De ongunstige resultaten van de simulaties waren veelal het gevolg van de beperkte reserves op de sleepbootkracht bij een extreme dwarse wind. Dit werd nog versterkt door de beperkte ervaring van de havenloodsen met het varen op simulator en voor sommige deelnemers een moeilijke interpretatie van de scheepspositie op basis van het simulatorbeeld. Ook de contacten met de sluisfendering werden in belangrijke mate hierdoor bepaald.

In meerdere simulaties werd de sluisfendering (buispalen of wielfenders) verder ingedrukt dan waarvoor deze constructies ontworpen zijn. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de simulaties uitgevoerd werden bij eerder extreme windcondities en dat de afmetingen van het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge (met name de breedte) belangrijk groter is dan die van de grootste schepen die op vandaag naar de Pierre Vandammesluis varen en bovendien de breedte van Nieuwe Sluis kleiner is.

Tijdens de simulaties van sluisinvaarten uit de Voorhaven, uitgevoerd door kustloodsen, werd geconcludeerd dat bij een dwarse wind met kracht 6 Beaufort, er minimaal drie sleepboten beschikbaar dienen te zijn, waarbij de voorste sleepboot over een minimale bollard pull van 80 ton dient te beschikken. De havenloodsen verkozen om de simulaties uit te blijven voeren met twee sleepboten (met voorboot 65 ton) overeenkomstig de huidige praktijk. Rekening houdend met de resultaten van de sluisinvaarten vanuit de Achterhaven verdient het echter aanbeveling om ook daar de sluismanoeuvres met het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge uit te voeren met drie sleepboten.

Samenvattend kan gesteld worden dat de beschikbare manoeuvreerruimte in het oostelijke deel van de Achterhaven, overeenkomstig het ontwerp V3H gunstig beoordeeld wordt voor zowel de uitvoering van de sluismanoeuvres als voor de bereikbaarheid van de voorziene ligplaatsen en de bijhorende zwaaimanoeuvres. Een opleiding van de loodsen naar deze specifieke manoeuvres is wel wenselijk.

Uit de gekoppelde simulaties blijkt de aanvaardbaarheid van de breedte van het Verbindingskanaal voor ontmoetingen tussen schepen tot breedte 32.2 m (en lengte tot 265 m). Mogelijks zullen deze manoeuvres in realiteit wel vermeden worden bij extreme dwarswinden.

In de marge van het onderzoek werden nog onderstaande opmerkingen geformuleerd aangaande het ontwerpgebied:

1. In het Verbindingskanaal dient een maximale vaarsnelheid gelijk aan 6 kn gehanteerd te worden. Bij belangrijke dwarswind dient de vaarsnelheid beperkt te worden tot 5 kn.
2. De havenloodsen hebben argwaan bij de toepassing van wielfenders, doordat deze bij schade hun geleidende functie verliezen en schade aan het schip kunnen veroorzaken.
3. Een bomenrij op de westelijke oever van de sluis kan fungeren als windscherm voor de sluis om een gelijkaardige beschutting te bekomen als voor de Pierre Vandammesluis.
4. De toegankelijkheid van de sluis werd niet onderzocht in scenario's waarbij sleepboten de afgemeerde schepen in het Verbindingskanaal dienen op te drukken tegen de wind en als dusdanig de beschikbare ruimte in het Verbindingskanaal beperken.
5. De loodsen schatten in dat de brugpassage van de nieuwe brug over het Verbindingsdok[8] tot veel schadegevallen zal leiden bij de passage van het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge.
6. De drie buispalen die in de simulatieomgeving voorzien werden aan de westelijke zijde van de sluis worden niet nuttig geacht en kunnen beter verwijderd worden (zie ook motivering bij bespreking Voorhaven).

[8] Deze brug valt buiten het Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge.

6 Resultaten Voorhaven

Er werden tijdens deze studie gedurende twee dagen zeventien simulaties uitgevoerd naar de Voorhaven van Zeebrugge. Deze simulaties werden uitgevoerd door kustloodsen van DAB Loodswezen.

Tabel 10 presenteert een overzicht van de condities waarbij de simulaties naar de Voorhaven uitgevoerd werden. De bespreking van deze simulaties zal gegroepeerd worden volgens sluisuitvaart, sluisinvaart en manoeuvre naar de noodsteiger. De simulaties worden chronologisch besproken maar gebundeld volgens windconditie.

Doordat na de eerste simulatiedag bleek dat de drie buispalen die voorzien worden aan de westzijde van de sluis eerder hinderlijk dan nuttig waren, werden deze buispalen op de tweede simulatiedag verwijderd uit de simulatieomgeving.

Zoals bekend is een nadeel aan de Visartlocatie, de beperkte afstand waarover de kustloodsen het schip kunnen oplijnen naar de sluis. Om de positionering ten opzichte van de sluis te ondersteunen, en om het gebruik van een Full SNMS te ensceneren, werd vanaf simulatie 19 een bijkomend scherm op de scheepsbrug aangeboden. Op dit scherm werd de horizontale positie van het schip weergegeven ten opzichte van de verlengde drijframen. Hierdoor hadden de loodsen bij het naderen van de sluis een duidelijker beeld van de positie van het schip ten opzichte van de sluis. De aanwezigheid van dit hulpmiddel wordt ook weergegeven op de track plots (screenshot uit de KMZ-bestanden uit Bijlage 4) door middel van grijze lijnen in het verlengde van de kolk (zie Figuur 71 op p. 67 ter illustratie).

Tabel 10 – Condities simulaties Voorhaven

Simu-latie	Sluis-traject	Sleep-boten	Stroming	Wind-Kracht	Wind-richting	Reserve	Moeilijk-heids-graad	Aanvaard-baarheid
		[BP tons]	[%]	[Bft]	[-]	[-]	[-]	[-]
HW_12	Uit	65+80	150%	5	O	2	2	JA
HW_13	In	65+80	100%	5	O	3	3	JA
HW_14	In	65+80	100%	6	O	3	4	JA
HP_15	In	65+80	150%	6	O	4	4	JA
HW_16	In	65+80	150%	6	WZW	4	5	Neen
HW_17	In	65+80	150%	6	WZW	4	5	Neen
HP_18	In	80+2x65	150%	6	WZW	3	3	JA
HW_19	In	80+2x65	150%	6	O	3	3	JA
HP_20	Uit	65+80	150%	6	WZW	-	-	-
HP_21	Uit	65+80	150%	6	WZW	2	3	JA
HP_22	In	65+80	150%	5	WZW	3	3	JA
HW_23	In	80+2x65	150%	6	WZW	4	4	JA
HW_24	In	80+2x65	150%	6	O	3	4	JA

Simu-latie	Sluis-traject	Sleep-boten	Stroming	Wind-Kracht	Wind-richting	Reserve	Moeilijk-heids-graad	Aanvaard-baarheid
		[BP tons]	[%]	[Bft]	[-]	[-]	[-]	[-]
HW_25	In	65+80	150%	5	O	3	3	JA
HW_26	Uit	65+80	150%	6	O	4	4	JA[9]
HW_27	Uit	65+80	150%	6	O	2	3	JA
HW_28	In	65+80 >> 65+80+65	150%	6	WZW	3	2	JA

6.1 Sluisuitvaart

In vijf simulaties werd het uitvaren van de sluis onderzocht. Hierbij vormde met name de hinder door de dwarsstroom uit de jachthaven een belangrijk aandachtspunt.

6.1.1 Simulatie 12 (O5)

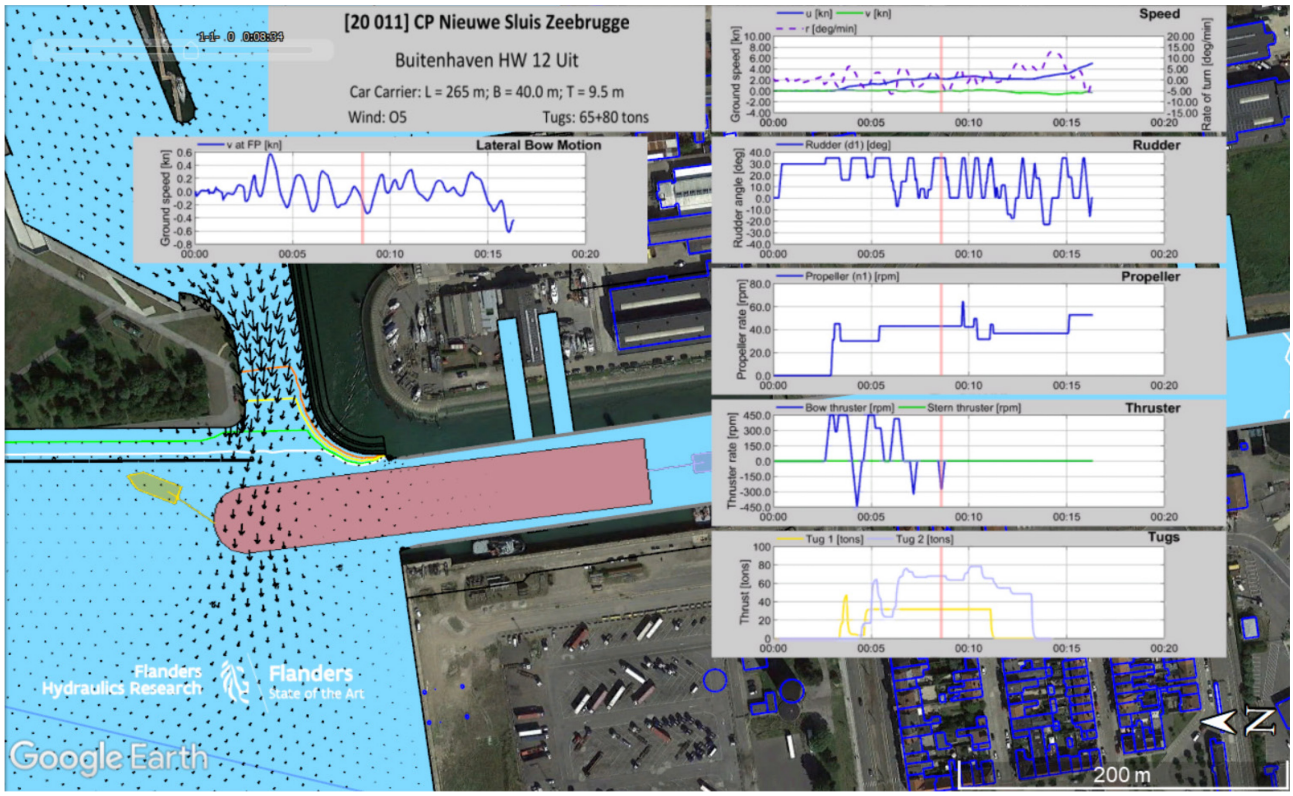
Simulatie 12 was de eerste simulatie die uitgevoerd werd naar de Voorhaven. Bijgevolg werd deze simulatie uitgevoerd bij relatief gematigde windcondities.

De simulatie werd uitgevoerd bij een oostelijke wind met kracht 5 Beaufort. De oostelijke windrichting stemt overeen met de richting van de dwarsstroom uit de jachthaven die in deze simulatie ingesteld werd met veiligheidsfactor 1.5.

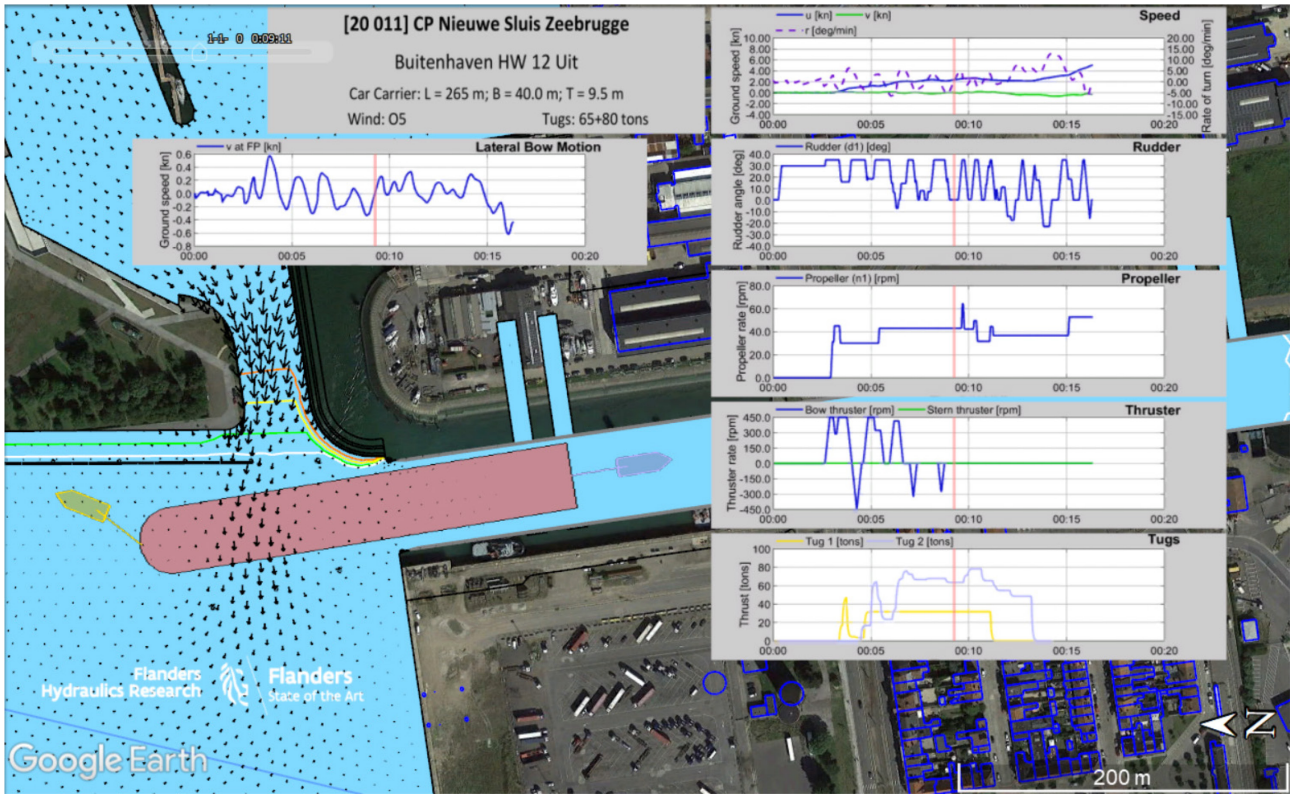
In Simulatie 12 kon de sluisuitvaart probleemloos uitgevoerd worden. De achterste sleepboot hield de snelheid op ca. 2 kn en de voorboot trok 50% om de boeg op te houden tegen de wind. Figuur 63 illustreert de conditie van het schip bij het bereiken van de jachthaven. Er is in de toepassing van sleepboot geen effect waarneembaar van de stroom. Dit heeft te maken met de grotere trekhoek die de voorboot kan realiseren wanneer de boeg de sluis verlaat en waardoor de effectiviteit van de voorboot toeneemt. Toch blijkt uit Figuur 63 dat bij het bereiken van de dwarsstroom de boeg wel degelijk naar bakboord verplaatst wordt (zie hiervoor de extra figuur ‘Lateral Bow Motion’ die aan de vaarbaanplot toegevoegd wordt) wat gecompenseerd werd door het roer van initieel 35° naar bakboord naar midscheeps te verplaatsen. Bij sluisuitvaart is het belangrijkste gevolg van de dwarsstroom op de boeg dan ook dat het achterschip naar stuurboord beweegt (aangezien het achterschip zich bij sluisuitvaart nog in de sluis bevindt en de ruimte daar erg beperkt is). De invloed van de dwarsstroom op de positie van het schip in de sluis wordt geïllustreerd in Figuur 64.

Er werd gesteld dat in deze simulatie het gecombineerde effect van de oostenwind en de dwarsstroom uit de jachthaven gecompenseerd kon worden door het gebruik van de voorboot aan 50% en dat de simulatie aldus gepaard ging met voldoende reserve en een normale moeilijkheidsgraad.

[9] Mits aanpassing aan dwarsstroom jachthaven



Figuur 63 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 12 (8’30’’)



Figuur 64 – Illustratie beweging schip ten gevolge van dwarsstroom in simulatie 12 (9’10’’)

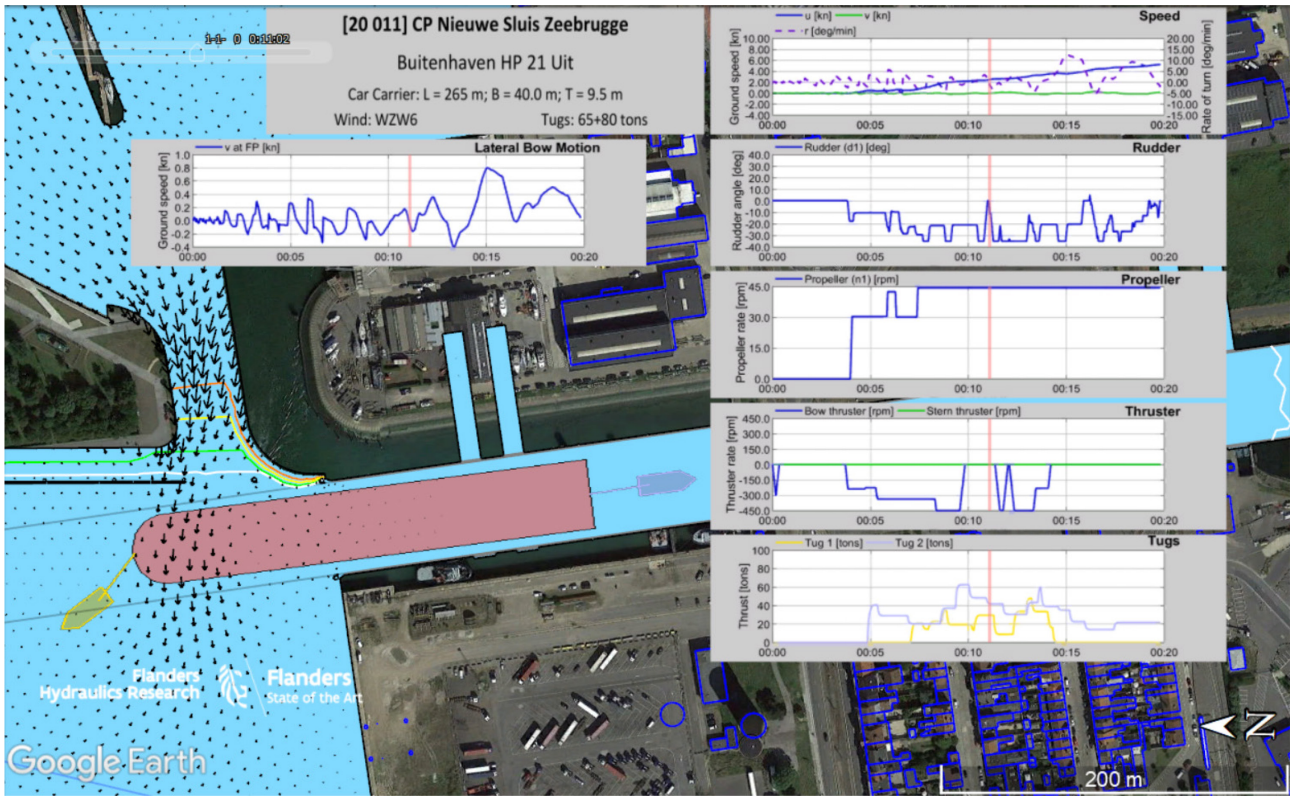
6.1.2 Simulatie 20 en 21 (WZW6)

De overige sluisuitvaarten werden gesimuleerd op de laatste simulatiedag.

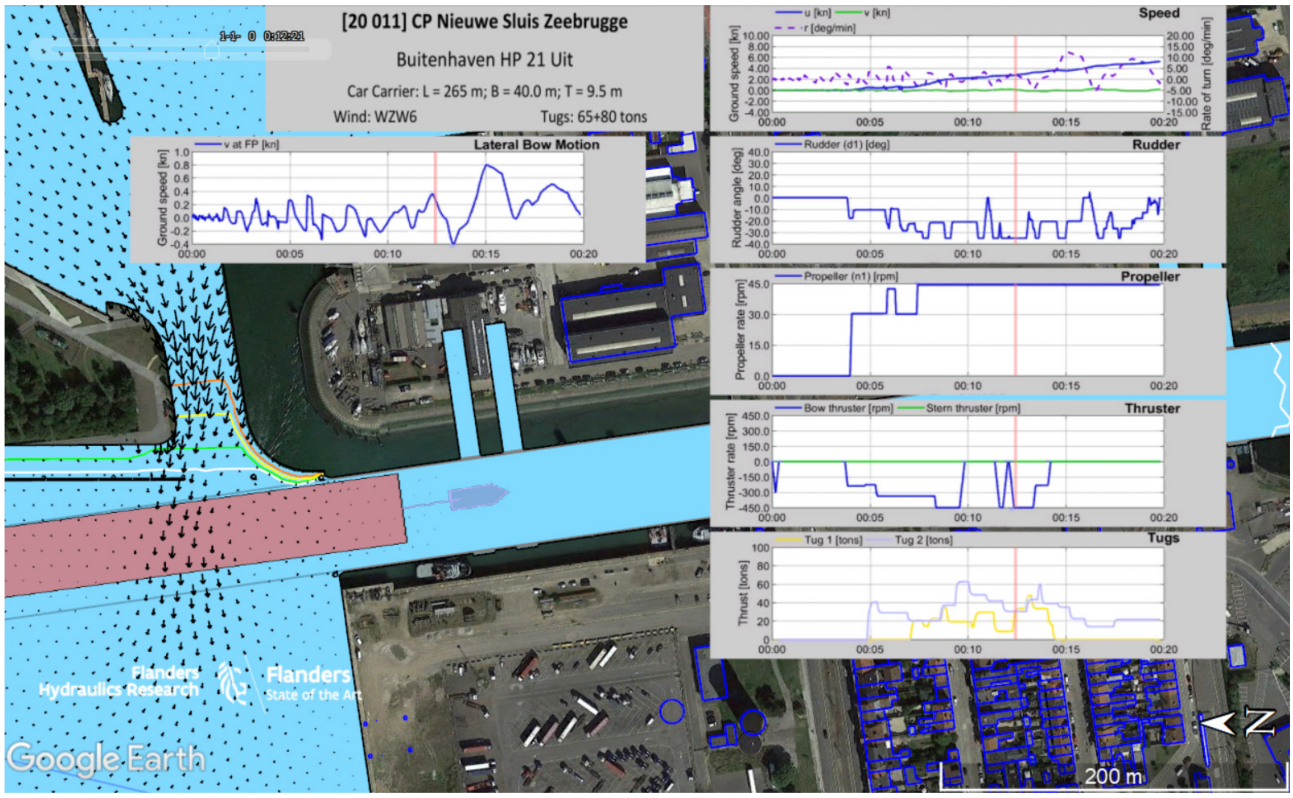
Simulatie 20 betrof hierbij de eerste simulatie van de dag en werd hierdoor als gewenningssimulatie beschouwd. De simulatie werd uitgevoerd bij een westzuidwestelijke windrichting met kracht 6 Beaufort. Er worden aan deze simulatie geen conclusies verbonden.

Simulatie 21 werd uitgevoerd bij dezelfde condities. De westzuidwestelijke windrichting doet het schip verlijeren in de tegenovergestelde richting van de dwarsstroom. Deze combinatie werd initieel als minder kritisch beschouwd dan de oostenwind. Toch werd ook in simulatie 21 de impact van de dwarsstroom uit de jachthaven op het schip gevoeld. Uit Figuur 65 blijkt dat de dwarsstroom op de boeg aanleiding geeft tot een verplaatsing van de boeg tegen de wind in. Deze verplaatsing wordt gecompenseerd door enerzijds de kracht van de voorboot te verminderen en anderzijds door de het roer naar stuurboord uit te slaan. De dwarsstroom op de boeg is op die manier mede verantwoordelijk voor de korte afstand tussen het achterschip en de oostelijke sluisfendering zoals geïllustreerd in Figuur 66.

De loodsen oordeelden dat de simulatie gepaard ging met een meer dan normale moeilijkheidsgraad maar voldoende reserve.



Figuur 65 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 21 (11’00’’)



Figuur 66 – Illustratie beweging schip ten gevolge van dwarsstroom in simulatie 21 (12'20'')

6.1.3 Simulatie 26 en 27 (O6)

De moeilijkste conditie die onderzocht werd voor een sluisuitvaart richting Voorhaven betrof de combinatie van een oostenwind met kracht 6 Beaufort en dwarsstroom bij veiligheidsfactor 1.5.

Door de ongunstige resultaten in een eerste simulatie (26) werd deze simulatie een tweede maal herhaald (27).

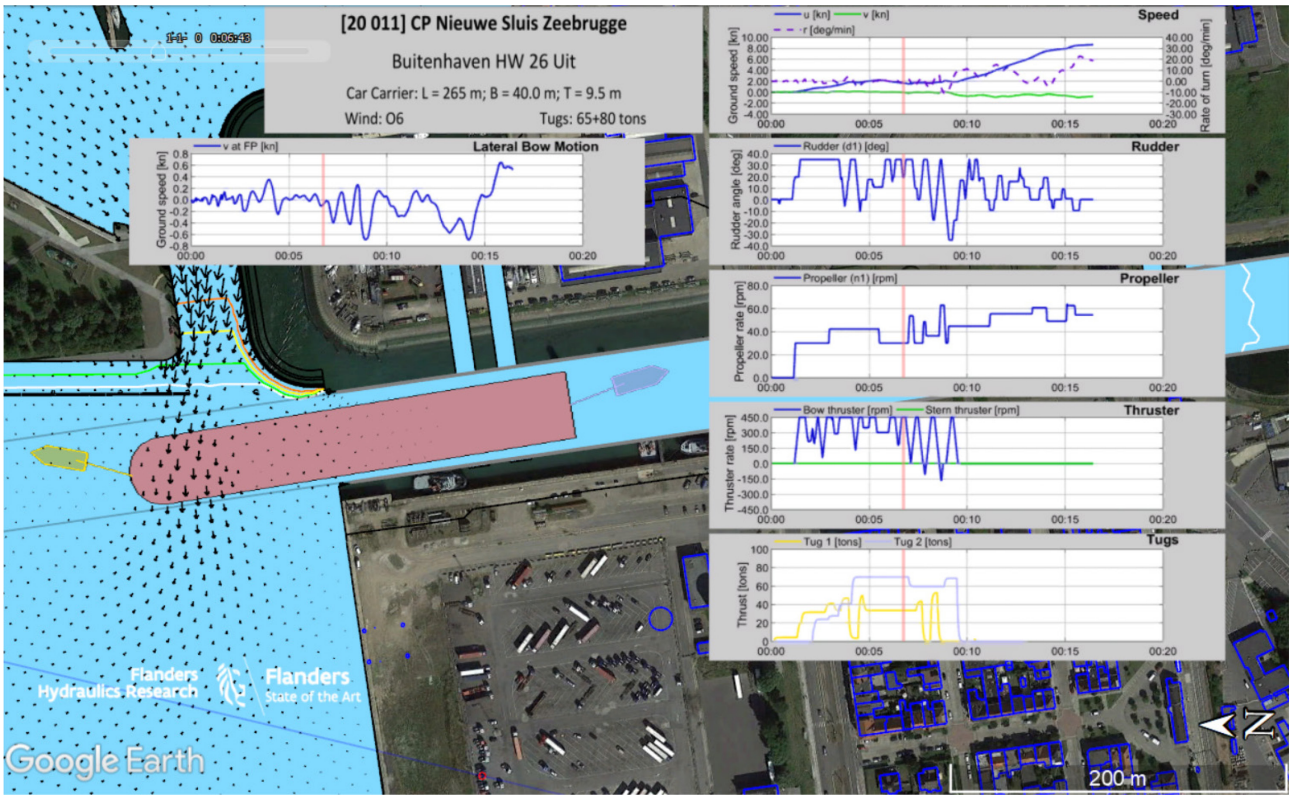
In simulatie 26 werd de dwarsstroom bereikt op een lage positie waarbij het schip bovendien een koers vertoont met de wind mee (zie Figuur 67). Het optreden van de dwarsstroom doet de positie van het schip ten opzichte van de wind nog meer zakken, waardoor op erg korte afstand van de westelijke sluisfendering gevaren werd en op het einde van de simulatie de wielfenders geraakt werden door het achterschip (zie Figuur 68). De indrukkingen van de wielfenders waren eerder beperkt en betrof 0.37 m voor de drie onderste wielfenders, en 0.12 m voor de vierde wielfender. Ten gevolge van de indrukking ondervond het schip wel een reactiekracht op het achterschip waardoor de koers van het schip nog meer naar bakboord doorsloeg en het schip uiteindelijk op relatief korte afstand uitkwam van de afgemeerde schepen aan OCHZ (34 m aan 8 kn). Hierbij dient opgemerkt dat de loods bij het verlaten van de sluis drastischere maatregelen had kunnen nemen om de gierbeweging naar stuurboord sneller op te bouwen (getuige hiervan de beperkte roerhoeken naar stuurboord en het ontbreken van sleepbootgebruik). In de nabespreking gaf de loods ook toe dat hij in realiteit de schepen aan OCHZ op grotere afstand en aan lagere snelheid zou proberen passeren en dat ook in de ongunstige uitgangspositie bij het uitkomen van de sluis dit nog mogelijk was. In realiteit zouden de sleepboten langer vastgehouden worden en zou de snelheid beperkt worden tot maximaal 6 kn.

Met betrekking tot de dwarsstroom werd vermeld dat deze een erg nadelige invloed heeft op de sluisuitvaart. De verstoring door dwarsstroom treedt op wanneer het schip zich nog grotendeels in de sluiskolk bevindt en zich bijgevolg aan beide zijden op korte afstand van de sluisconstructies bevindt. Aangezien de dwarsstroom in deze simulatie aanleiding gaf tot een contact met de wielfenders werd gesteld dat de simulatie gepaard ging met incidenten zonder schade (wat bevestigd wordt door de relatief kleine indrukking van de

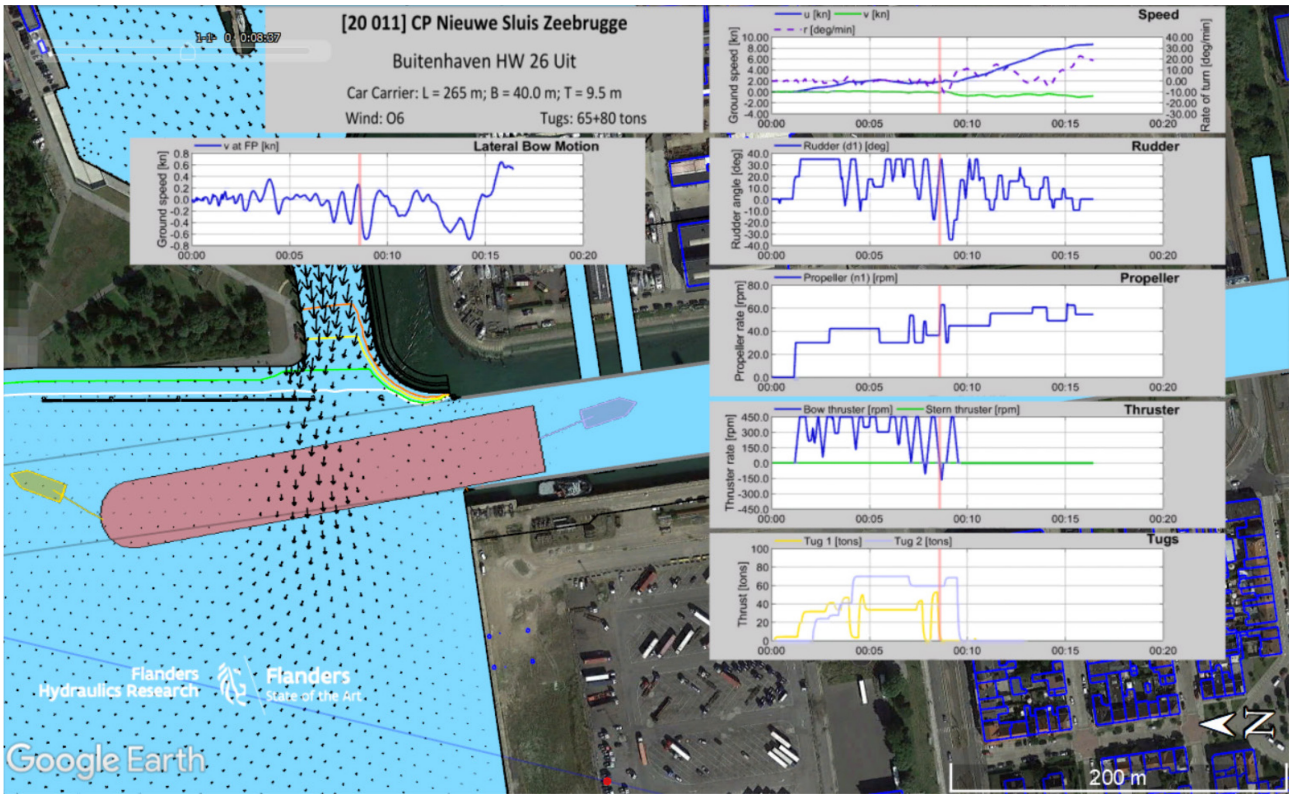
wielfenders). Wel werd opgemerkt dat de simulatie moeilijk was en dat de sluisuitvaart bij belangrijke oostenwind enkel aanvaardbaar is als de dwarsstroom gematigd wordt.

In simulatie 27 werden dezelfde condities herhaald. Rekening houdend met de resultaten uit de vorige simulatie werd getracht om de boeg op een hogere positie uit de sluis te varen (vergelijk hiervoor de scheepspositie in Figuur 69 en Figuur 67) en trok de voorste sleepboot onder een grotere hoek tegen de wind in. Bovendien werd in deze simulatie de positie van het achterschip in de sluis beter bewaakt. Hierdoor kon de dwarsstroom snel gecompenseerd worden en kon de sluisuitvaart op een aanvaardbare manier (centraal in de kolk) uitgevoerd worden.

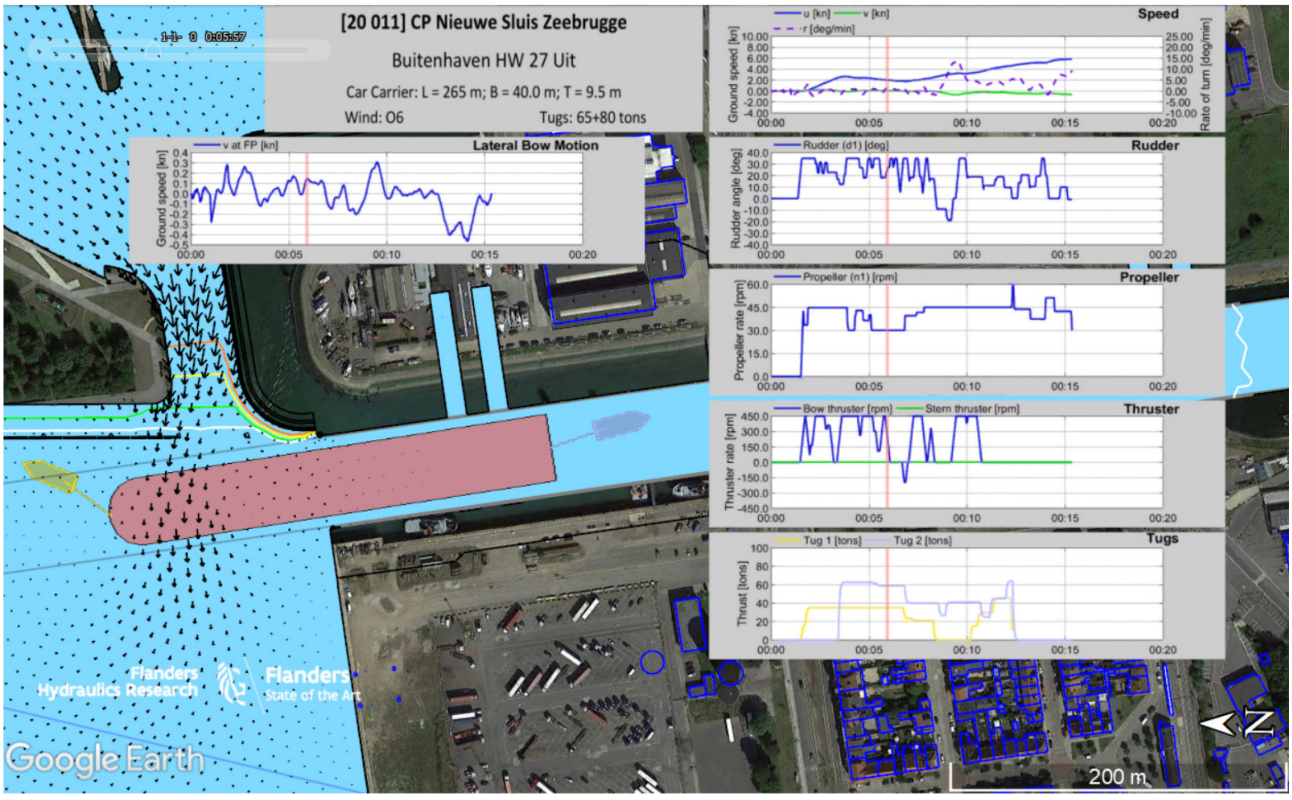
Op basis van simulatie 27 werd gesteld dat de hinder door de stroom nu wel gecompenseerd kon worden, maar dat dit sterk afhankelijk is van de conditie waarin de stroomnaad bereikt wordt. Er werd gesteld dat de simulatie uitgevoerd werd met voldoende reserve en een meer dan normale moeilijkheid.



Figuur 67 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 26 (06’40’’)



Figuur 68 – Conditie schip bij contact wielfenders in simulatie 26 (08’30’’)



Figuur 69 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 27 (05’50’’)

6.2 Sluisinvaart

Op basis van Tabel 10 kan vastgesteld worden dat er 12 sluisinvaarten gesimuleerd werden vanuit de Voorhaven. Deze simulaties worden opnieuw besproken per windconditie.

6.2.1 Simulatie 13 en 25 (O5)

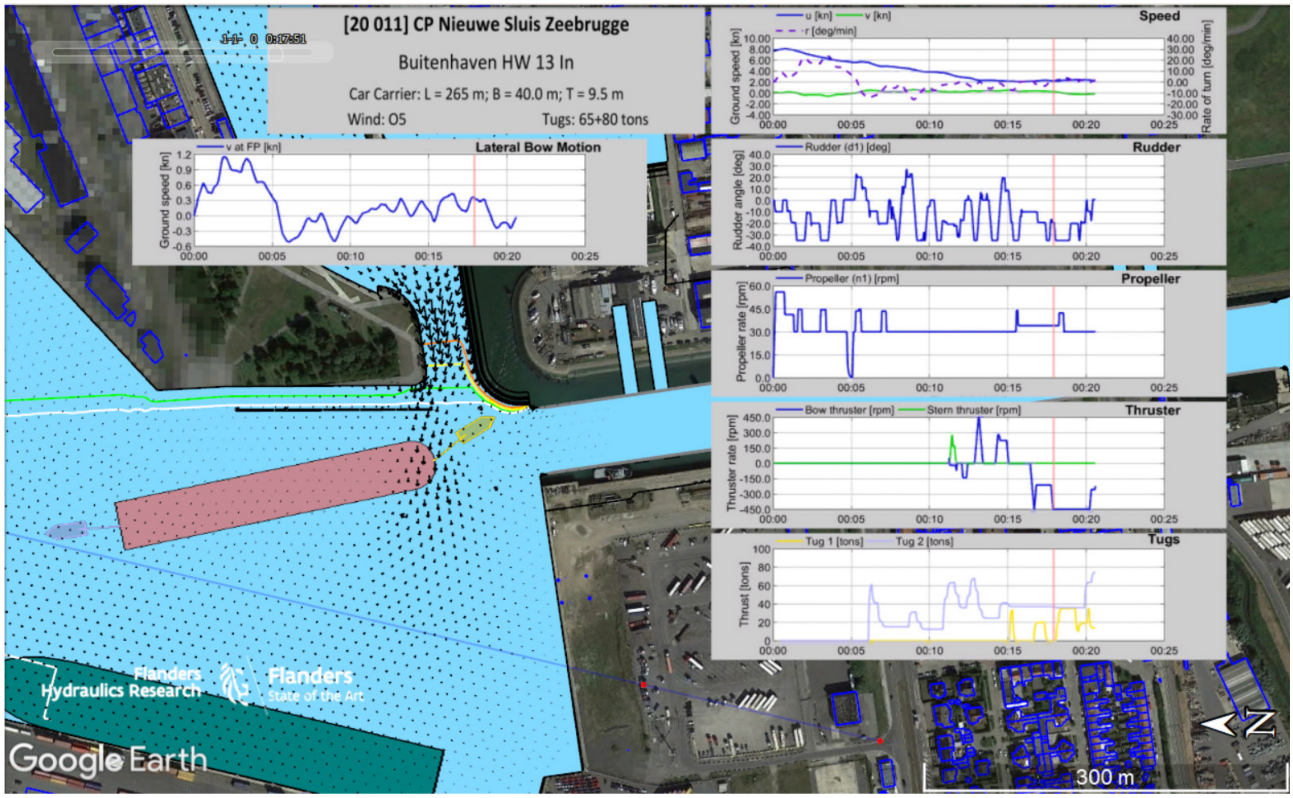
De locatie van de Nieuwe Sluis Zeebrugge gaat gepaard met een korte afstand waarop het schip zich kan uitlijnen naar de sluis toe. De sluisnadering wordt hierbij voorafgegaan door een bochtmanoeuvre naar bakboord, waarbij vooral bij oostelijke wind het moeilijk is om de sluis vanuit een uitgelijnde positie te naderen.

Dit blijkt ook in de simulatie 13 en 25 die uitgevoerd werden bij een oostenwind met kracht 5 Beaufort. Mede door het bochtmanoeuvre zakt het schip te veel door en wordt de sluis genaderd vanuit een lage positie.

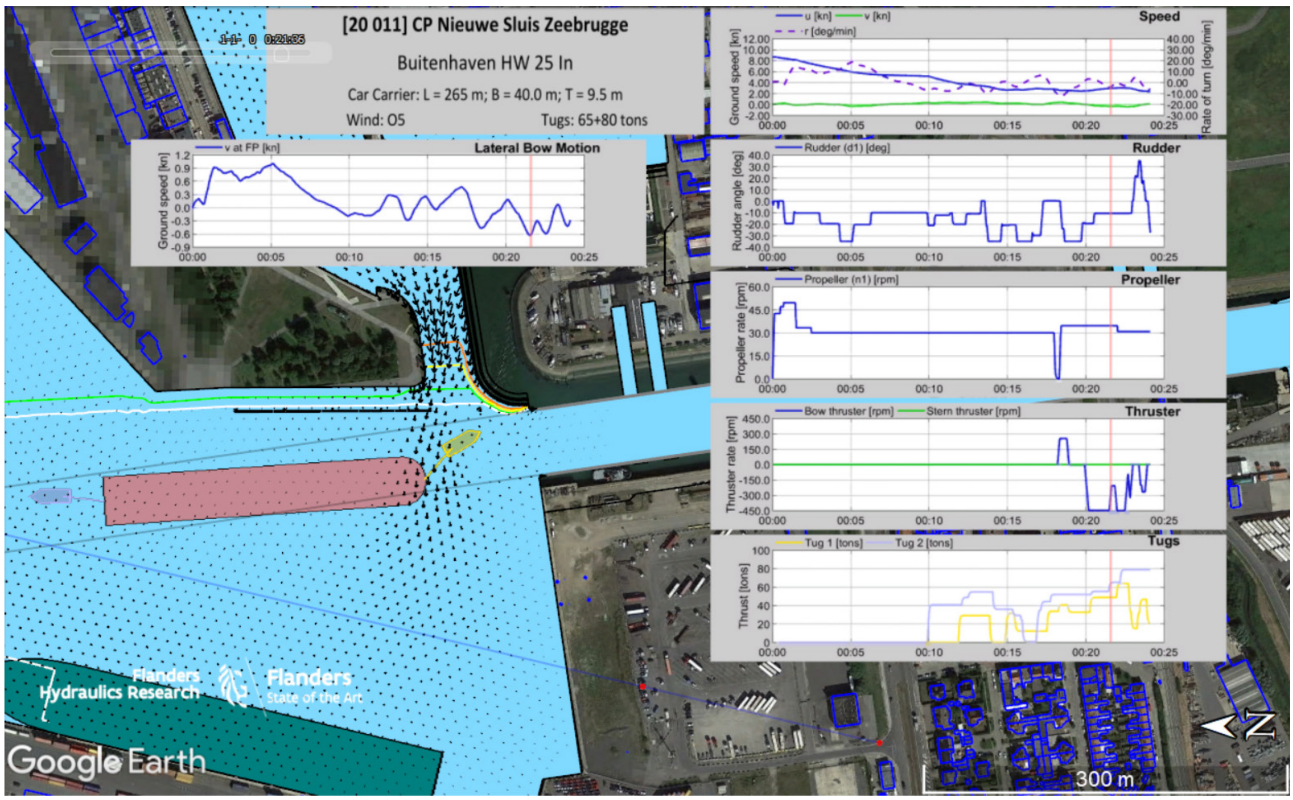
In simulatie 13 werd een ebstroom bij veiligheidsfactor 100% (=1) onderzocht. De positie waarbij het schip in simulatie 13 de stroomnaad bereikt wordt weergegeven in Figuur 70. Het schip bevindt zich op een lage positie en de sluis dient hierdoor onder een belangrijke drifthoek genaderd te worden. Op het ogenblik dat de boeg de stroomnaad bereikt wordt de stuurboord verplaatsing van de boeg gecompenseerd door een toename van de kracht van de voorboot (tot 50%) in combinatie met een maximaal gebruik van de boegschroef. Hierdoor slaagt de loods er in om het schip in de sluis te brengen zonder contact te maken met de sluisfendering (de boeg bewoog wel boven de wielfenders maar raakte deze niet). Toch werd opgemerkt dat deze sluisinvaart niet gunstig uitgevoerd werd. De combinatie van een ongunstige naderingspositie en de dwarsstroom (100%) kon bij windconditie O5 wel gecompenseerd worden door een maximaal gebruik van boegschroef en een belangrijk gebruik van de voorboot, maar dit gebruik van de hulpmiddelen in combinatie met de erg korte passeerafstand tot de sluishoek ging volgens de loodsen gepaard met weinig reserve en een meer dan normale moeilijkheidsgraad.

Op de tweede simulatiedag werden dezelfde condities onderzocht maar werd op de dwarsstroom een veiligheidsfactor 1.5 toegepast. Uit Figuur 71 blijkt opnieuw dat de boeg zich op een lage positie ten opzichte van de sluis bevindt op het ogenblik dat de stroomnaad bereikt wordt en dat bijgevolg op dat ogenblik er reeds een belangrijke correctie naar bakboord op de boeg uitgevoerd wordt door 75% trekkracht door de voorboot en een maximaal gebruik van de boegschroef. Het bereiken van de stroomnaad valt samen met een toevallige reductie van de boegschroef, waardoor de combinatie van beide effecten de dwarse beweging van de boeg naar bakboord vertraagt van initieel 0.6 kn naar 0.3 kn. Wanneer de boegschroef een twintigtal seconden later opnieuw verhoogd wordt en tegelijkertijd ook de voorboot 100% gaat trekken (zie Figuur 72), dan wordt de dwarse snelheid van de boeg naar bakboord opnieuw opgebouwd en kan de boeg zonder contact met de sluisfendering ingevaren worden.

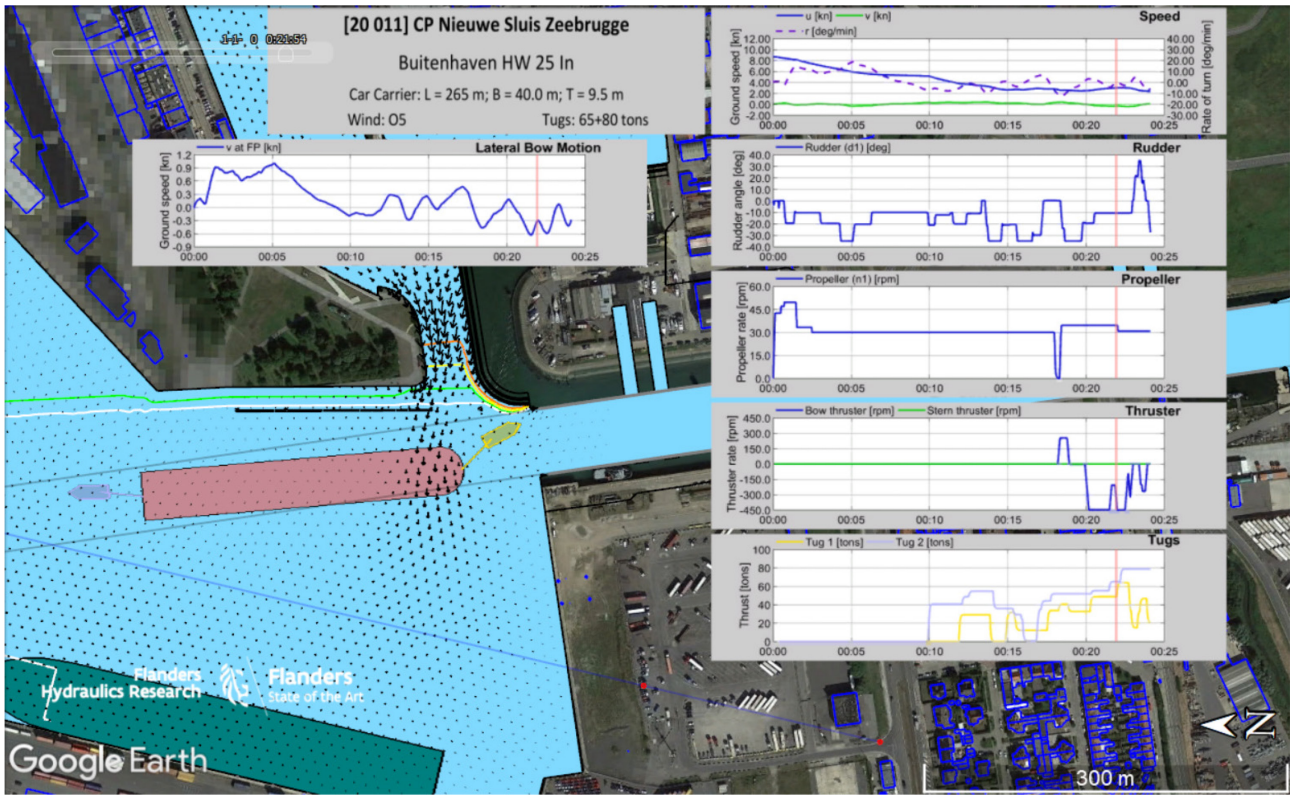
De noodzaak voor het gebruik van een maximale kracht van de voorboot en een maximale inzet van de boegschroef op korte afstand van de sluis (zie Figuur 72) illustreert dat deze simulatie uitgevoerd werd met weinig reserve en een meer dan normale moeilijkheid. Hoewel de dwarsstroom als dusdanig niet opgemerkt werd door de loodsen (aangezien het schip op dat ogenblik onderhevig is aan een complexe combinatie van externe verstoringen) blijkt uit de resultaten van zowel simulatie 13 als 25 dat de dwarsstroom een nadelige invloed heeft op het sluismanoeuvre.



Figuur 70 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 13 (17’50’’)



Figuur 71 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 25 (21’30’’)



Figuur 72 – Conditie waarin een maximaal gebruik van voorboot en boegschroef ingezet dient te worden in simulatie 25

6.2.2 Simulatie 14, 15, 19 en 24 (O6)

De combinatie van oostenwind en dwarsstroom wordt voor de sluisinvaarten als de meest ongunstige conditie beschouwd. Om die reden wordt een oostenwind met kracht 6 Beaufort toegepast in vier sluisinvaarten vanuit de Voorhaven.

Op de eerste simulatiedag werd getracht om de sluisinvaarten bij een dwarswind gelijk aan 6 Beaufort uit te voeren met twee sleepboten. Op het einde van deze dag werd geconcludeerd dat deze configuratie onvoldoende reserve bood voor de controle van het schip ten opzichte van de wind. Bijgevolg werden op de tweede simulatiedag de simulaties bij 6 Beaufort (steeds dwarswind) uitgevoerd met drie sleepboten waarbij de voorboot een bollard pull had van 80 ton en twee achterboten een bollard pull gelijk aan 65 ton hadden.

In simulatie 14 werd de windconditie O6 gecombineerd met een dwarsstroom met veiligheidsfactor 1. De sluis wordt in deze simulatie vanuit een gunstigere (hogere) positie (zie Figuur 73) genaderd dan in de eerdere simulatie 13 (bij O5).

Kort voor het bereiken van de stroomnaad wordt de boegschroef maximaal ingezet tegen de wind en stroom in en wordt kort na het bereiken van de stroomnaad de kracht van de voorboot verhoogd van 25% naar 50%. Beide effecten compenseren het optreden van de dwarsstroom waardoor het effect van de stroom op de dwarse beweging van de boeg niet waarneembaar is in de simulatieresultaten.

Na afloop van de simulatie gaven de loodsen aan dit een moeilijk manoeuvre te vinden. Dit is voornamelijk ingegeven door de korte oplijnlengte en door de beperkte reserves van de sleepboten ten opzichte van de wind. Het aandeel van de dwarsstroom was hierin beperkt. De moeilijkheidsgraad van de simulatie wordt ook geïllustreerd door het hoge aantal roercorrecties tijdens de aanloop naar de sluis.

In simulatie 15 werd de veiligheidsfactor van de dwarsstroom verhoogd tot 1.5 Uit Figuur 74 blijkt dat de naderingspositie tot de sluis bij het bereiken van de dwarsstroom erg goed overeenkomt met deze conditie in simulatie 14. Opnieuw wordt op het ogenblik dat de boeg de stroom bereikt een maximaal boegschroefgebruik naar bakboord toegepast en wordt de voorboot zo goed als maximaal gebruikt (tot

60 ton). Bovendien werd voorafgaand aan het manoeuvre de scheepssnelheid opgedreven om de wind gemakkelijker te kunnen compenseren. Dit alles heeft tot gevolg dat de invloed van de dwarsstroom niet duidelijk waarneembaar is in de dwarse snelheden ter hoogte van de boeg. Er kan echter aangenomen worden dat de afwezigheid van de dwarsstroom het opwerken van de boeg naar bakboord versneld zou hebben. Het moeizame opwerken van het schip tegen de wind, versterkt door de dwarsstroom, gaf aanleiding tot een contact met de westelijke buispaal die in deze simulatie dienst deed als sluisfendering. Dit contact gaf aanleiding tot een verplaatsing van de buispaal gelijk aan 0.37 m wat als een aanvaardbaar contact beschouwd wordt. De loodsen beoordeelden deze simulatie dan ook als beëindigd met incidenten zonder schade en gepaard gaand met een meer dan normale moeilijkheidsgraad. De loodsen geven aan dat ook zonder de dwarsstroom de aanvaardbaarheid van een oostenwind met kracht 6 Beaufort in vraag gesteld wordt. Er wordt aangeraden om in deze conditie drie sleepboten in te zetten waarbij de voorste sleepboot een minimale trekkracht gelijk aan 80 ton dient te hebben. Met betrekking tot de toegang van de jachthaven wordt aanbevolen om de oriëntatie van de jachthaventoegang te veranderen opdat deze minder haaks op de as van de sluis komt te staan. Hierdoor zou zowel de dwarsstroom verminderd worden als zou het manoeuvre tussen fietspad en jachthaven vereenvoudigd worden (flauwere bocht).

Simulatie 19 betrof de laatste simulatie van de eerste simulatiedag. De simulatie werd uitgevoerd bij dezelfde condities als simulatie 15 maar werd uitgevoerd met drie sleepboten, bestaande uit één voorboot (80 ton) en twee achterboten (2 x 65 ton). Simulatie 19 was ook de eerste simulatie waarbij een bijkomend scherm aangeboden werd op de simulatorbrug, waarop de horizontale positie van het schip weergegeven werd ten opzichte van hulplijnen in het verlengde van de drijframen. Uit Figuur 76 blijkt dat de aangepaste sleepbootconfiguratie toelaat om de sluis te naderen vanuit een uitgelijnde positie welke veel gunstiger is dan deze in de eerdere simulaties. Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat de sluisnadering aan opvallend lage snelheid uitgevoerd werd (van zodra de boeg zich ter hoogte van OCHZ bevond bedroeg de snelheid al minder dan 2 kn), wat ook bevorderlijk is voor het vinden van een evenwichtssituatie. Op het ogenblik dat de boeg de dwarsstroom bereikte, werd de voorste sleepboot net in kracht verminderd (tot 25%). De dwarse beweging van de boeg naar stuurboord, diende vervolgens gecompenseerd te worden door de voorboot tot 75% in te zetten (60 ton). De simulatie toont aan dat bij een gecontroleerde aanloop de hinderlijke effecten van de dwarsstroom gecompenseerd kunnen worden. Toch stellen de loodsen dat de dwarsstroom hinderlijk is en dient gemitigeerd te worden.

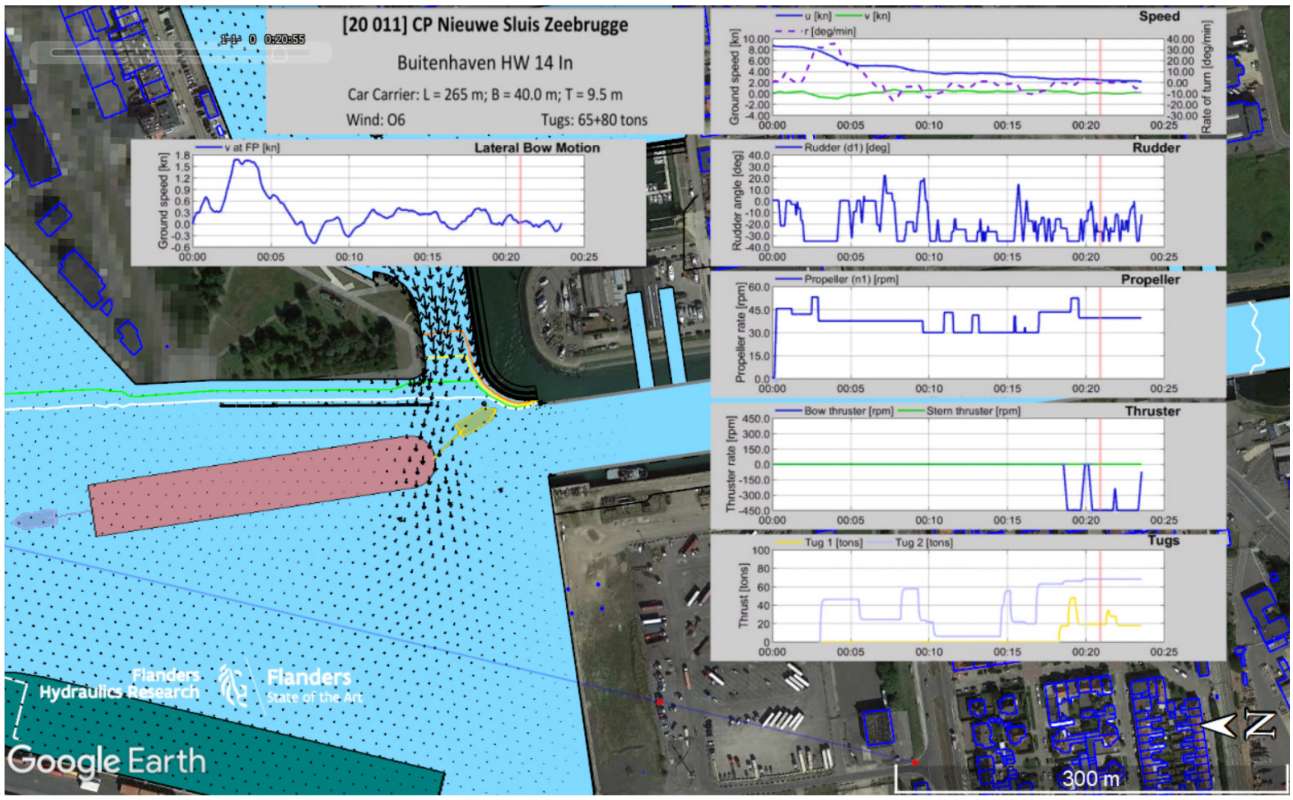
Op het einde van de simulatie maakte het schip een contact met de westelijke wielfenders (zie Figuur 77). Het betrof een licht contact waarbij de onderste drie wielfenders 0.12 m ingedrukt werden. Dit werd door de loodsen toegeschreven aan een foutieve interpretatie van de loods. De loods stond in de bakboord brugvleugel en merkte niet op dat het achterschip wegzakte (mede door de stroom, maar vooral doordat het roer midscheeps gebracht werd).

De loodsen gaven verder nog aan dat door de moeilijke aanloop van de Visartsluis de beschikbaarheid over positioneringshulpmiddelen zoals een Full SNMS positioneringssysteem nuttig zou zijn. De beschikbaarheid over een Full SNMS in Lock Approach mode werd in de simulator nagebootst door een bijkomend scherm met positie schip ten opzichte van de verlengde kolk.

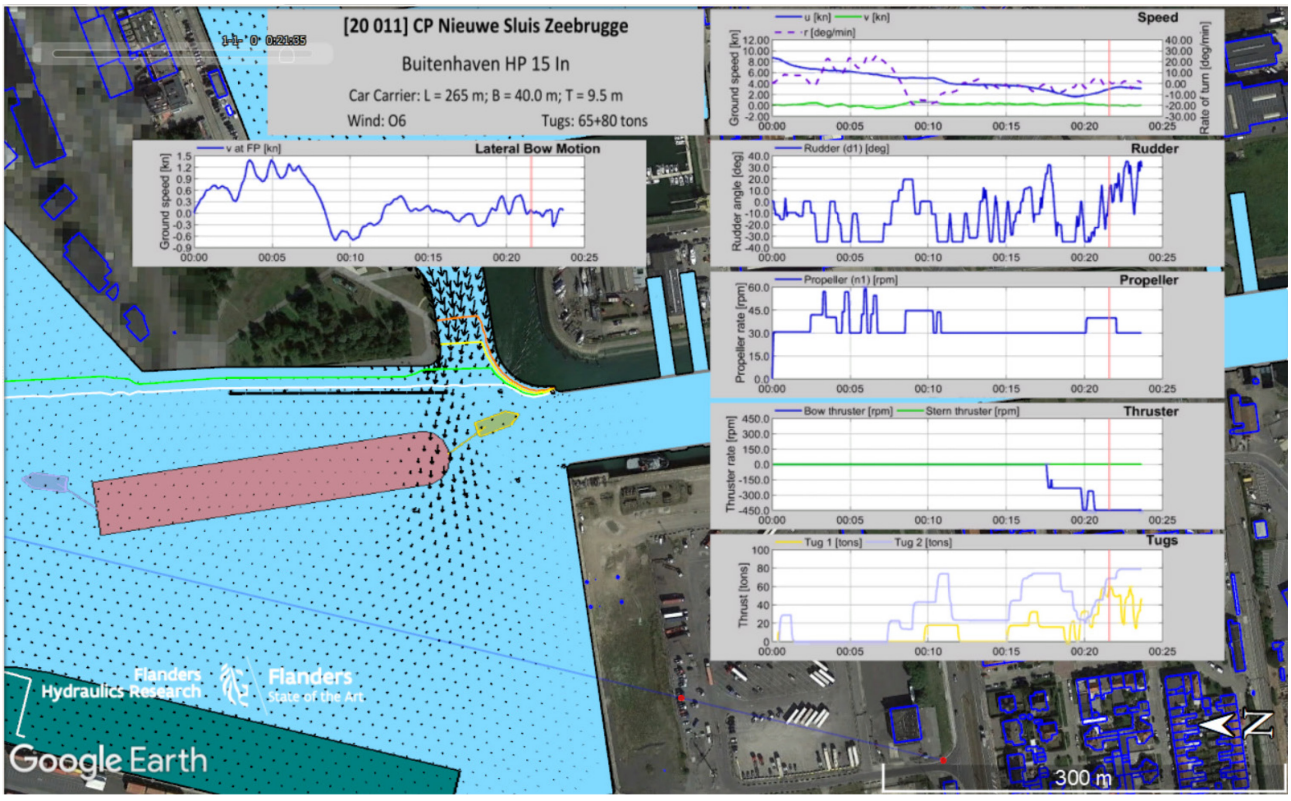
Op de tweede simulatiedag werd in simulatie 24 dezelfde conditie als in simulatie 19 onderzocht. De sluisnadering werd nu aan een hogere snelheid uitgevoerd (3.5 kn aan OCHZ) waarbij de snelheid stelselmatig afgebouwd wordt tot ca. 2 kn wanneer de boeg de dwarsstroom bereikte (zie Figuur 78). Op hetzelfde ogenblik werd de kracht van de voorboot verhoogd tot 100% gecombineerd met een maximaal gebruik van de boegschroef, waardoor het effect van de dwarsstroom op de boeg volledig gecompenseerd werd.

Wanneer de boeg zich in de sluis bevond, werd de voorboot gestopt. Het was de bedoeling van de loods om het schip tegen het drijfraam en de wielfenders te laten landen en zo verder te sluis in te glijden langs de sluisfendering. De fendering is hiervoor echter niet bedoeld. De contacten met de sluisfendering zijn volledig toe te schrijven aan de keuze van de loods om de voorboot te stoppen. In realiteit zou (bij een normaal gebruik van de voorboot) het contact met de sluisfendering vermeden kunnen worden, waardoor deze ook niet in rekening gebracht werd bij de beoordeling van de simulatie.

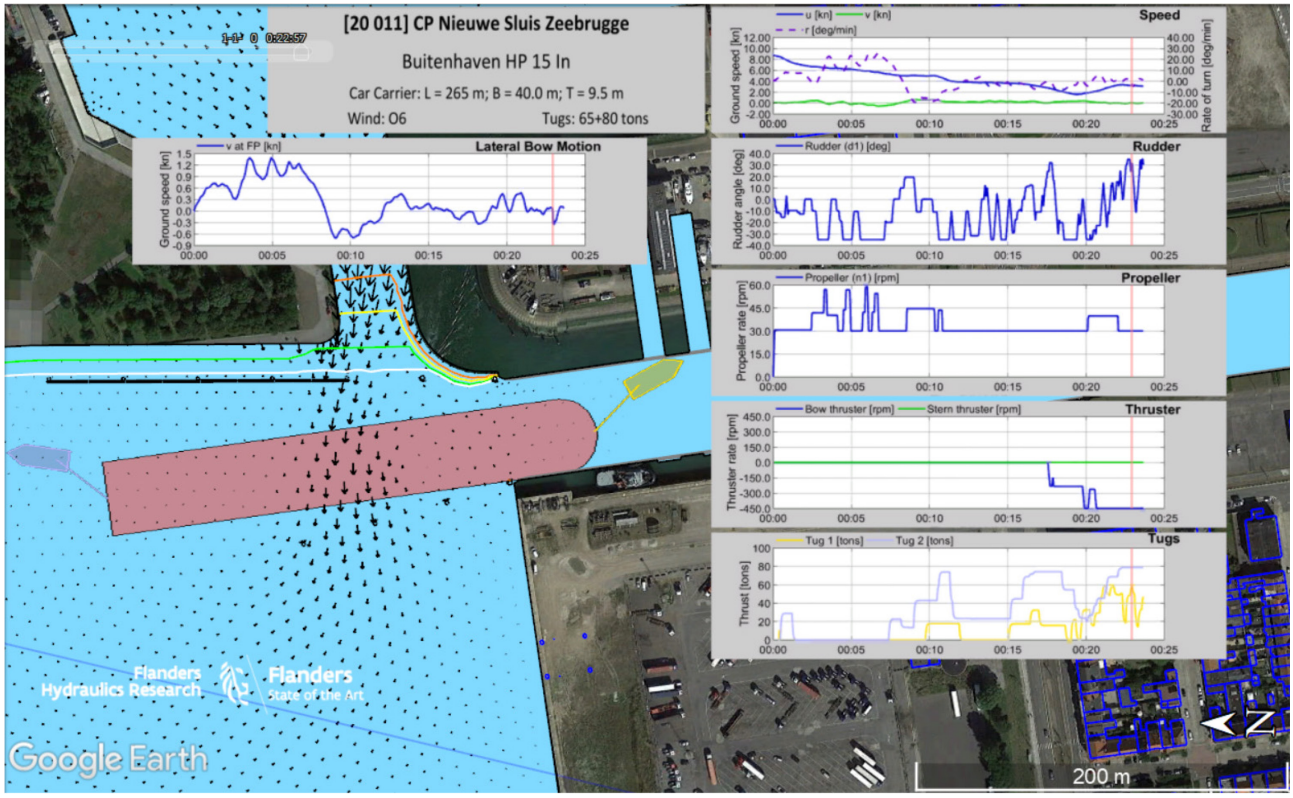
De loodsen gaven aan de simulatie moeilijk te vinden en gepaard gaand met weinig reserve.



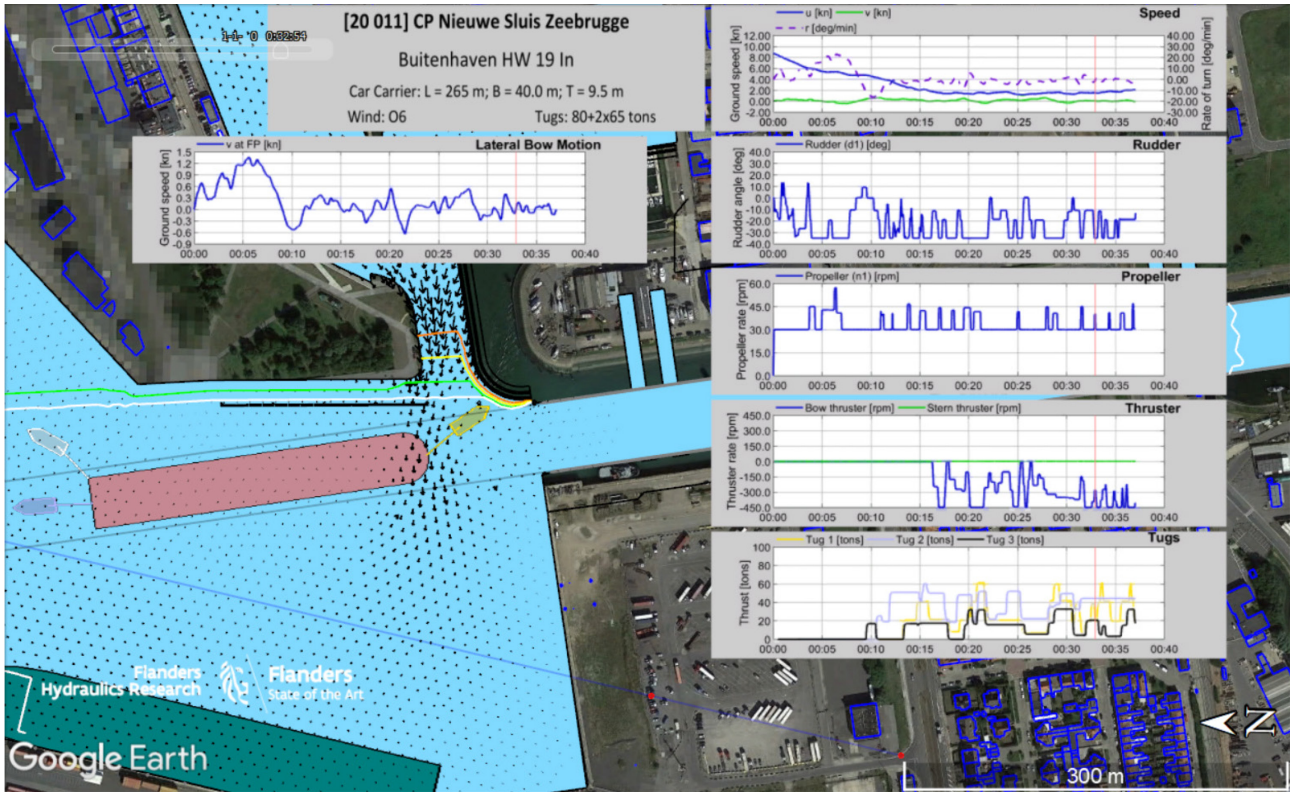
Figuur 73 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 14 (20’50’’)



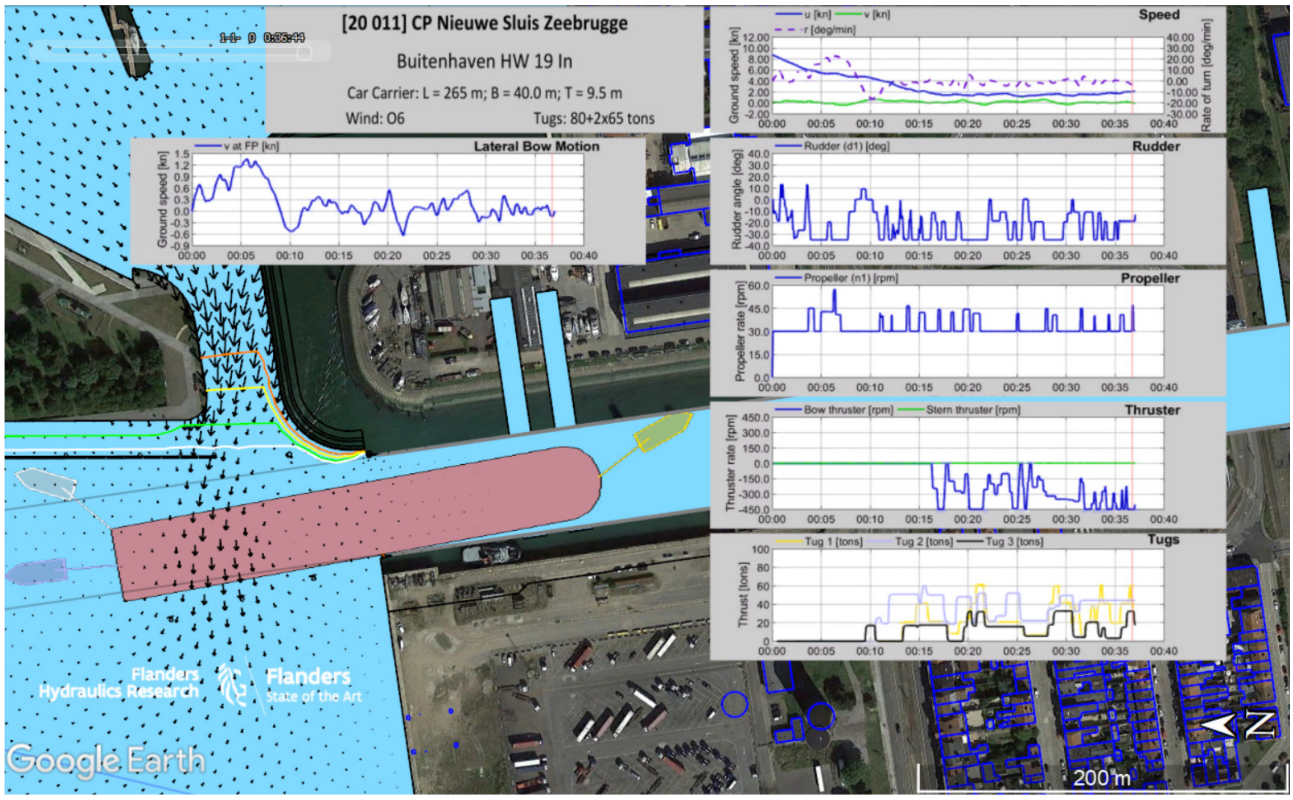
Figuur 74 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 15 (21’30’’)



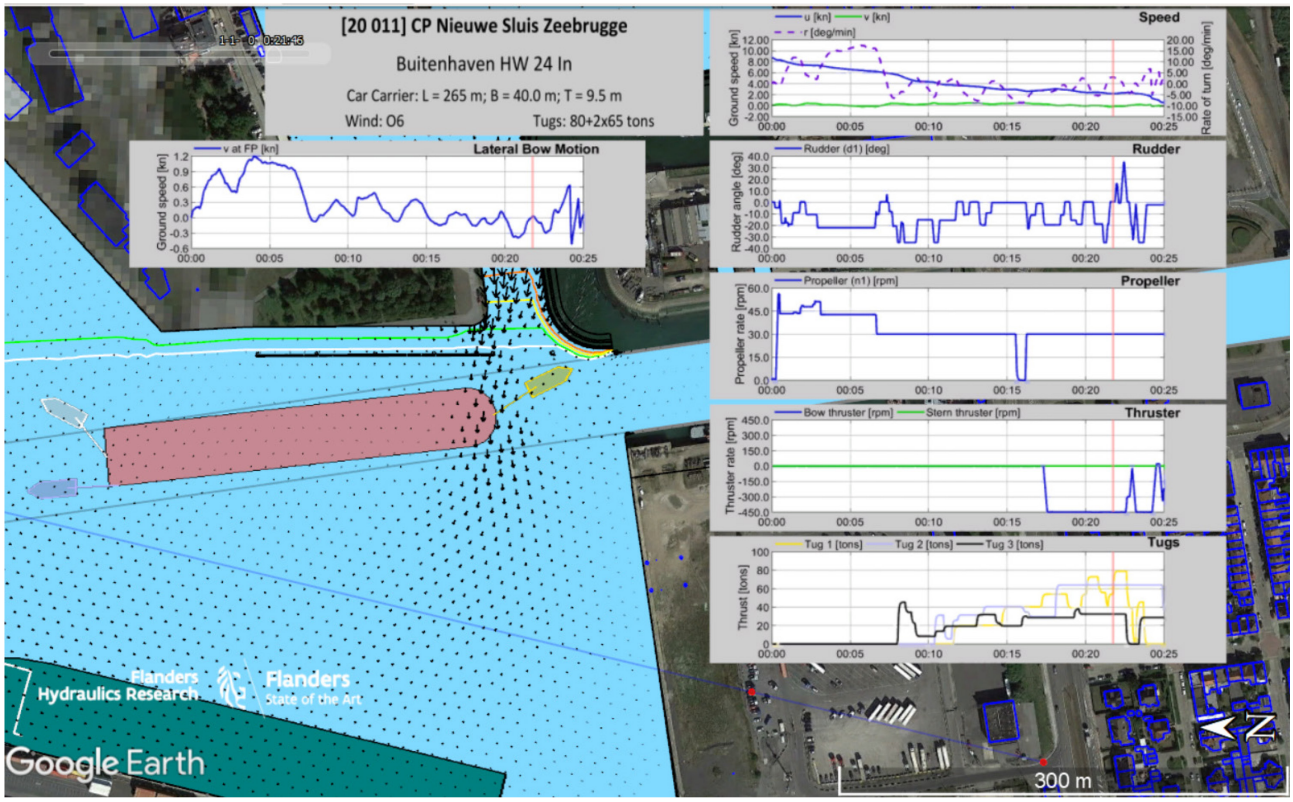
Figuur 75 – Contact tussen schip en westelijke buispaal in simulatie 15



Figuur 76 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 19 (32’50’’)



Figuur 77 – Contact tussen schip en westelijke wielfenders in simulatie 19



Figuur 78 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 24 (21’40’’)

6.2.3 Simulatie 16, 17, 18 en 23 (WZW6)

In vier simulaties werd de meest voorkomende windrichting (WZW) onderzocht bij 6 Beaufort. De eerste twee simulaties werden uitgevoerd met twee sleepboten en de twee laatste met drie sleepboten. De west-zuidwestelijke windrichting heeft een tegenovergestelde richting dan de ebstroom uit de jachthaven.

In simulatie 16 wordt de toegangszone tot de sluis ingevaren vanuit een lage positie (zie Figuur 79) wat, rekening houdend met het advies om bij deze windconditie ten westen van de lichtenlijn te varen, een ongunstige uitgangspositie tot de sluis vormt. De boei Z10 werd hierbij op 12.5 m gepasseerd (afstand tot centrum boei). Om vanuit een dergelijk lage positie het schip op te werken naar de sluis was een belangrijk gebruik van de boegschroef en de voorste sleepboot nodig op korte afstand van de noodsteiger. Er werd opgemerkt dat indien deze noodsteiger als open constructie uitgevoerd wordt, de schroefstralen van sleepboten en boegschroef hinder zullen vormen voor pleziervaart in het fietspad. Er zou aanbevolen moeten worden om bij belangrijke dwarswind (bvb. vanaf 5 Beaufort) het fietspad te stremmen in geval van sluismanoeuvres door maatgevende vaart. Ook de schroefstraal van de hoofdschroef van het schip wordt bij een westzuidwestelijke wind door het roer afgebogen in de richting van het fietspad, doordat het roer ingezet wordt om het achterschip op te drukken tegen de wind in.

Wanneer de boeg van het schip de dwarsstroom bereikte (zie Figuur 80) vertoonde de boeg een verlijering die gepaard ging met een belangrijke dwarse snelheid naar bakboord. Door een maximaal gebruik van de voorste sleepboot en de boegschroef en geholpen door de dwarsstroom werd deze dwarse snelheid opnieuw gereduceerd.

Tijdens het invaren van de sluis werd een maximale roerhoek naar bakboord gecombineerd met een verhoging van het schroeftoerental tot eerst slow ahead en zelfs kortstondig half ahead. Hierdoor werd enerzijds het achterschip tegen de wind opgewerkt, maar anderzijds werd hierdoor de opbouw van de dwarse snelheid naar stuurboord op het voorschip vertraagd en verloor het schip de drifthoek ten opzichte van de wind (bij snelheid ca. 3 kn). Hierdoor maakte de boeg bij het invaren van de sluis een beperkt contact (indrukking 0.16 m) met de bovenste oostelijke wielfender, hoewel de boeg op dat ogenblik een belangrijke dwarse beweging naar stuurboord (0.4 kn) had (zie Figuur 81). De conditie waarin de sluis genaderd werd, wordt erg ongunstig beoordeeld door de beperkte reserve aan de boeg. Er werd gesteld dat de uitvoering van het manoeuvre uiterste moeilijk was en gepaard ging met een incident zonder schade. Omdat de resultaten van het manoeuvre sterk beïnvloed werden door de lage naderingspositie ter hoogte van boei Z10, werden de condities uit simulatie 16 herhaald in simulatie 17.

In simulatie 17 wordt de sluis inderdaad vanuit een hogere positie genaderd bij een vaarsnelheid gelijk aan 3.5 kn (zie Figuur 82). Tijdens de aanloop blijkt een langdurig maximaal gebruik van beide sleepboten (waarbij ook de achterboot onder een hoek tegen de wind in trekt) en de boegschroef. Ook de invloed van de roerwerking op de dwarsbeweging van de boeg wordt in deze simulatie erg duidelijk geïllustreerd. Net voor het schip de dwarsstroom bereikte, werd een maximale roerhoek naar bakboord gecombineerd met een maximaal gebruik van de achterste sleepboot. Beide effecten werken het achterschip op tegen de wind maar doen het schip hoogte verliezen aan de boeg. Bovendien kreeg het schip hierdoor een koers met de wind mee (bij snelheid 3.5 kn) wat het compenseren van dwarswind verder bemoeilijkte. Uiteindelijk passeerde de boeg rakelings langs de oostelijke sluisfendering (zie Figuur 83). Ondanks dat de sluisinvaart uitgevoerd kon worden zonder contact met de sluisfendering, werden simulaties 16 en 17 samen beoordeeld en werd gesteld dat de beschikbaarheid over twee sleepboten (80 ton en 65 ton) onvoldoende was om op de korte oplijnafstand tot de sluis een evenwichtssituatie te bekomen met een dwarswind met kracht 6 Beaufort. Er werd gesteld dat drie sleepboten noodzakelijk zijn.

Een simulatie met drie sleepboten werd voor de eerste maal toegepast in simulatie 18. De configuratie bestond uit één voorboot (80 ton) en twee achterboten (2 x 65 ton). Net als vastgesteld werd bij oostenwind biedt de beschikbaarheid over drie sleepboten de mogelijkheid om de sluis aan een lagere snelheid te naderen. De sleepboten (samen met de boegschroef) zijn immers in staat om het effect van de wind te compenseren zonder dat hiervoor een drifthoek nodig is. De combinatie van drie sleepboten laat toe dat de sluis vanop een gunstige positie genaderd kan worden (zie Figuur 84). De gecontroleerde sluisinvaart in

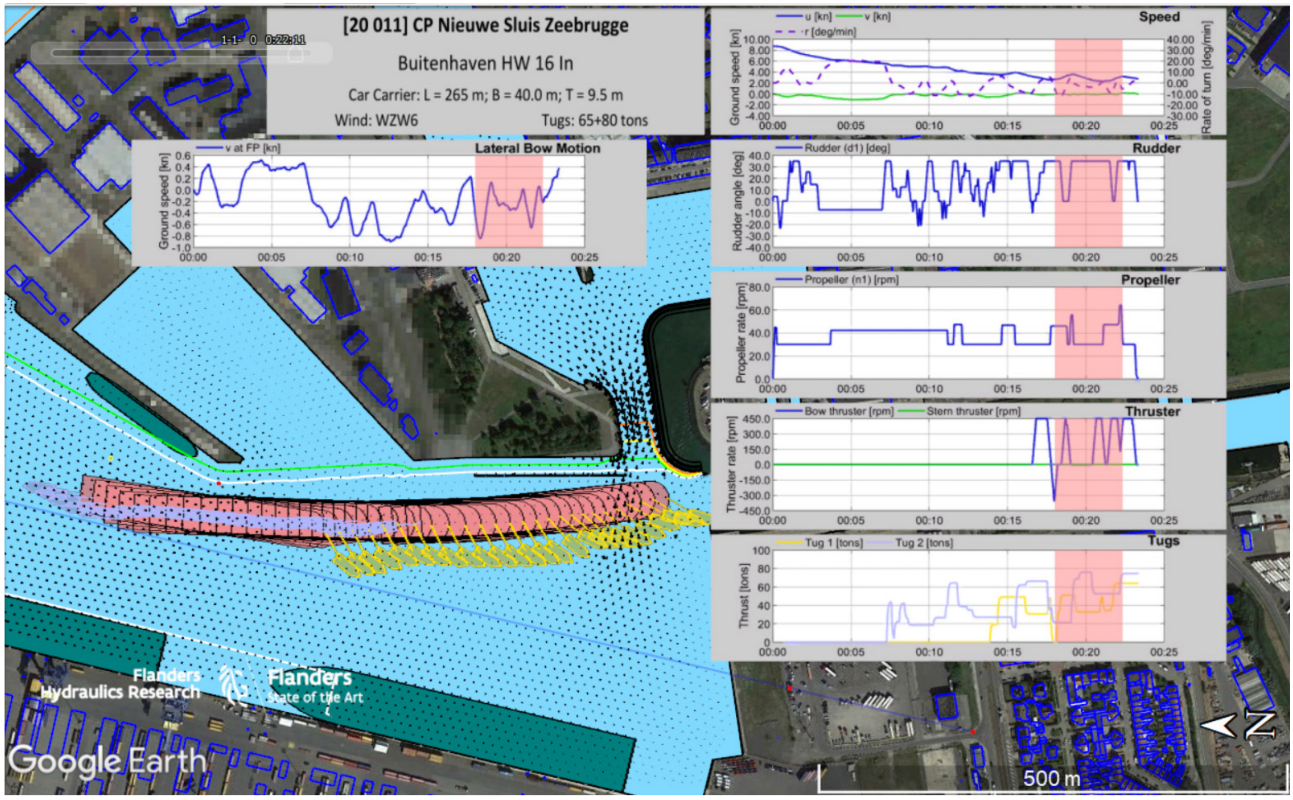
simulatie 18 wordt bovendien geïllustreerd door de beperkte dwarse bewegingen van de boeg in de laatste vier minuten van de simulatie. De positie van de boeg en de koers van het schip werden gecontroleerd door een relatief constant gebruik van de sleepboten (tijdens de sluisnadering tot maximaal 75%) gecombineerd met constante variaties in roergebruik en boegschroef.

Ondanks de gecontroleerde sluisinvaart trad er een licht contact op met de oostelijke buispaal (0.1 m verplaatsing). Dit wordt door de loodsen beschouwd als een gecontroleerde toepassing van deze constructie. Er werd geoordeeld dat met de beschikbare sleepbootconfiguratie uit simulatie 18 de sluisinvaart wel aanvaardbaar uitgevoerd kan worden bij windconditie WZW6. Toch blijft dit manoeuvre gepaard gaan met weinig reserves en een meer dan normale moeilijkheidsgraad. De meerwaarde van een Full SNMS positioneringssysteem werd herhaald.

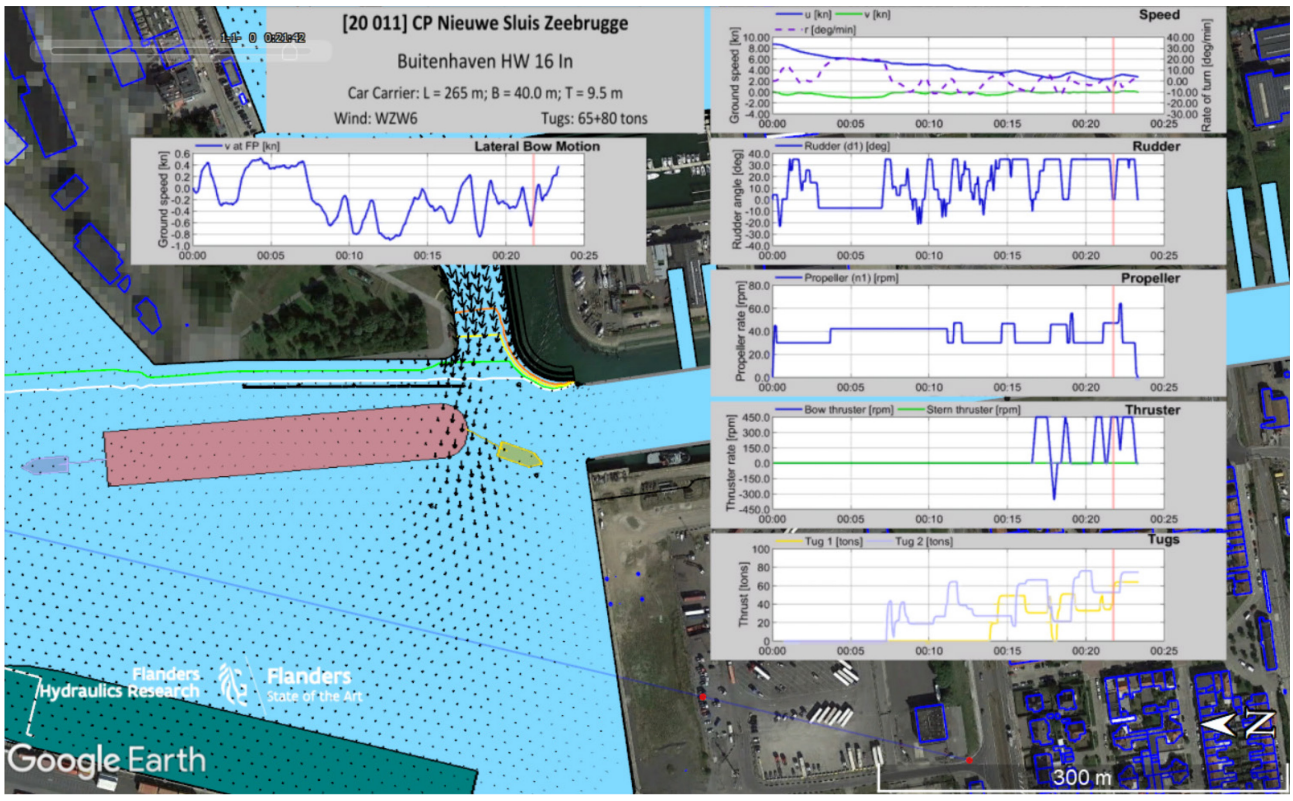
Op de tweede simulatiedag werden in simulatie 23 dezelfde condities onderzocht als in simulatie 18. Uit Figuur 85 blijkt dat de sluis genaderd wordt onder een drifthoek, waarbij de boeg zich op een hoge positie bevindt. De boeg diende bijgevolg op korte afstand van de sluis gecorrigeerd te worden in de richting van de wind (dwarssnelheid tot 0.45 kn naar bakboord), waarna deze beweging slechts traag gestut kan worden ondanks een maximaal gebruik van de voorboot en de boegschroef. De effectiviteit van de voorboot bij een hoge positie van de boeg is hierbij erg beperkt, doordat de voorboot in dat geval slechts een zeer beperkte trekhoek kan realiseren, zoals geïllustreerd wordt in Figuur 86. Uiteindelijk trad in deze simulatie een contact op met de wielfenders (zie Figuur 87). Hierbij werden de vijf wielfenders ingedrukt. De grootste indrukking trad op bij de middelste wielfender (0.56 m).

Wanneer het gebruik van de hulpmiddelen (sleepboten, boegschroef, roer, schroef) vergeleken wordt in simulaties 18 en 23, dan valt in simulatie 18 een stabieler gebruik op en een meer gecontroleerde sluisinvaart. De loodsen uit simulatie 23 gaven toe dat de simulatie beter in een meer uitgelijnde conditie uitgevoerd kan worden zodat het schip in een evenwichtsconditie naar de sluis gebracht kan worden. Een dergelijk manoeuvre kan ondersteund worden door een positioneringssysteem zoals Full SNMS. Door het relatief belangrijke contact met de wielfenders werd geoordeeld dat de simulatie gepaard ging met een incident zonder schade. De uitvoering van de simulatie werd als moeilijk ervaren (wat bevestigd wordt door het grote aantal aanpassingen van de hulpmiddelen) maar wordt in realiteit wel aanvaardbaar geacht.

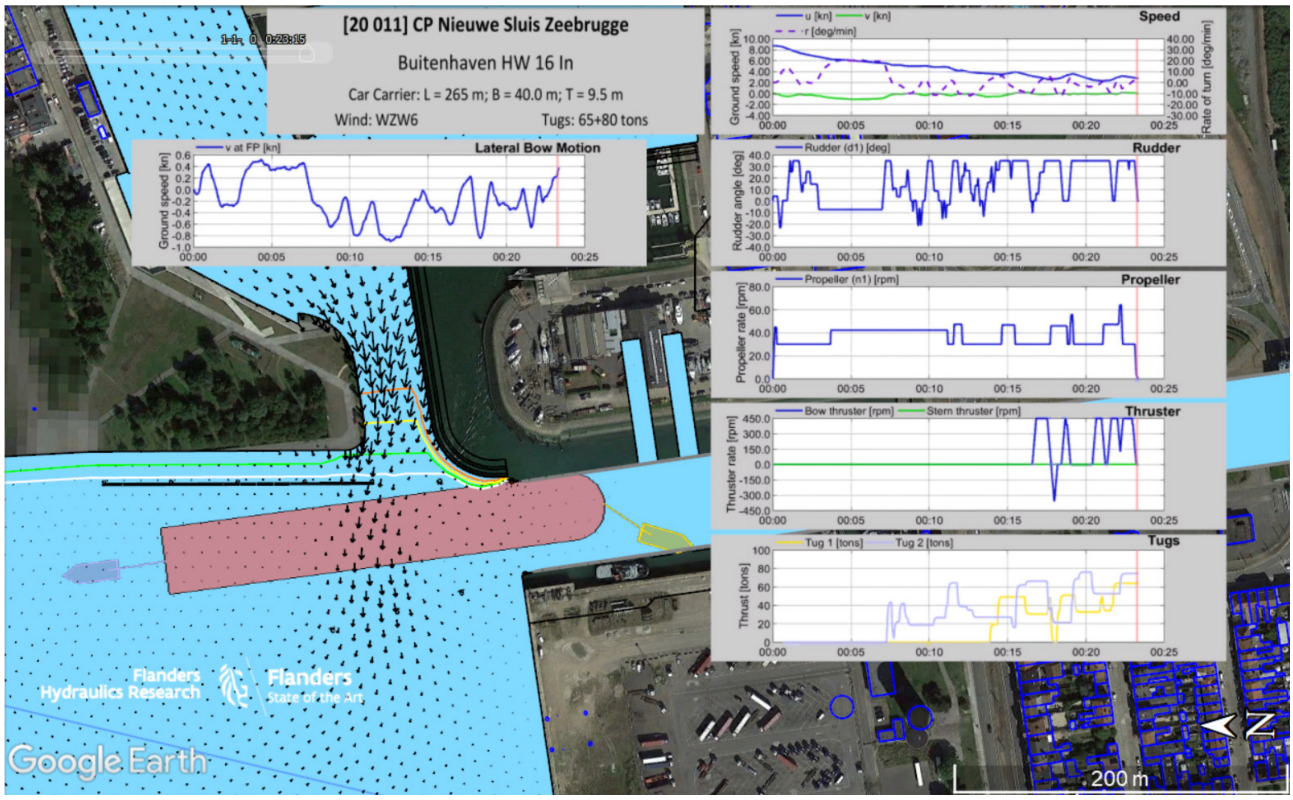
Met betrekking tot de dwarsstroom wordt geconcludeerd dat dit effect ondergeschikt is aan de windconditie waardoor bij een westzuidwestelijke wind, waarbij de dwarsstroom in de tegenovergestelde richting werkt dan de wind, de hinder door deze dwarsstroom verwaarloosbaar is.



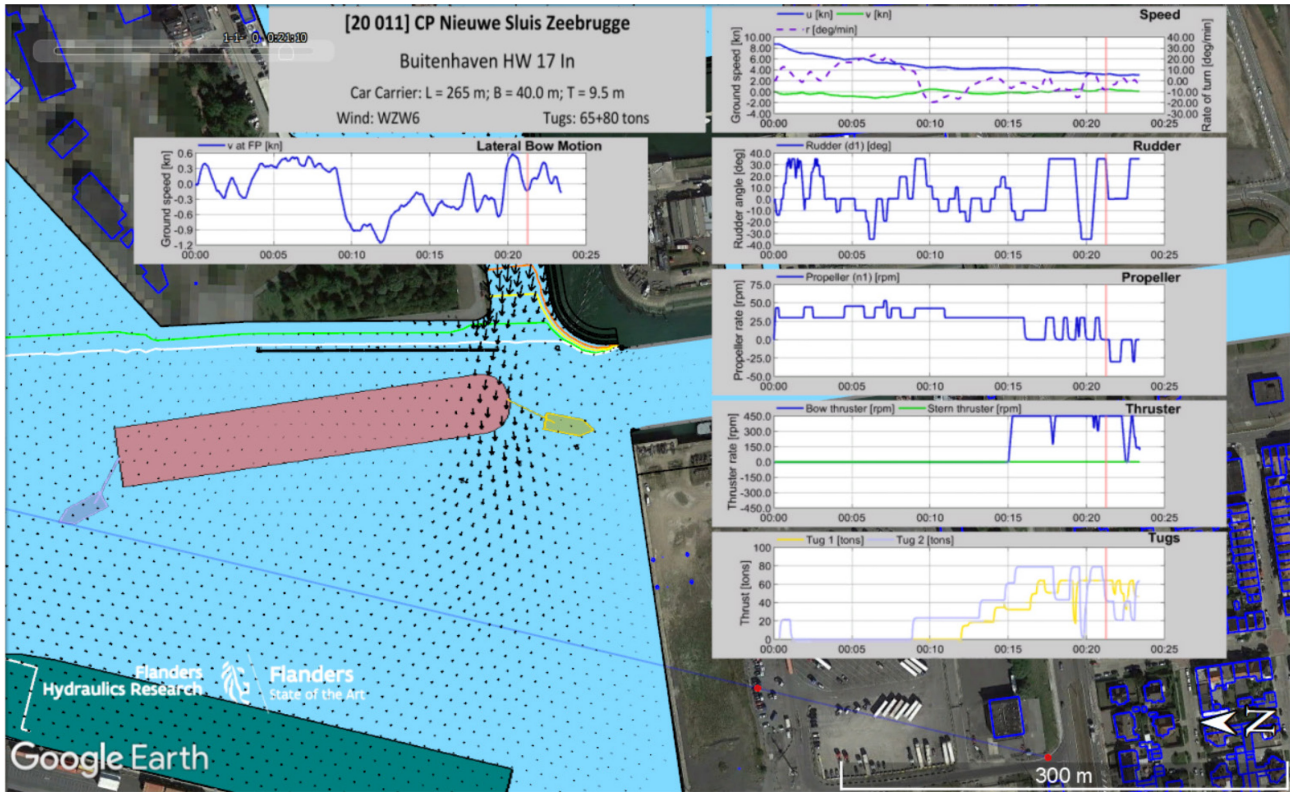
Figuur 79 – Nadering van sluis vanuit lage positie in simulatie 16



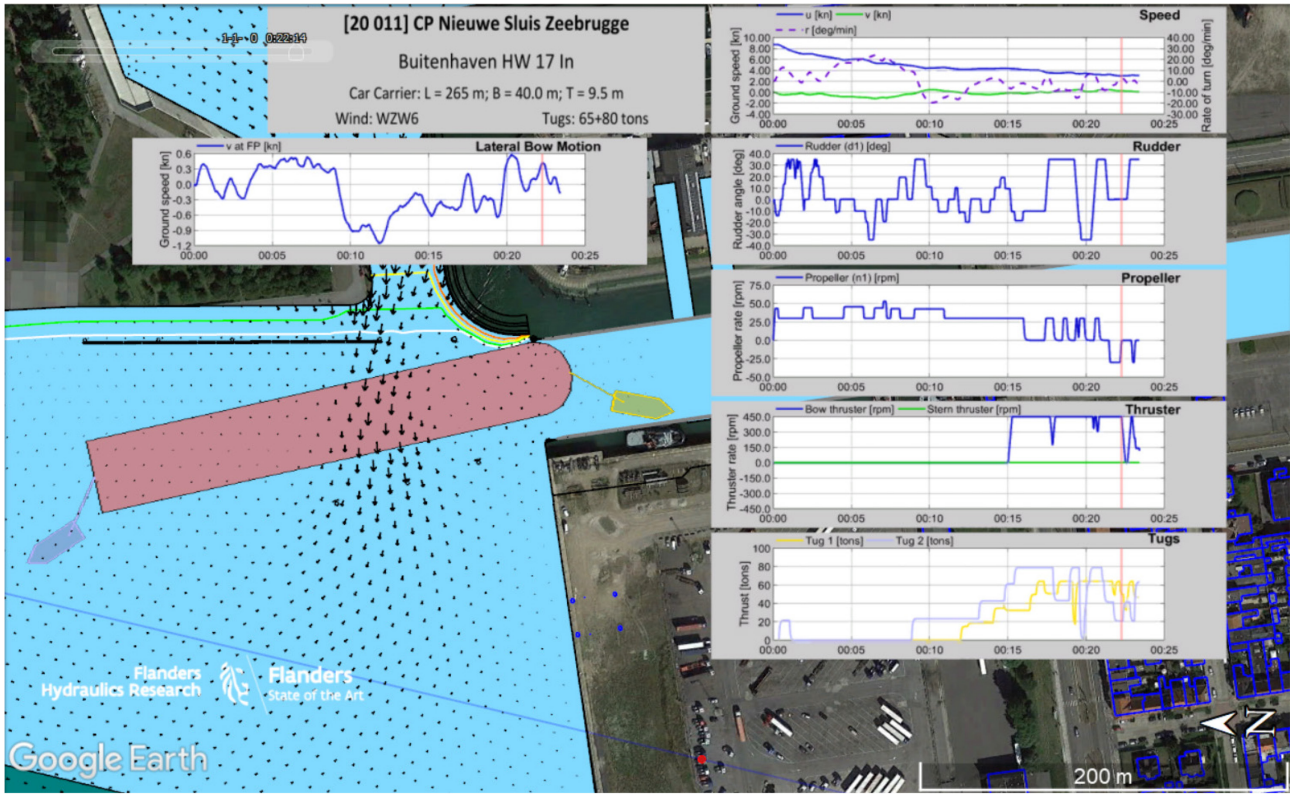
Figuur 80 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 16 (21’40’’)



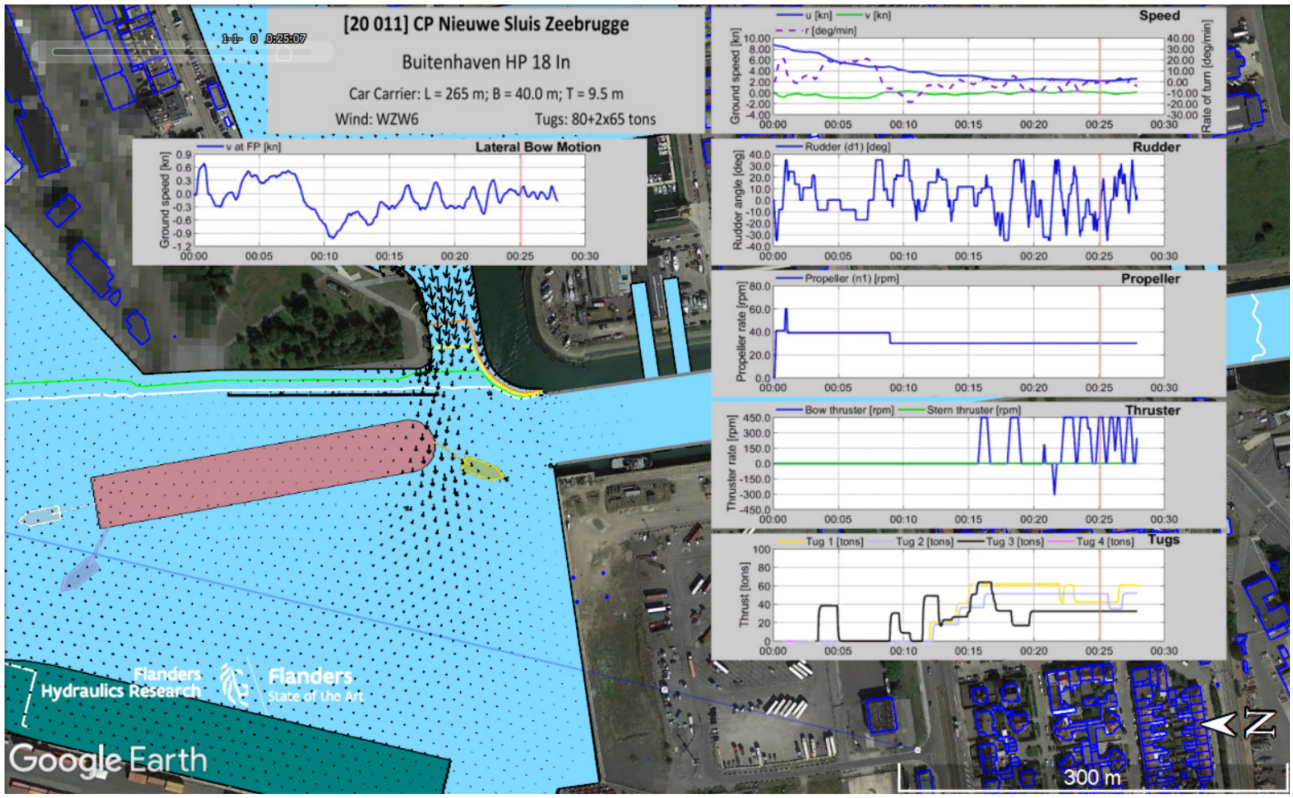
Figuur 81 – Contact tussen boeg en bovenste wielfender in simulatie 16



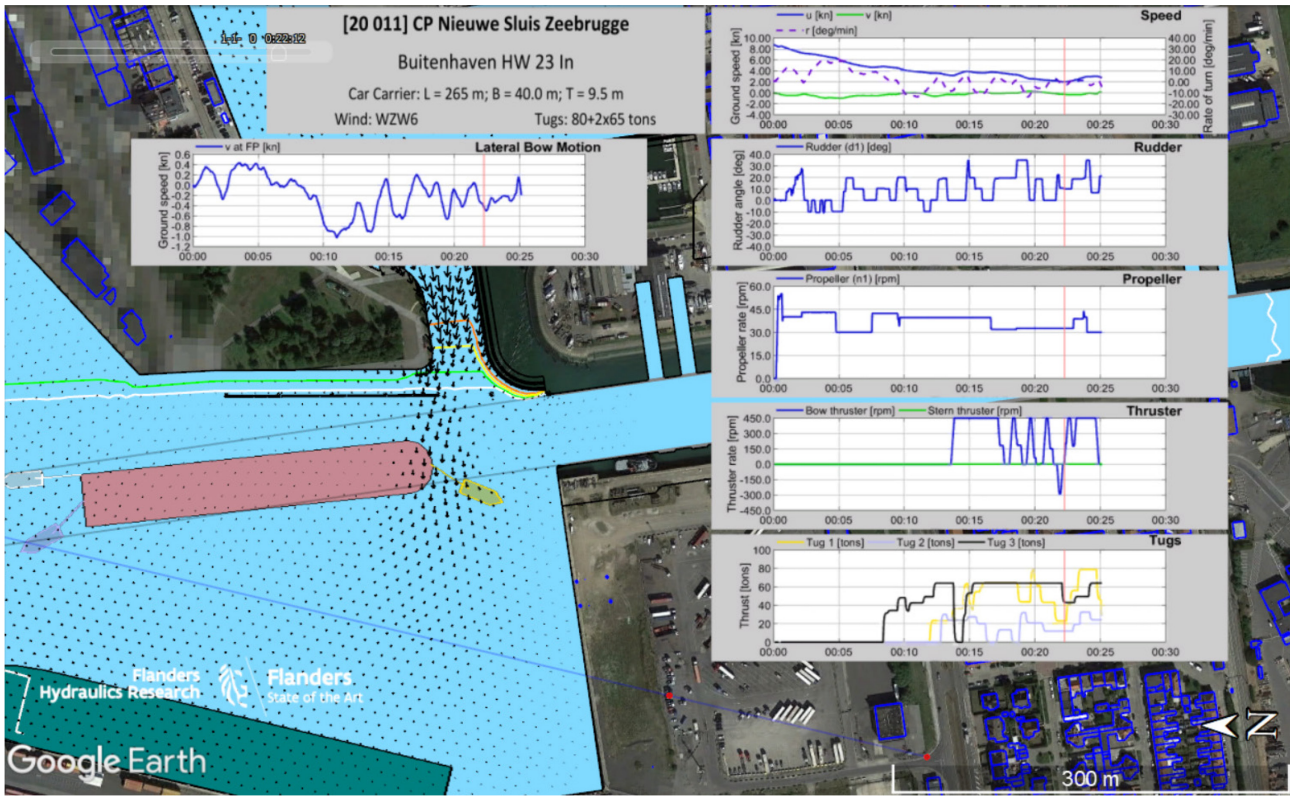
Figuur 82 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 17 (21’10’’)



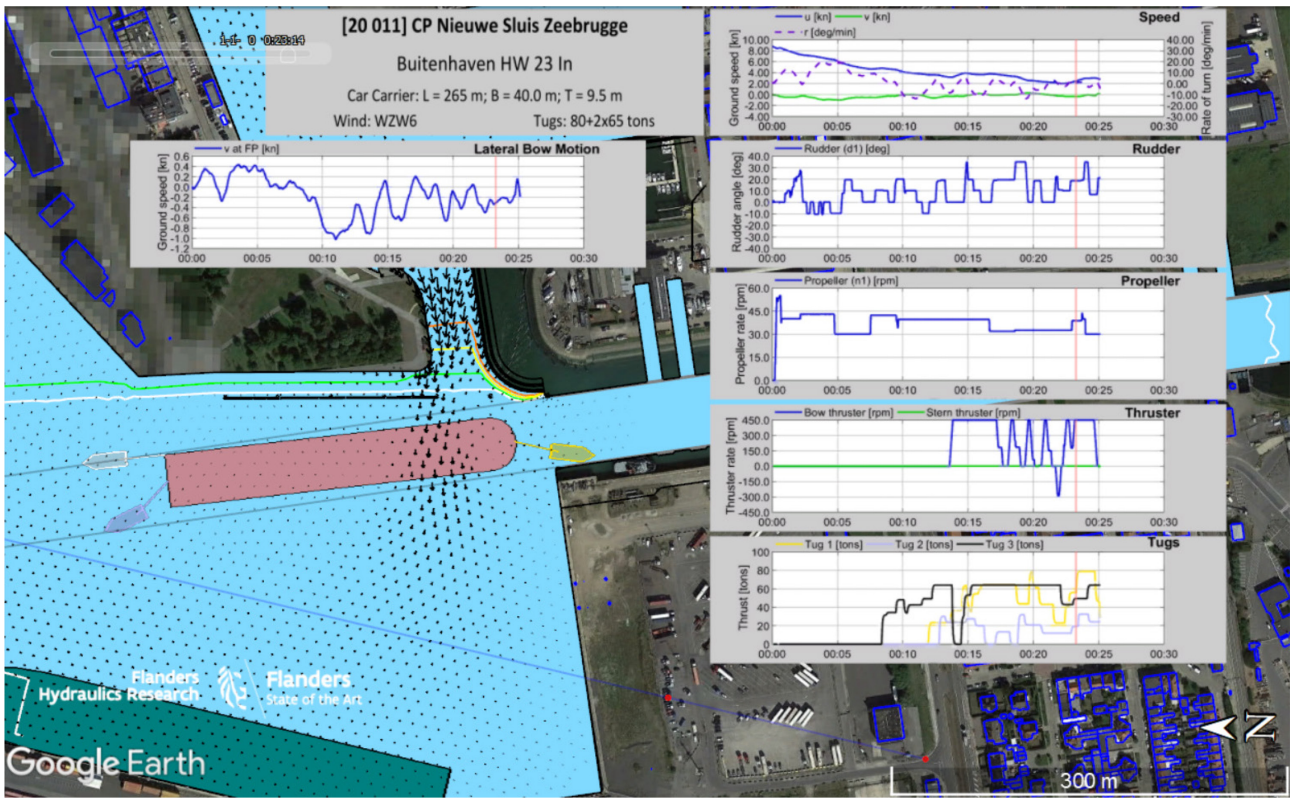
Figuur 83 – Conditie waarin boeg sluis bereikt in simulatie 17



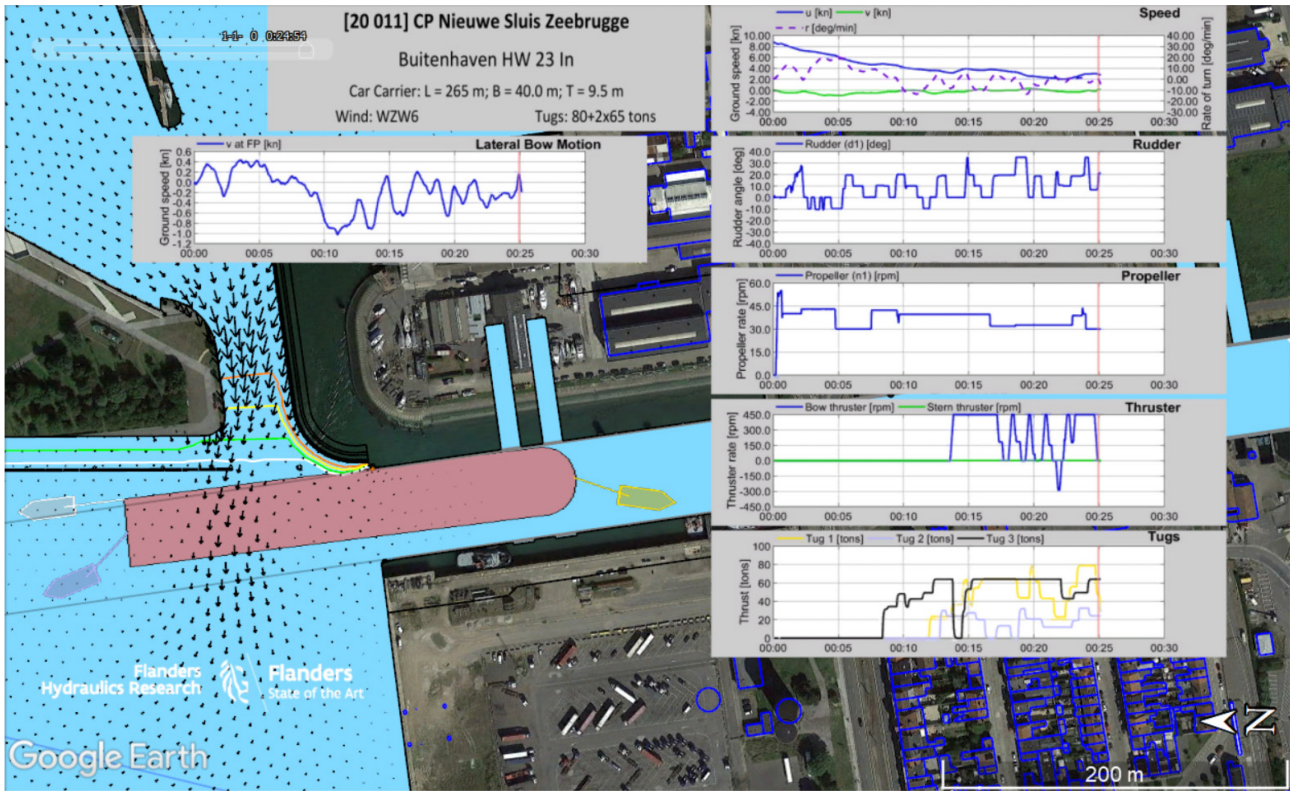
Figuur 84 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 18 (25’00’’)



Figuur 85 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 23 (22'10'')



Figuur 86 – Illustratie van de beperkte hoek die de voorboot tegen de wind kan maken bij een hoge positie van de boeg

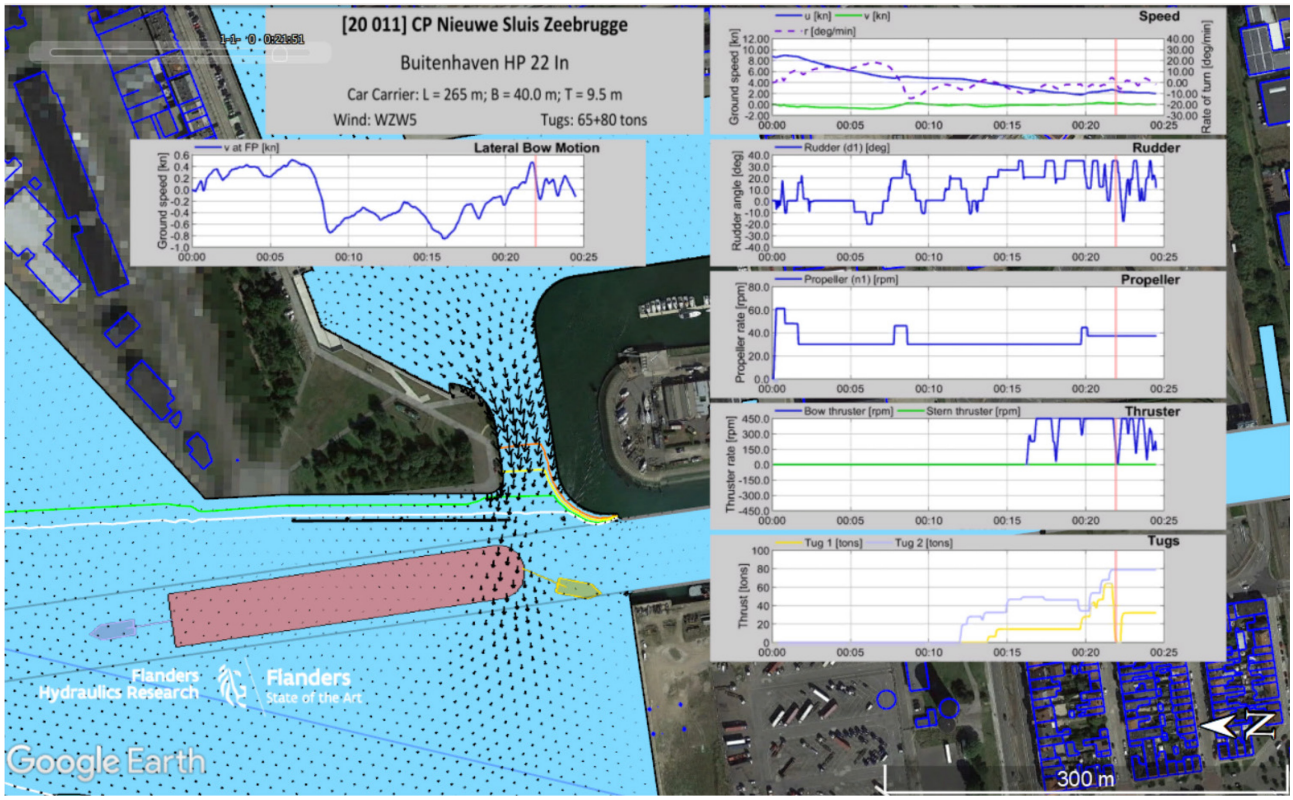


Figuur 87 – Contact tussen schip en wielfenders in simulatie 23

6.2.4 Simulatie 22 (WZW5)

Simulatie 22 was de eerste sluisinvaart die gesimuleerd werd op de tweede simulatiedag. Rekening houdend met de conclusies uit de eerste simulatiedag werd een dwarswind met kracht 5 Beaufort, de maximale windconditie geacht waarbij een sleepbootconfiguratie met twee sleepboten volstaat.

Uit Figuur 88 blijkt inderdaad dat door middel van twee sleepboten het schip op een gunstige positie naar de sluis gebracht kan worden. Op het ogenblik dat de boeg de dwarsstroom bereikte, werd de voorboot gestopt omdat het schip dan al een belangrijke dwarsbeweging naar stuurboord vertoonde. Hierdoor bewoog de boeg onder invloed van de wind in de tegenovergestelde richting van de dwarsstroom. Dit toont nogmaals de dominantie van de wind (WZW5) ten opzichte van de stroom. De sluis kan verder gecontroleerd ingevaren worden. De aanvaardbaarheid van dit scenario werd bevestigd en de simulatie werd beoordeeld als meer dan normaal moeilijk en met weinig reserve.



Figuur 88 – Conditie schip wanneer boeg ter hoogte van jachthaven in simulatie 22 (21’50’’)

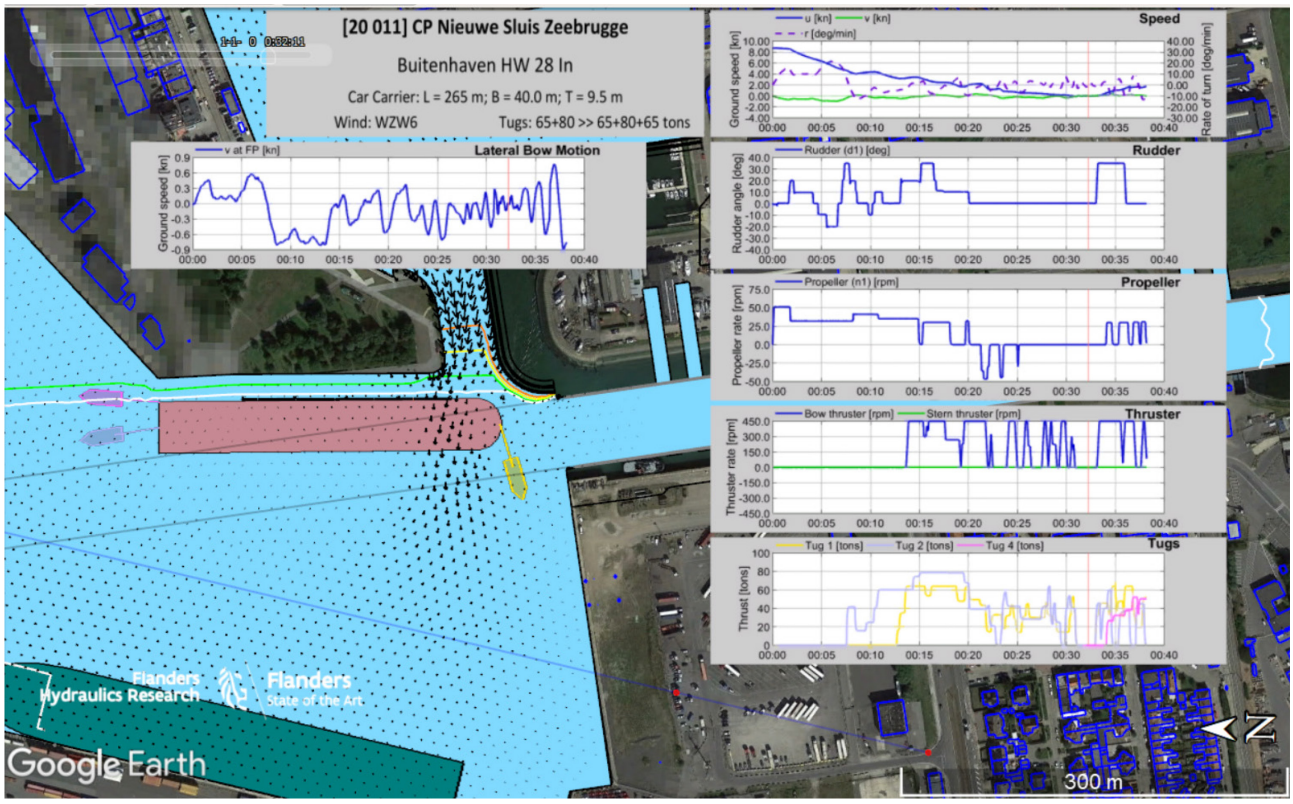
6.3 Sluisinvaart vanaf noodsteiger

6.3.1 Simulatie 28 (WZW6)

In simulatie 28 werd een scenario onderzocht waarbij het schip met twee sleepboten aankomt aan de sluis, maar de windconditie (WZW6) niet toelaat om veilig de sluis aan te lopen. Het schip wordt hierbij afgemeerd aan de noodsteiger tot wanneer een derde sleepboot beschikbaar is (zie Figuur 89). Vervolgens vaart het schip van de noodsteiger naar de sluis.

Bij het naderen van de noodsteiger worden de beide sleepboten intensief (tot 75%) tegen de wind ingezet om een aanvaardbare naderingssnelheid te realiseren. Wanneer de derde sleepboot beschikbaar is, wordt getracht om rechtstreeks van de noodsteiger naar de sluis te varen. Hierdoor bevindt het achterschip zich op een lage positie ten opzichte van de sluis. Bij het opwerken van het achterschip verliest de boeg hoogte, waardoor deze in contact komt met de wielfenders.

Er werd opgemerkt dat in realiteit het schip van de noodsteiger eerst achteruit gebracht dient te worden, zodat de sluis vanuit een uitgelijnde positie de sluis kan invaren. De beschikbare ruimte dient een dergelijk manoeuvre te faciliteren. De simulatie krijgt een gunstigere beoordeling dan eerdere sluisinvaarten (normale moeilijkheid), maar dat was ingegeven door het relatief eenvoudige manoeuvre naar de noodsteiger. Voor het manoeuvre naar de sluis werden de conclusies uit §6.2 bevestigd.



Figuur 89 – Conditie schip bij vertrek aan noodsteiger in simulatie 28 (32’11’’)

6.4 Conclusies Voorhaven

De Visartlocatie gaat gepaard met een korte afstand waarover het ontwerpschip in een uitgelijnde positie naar de sluis gebracht kan worden. Hierdoor is de afstand waarover een evenwichtssituatie gevonden kan worden met de wind beperkt en bleken bij belangrijke dwarswinden (>5 Beaufort) de beschikbaarheid over drie sleepboten noodzakelijk (2 x 65 ton en 1 x 80 ton). Bovendien kan een positioneringssysteem, zoals de op vandaag reeds door DAB Loodswezen toegepaste[10] Full SNMS, het controleren van de scheepspositie tot de sluis faciliteren (de zogenaamde Lock Approach Mode). De meerwaarde van een dergelijk positioneringssysteem blijkt ook uit de simulaties waarin de functionaliteit nagebootst werd door middel van een bijkomend informatiescherm op de scheepsbrug.

In meerder simulaties ging het sluismanoeuvre gepaard met een contact met de sluisfendering. Deze contacten gingen gepaard met indrukking of verplaatsing van de fendering binnen het operationele spectrum van deze constructies. Toch wordt normaal een sluismanoeuvre uitgevoerd zonder contact te maken met de hoekfendering. De regelmatige contacten in de simulaties zijn te wijten aan de eerder extreme windcondities die in de simulator onderzocht werden en de grotere afmetingen van het ontwerpschip dan de loodsen gewoon zijn uit de praktijk.

Voor de simulaties uitgevoerd bij westzuidwestelijke wind bleek het verlijerende effect door de wind dominant ten opzichte van de verzetbeweging van het schip door de dwarsstroom. Toch bleek met name bij sluisuitvaarten, de dwarsstroom ook bij deze windconditie hinderlijk. Bij sluisuitvaart doet de dwarsstroom de boeg verzetten op het ogenblik dat het schip zich nog grotendeels in de sluis bevindt. Verstoringen van de scheepspositie geven hierbij snel aanleiding tot contacten met de sluisfendering. Dit effect is nog belangrijker bij een oostelijke windrichting, waarbij dwarsstroom en wind in dezelfde richting werken. In deze gevallen dient de dwarsstroom in rekening gebracht te worden bij de uitvoering van de sluisuitvaart (bijvoorbeeld door de dwarsstroom op te vangen door middel van de voorste sleepboot).

Bij sluisinvaart wordt het hinderlijke effect van de dwarsstroom enkel bij oostenwind opgemerkt. Bij oostenwind wordt het verlijerende effect van de dwarsstroom immers nog versterkt door de ebstroom uit de jachthaven. In condities waarbij het schip vanuit een uitgelijnde positie de sluis nadert, bleek de dwarsstroom (veiligheidsfactor 1.5) gecompenseerd te kunnen worden, maar in meerdere simulaties bleek dat bij oostenwind de boeg op korte afstand van de sluis tegen de wind opgewerkt diende te worden, wat bemoeilijkt wordt door de aanwezigheid van de dwarsstroom.

Op basis van de simulatieresultaten werd gesteld dat de dwarsstroom op korte afstand van de sluis gemitigeerd dient te worden.

Met betrekking tot verschillende aspecten van het ontwerp van de Voorhaven werden nog onderstaande opmerkingen geformuleerd:

1. De afstand om een schip uit te lijnen naar de sluis is erg beperkt en bepaalt in hoge mate de moeilijkheidsgraad van de sluisinvaarten.
    a. Een meer noordelijke positie van het benedenhoofd van de sluis (zoals voorzien in de noordelijke variant van de uitwerkingsfase) dient vanuit nautisch oogpunt sterk afgeraden te worden.
    b. De toepassing van een positioneringssysteem voor sluisnadering (zoals de Lock Approach Mode uit Full SNMS) kan het sluismanoeuvre faciliteren.
2. Sluisfendering:
    a. De loodsen verkiezen een horizontale fendering van de sluiskolk (waar op heden de Pierre Vandammesluis een verticale fendering kent). De drijframen die in de simulatie voorzien werden voldoen aan deze wens. Hoewel de kustloodsen geen ervaring hebben met de toepassing van drijframen wordt dit concept positief onthaald. Wel wordt opgemerkt dat de

[10] Full SNMS wordt op heden echter niet toegepast voor schepen naar de Achterhaven via de Pierre Vandammesluis.

kolkbreedte van de Visartsluis (55 m) reeds twee meter smaller is dan de Pierre Vandammesluis (57 m) en dat de aanwezigheid van drijframen aan beide zijden (2x1 m) de nuttige breedte van de kolk verminderen tot 53 m. Hierdoor is de nuttige breedte van de Nieuwe Sluis Zeebrugge vier meter smaller dan de Pierre Vandammesluis. Dit in combinatie met een groter ontwerpschip dan op vandaag naar de Pierre Vandammesluis vaart, geeft afgezien van de minder gunstige aanloop, aanleiding tot merkelijk moeilijkere sluismanoeuvres in de simulatiestudie dan in de situaties die de loodsen op vandaag kennen.

b. De kustloodsen bevestigen dat een hoekfendering van de sluis noodzakelijk is. Met betrekking tot de hoekfendering, waarvoor in de studie een variant met buispalen en wielfenders onderzocht werd, wordt er geen uitgesproken voorkeur vermeld. Ook hier geldt dat de kustloodsen geen ervaring hebben met de aangeboden sluisfendering. De drie wielfenders die sedert twee jaar op de oostelijke hoek van de Vandammesluis aanwezig zijn, werden nog niet geraakt. Wel blijkt uit de simulaties dat de wielfenders (vijf) aan de zeezijde van de Nieuwe Sluis Zeebrugge meestal gelijkmatig ingedrukt worden en een geleidelijke reactiekracht op het schip uitoefenen (met veel energieabsorptie). De buispalen gaan gepaard met een meer abrupte reactiekracht met minder energieabsorptie. Bovendien wordt aangenomen dat buispalen bij plastische vervorming (scheefstand) minder gemakkelijk vervangen kunnen worden dan wielfenders die extreem belast geweest zijn (vervanging band en/of kast).

c. De drie buispalen aan de westzijde van de sluis worden best uit het ontwerp verwijderd (een gelijkaardige opmerking werd ook gemaakt voor de Achterhaven). De vrijgekomen ruimte kan door kleinere zeevaart (zonder sleepboten) gebruikt worden om bij dominante westelijke winden vanuit een hoge positie de sluis aan te lopen. Bovendien laat deze ruimte toe om kleine opvaart op korte afstand van de sluis te laten wachten tot de sluis vrij is zonder hinder voor afvarende (kleine) zeevaart uit de sluis. Tenslotte verminderen de buispalen de trekhoek die een (voorste) sleepboot kan maken bij westelijke winden of de optionele toepassing van een duwboot (niet onderzocht in de studie) bij oostelijke winden.

3. Op basis van de simulatieresultaten blijkt dat de dwarsstroom op korte afstand van de sluis gemitigeerd dient te worden. Hiervoor worden onderstaande aanpassingen aangeraden:
    a. Een verdraaiing van het toegangskanaal naar de jachthaven. Een meer gestrekt toegangskanaal zal de dwarsstroom in het verlengde van de sluis verminderen en zal het manoeuvre tussen de jachthaven en het fietspad vereenvoudigen (met minder risico dat pleziervaart onbedoeld in de sluistoegang verzeild).
    b. Een meer noordelijke aansluiting van het toegangskanaal van de jachthaven.
4. Scheiding van pleziervaart en zeevaart
    a. In geval de noodsteiger een open constructie wordt, dan wordt er een belangrijke hinder verwacht voor de pleziervaart in het fietspad
        i. Bij westzuidwestelijke windrichtingen worden schroefstralen van sleepboten, boegschroef en hoofdschroef (via het roer) in de richting van het fietspad gericht, waar zij hinderlijke stroming kunnen veroorzaken.
        ii. Bij een sluisuitvaart dient in de voorhaven een bocht naar stuurboord uitgevoerd te worden waarbij de roeruitslag en gebruik van de schroef (relatief hoge toerentallen om de snelheid te laten toenemen) de schroefstraal doen afbuigen in de richting van het fietspad.
        iii. De golfslag van vrijvarende sleepboten of kleinere zeevaart kan hinderlijke waterstandsschommelingen veroorzaken in het fietspad en in de jachthaven. Hierbij dient opgemerkt dat ook op vandaag regelmatig vrijvarende sleepboten passeren langs de jachthaven aangezien de sleepboothaven zich ter hoogte van de huidige Visartsluis bevindt.
        iv. De retourstroming en aanzuiging door varende schepen kan hinderlijk zijn. In dit verband wordt een snelheidslimiet van 6 kn realistisch geacht voor zeevaart (zonder beperking zijn er ook hogere vaarsnelheden mogelijk voor de kleinere zeevaart).

   b. De beschikbaarheid van een fietspad zal de stremming van de jachthaventoegang verminderen maar zal niet te allen tijde de toegankelijkheid van de jachthaven garanderen.
      i. In onderstaande gevallen zal het aangewezen zijn om de bewegingen van pleziervaart te onderbreken.
         1. De sluis bevindt zich op korte afstand van de toegang tot de jachthaven. Op het ogenblik dat het schip zich in de onmiddellijke omgeving van de jachthaventoegang bevindt, is het aangewezen dat er geen scheepvaart plaatsvindt tussen het fietspad en de jachthaventoegang. Deze voorwaarde is met name ingegeven door het risico dat pleziervaart zich niet houdt aan de signalisatie en toch in de vaarweg voor zeevaart terecht komt.
         2. Bij moeilijke windcondities (voornamelijk westelijke windrichtingen) wordt een belangrijk gebruik van sleepboten en boegschroeven verwacht, waardoor het gebruik van het fietspad afgeraden dient te worden (afhankelijk van de bescherming die de noodsteiger biedt).

5. Met betrekking tot het vastnemen van sleepboten wordt vermeld dat:
   a. De achterste sleepboot vastgenomen dient te worden afwaarts de Oude Kop (dit kan bij vaarsnelheden vanaf 8 kn).
   b. De voorste sleepboot pas kan vastnemen bij vaarsnelheden lager dan 6 kn. Er wordt gesteld dat de voorboot vast kan nemen na de passage van de Oude Kop en dus niet noodzakelijk is voor het bochtmanoeuvre rond de Oude Kop.
   c. In afvaart zullen bij belangrijke dwarswinden de sleepboten minimaal vastgehouden worden tot wanneer boei Z10 gepasseerd is.
6. In de vorige simulatiestudie (Verwilligen *et al.*, 2021) werd de meerwaarde van geleidingsconstructies op het sluismanoeuvre onderzocht. Hierbij werd geconcludeerd dat deze het bochtmanoeuvre naar de sluis verder verscherpen en geen oplossing boden voor de korte lengte voor de sluisoplijning. Eén van de deelnemende kustloodsen heeft met betrekking tot geleidingsconstructies geïnformeerd bij kapiteins van RoRo-ferries die deze constructies toepassen op het Kielkanaal. Op basis van deze informatie blijkt dat op het Kielkanaal de geleidingsconstructie gebruikt kan worden aan een snelheid gelijk aan 4 kn en zonder gebruik van een duwboot. Een belangrijk verschil met de Voorhaven van de Visartsluis is wel de gestrekte toegangsgeul naar de sluizen op het Kielkanaal waardoor de sluis daar in rechte lijn aangelopen kan worden. Er wordt bevestigd dat bij de Visartsluis een geleidingsconstructie een bijkomende sleepboot vereist om het schip naar de geleidingsconstructie te brengen. Een flexibel gebruik van sleepboten wordt gunstiger bevonden dan de toepassing van een geleidingsconstructie (die de beschikbare ruimte voor de toepassing van sleepboten beperkt).
7. Voor twee maatgevende schepen zijn ontmoetingen pas mogelijk afwaarts de Zweedse Kaai (bij matige windcondities) en bij extreme windcondities afwaarts de Oude Kop. Ontmoetingen in de Voorhaven werden niet gesimuleerd.
8. De noodsteiger zoals ingetekend in de simulatieomgeving V3H is kort (160 m voorzien van fendering en 200 m indien vrijstaande buispaal meegerekend wordt) voor de lengte van het ontwerpschip (265 m). De noodsteiger dient ontworpen te worden op basis van geldende richtlijnen.
9. Bij een sluisinvaart dienen de loodsen reeds wanneer ze zich ter hoogte van ZP2 (Zwaaiplaats 2) bevinden, visueel te kunnen vaststellen dat de sluis beschikbaar is. Aangezien op deze locatie er nog geen zicht is op de sluis, dienen de sluislichten herhaald te worden op een meer noordelijke locatie (bijvoorbeeld op de kopse kant van OCHZ).

7 Samenvatting en aanbevelingen

7.1 Samenvatting

Op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) onderzocht het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de nautische optimalisatie van de voorkeurslocatie 'Visart' vastgelegd door de Vlaamse Regering voor Complex Project Nieuwe Sluis Zeebrugge (CP NSZ) (Vlaamse Overheid, 2019).

In 2020 werd binnen de uitwerkingsfase van CP NSZ reeds een eerste realtime simulatiestudie uitgevoerd naar een noordelijke en zuidelijke variant van de Nieuwe Sluis Zeebrugge (Verwilligen *et al.*, 2021). In 2021 en 2022 werden simulaties uitgevoerd om het sluisontwerp meer in detail te onderzoeken. Hierbij werd enkel de zuidelijke variant in rekening gebracht om specifiek de interactie tussen sluismanoeuvres en toegang tot de jachthaven (die zich in de zuidelijke variant op korte afstand van elkaar bevinden) te onderzoeken.

In de simulaties gerapporteerd in het voorliggende rapport werd bijzondere aandacht besteed aan:

- uitstroom van de jachthaven bij afgaand getij;
- scheiding tussen zeevaart en pleziervaart in de Voorhaven;
- nautische constructies in de toegangszone tot de sluis;
- zwaaizone in het westelijke deel van het Verbindingsdok in de Achterhaven;
- scheepsontmoetingen in de Achterhaven;
- sluisfendering volgens een variant met wielfenders en remmingsconstructies (buispalen).

De onderzochte simulatieomgeving (scenario V3H) is gebaseerd op de optie 4 uit de uitwerkingsfase van CP NSZ voor wat betreft de Voorhaven en de sluiskolk, gecombineerd met een ontwerpplan voor het Verbindingskanaal (variant -13.1 m TAW) zoals opgesteld door aMT en MBZ. Bovendien werden in de Achterhaven ook ontwerpplannen van lopende en toekomstige havenontwikkelingen geïmplementeerd zoals aangeleverd door MBZ. Voor een overzicht van het projectgebied, met aanduiding van de relevante locaties en bijhorende naamgeving in het rapport, wordt verwezen naar Figuur 1 op p. 2.

De simulaties werden uitgevoerd bij ongunstige windrichtingen (O en WZW) bij belangrijke windkrachten (5 en 6 Beaufort). Met uitzondering van de gekoppelde simulaties naar scheepsontmoetingen in het Verbindingskanaal werden alle simulaties uitgevoerd met het ontwerpschip voor de Nieuwe Sluis Zeebrugge. Dit schip betreft een RoRo-ferry met lengte 265 m en breedte 40 m, waarvoor in de simulatiestudie een diepgang gelijk aan 9.5 m verondersteld werd. Dit schip is groter dan de grootste schepen die op vandaag naar de Pierre Vandammesluis varen. Bovendien is de Nieuwe Sluis Zeebrugge (55.0 m) twee meter smaller dan de Pierre Vandammesluis (57.0 m). Hierdoor zijn (afgezien van het ontwerp van de omgeving) de sluismanoeuvres naar de Nieuwe Sluis Zeebrugge moeilijker dan waarmee de loodsen op vandaag ervaring hebben.

Het ontwerp van de Achterhaven volgens V3H komt tegemoet aan de aanbevelingen uit Verwilligen *et al.* (2021). Op basis van de simulaties met havenloodsen (zie §5.4 voor uitgebreide conclusies) werd gevalideerd dat dit ontwerp gunstige sluismanoeuvres door het ontwerpschip toelaat en dat de voorziene manoeuvres naar ligplaatsen en de bijhorende zwaaimanoeuvres gunstig uitvoerbaar zijn. Voor de sluisinvaarten werd gesteld dat deze eenzelfde moeilijkheidsgraad hebben als de invaarten van de Pierre Vandammesluis. Uit de gekoppelde simulaties blijkt de aanvaardbaarheid van de breedte van het Verbindingskanaal voor ontmoetingen tussen schepen tot breedte 32.2 m (en lengte tot 265 m). Mogelijks zullen deze manoeuvres in realiteit wel vermeden worden bij extreme dwarswinden (aangezien er in die condities gunstigere locaties beschikbaar zijn, weliswaar op grotere afstand van de sluis).

Voor opvarende schepen gaat de Visartlocatie (Voorhaven) gepaard met een korte afstand waarover het ontwerpschip in een uitgelijnde positie naar de sluis gebracht kan worden. Hierdoor is de afstand waarover een evenwichtssituatie gevonden kan worden met de wind beperkt en bleek bij belangrijke dwarswinden (>5

Beaufort) de beschikbaarheid over drie sleepboten noodzakelijk (2 x 65 ton en 1 x 80 ton). Er werd bevestigd dat een meer noordelijke positie van het benedenhoofd van de sluis (zoals voorzien in de noordelijke variant van de uitwerkingsfase) vanuit nautisch oogpunt sterk afgeraden wordt.

Een positioneringssysteem, zoals het op vandaag reeds door DAB Loodswezen toegepaste[11] Full SNMS, kan het controleren van de scheepspositie tot de sluis faciliteren (de zogenaamde Lock Approach Mode). De meerwaarde van een dergelijk positioneringssysteem blijkt ook uit de simulaties waarin de functionaliteit nagebootst werd door middel van een bijkomend informatiescherm op de scheepsbrug.

De simulaties naar de Voorhaven (zie §5.4 voor uitgebreide conclusies) werden steeds uitgevoerd bij een ebstroom uit de jachthaven. Er werd hierbij gebruik gemaakt van de meest nadelig conditie uit de stroomberekeningen uit IMDC (2021). Echter doordat IMDC (2021) ook de belangrijke impact van densiteitsvariaties in de voorhaven illustreert waarvoor in de berekeningen eerder gunstige condities onderzocht werden, werden de stroomvectoren in het merendeel van de simulaties met 50% verhoogd (veiligheidsfactor 1.5). De dwarsstroom uit de jachthaven bereikt een maximum (0.14 kn of 0.2 kn afhankelijk van de veiligheidsfactor) op 90 m van de sluiskolk. Uit de simulaties blijkt dat met name bij oostenwinden maar ook in het algemeen bij sluisuitvaarten de dwarsstroom uit de jachthaven hinderlijk is voor het manoeuvre en aanleiding geeft tot contacten met de sluisfendering. Er werd geconcludeerd dat de dwarsstroom tot een minimum gemitigeerd dient te worden.

Met betrekking tot de sluisfendering is er geen eenduidige conclusie over de aangeboden varianten welke beide gecombineerd werden met drijframen, maar waarbij in het ene geval de hoekfendering voorzien werd door een remmingsconstructie (buispaal) en in het andere geval uit een serie wielfenders, dit omdat de deelnemende loodsen weinig ervaring hebben met drijframen en hoekfendering. Over het algemeen worden de beide varianten wel positief onthaald, waarbij de drijframen tegemoet komen aan de wens voor een langsscheepse fendering van de kolk. Voor de hoekfendering wordt de variant met wielfenders positiever beoordeeld door de gelijkmatige reactiekracht, de hogere energieabsorptie en de (naar vermoeden) betere onderhoudbaarheid. Bij de havenloodsen is er minder enthousiasme voor de hoekfendering en in het bijzonder voor wielfenders, doordat deze bij schade hun geleidende functie verliezen en schade aan het schip kunnen veroorzaken (indien de band beschadigd is dan fungeert de wielfender als “blikopener”).

Zowel voor Achterhaven als Voorhaven wordt opgemerkt dat de drie buispalen die ten westen van de sluis voorzien worden, beter verwijderd worden uit het ontwerp. Op laatste simulatiedag (Voorhaven) werden de drie palen ook daadwerkelijk verwijderd uit de simulatieomgeving van de Voorhaven.

7.2 Aanbevelingen

Uit de studie worden onderstaande aanbevelingen geformuleerd:

1. Het ontwerp van de toegang tot de jachthaven dient geoptimaliseerd te worden in functie van de dwarsstroom in de toegangszone tot de sluis en in functie van de toegankelijkheid van het fietspad voor pleziervaart. Er wordt aanbevolen om het toegangskanaal tot de jachthaven minder haaks te laten aansluiten en/of een grotere afstand tot de sluis te verwezenlijken.
2. Het ontwerp van de noodsteiger in de voorhaven dient geoptimaliseerd te worden in functie van het afmeren van maatgevende schepen en het mitigeren van hinder voor de pleziervaart in het fietspad. Als voorbeeld wordt hierbij verwezen naar het ontwerp van de oostelijke noodsteiger in de West-Buitenhaven van de Nieuwe Sluis Terneuzen, waarbij deze noodsteiger gecombineerd wordt met een voornamelijk gesloten kaaimuur ten begrenzing van de achterliggende dienstenhaven.
3. Afspraken dienen gemaakt te worden over de toegankelijkheid van de jachthaven en het fietspad in functie van de manoeuvres door zeevaart, het type zeevaart, de windconditie en eventueel ook de

[11] Full SNMS wordt op heden echter niet toegepast voor schepen naar de Achterhaven via de Pierre Vandammesluis.

tijconditie. Aangepaste signalisatie en gepaste handhaving dient de naleving van deze afspraken te garanderen.
4. De mogelijke toepassing van een positioneringssysteem voor sluisinvaart dient praktisch onderzocht te worden. Zo gaat de toepassing van Full SNMS op vandaag gepaard met de inzet van een tweede loods. De meerwaarde van een Full SNMS in Lock Approach Mode kan (verder) onderzocht worden door middel van simulatieonderzoek en (bij positief advies) dienen de kustloodsen opgeleid te worden in de toepassing van dit hulpmiddel.
5. Inventarisatie van schadegevallen met wielfenders in Berendrechtsluis, Zandvlietsluis en Kieldrechtsluis om operationele toepasbaarheid te beoordelen en tegemoet te komen aan de bestaande bezorgdheden bij loodsen.
6. De hinder voor afgemeerde schepen in het Verbindingskanaal door passerende vaart van en naar de sluis dient onderzocht te worden en is mogelijks bepalend voor een snelheidsbeperking in het Verbindingskanaal.

7.3 Algemene opmerkingen sluisontwerp

Met betrekking tot het sluisontwerp werden onderstaande opmerkingen geformuleerd:

1. De ledverlichting van het sluisplateau dient afgestemd te worden op de manoeuvres (de huidige led-verlichting op de Pierre Vandammesluis zou hinderlijk zijn voor de sluisinvaarten).
2. De sluisbruggen en -deuren dienen voorzien te worden van referentiemerken (en lichten) die het midden van de sluis aanduiden waarbij minimaal de markeringen en verlichtingen uit de Pierre Vandammesluis overgenomen dienen te worden.
3. Vanuit nautisch standpunt is het aanbevolen om de basculebruggen aan de oostzijde te plaatsen, om de plotse verandering in de windconditie bij het passeren van de bruggen bij de dominante westelijke winden te beperken.
4. Een continuë bomenrij op de westelijke oever van de sluis kan fungeren als windscherm voor de sluis en wordt aangeraden om een gelijkaardige beschutting te bekomen als voor de Pierre Vandammesluis.
5. Bij een opvaart naar de sluis dienen de kustloodsen reeds wanneer ze zich ter hoogte van ZP2 (Zwaaiplaats 2) bevinden, visueel te kunnen vaststellen dat de sluis beschikbaar is. Aangezien op deze locatie er nog geen zicht is op de sluis, dienen de sluislichten herhaald te worden op een meer noordelijke locatie (bijvoorbeeld op de kopse kant van OCHZ).
6. De lichtenlijn naar de Voorhaven die in de simulatieomgeving aangeboden werd, dient ook in realiteit voorzien te worden.

8 Referenties

Davenport, A. (1967). Gust Loading Factors. *J. Struct. Div. Proc. ASCE 93*(*ST3*): 11–34

IMDC. (2021). Nieuwe Sluis Zeebrugge: Hydrodynamische input voor de nautische studie. Cluster 3: MER - Opmaak procesnota's

Mannesmann Nederland. (1983). Geleidewerken Sluis Zeebrugge

Ministerie van Openbare Werken. (1983). Zeesluis te Zeebrugge. Bouwen van Geleidingen in de zee- en landwaartse toegang. Geleidingsbuispalen: aanzichten, karakteristieken en details

NV Maatschappij van de Brugse Zeehaven. (2019). Concessie van openbare dienst: Sleepdiensten in de haven van Brugge-Zeebrugge en haar toegangswegen

Trelleborg Marine and Infrastructure. (2017). Rolling Fenders & Safety Products - Product Brochure. BC-RFEN-v2

Universiteit Gent. Vakgroep Bouwkundige Constructies. Laboratorium Magnel voor Betononderzoek. (2011). Beproevingsverslag. Proeven op wielfender - Bridgestone

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2020). Nieuwe Sluis Zeebrugge (NSZ): deelrapport 2. Nautisch advies Varianten Visart 2019. Versie 5.0. *WL Rapporten*, 17_002_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2021). Nautische optimalisatie CP Nieuwe Sluis Zeebrugge: Deelrapport 1 -Simulatiestudie varianten Visart. (concept). Versie 1.0. *WL Rapporten*, 20_011_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang. (2011). Plan 2 - Ontwerp Boudewijnkanaal Linkeroever Renovatie tussen Prins Filipsdok en Herdersbrug

Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang. (2021a). Nieuwe Sluis Zeebrugge. Conceptstudie. Bodemdieptes CFD

Vlaamse Overheid. Afdeling Maritieme Toegang. (2021b). Nieuwe Sluis Zeebrugge conceptstudie. Verbindingskanaal - Algemene layout lange termijn zonder luchtfoto

Vlaamse Overheid. (2019). Besluit van de Vlaamse Regering houdende de definitieve vaststelling van het voorkeursbesluit betreffende het complexe project `Verbetering van de nautische toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge'. Belgisch Staatsblad

Vos, S.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2017). Nieuwe Sluis Zeebrugge (NSZ): nautische screening alternatieven met vaarsimulaties. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 17_002_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage 1 Pilot Card simulatieschepen

Car Carrier NSZ (NSZ)

carCar_265_400_NSZ_95 PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast-time simulations

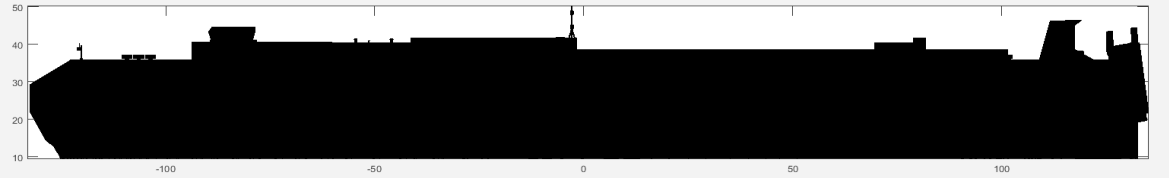
Name	carCar_265_400_NSZ_95.shi
Project	20_011

Main Dimensions			
L_{OA}	[m]	265	
L_{PP}	[m]	246.96	
B	[m]	40	
T	[m]	9.5	
m	[ton]	4.58E+04	
$A_{wind\ frontal}$	[m²]	1442	
$A_{wind\ lateral}$	[m²]	7916	

Propeller		
#	[-]	1
n_{max}	[1/s]	1.4
CPP		No
Rotation	Right	

Thruster		
Bow thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2800
Max Propeller Rate	[°/min]	450
Stern Thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2800
Max Propeller Rate	[°/min]	450

Rudders		
#	[-]	1
d_{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	23.3



Manoeuvring speeds				
	RPM	UKC=300%	UKC=20%	
	[-]	[kn]	[kn]	
Manoeuvring Full Ahead	84	17.9	17.8	
Half Ahead	66	14.0	13.9	
Slow Ahead	48	10.2	10.1	
Dead Slow Ahead	30	6.4	6.3	

Stopping specifications			
	Time		Distance
UKC=300%	[s]	[mm:ss]	[m]
From Man. Full Ahead to Full Astern	310	05:10	1818
From Slow Ahead to to Full Astern	119	01:59	351

Turning specifications				
	Advance	Transfer	Tact Diam	
UKC=300%	[m]	[m]	[m]	
Manoeuvring Full Ahead	658	311	750	
Slow Ahead	636	310	744	
UKC=20%				
Manoeuvring Full Ahead	677	459	941	
Slow Ahead	655	460	930	

ZigZag 20/20				
	1st Overshoot	2nd Overshoot	Period	
UKC=300%	[deg]	[deg]	[s]	
Manoeuvring Full Ahead	-164.5	-163.9	241	
Slow Ahead	-167.4	-166.4	397	
UKC=20%				
Manoeuvring Full Ahead	-174.5	-174.5	201	
Slow Ahead	-175.9	-175.9	331	

Odyssea (Mark-V)

Odyssea PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast-time simulations

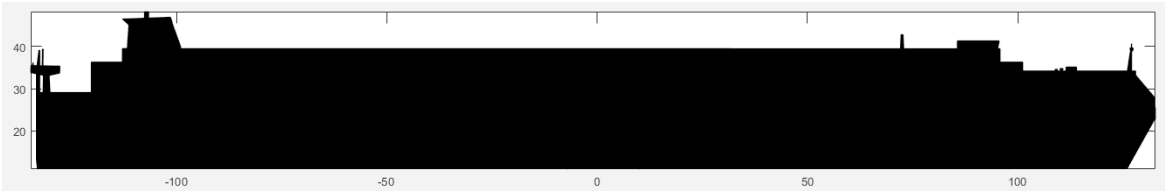
Name	Odyssea.shi
Project	20_011

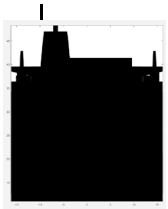
Main Dimensions			
L_{OA}	[m]	265	
L_{PP}	[m]	246.96	
B	[m]	32.2	
T	[m]	11	
m	[ton]	42659	
$A_{wind\ frontal}$	[m²]	988	
$A_{wind\ lateral}$	[m²]	7294	

Propeller		
#	[-]	1
n_{max}	[1/s]	0.92
CPP		No
Rotation	Right	

Thruster		
Bow thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2500
Max Propeller Rate	[°/min]	450
Stern Thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	2500
Max Propeller Rate	[°/min]	450

Rudders		
#	[-]	1
d_{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	23.3





Manoeuvring speeds			
	RPM	UKC=300%	UKC=20%
	[-]	[kn]	[kn]
Manoeuvring Full Ahead	55	12.0	12.0
Half Ahead	45	9.8	9.8
Slow Ahead	35	7.6	7.6
Dead Slow Ahead	25	5.5	5.5

Stopping specifications			
	Time		Distance
UKC=300%	[s]	[mm:ss]	[m]
From Man. Full Ahead to Full Astern	279	04:39	980
From Slow Ahead to to Full Astern	161	02:41	333

Turning specifications			
	Advance	Transfer	Tact Diam
UKC=300%	[m]	[m]	[m]
Manoeuvring Full Ahead	655	350	789
Slow Ahead	643	351	788
UKC=20%			
Manoeuvring Full Ahead	733	524	1019
Slow Ahead	720	525	1017

ZigZag 20/20			
	1st Overshoot	2nd Overshoot	Period
UKC=300%	[deg]	[deg]	[s]
Manoeuvring Full Ahead	11.4	12.7	342
Slow Ahead	10.0	11.4	519
UKC=20%			
Manoeuvring Full Ahead	3.4	3.4	324
Slow Ahead	2.8	2.8	494

Bijlage 2 Aangeleverde peilingen

Bathymetrische gegevens aangeleverd door afdeling Hydrografie worden weergegeven op basis van onderstaande dieptelijnen:

1. Wit: -15 m TAW
2. Groen: -14 m TAW
3. Geel: -12 m TAW
4. Licht oranje: -10 m TAW
5. Donker oranje: -7 m TAW
6. Rood: -4 m TAW



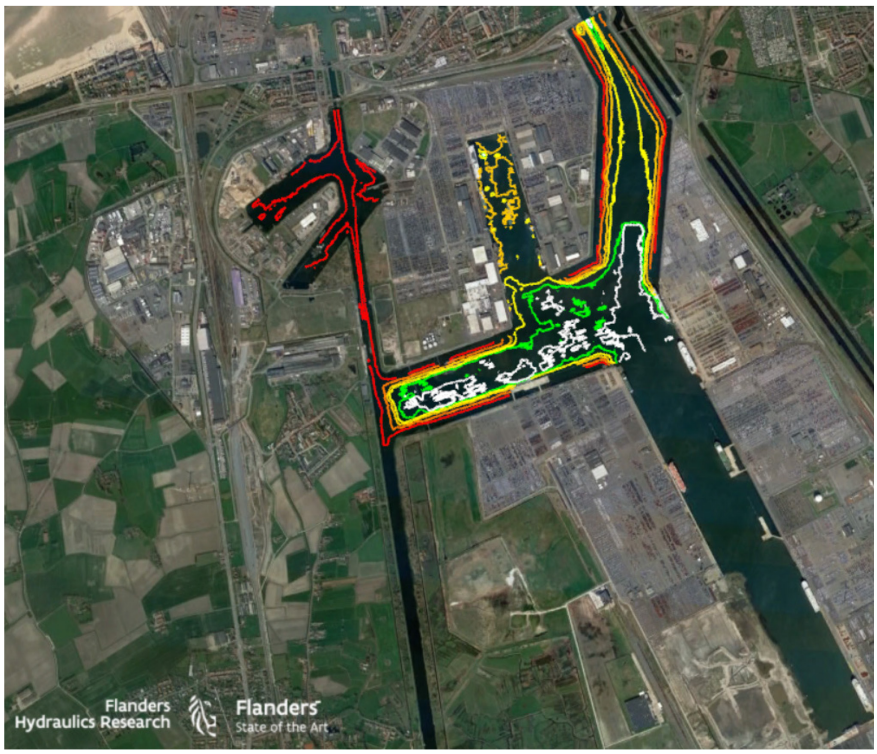
Figuur 90 – Dieptelijnen peiling 200806_589_ZBAH_MB_DET



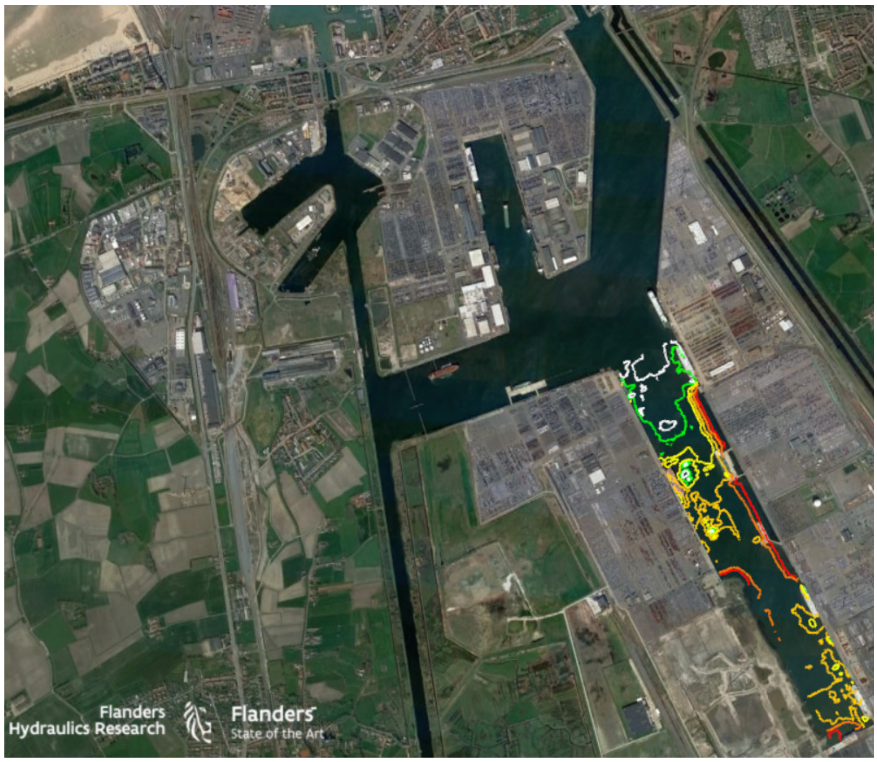
Figuur 91 – Dieptelijnen peiling 200806_585_BDK_MB



Figuur 92 – Dieptelijnen peiling 200219_245_ZBAH_MB



Figuur 93 – Dieptelijnen peiling 200720_559_ZBAH_SB_33 (grid)



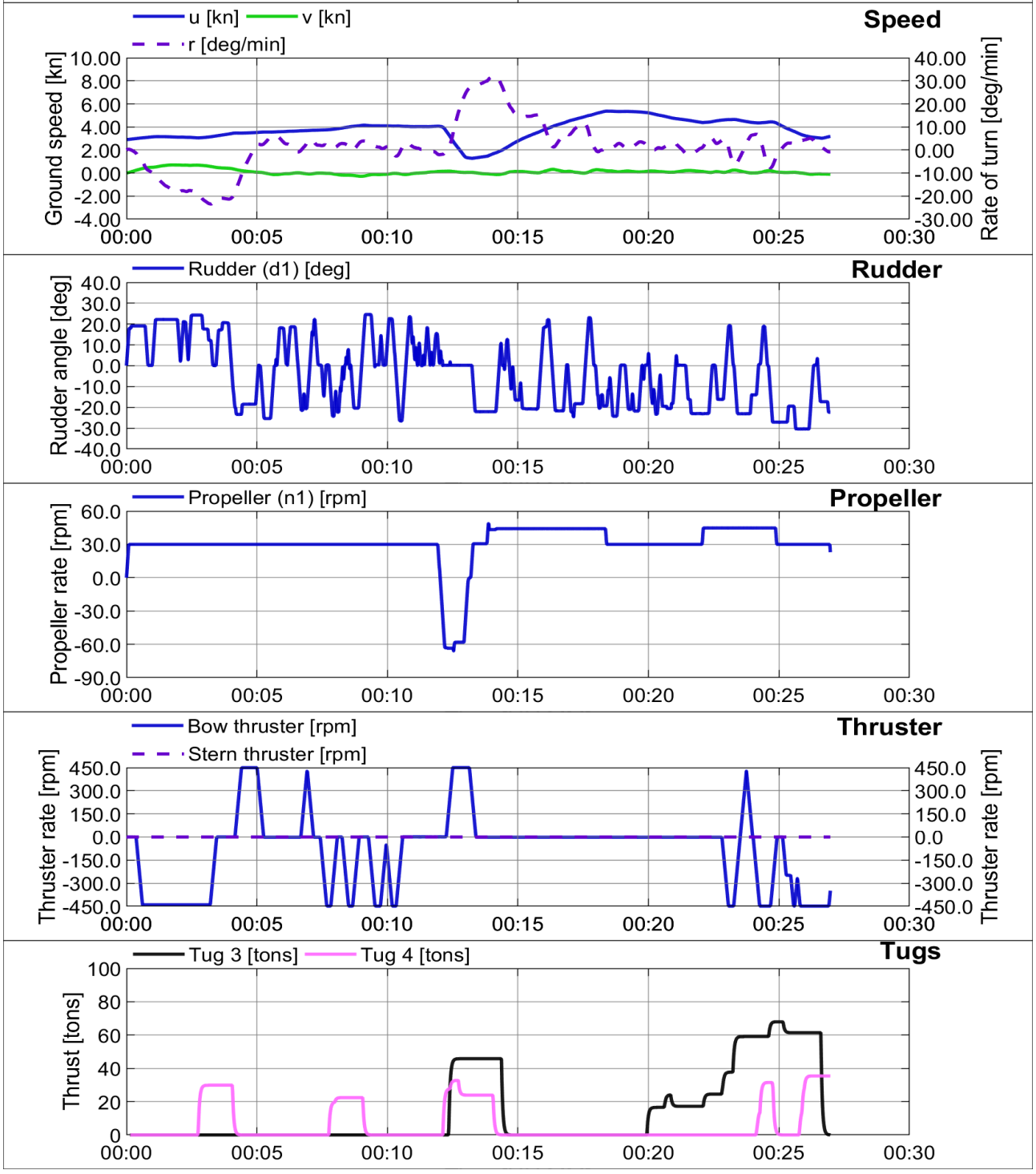
Figuur 94 – Dieptelijnen peiling 200720_561_ZBAH_SB_33 (grid)

Bijlage 3 Standaardgrafieken

CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

Manoeuvreereigenschappen

Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons	
Simulatie: Achterhaven HW 01	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders

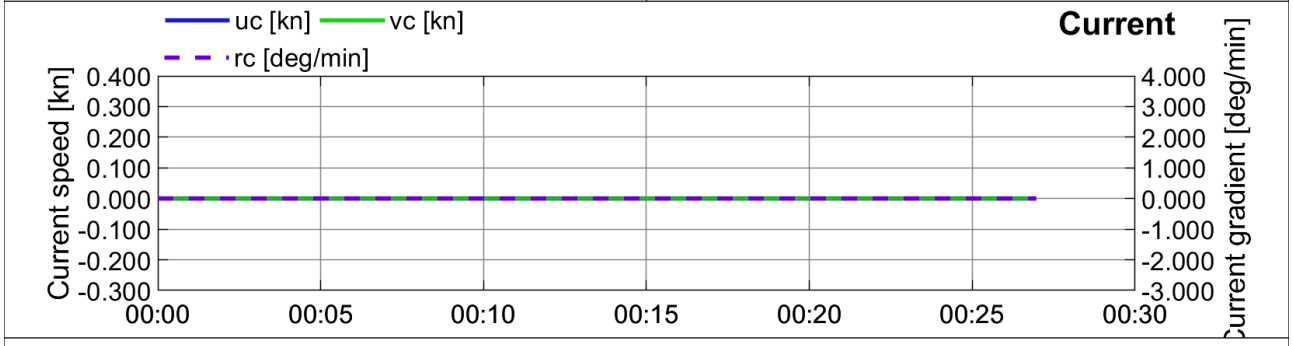


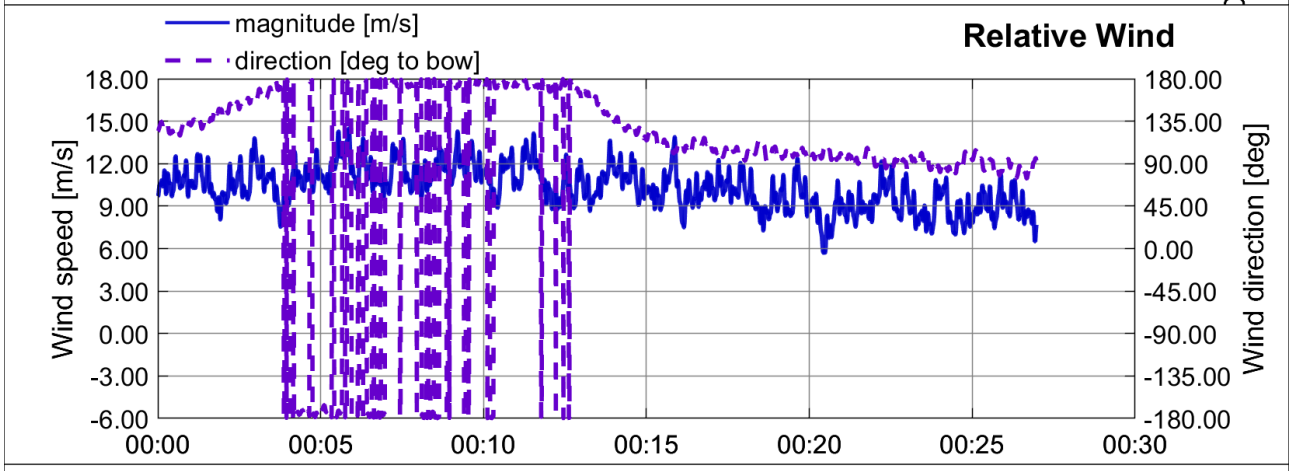
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

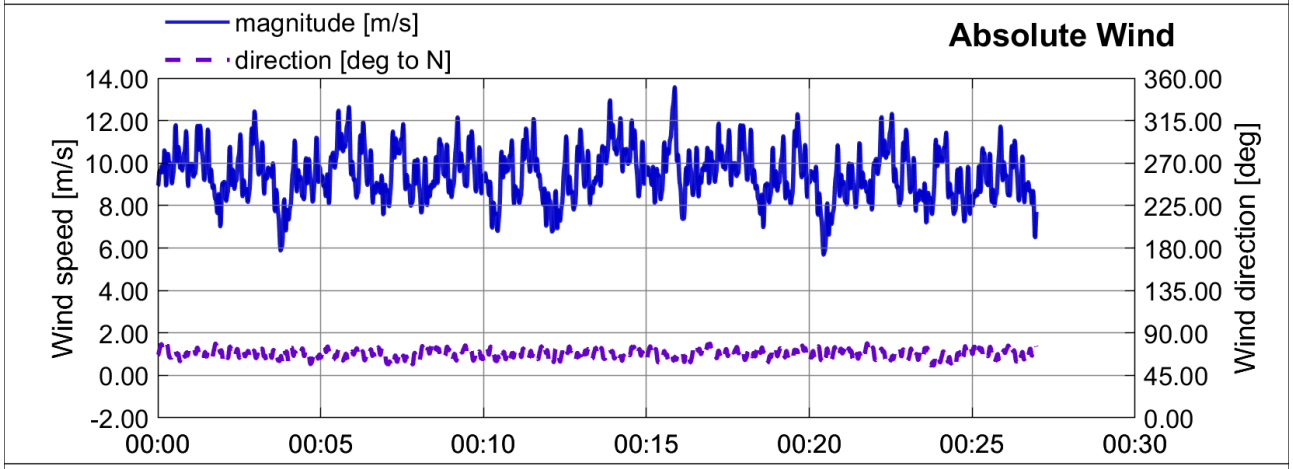
Omgevingscondities

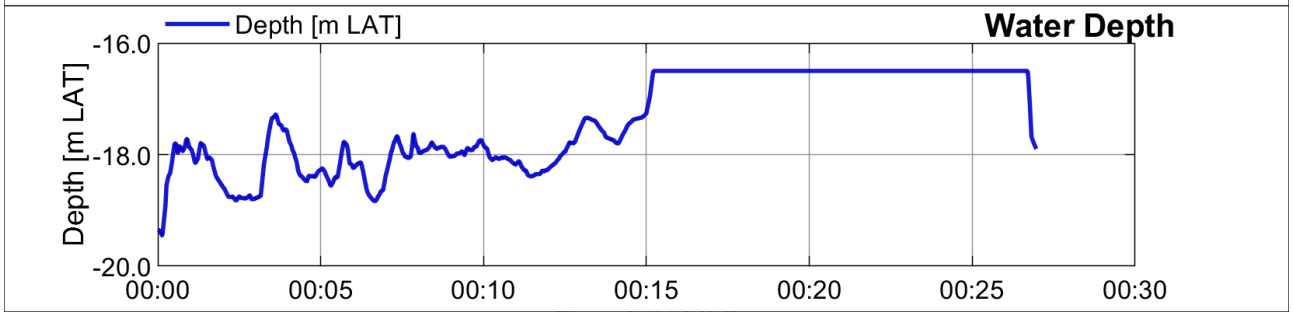
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 01	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







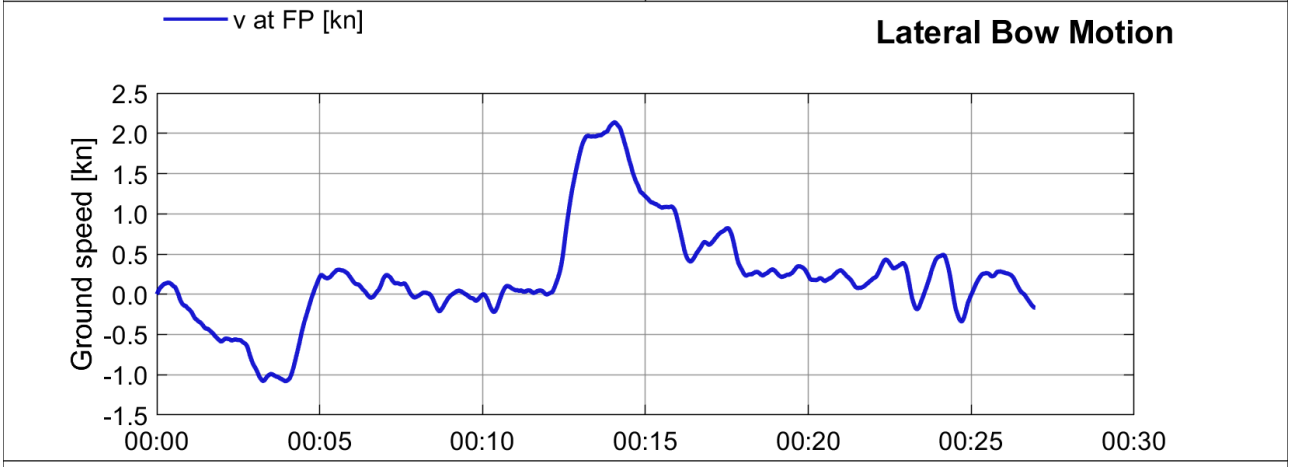


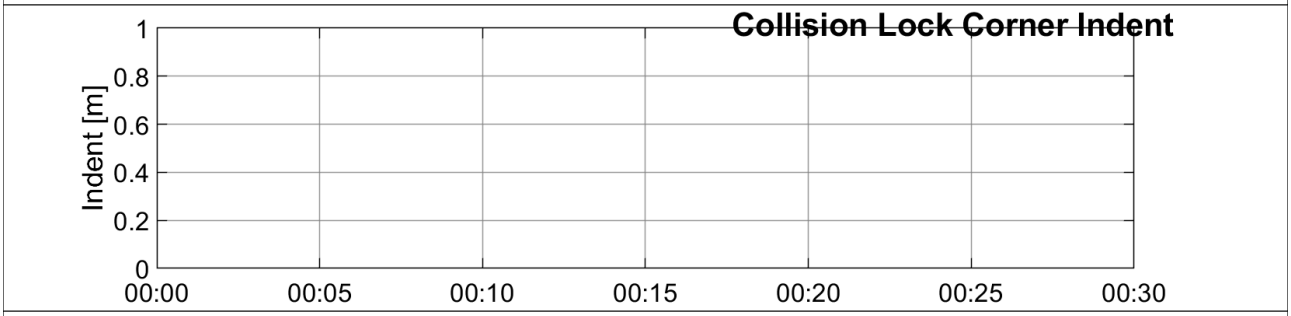
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

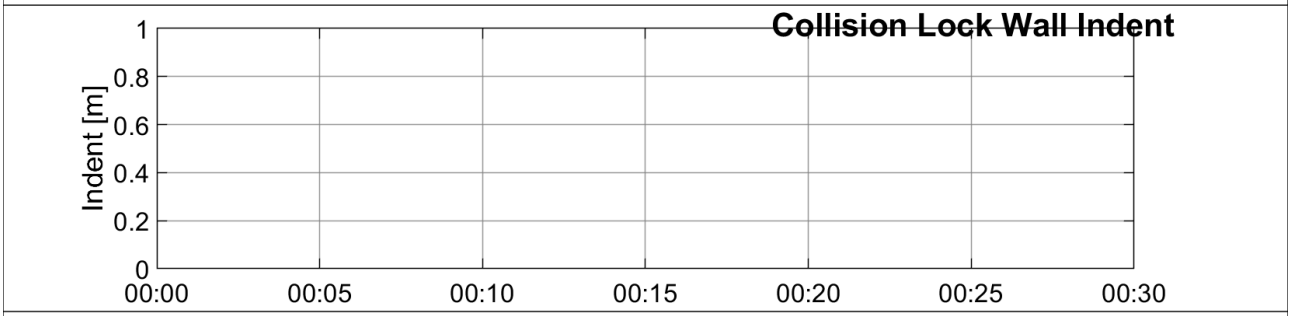
Contacten

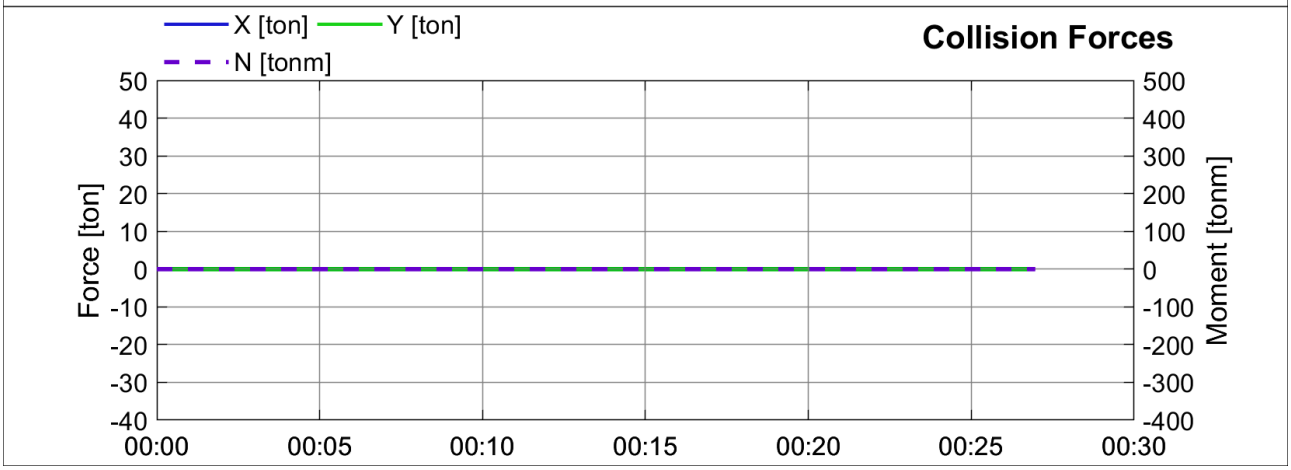
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 01	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







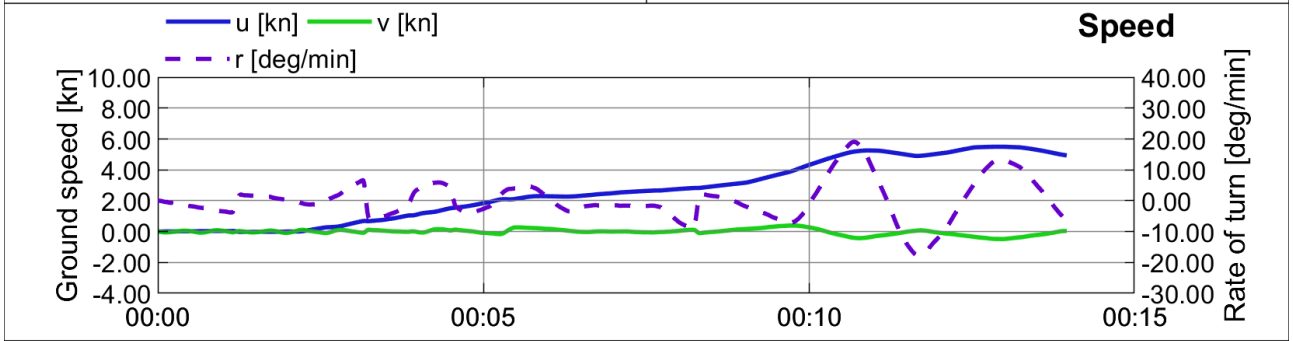


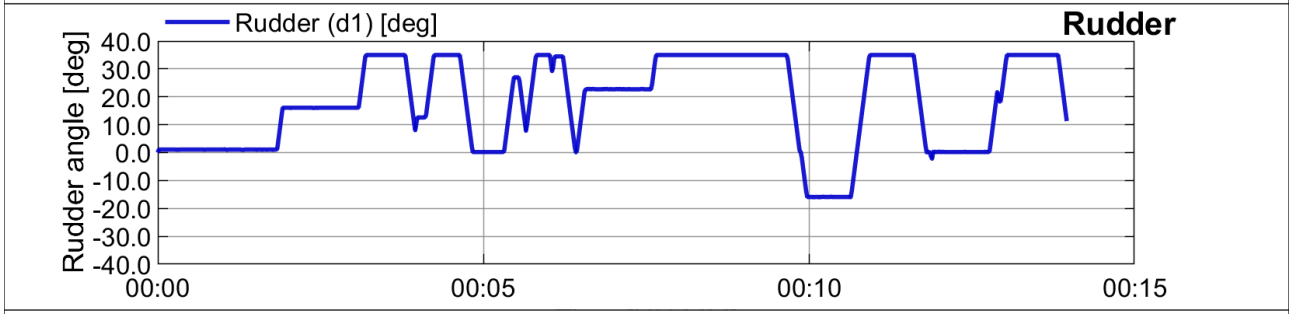
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

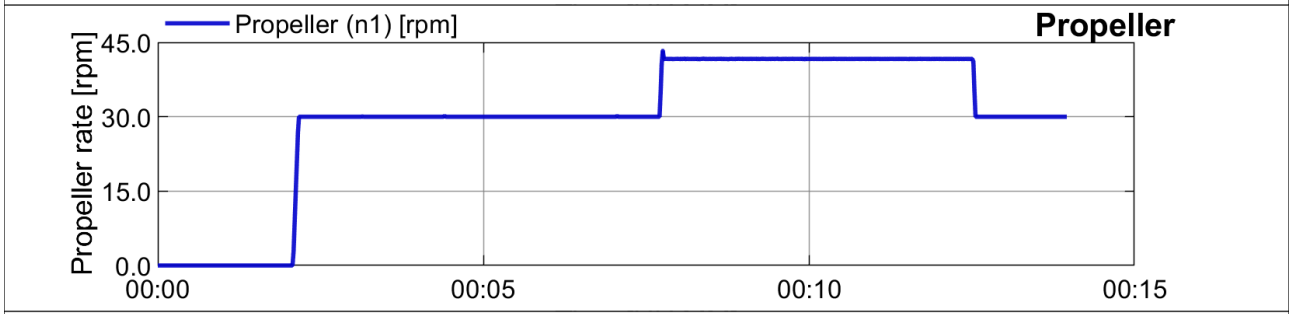
Manoeuvreereigenschappen

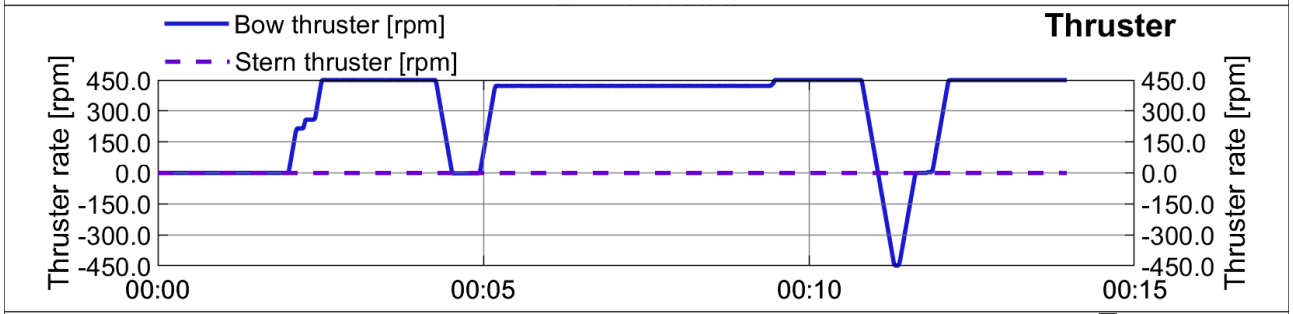
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

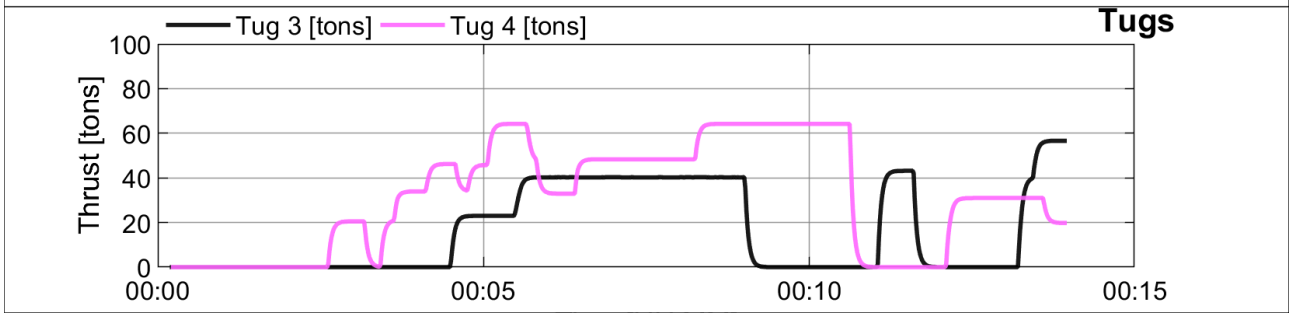
Simulatie: Achterhaven HW 02	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









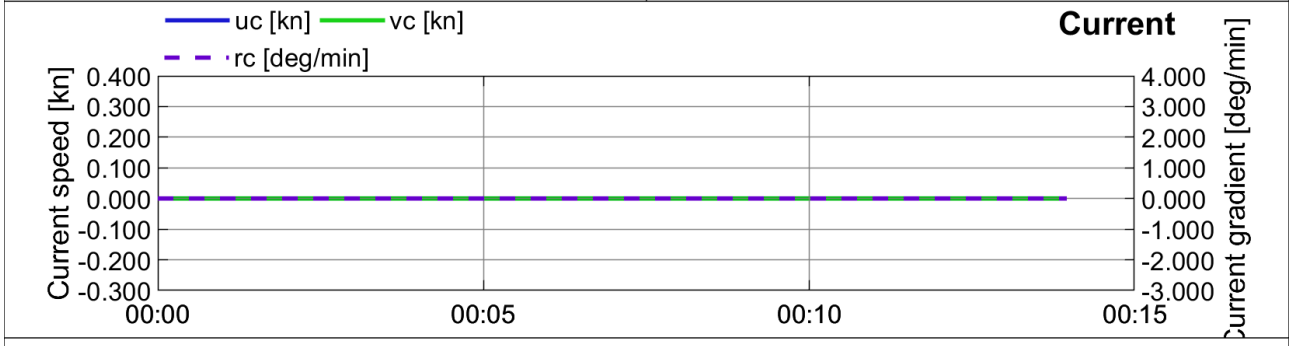


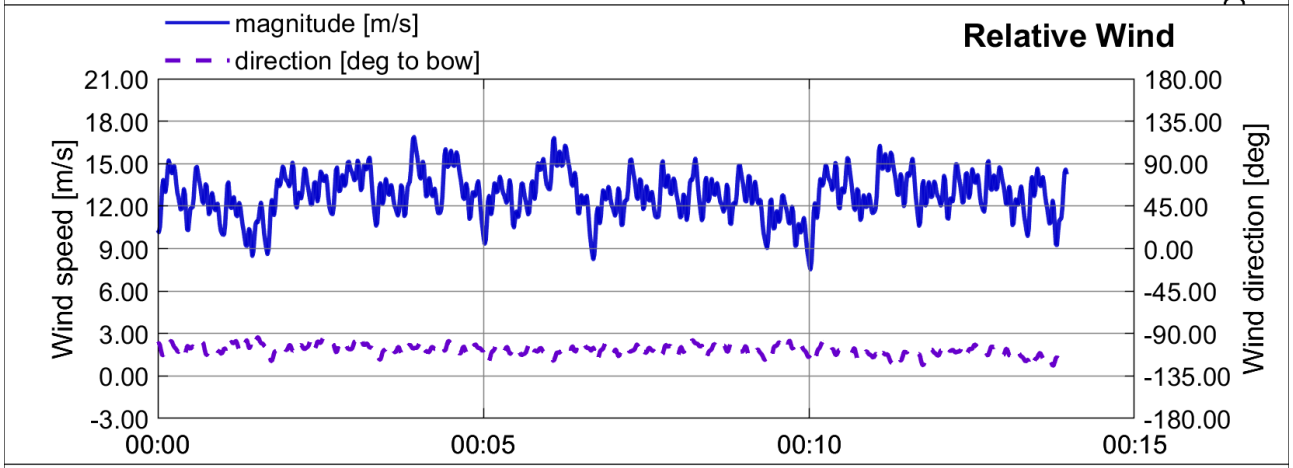
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

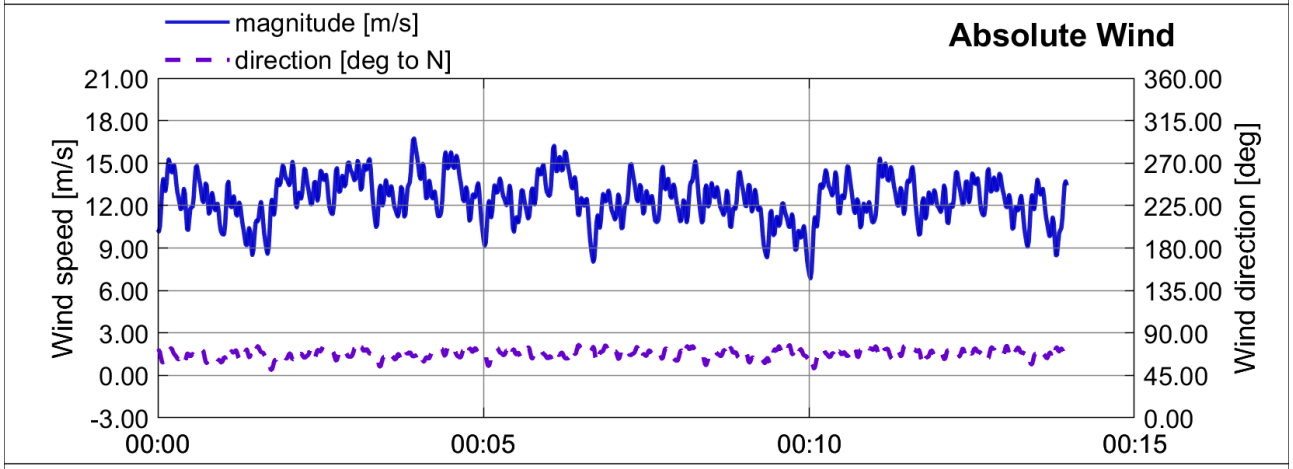
Omgevingscondities

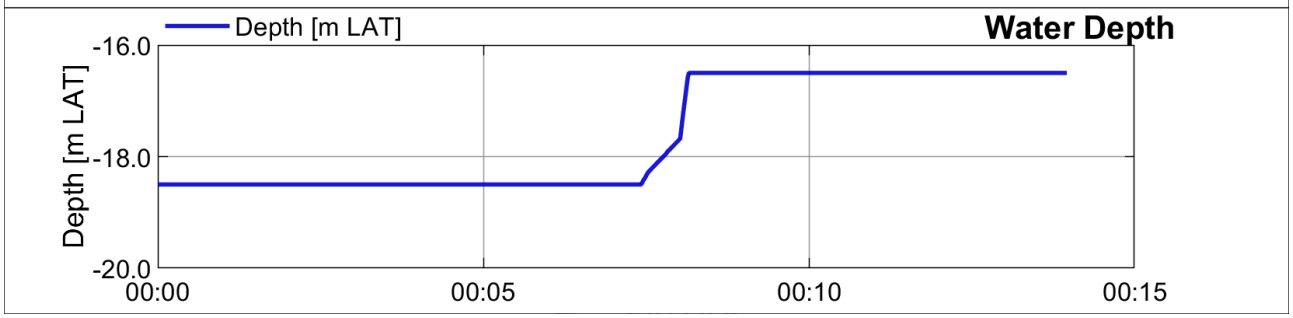
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 02	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







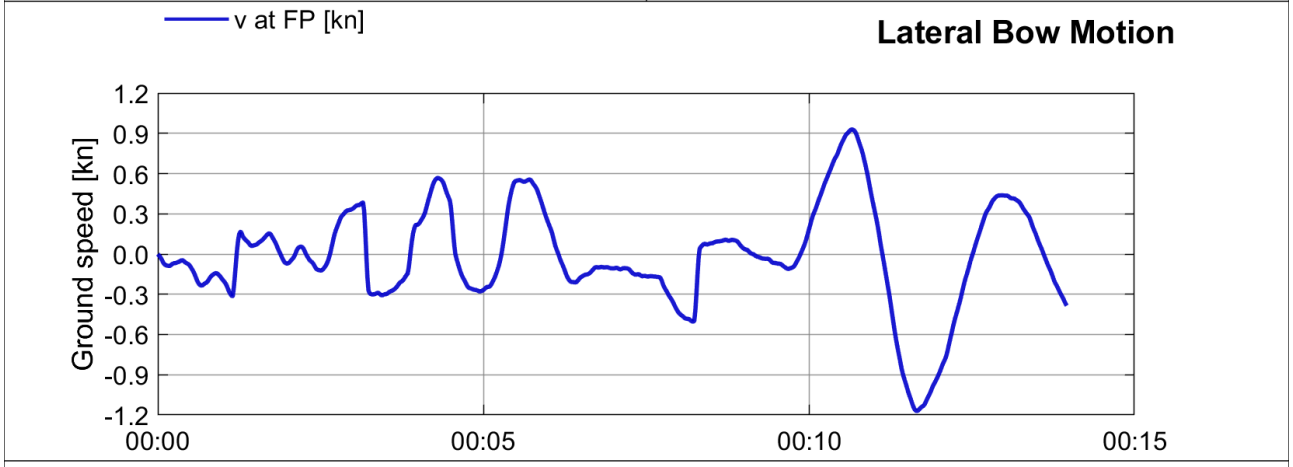


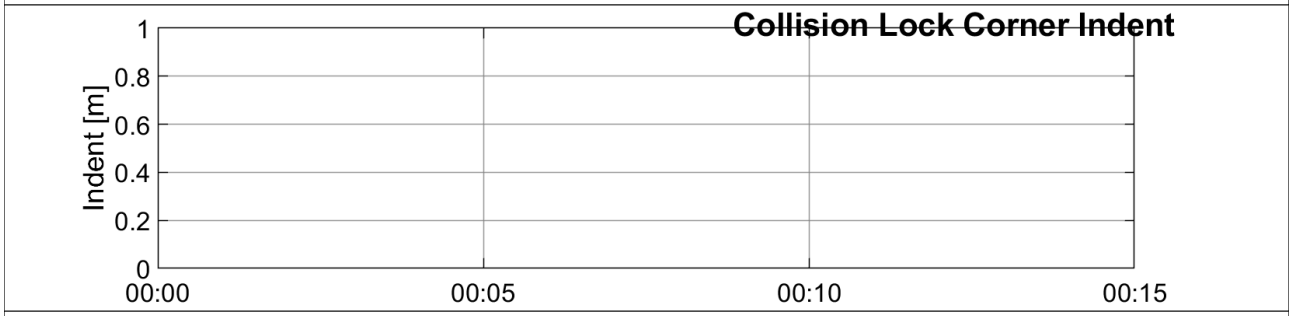
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

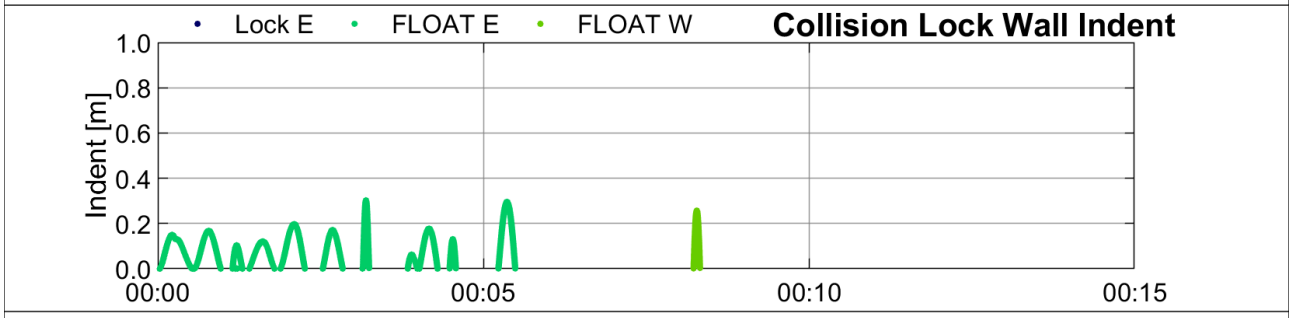
Contacten

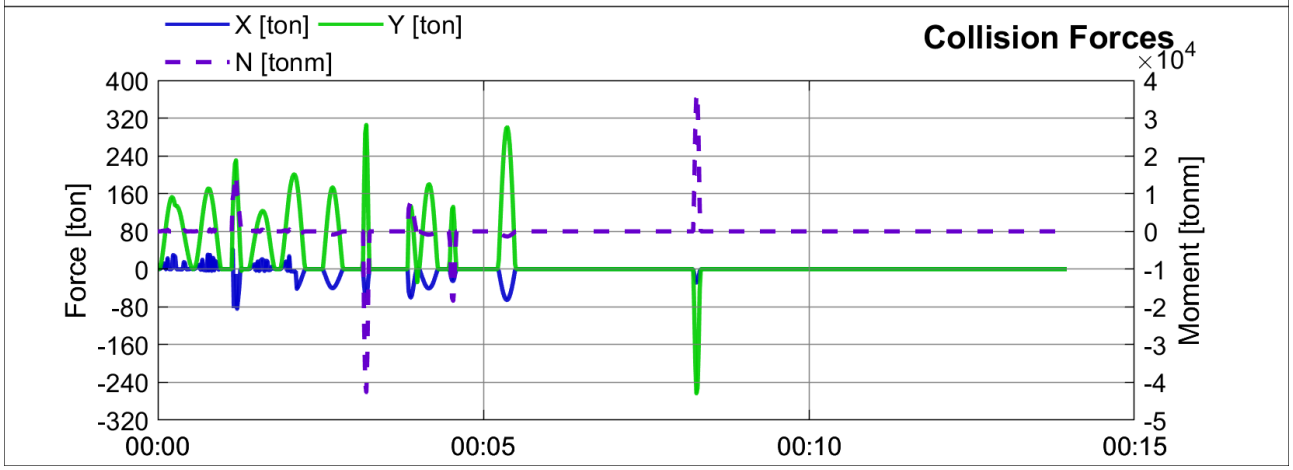
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 02	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







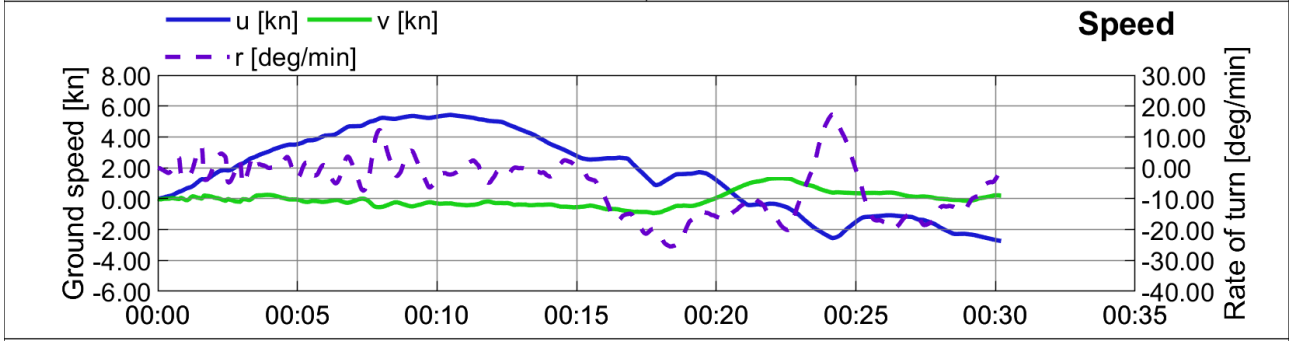


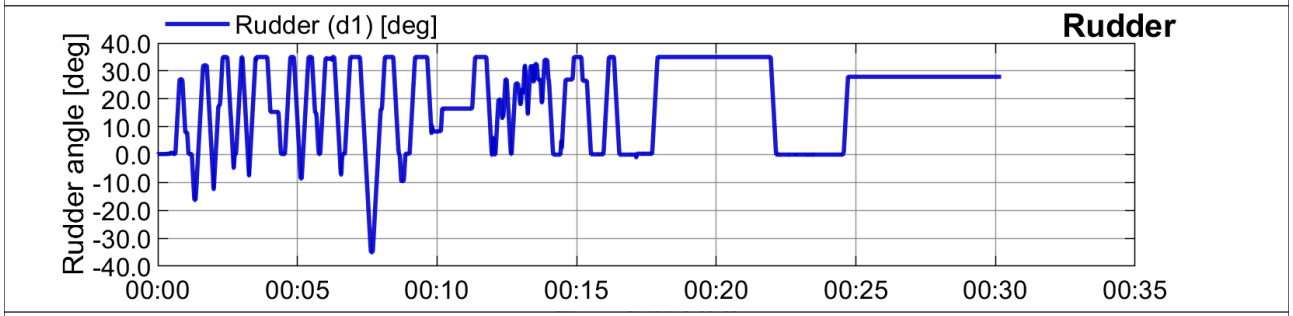
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

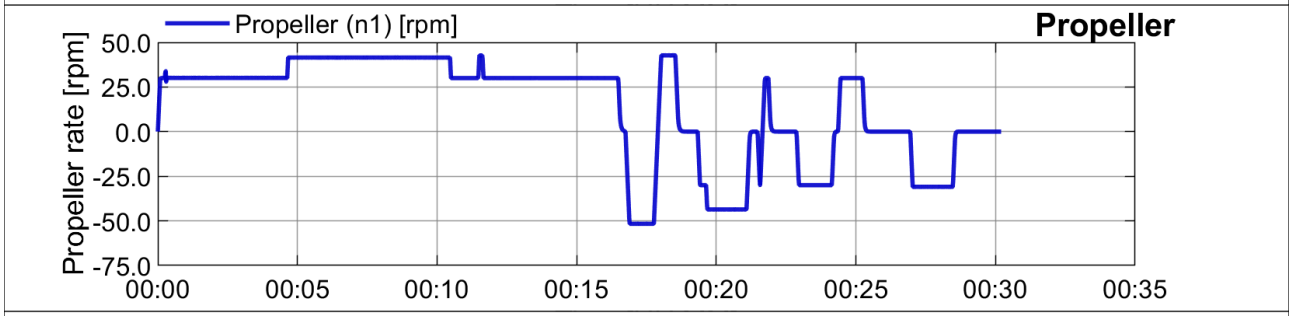
Manoeuvreereigenschappen

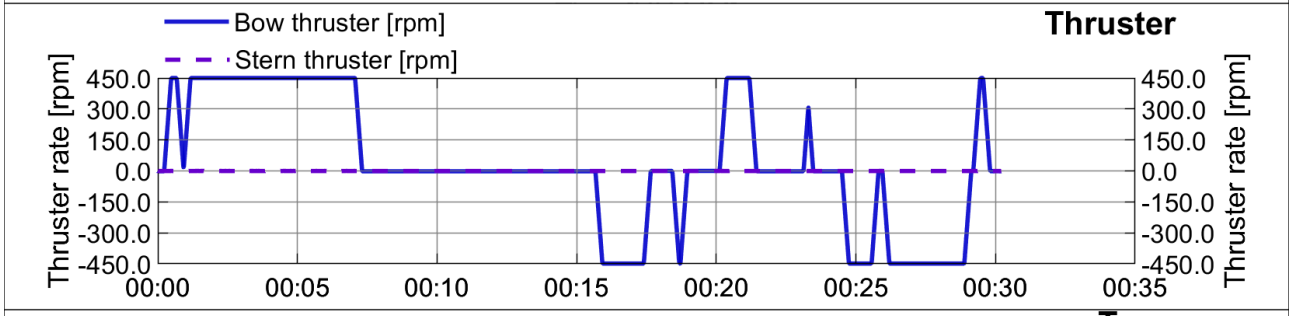
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

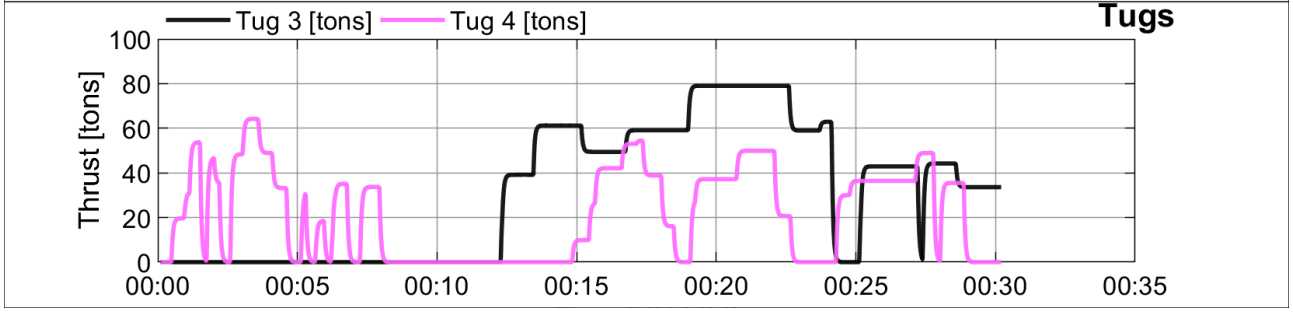
Simulatie: Achterhaven HW 03	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









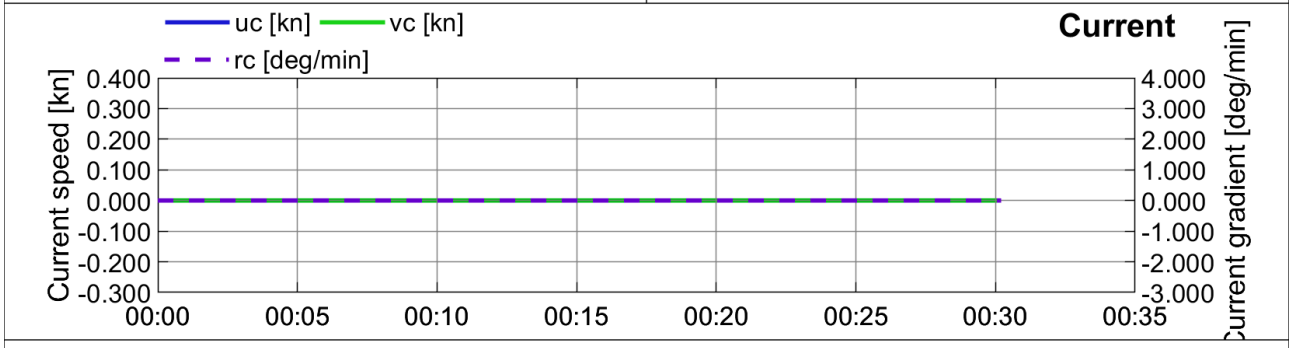


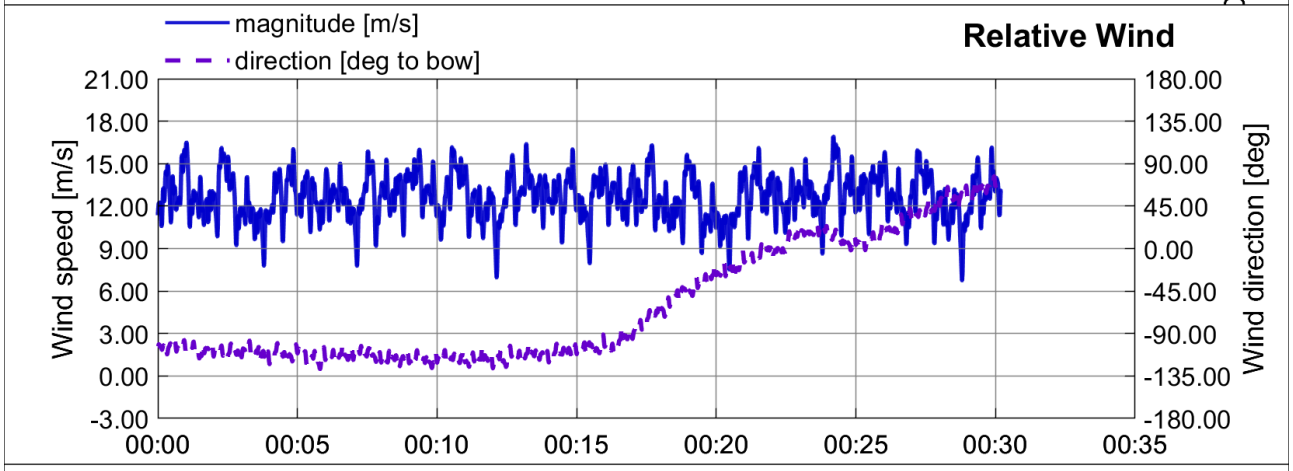
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

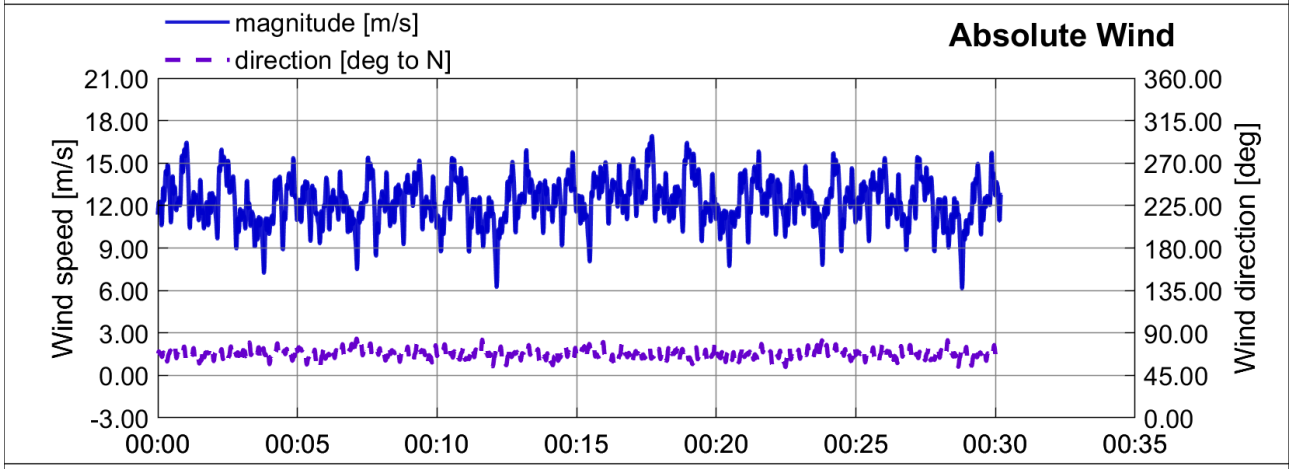
Omgevingscondities

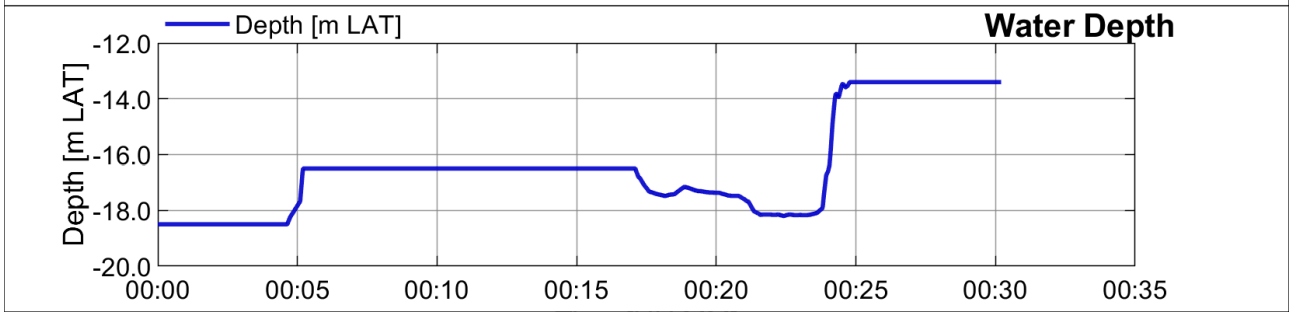
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 03	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







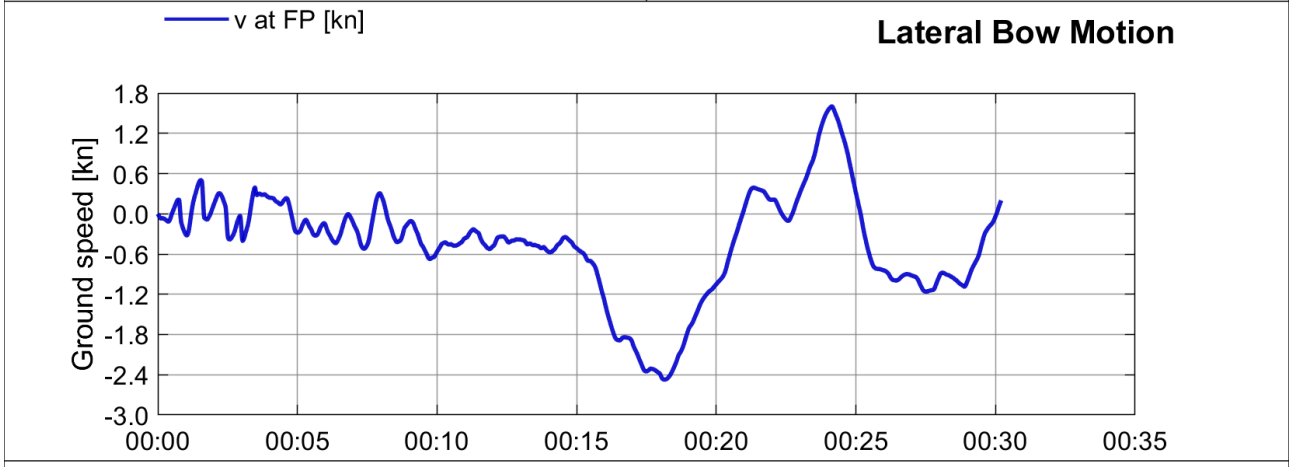


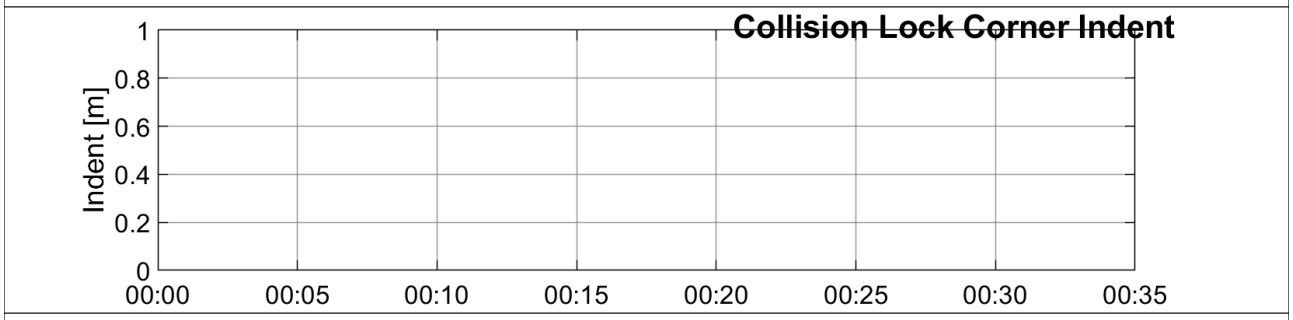
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

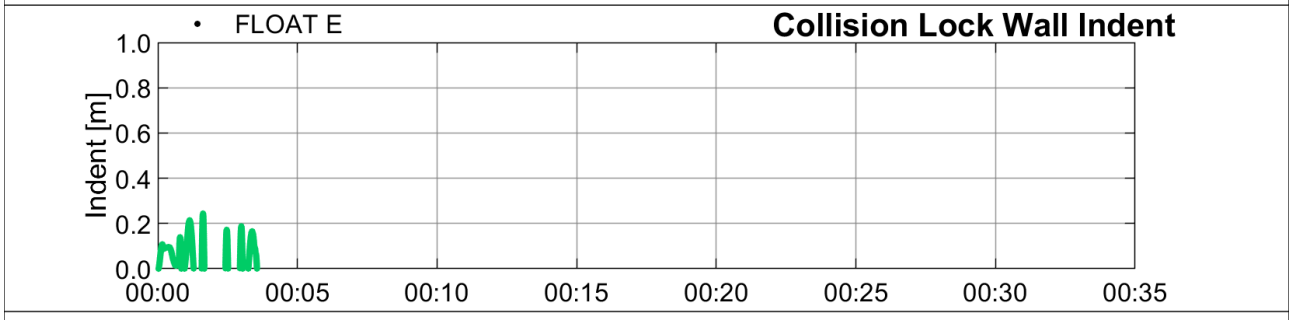
Contacten

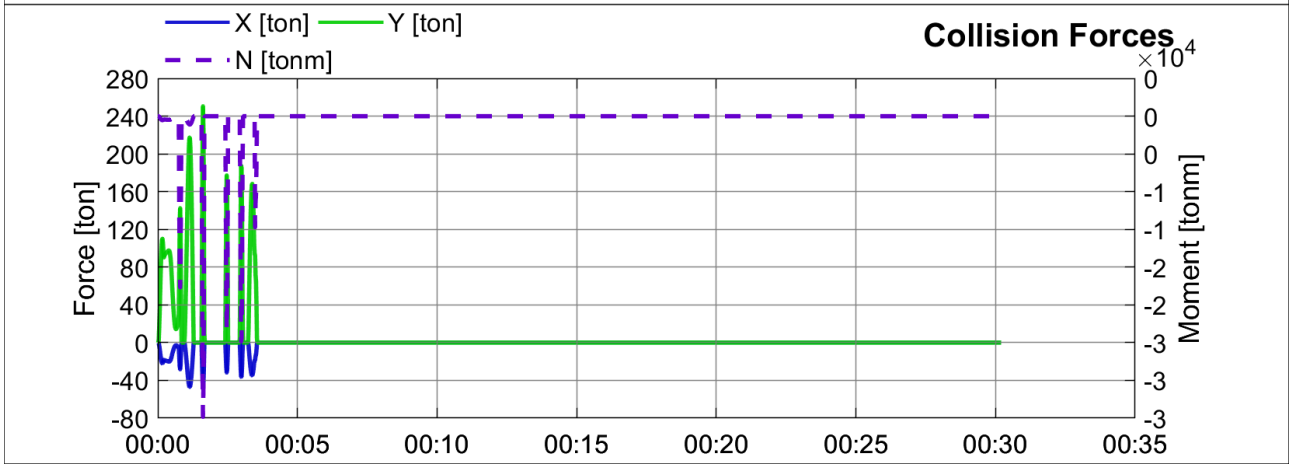
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 03	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







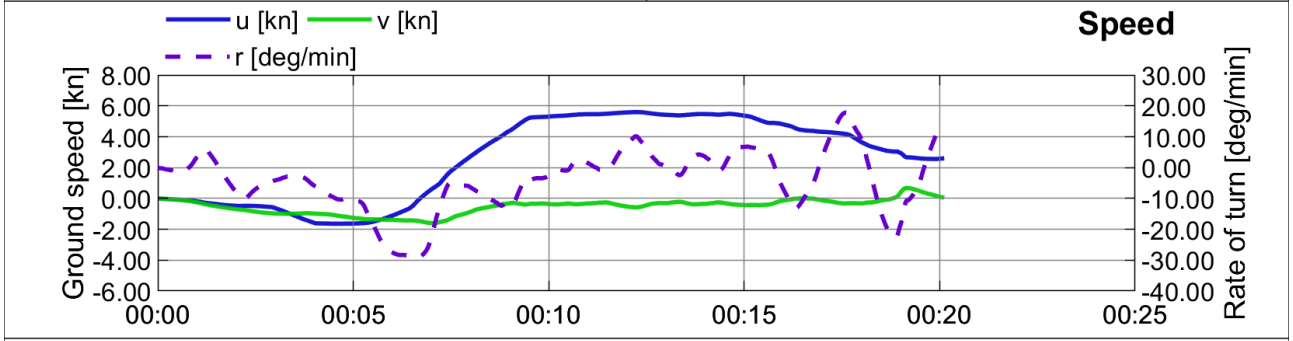


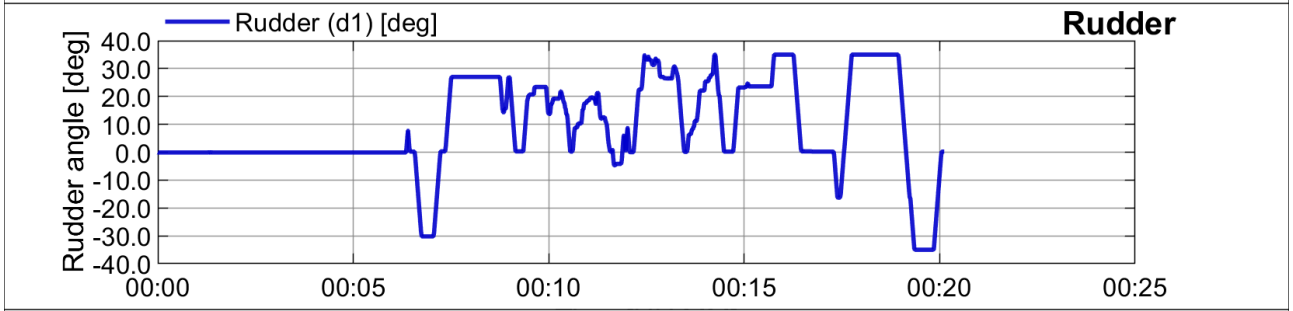
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

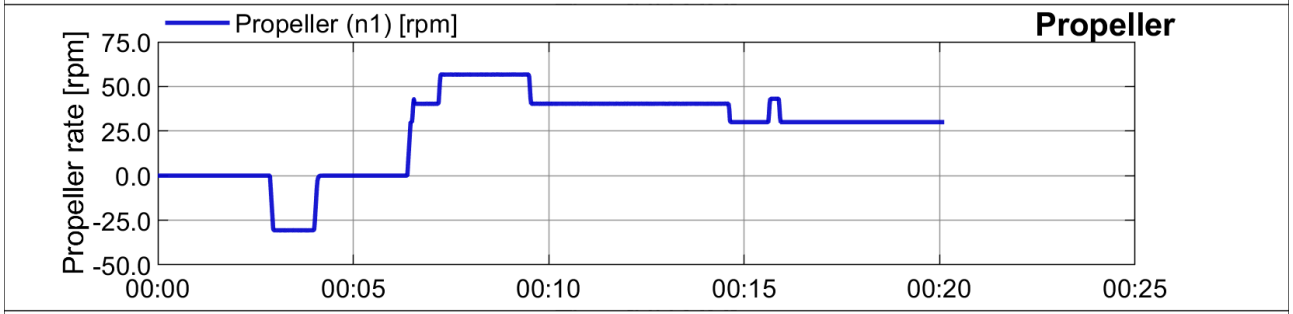
Manoeuvreereigenschappen

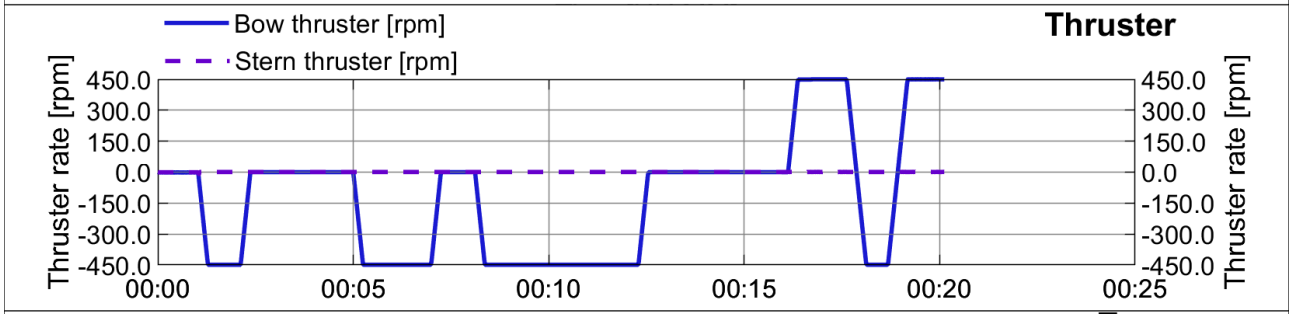
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

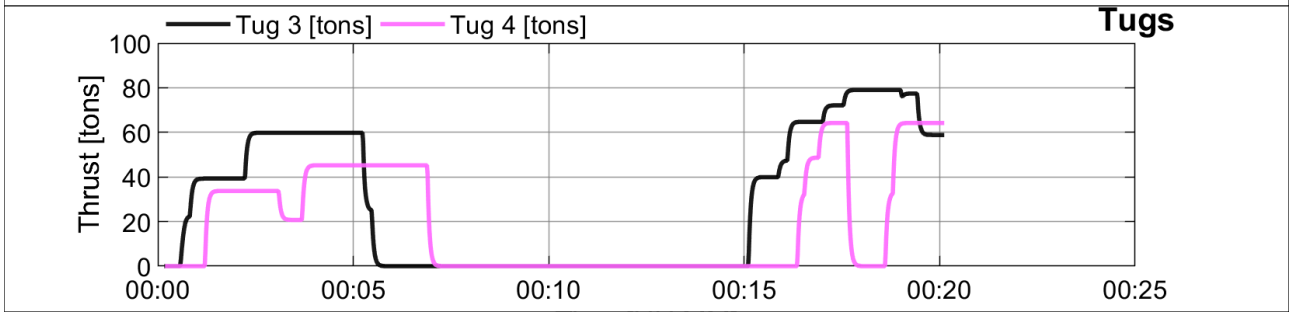
Simulatie: Achterhaven HP 04	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









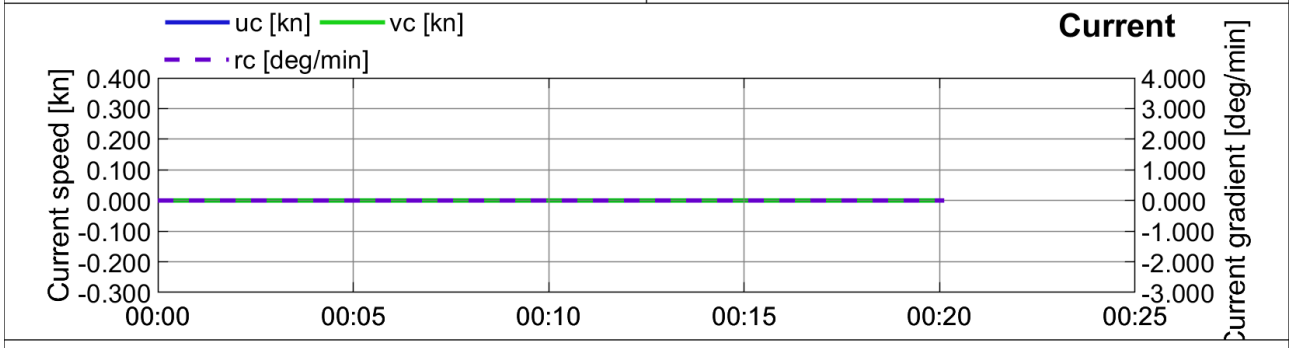


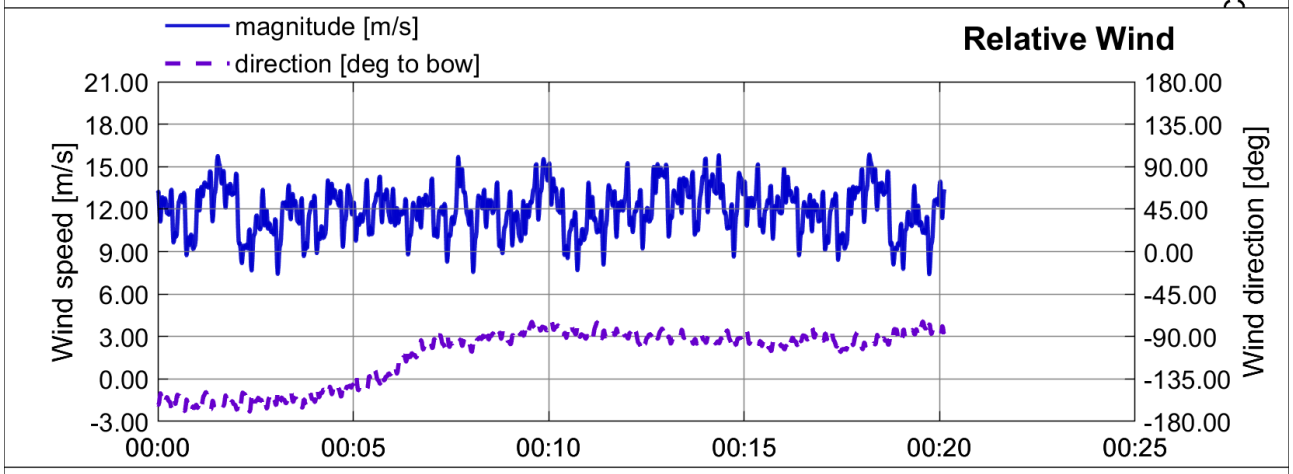
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

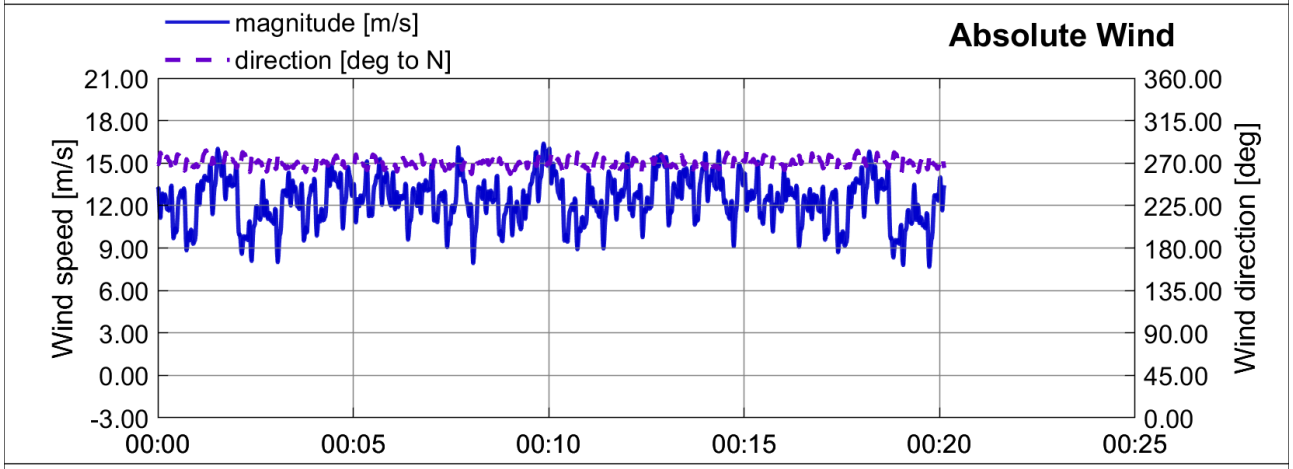
Omgevingscondities

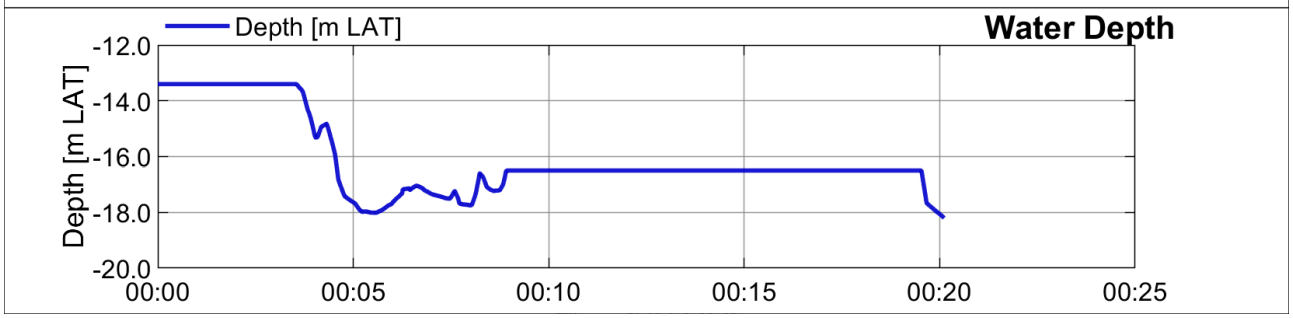
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HP 04	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







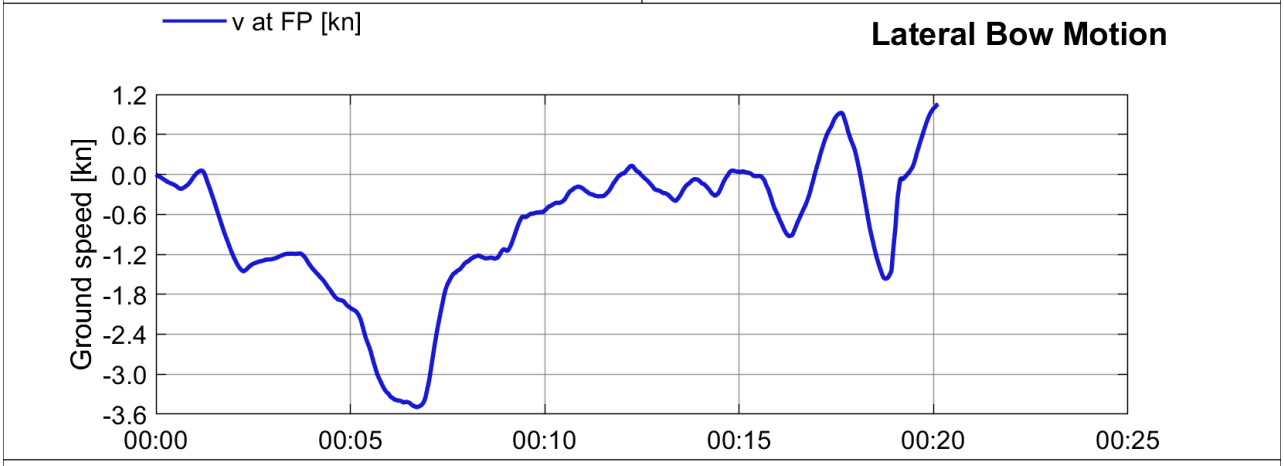


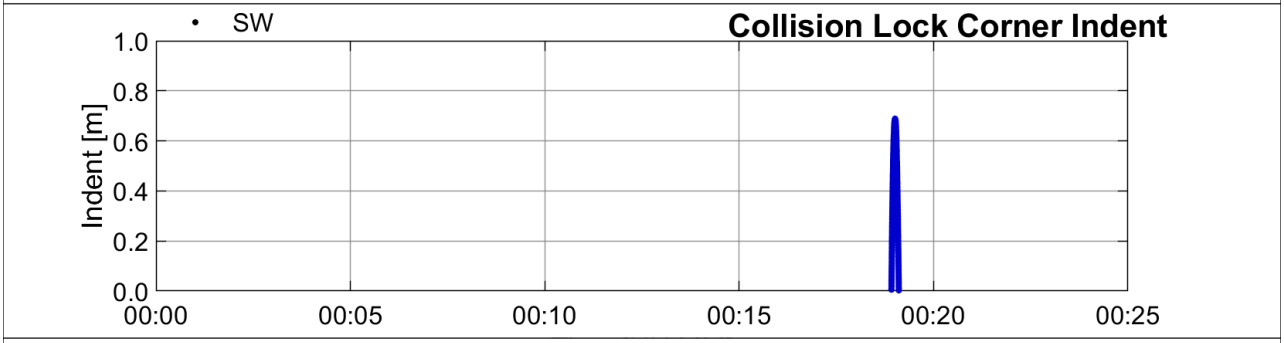
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

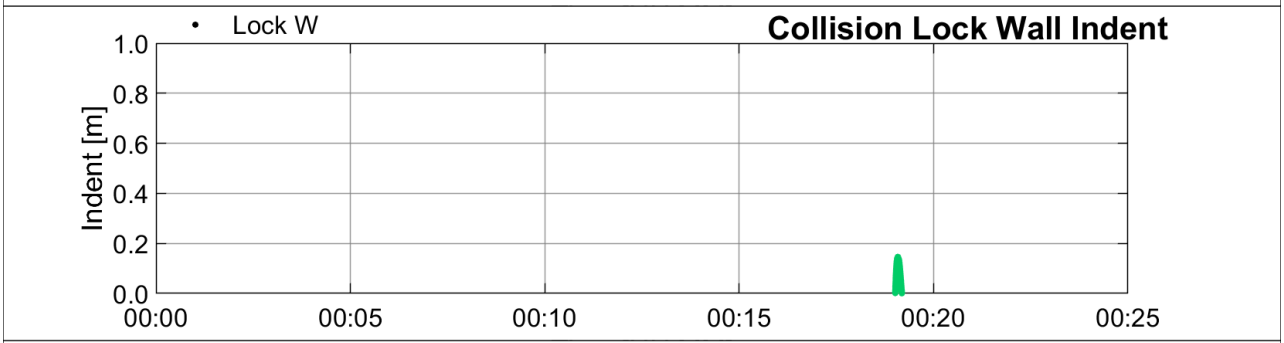
Contacten

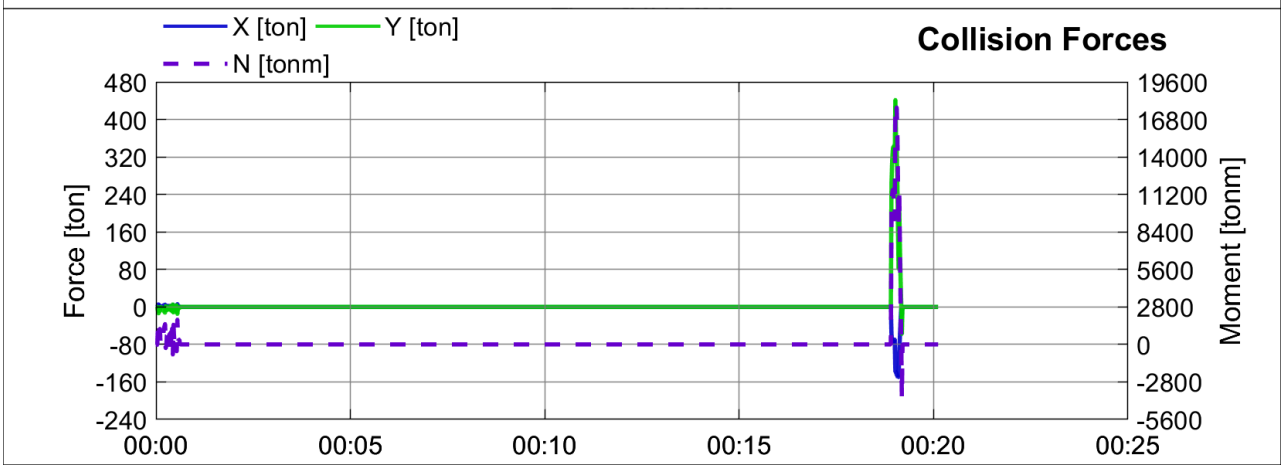
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HP 04	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







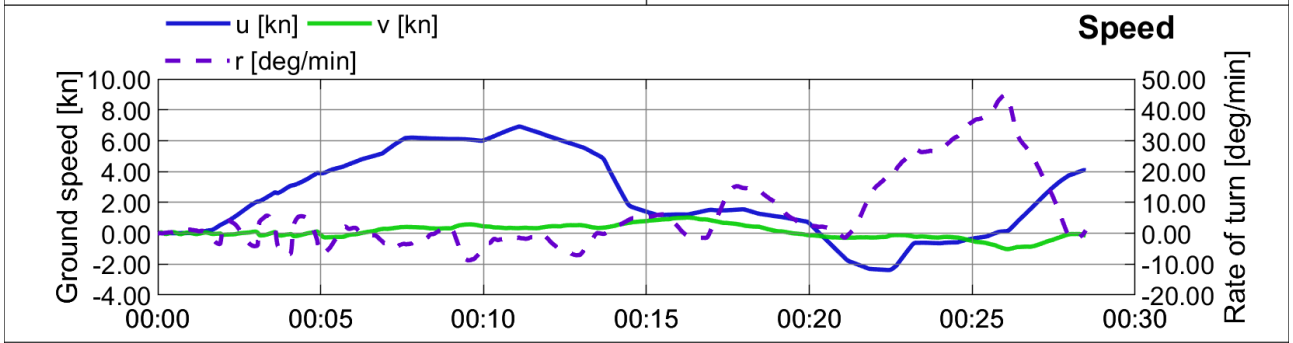


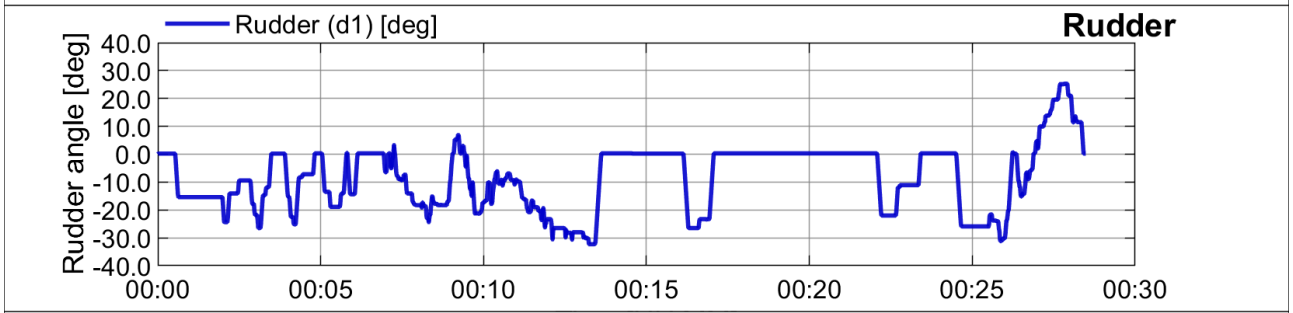
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

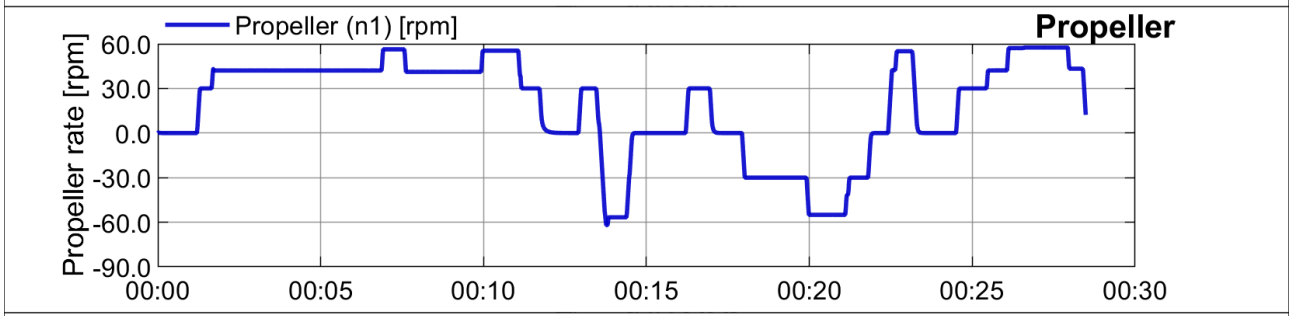
Manoeuvreereigenschappen

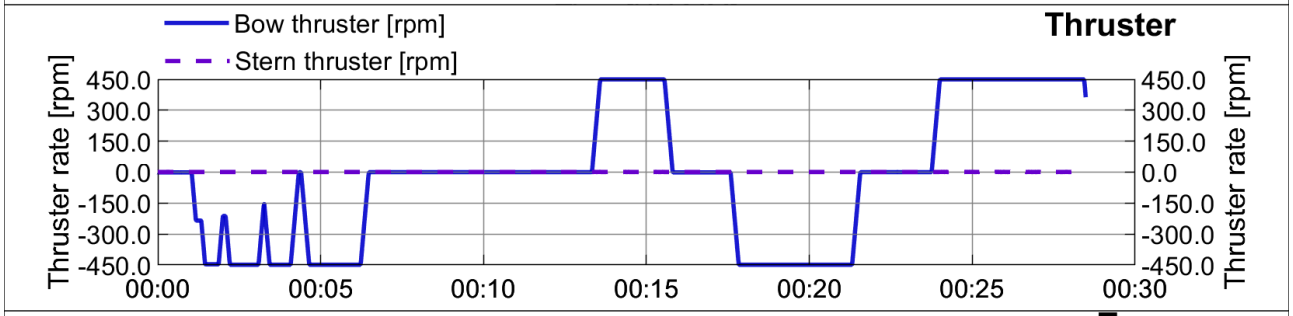
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

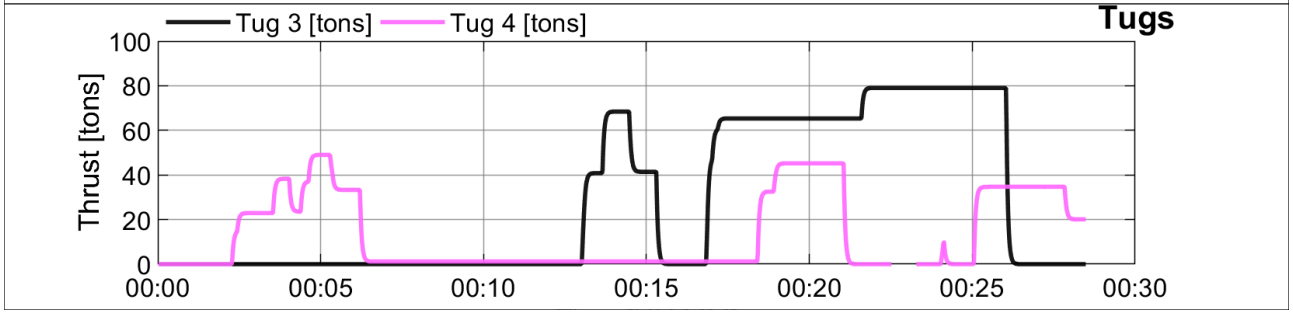
Simulatie: Achterhaven HP 05	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









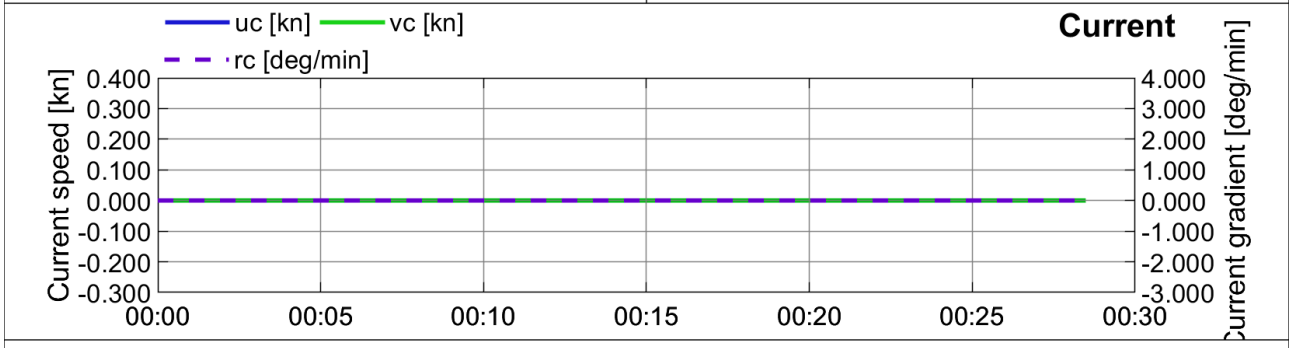


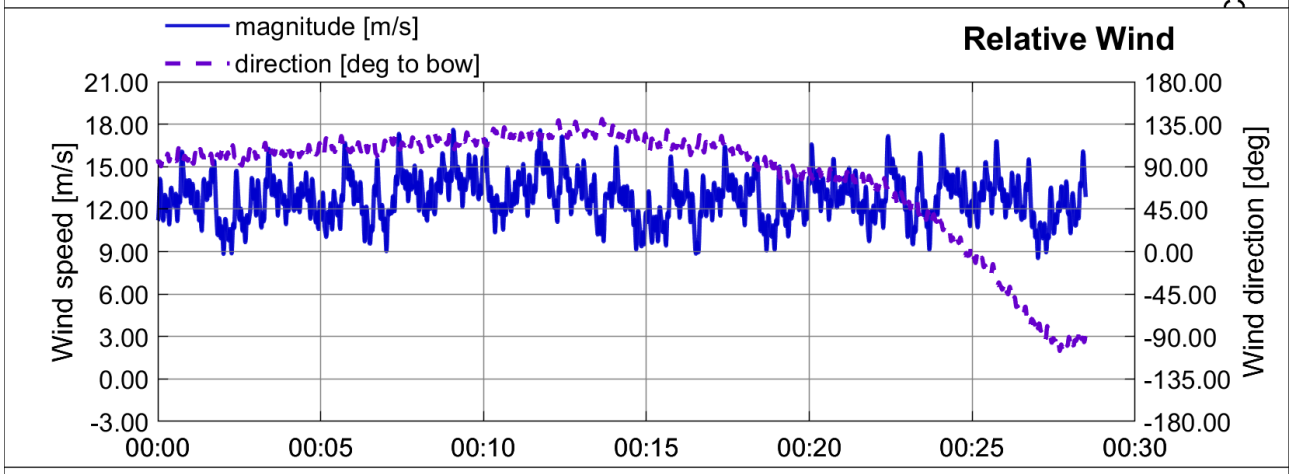
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

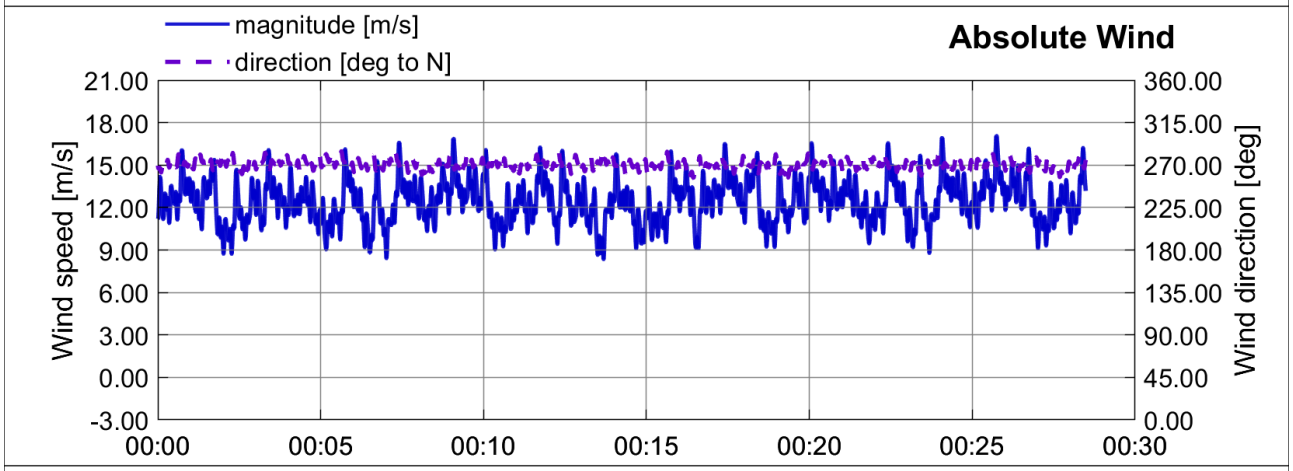
Omgevingscondities

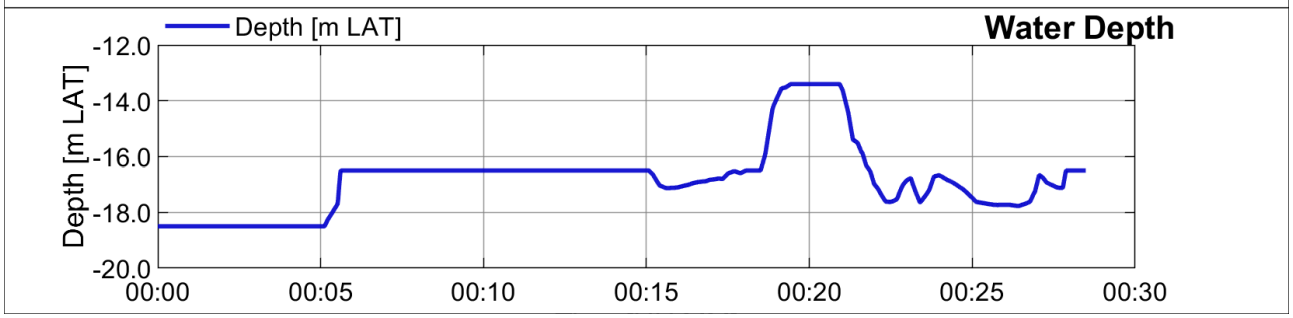
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HP 05	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







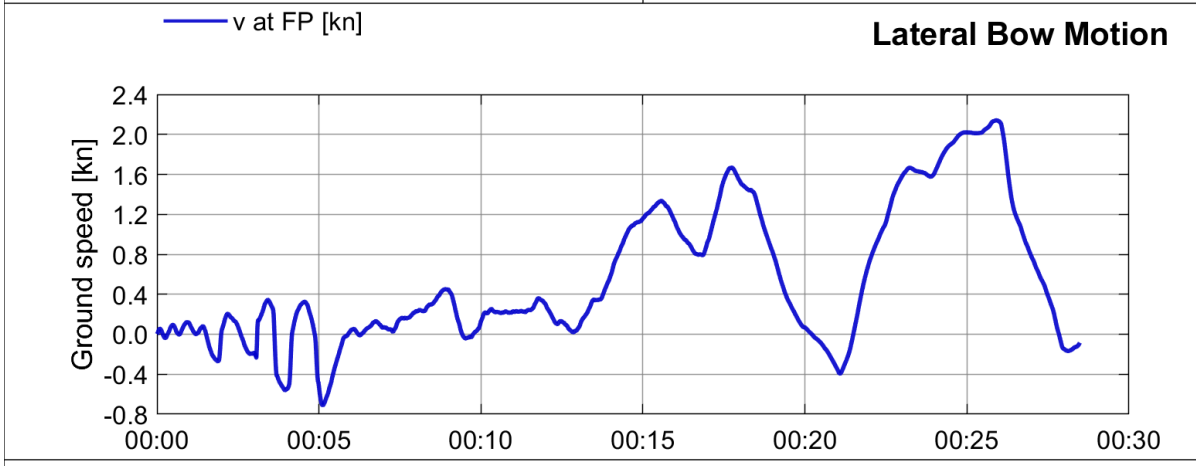


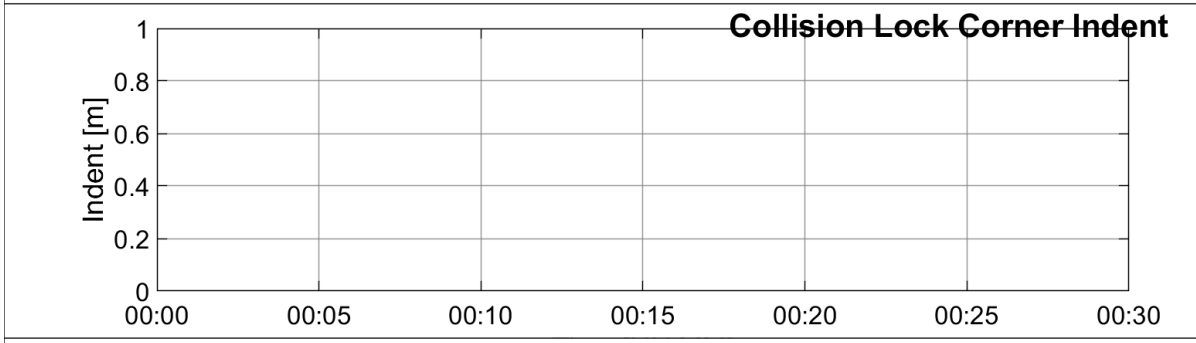
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

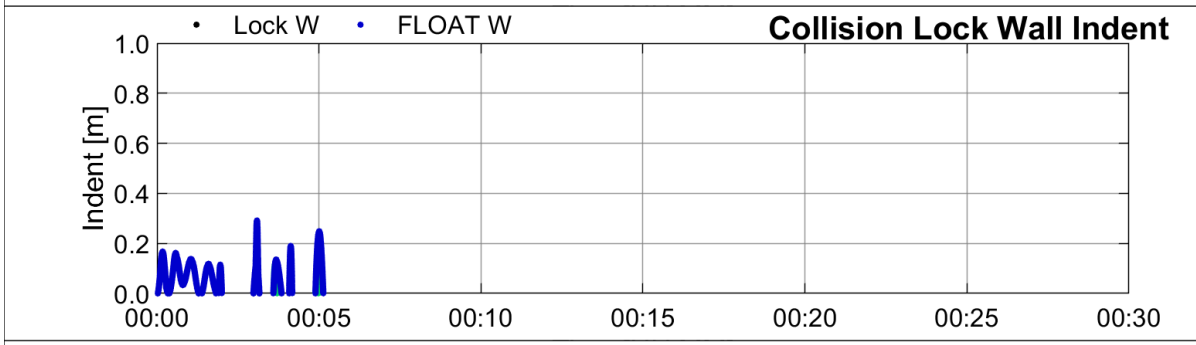
Contacten

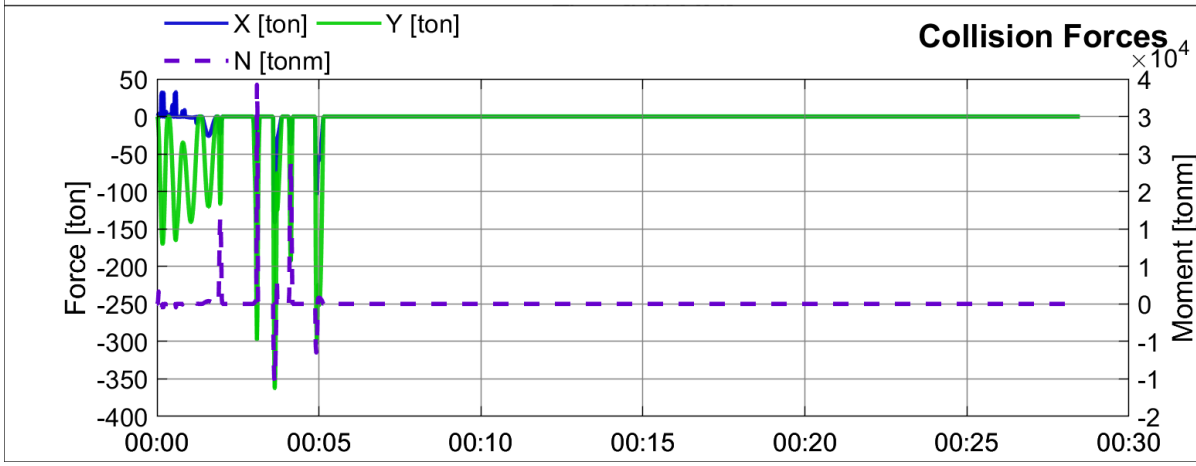
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HP 05	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







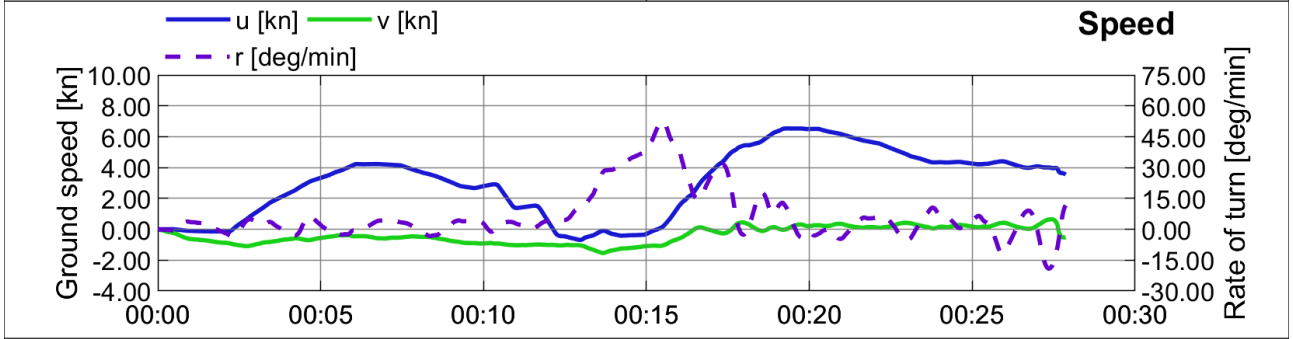


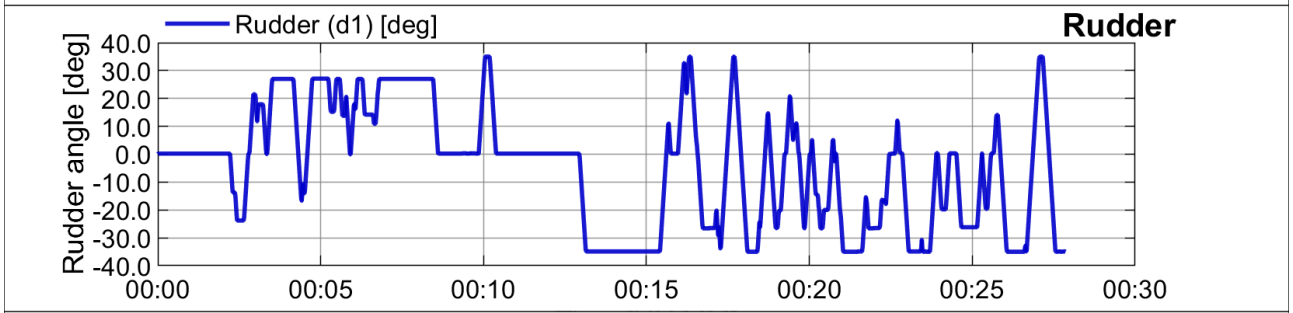
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

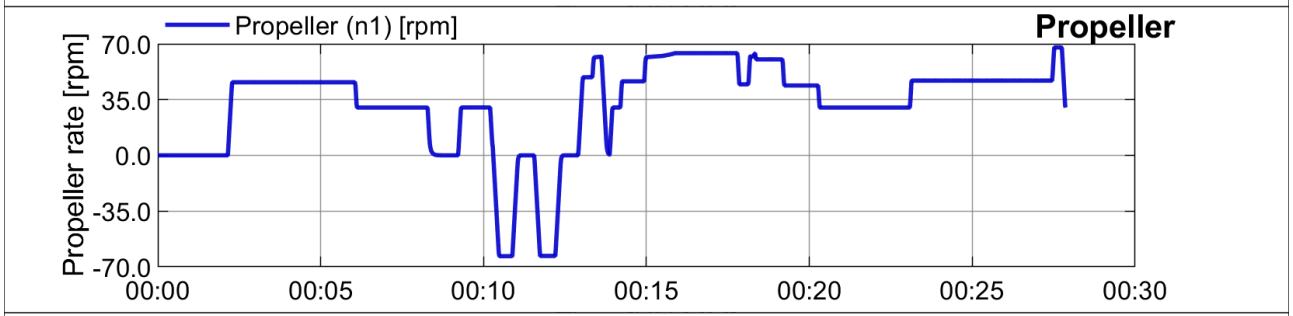
Manoeuvreereigenschappen

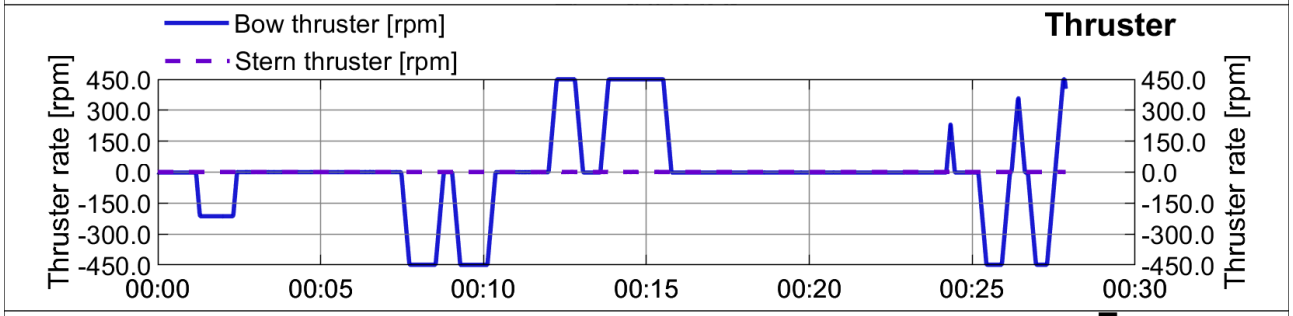
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

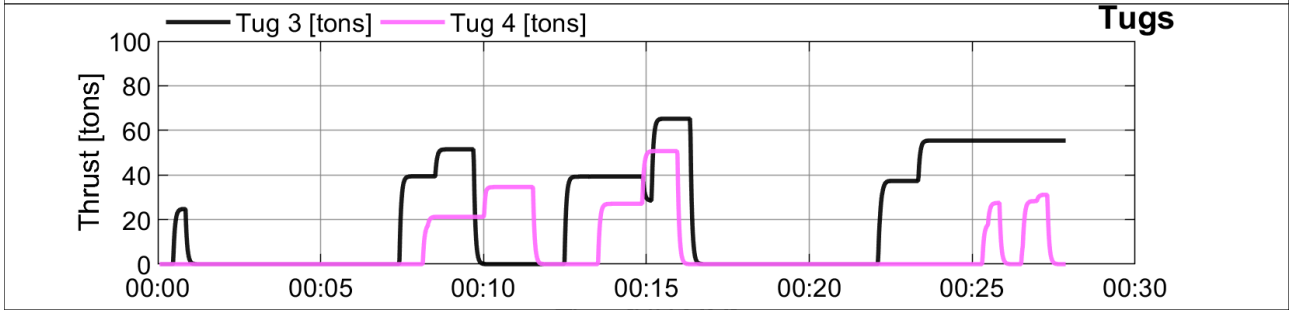
Simulatie: Achterhaven HW 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









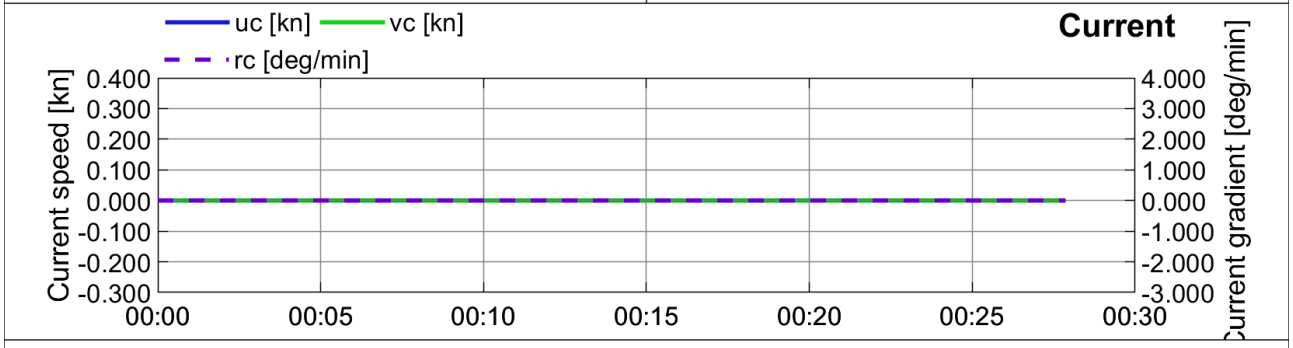


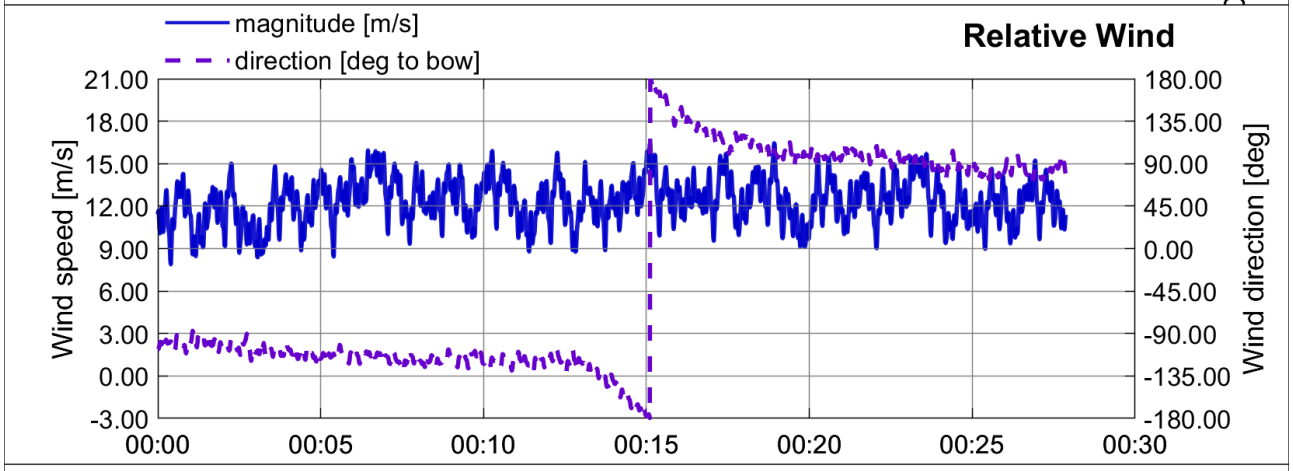
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

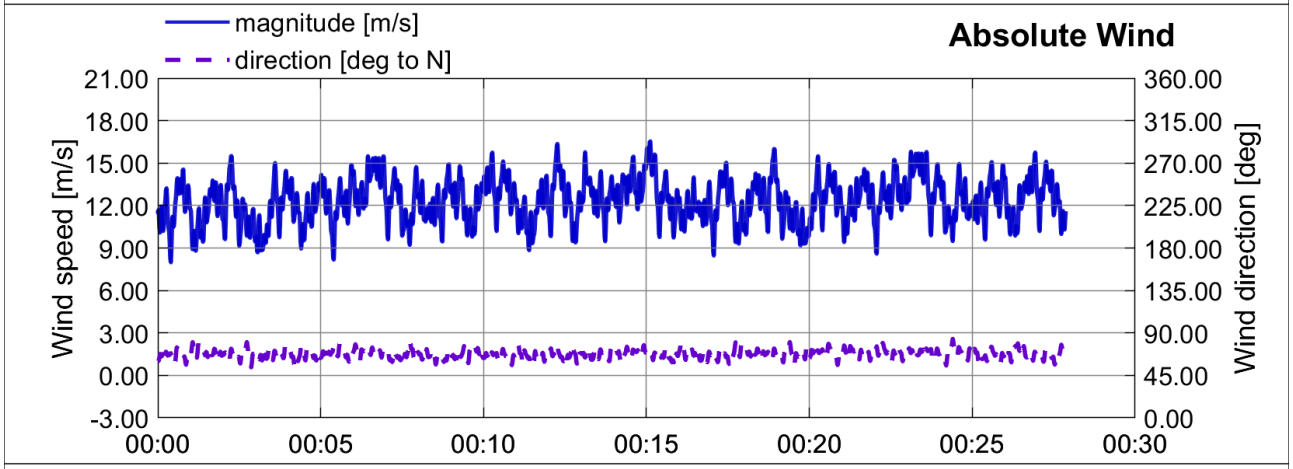
Omgevingscondities

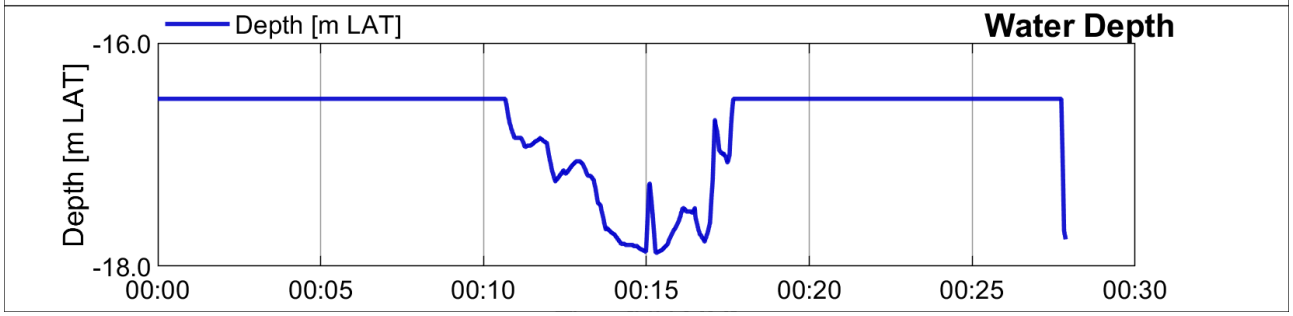
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







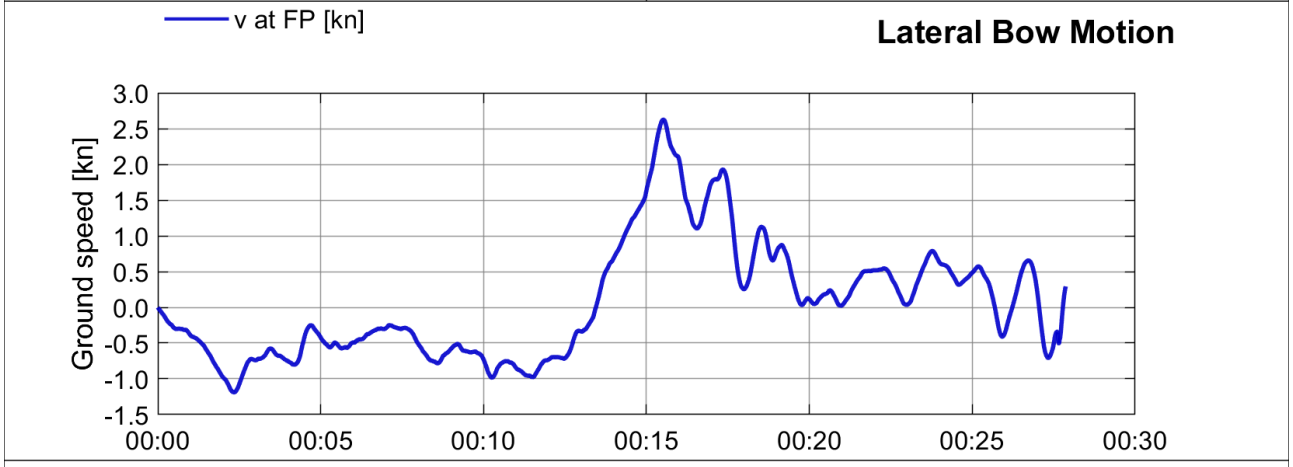


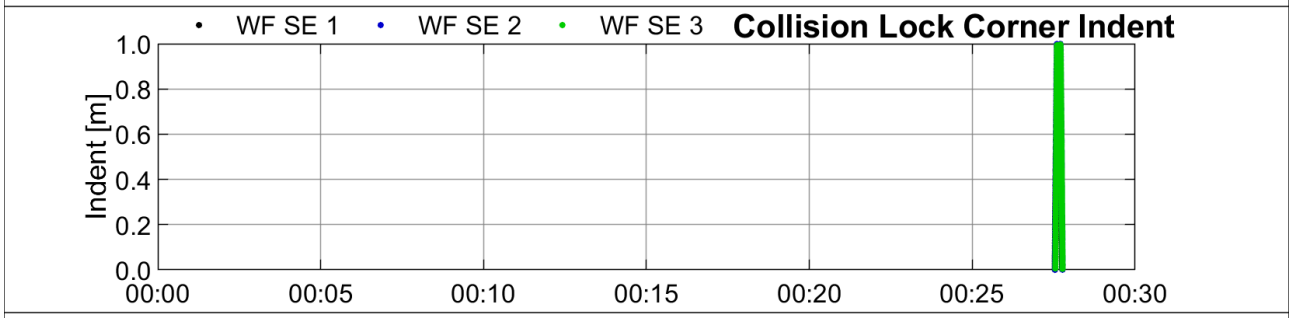
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

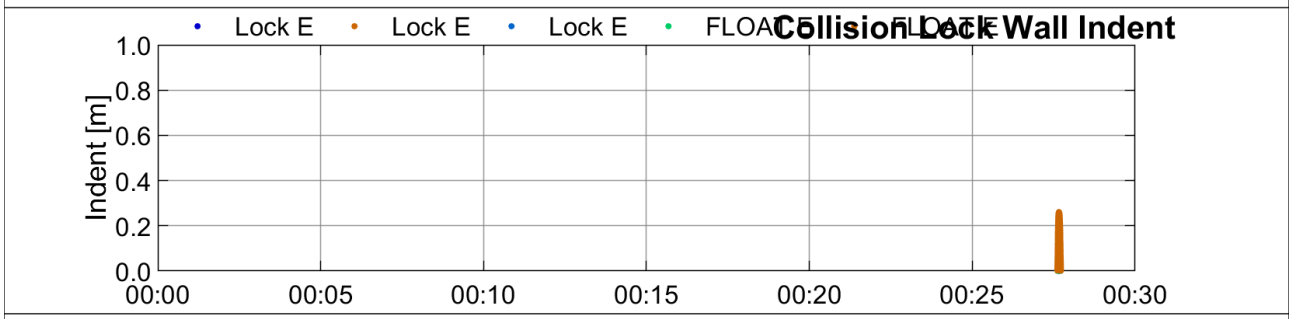
Contacten

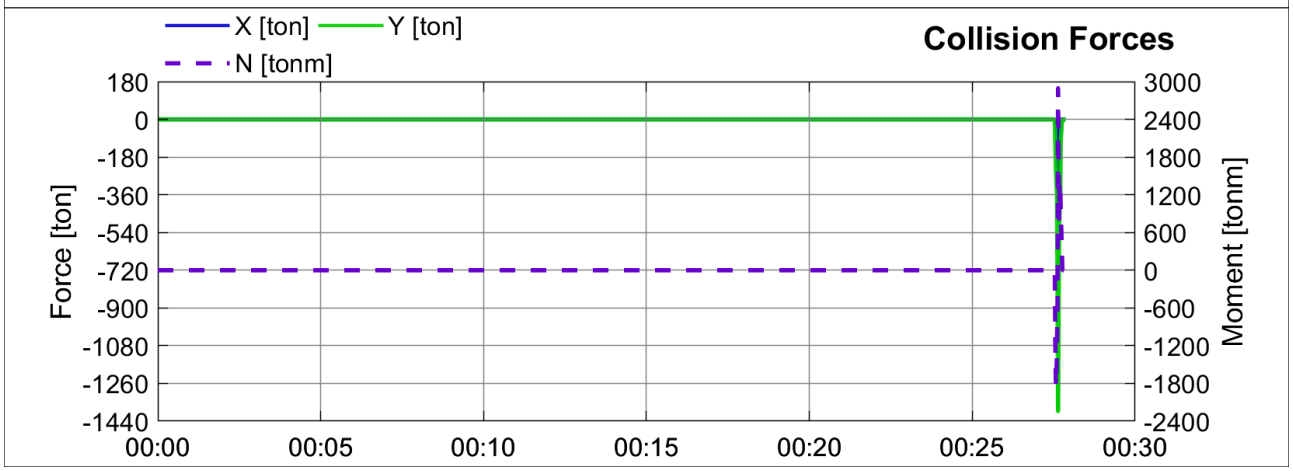
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 06	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







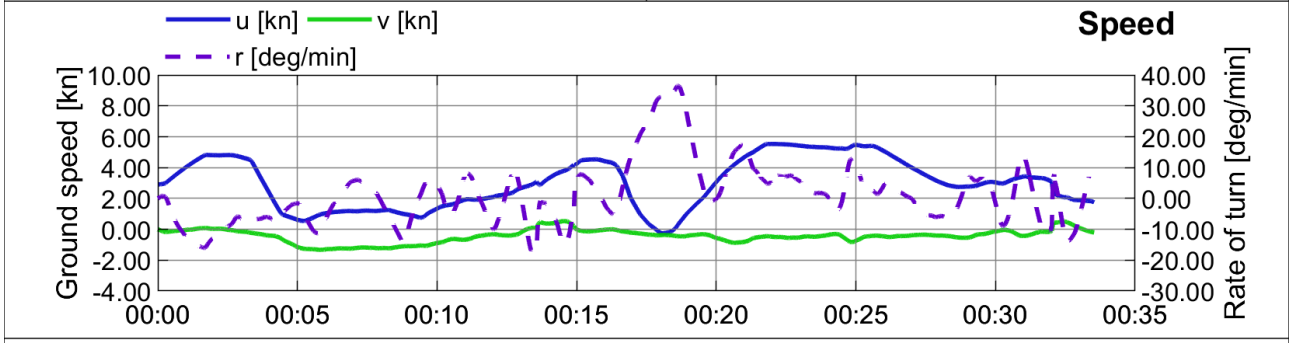


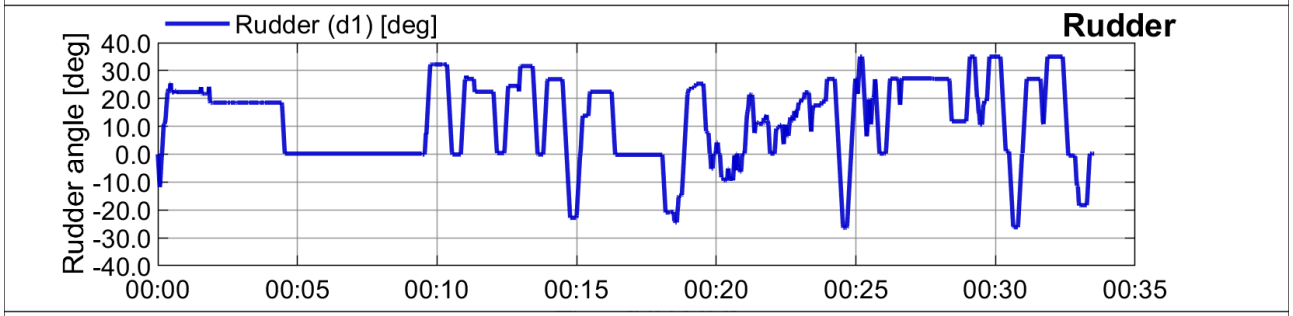
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

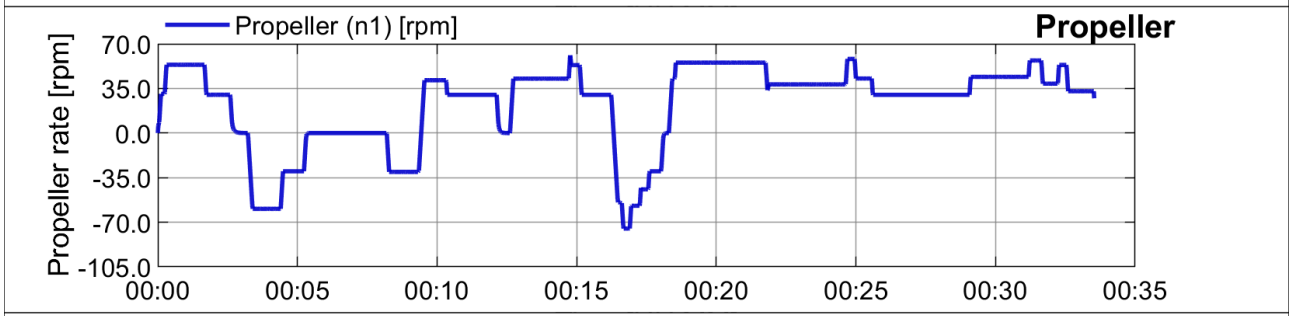
Manoeuvreereigenschappen

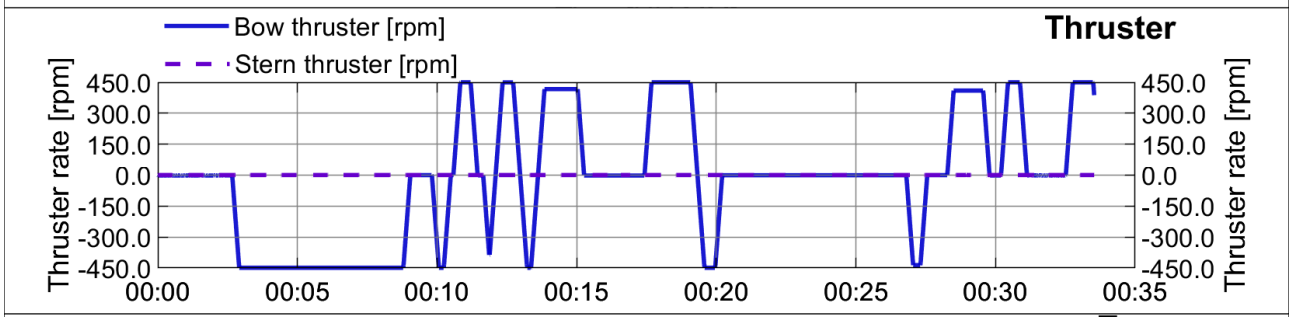
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

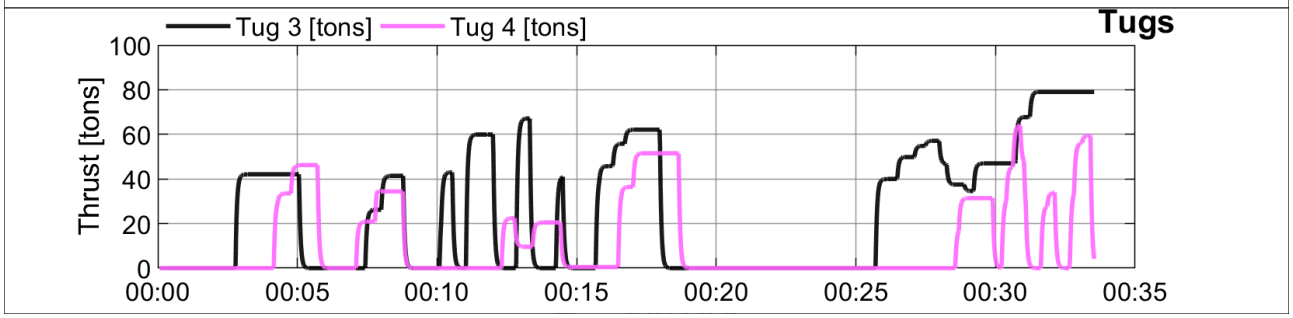
Simulatie: Achterhaven HW 07	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









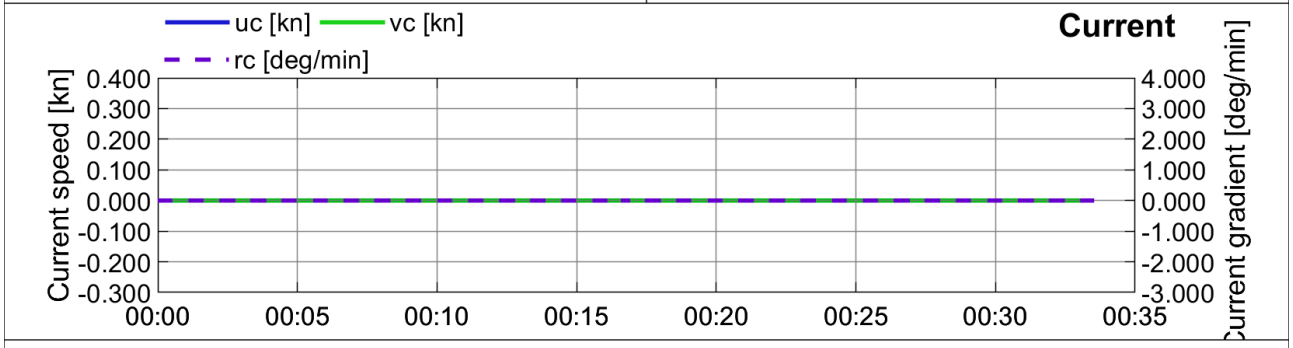


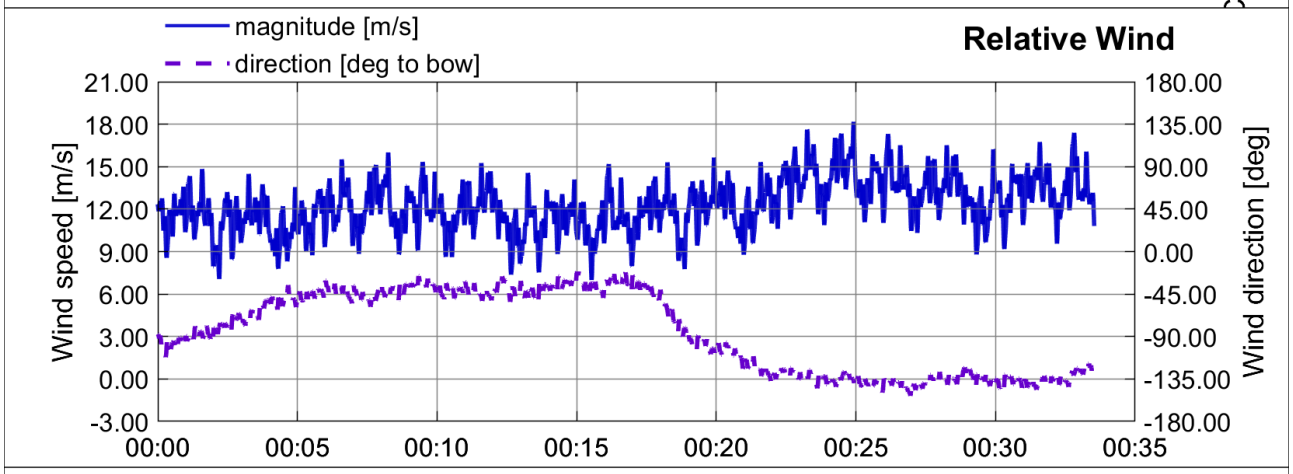
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

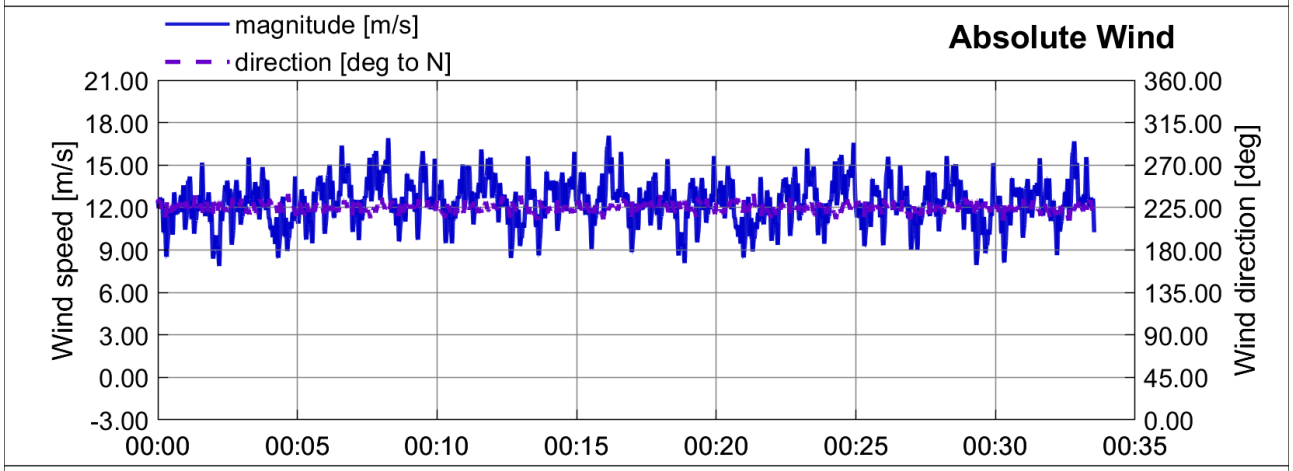
Omgevingscondities

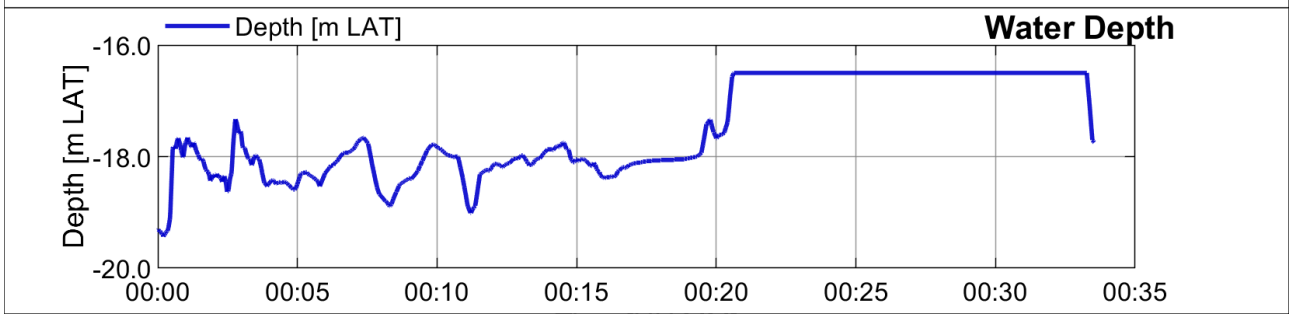
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 07	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







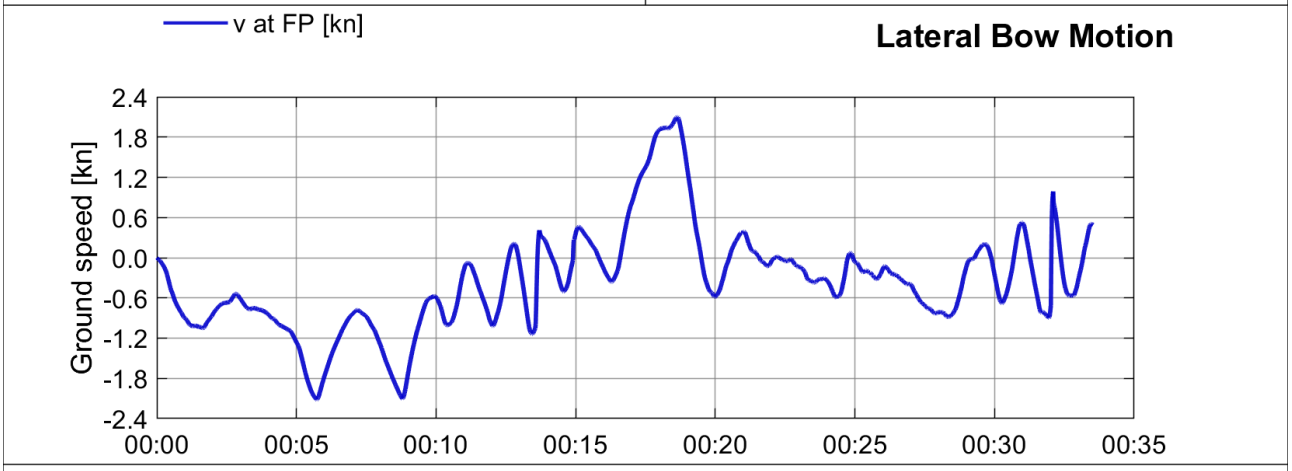


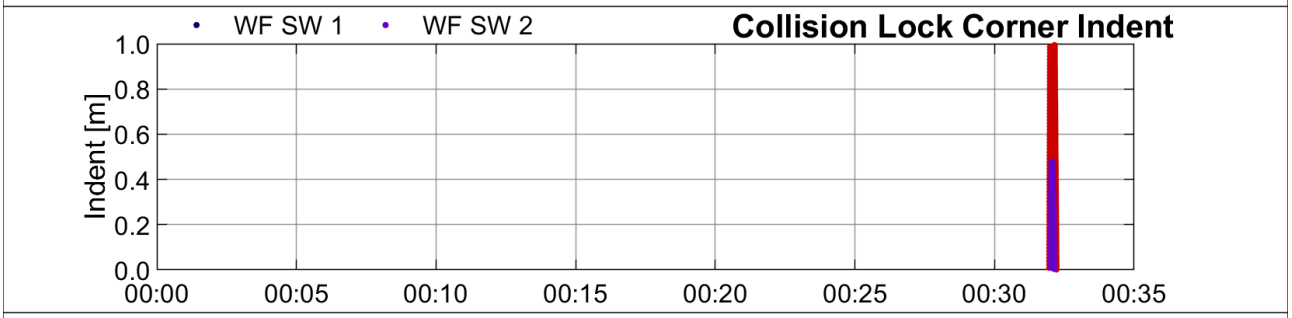
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

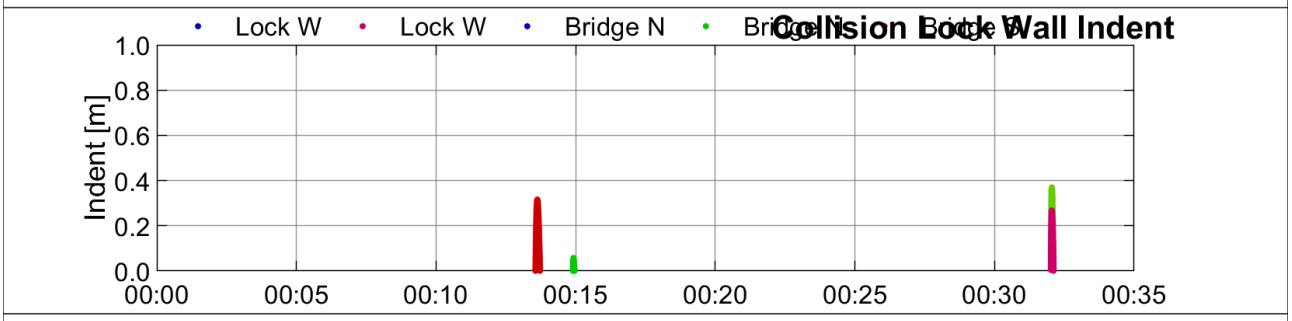
Contacten

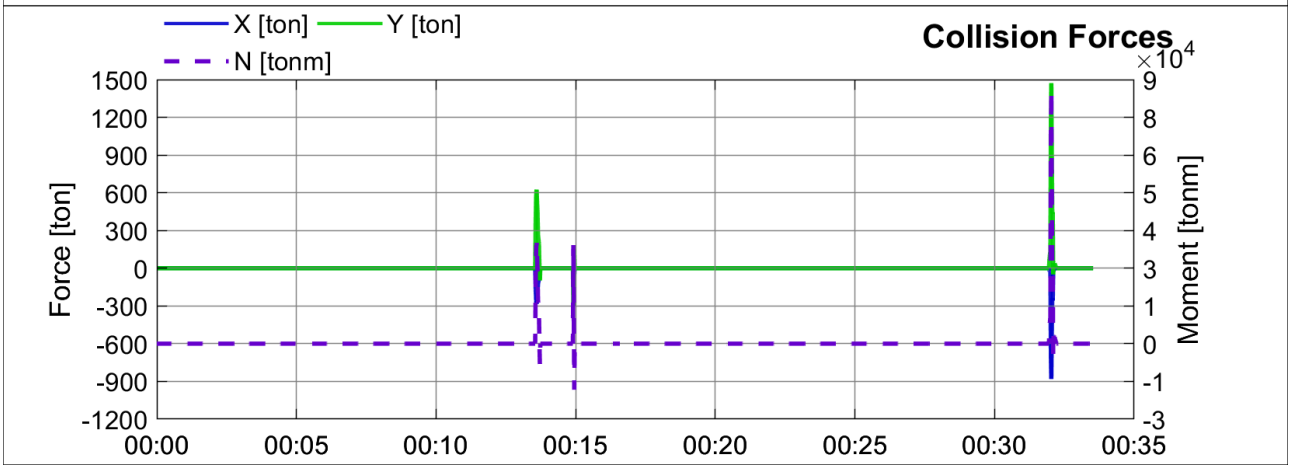
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 07	Wind: NO6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 26/04/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







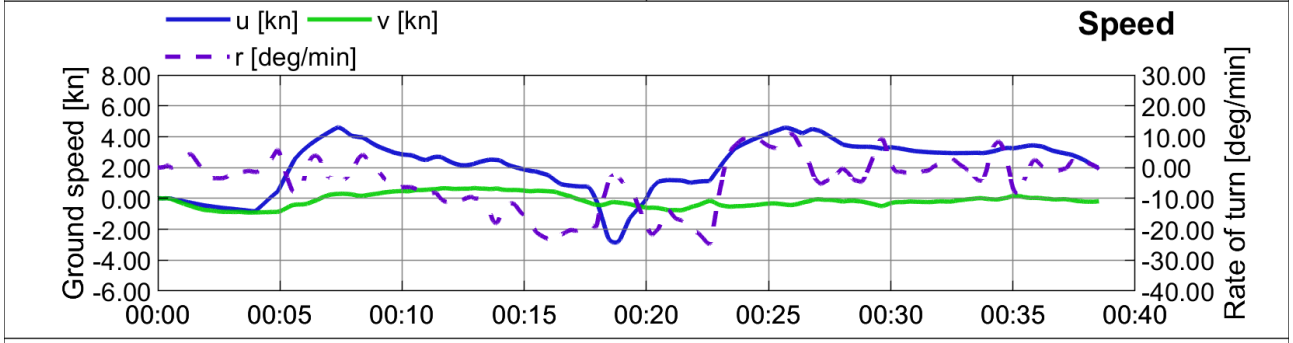


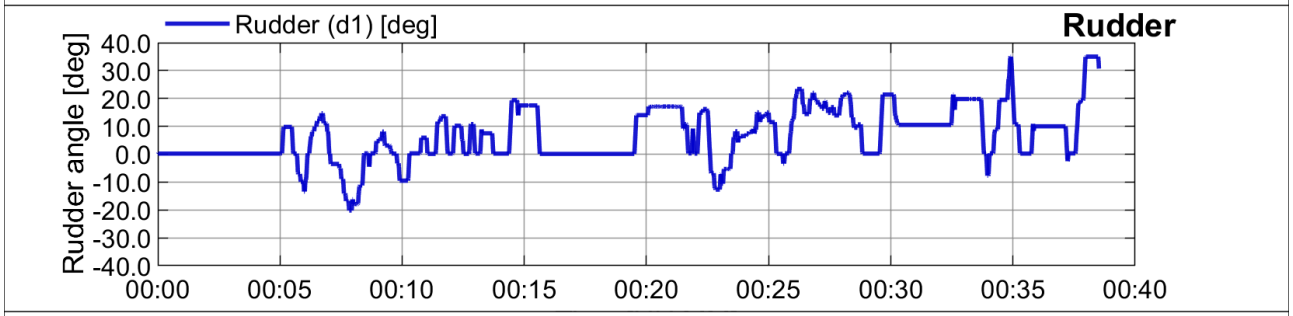
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

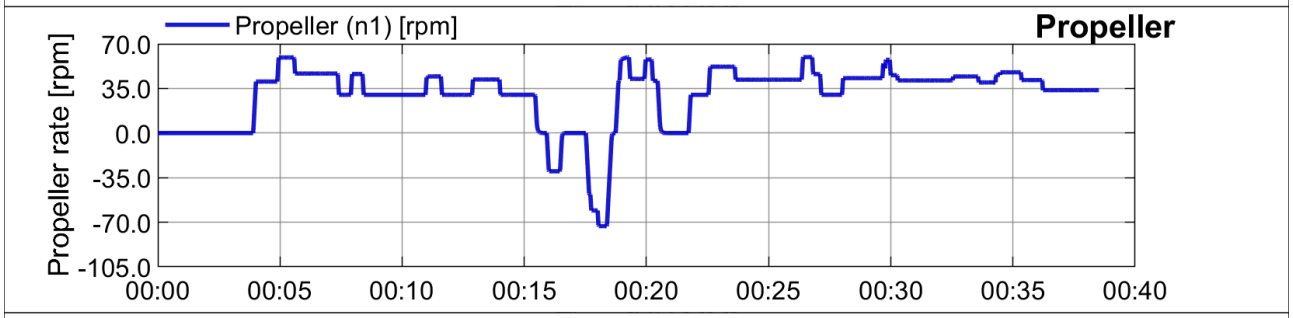
Manoeuvreereigenschappen

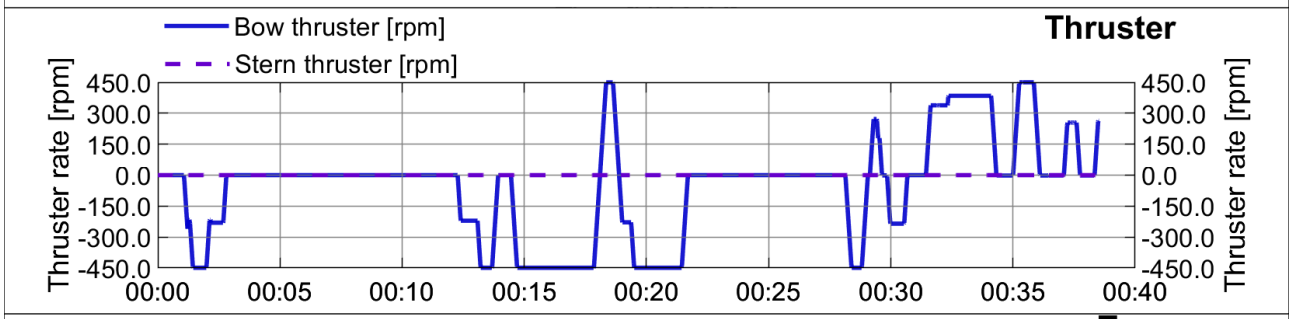
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

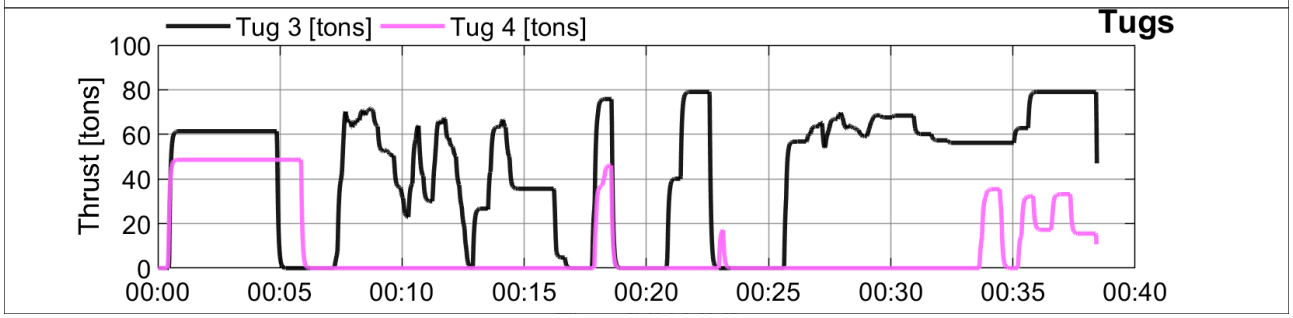
Simulatie: Achterhaven HP 08	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









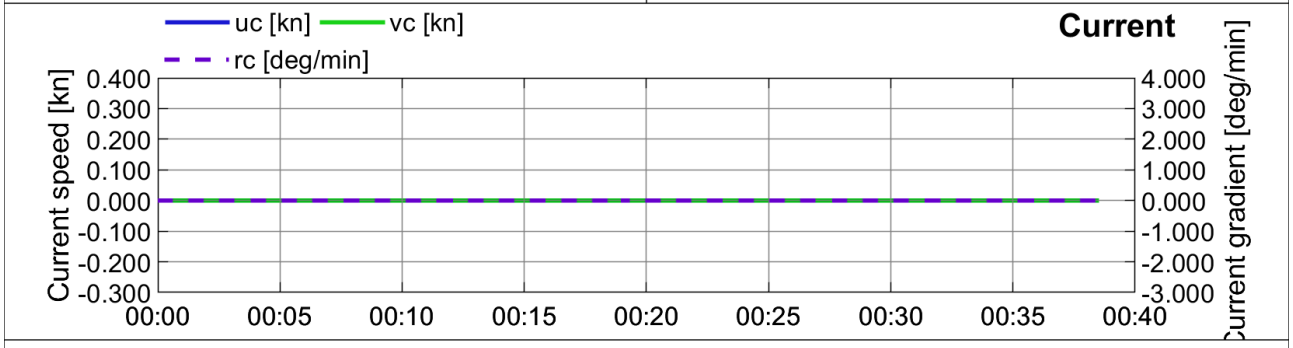


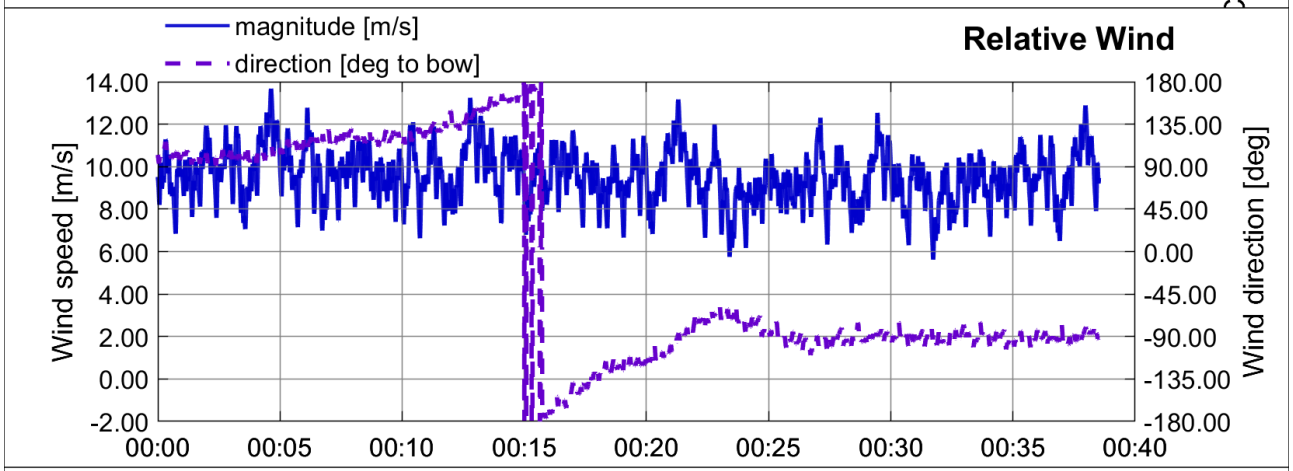
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

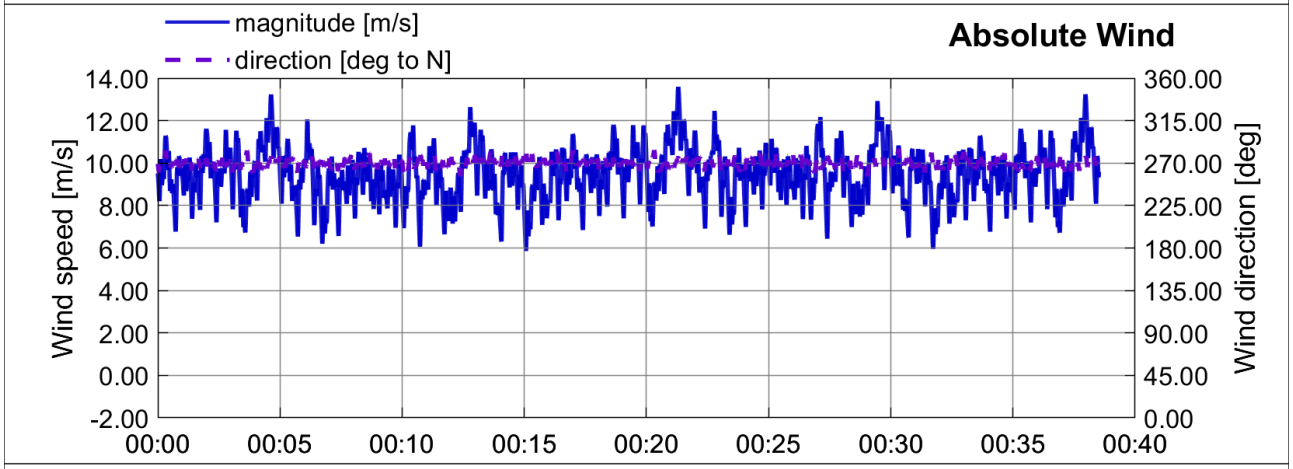
Omgevingscondities

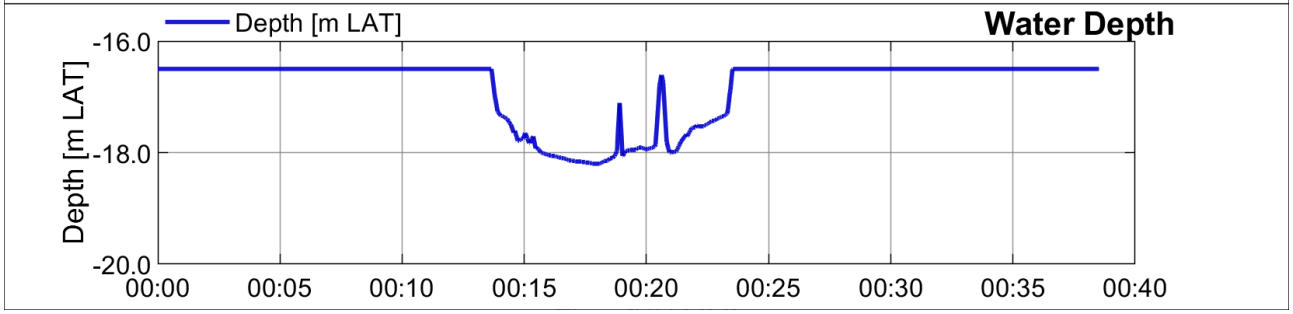
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HP 08	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







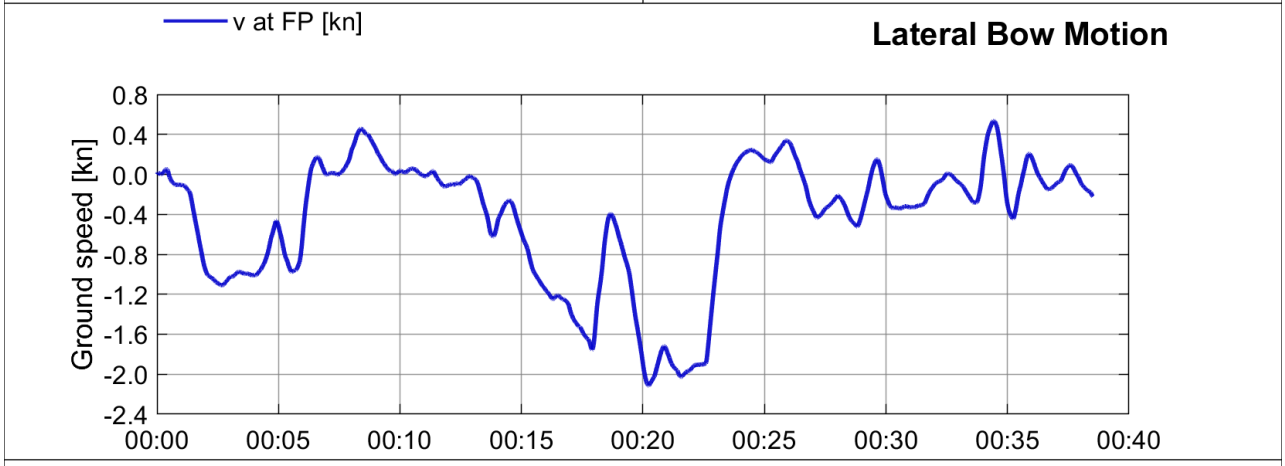


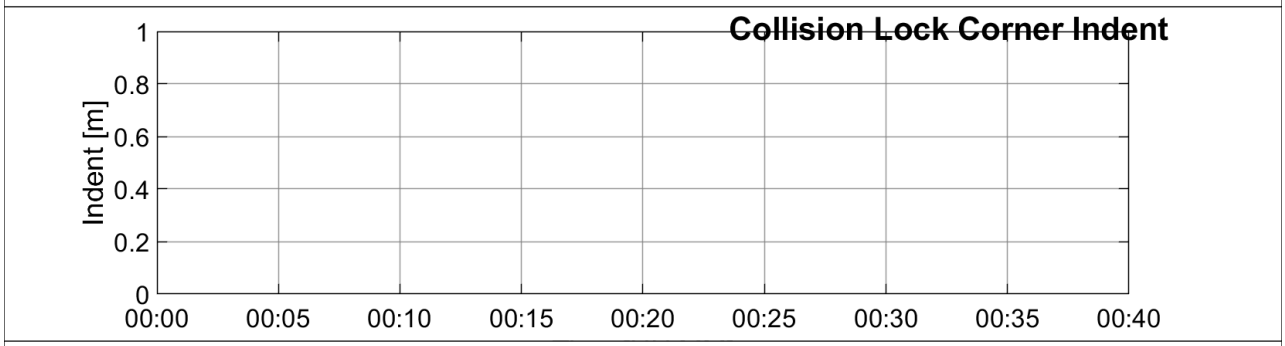
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

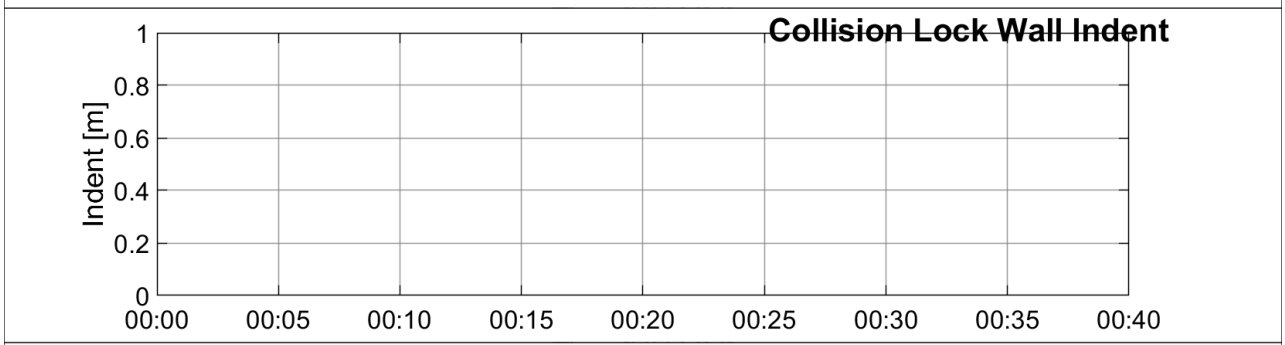
Contacten

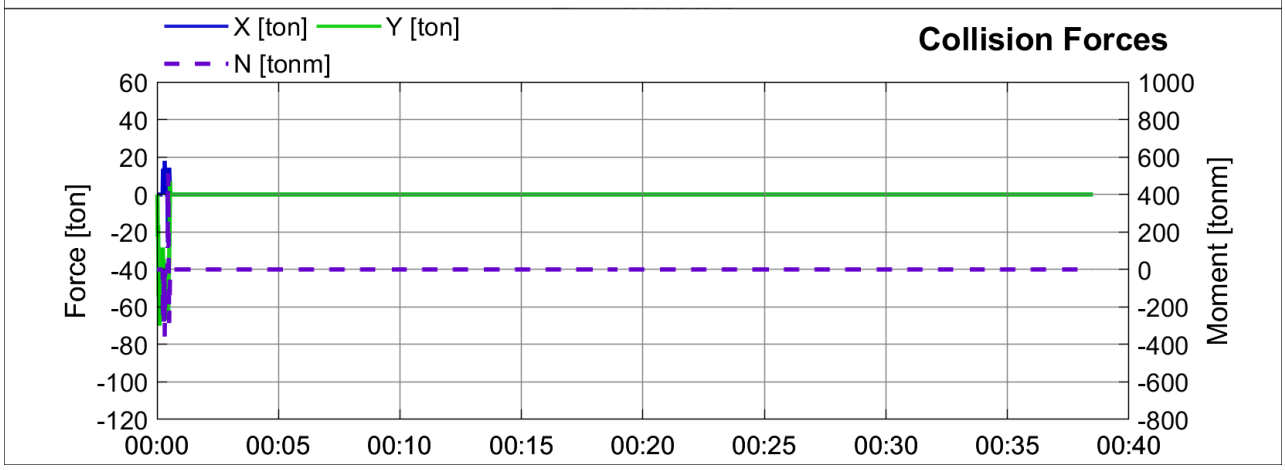
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HP 08	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







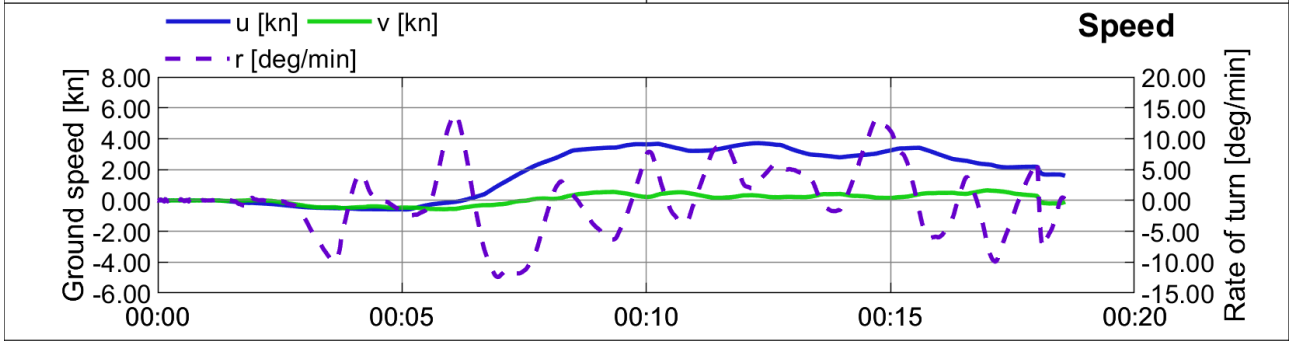


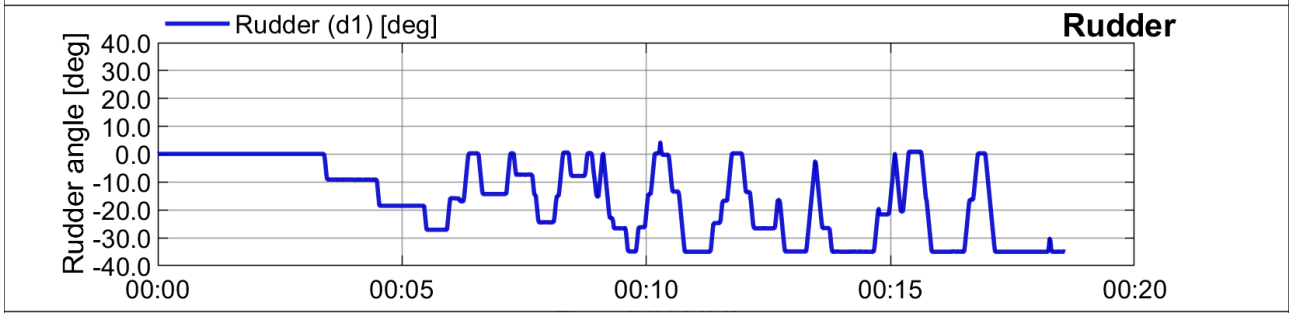
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

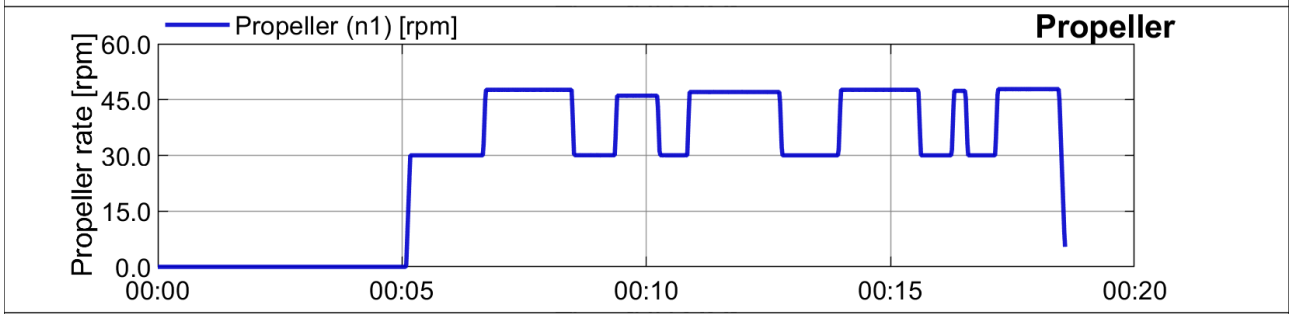
Manoeuvreereigenschappen

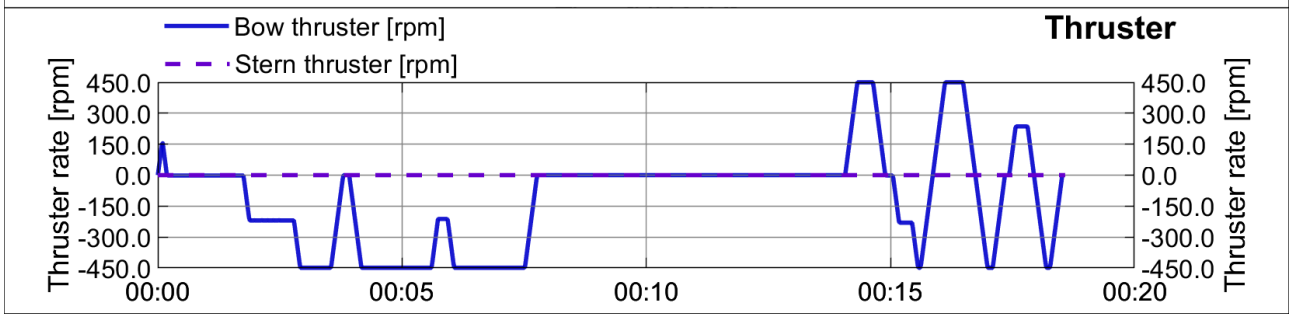
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

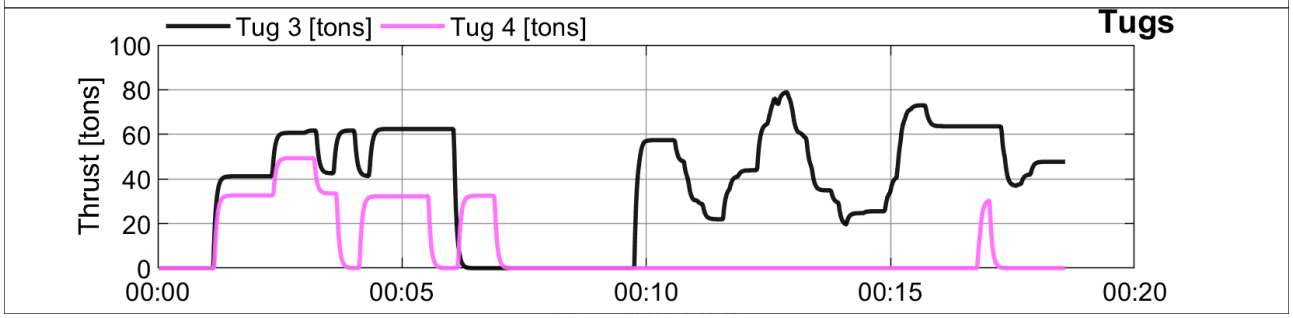
Simulatie: Achterhaven HW 09	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









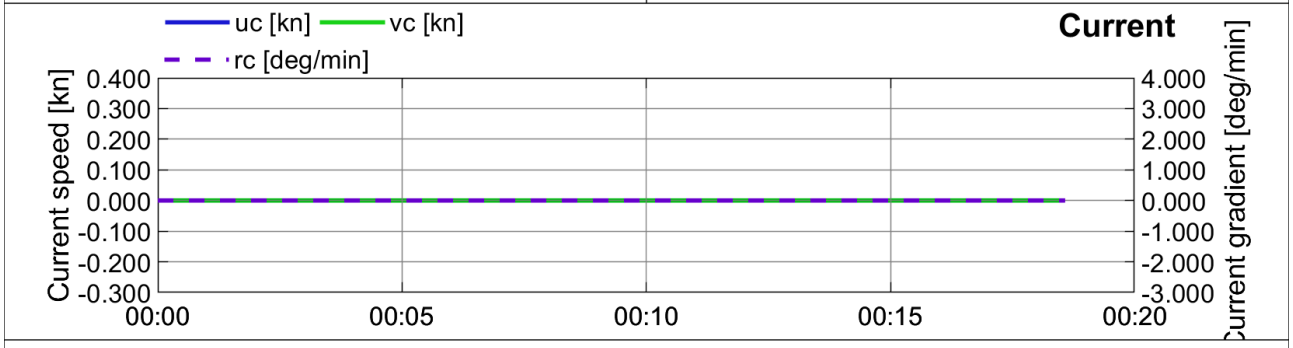


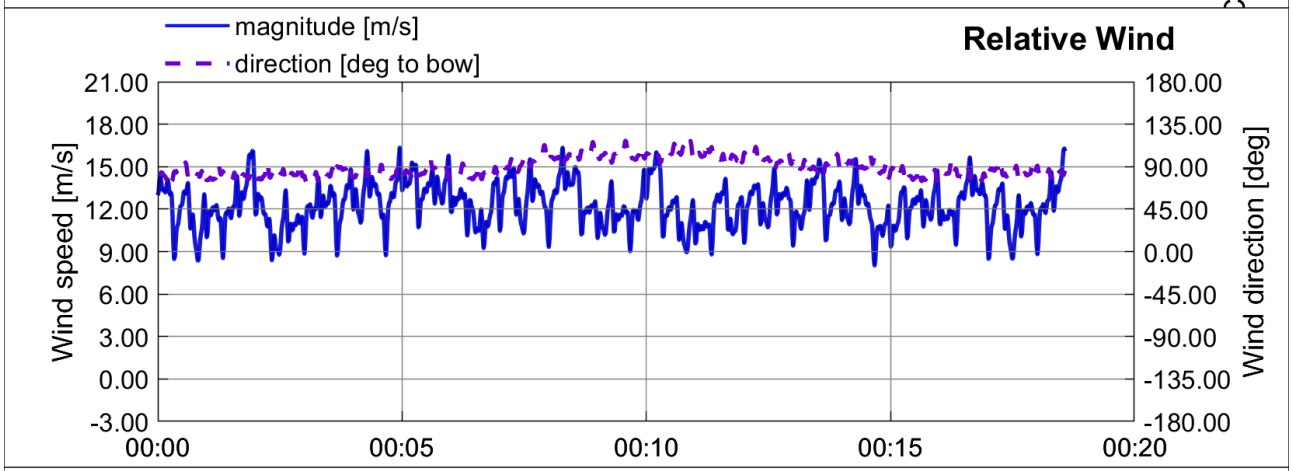
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

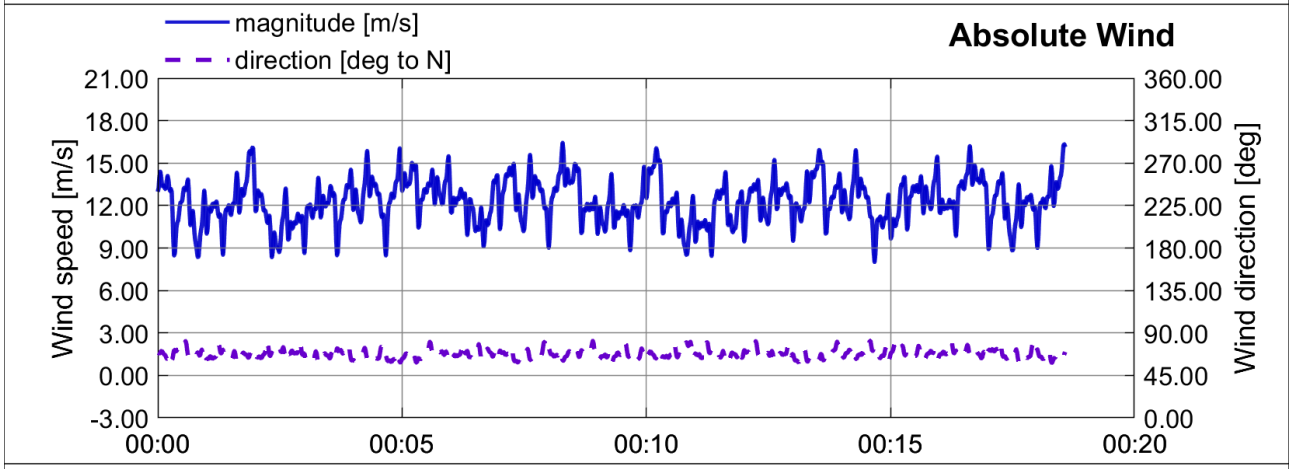
Omgevingscondities

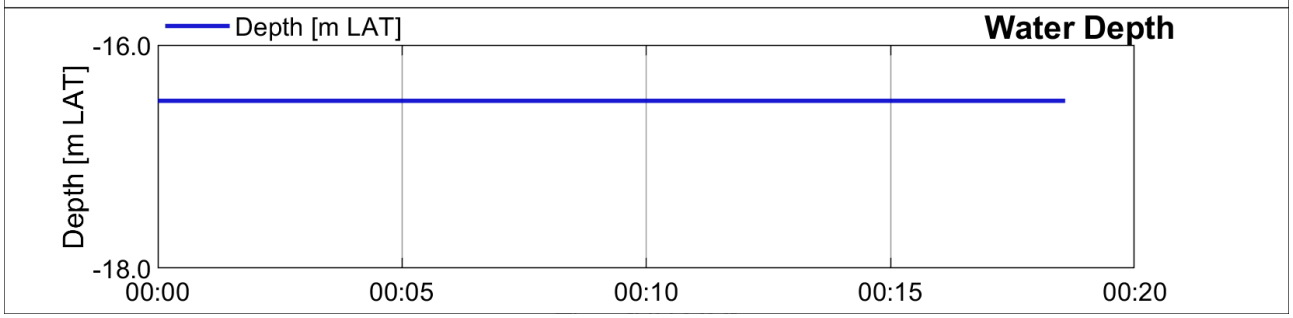
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 09	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







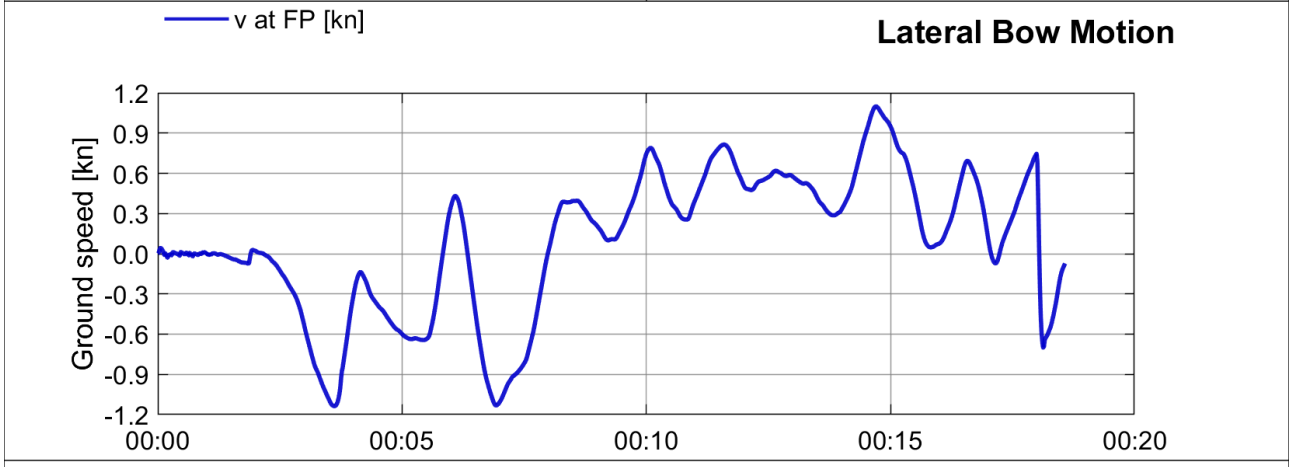


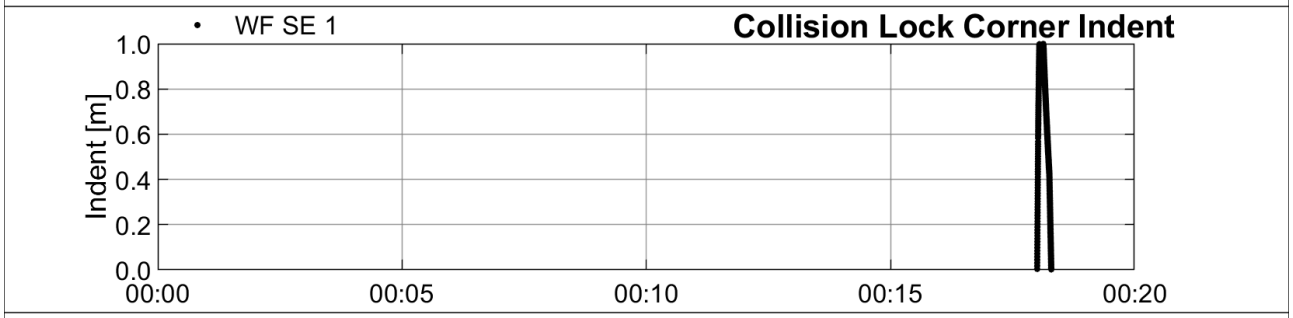
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

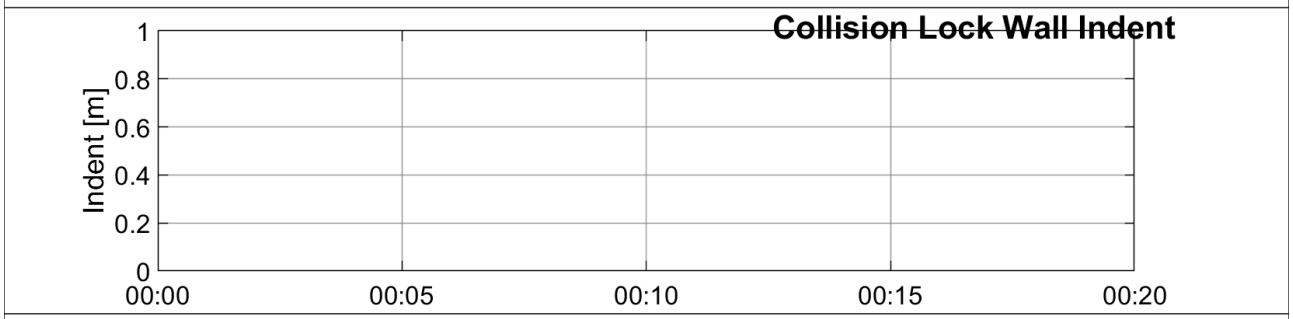
Contacten

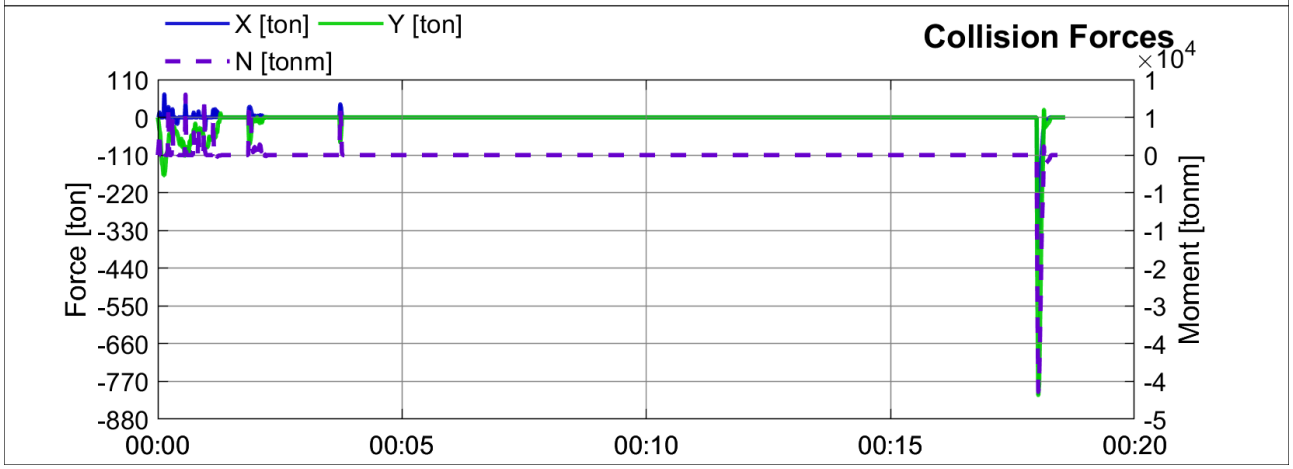
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 09	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







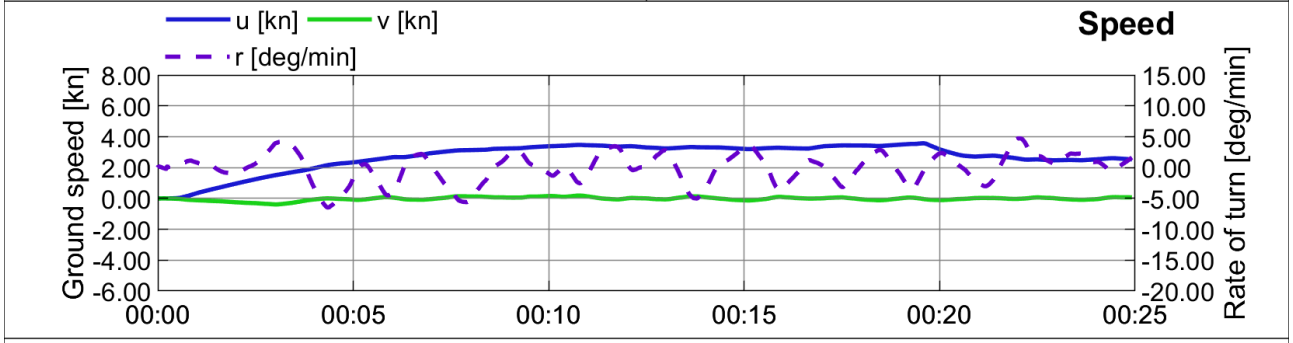


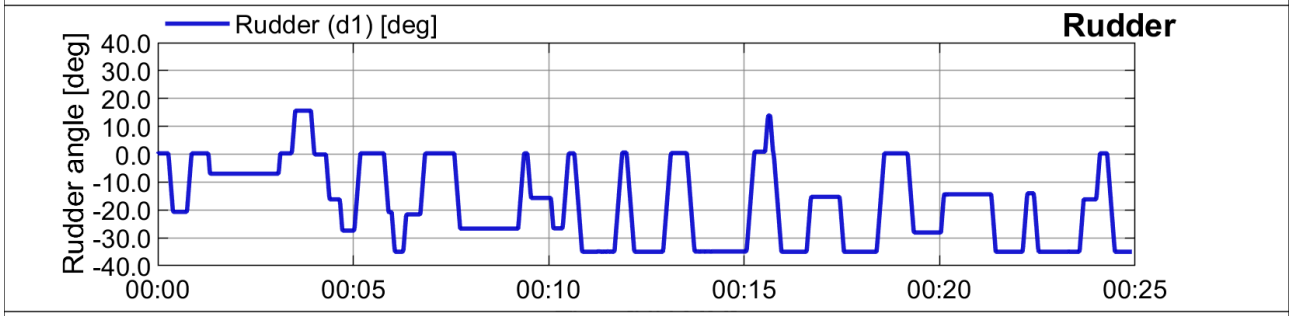
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

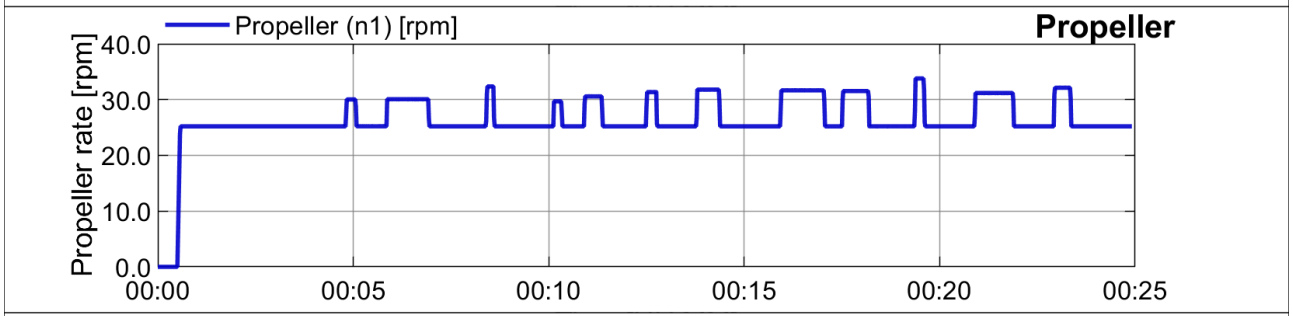
Manoeuvreereigenschappen

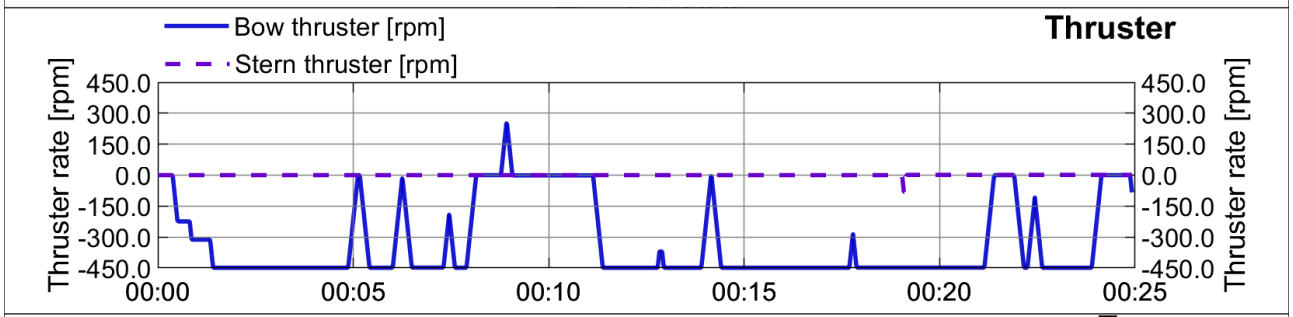
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

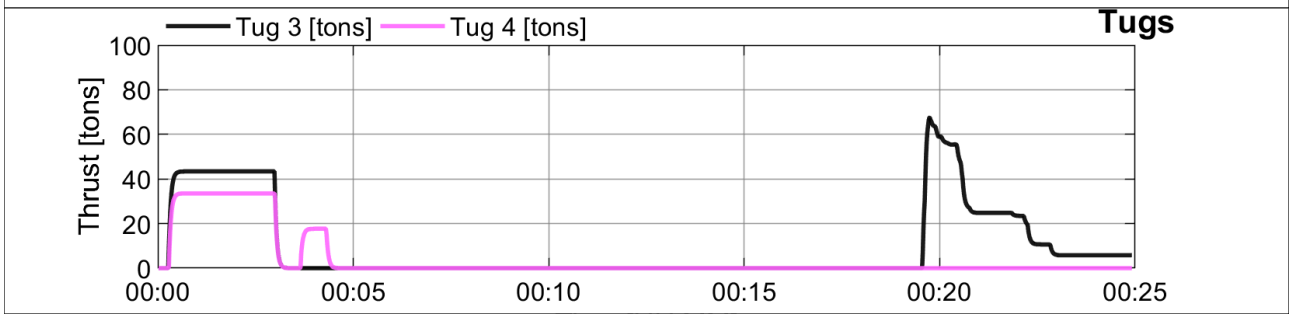
Simulatie: Achterhaven HW 10	Wind: WZW5
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









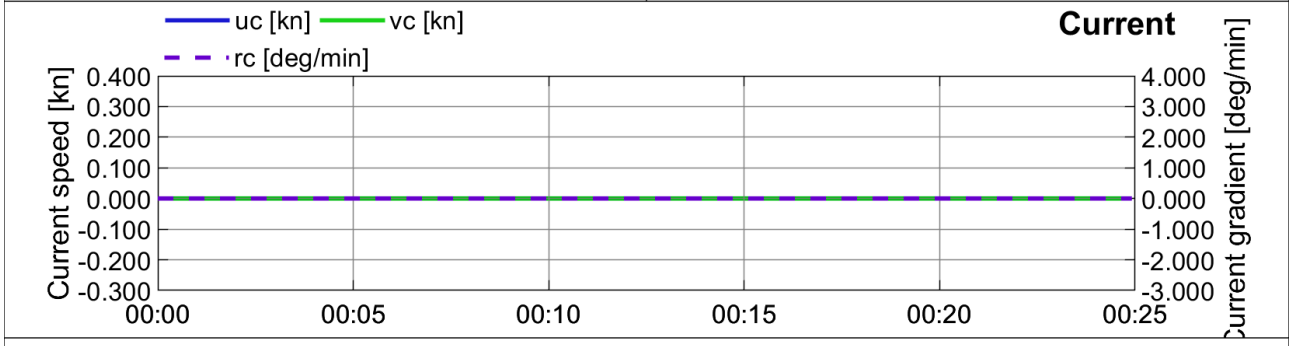


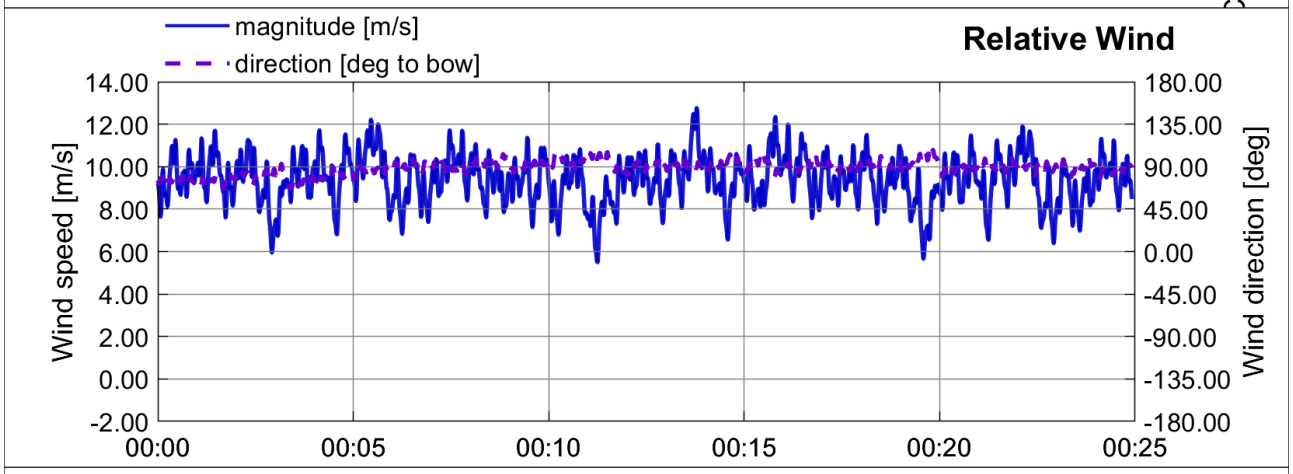
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

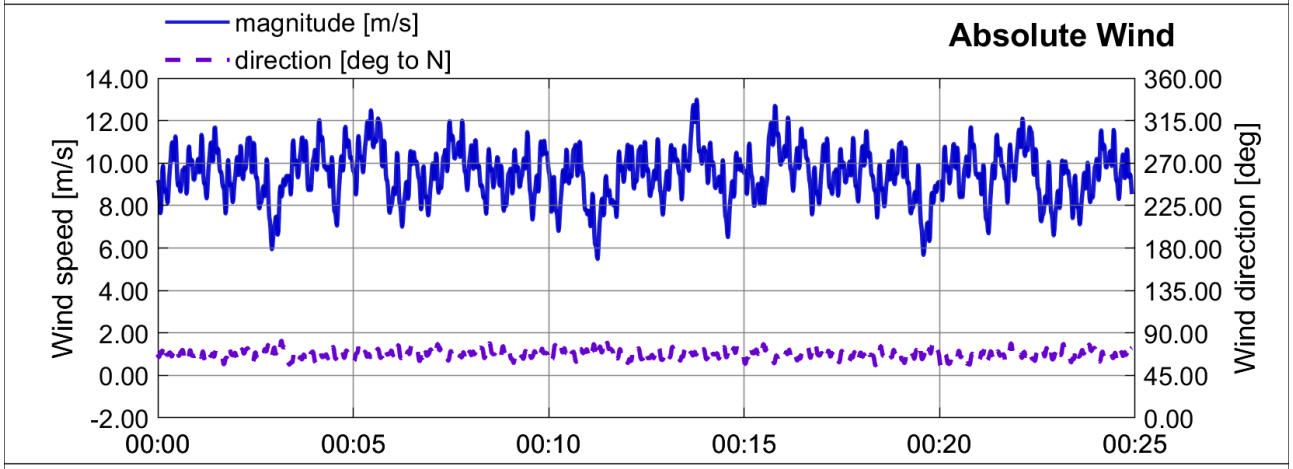
Omgevingscondities

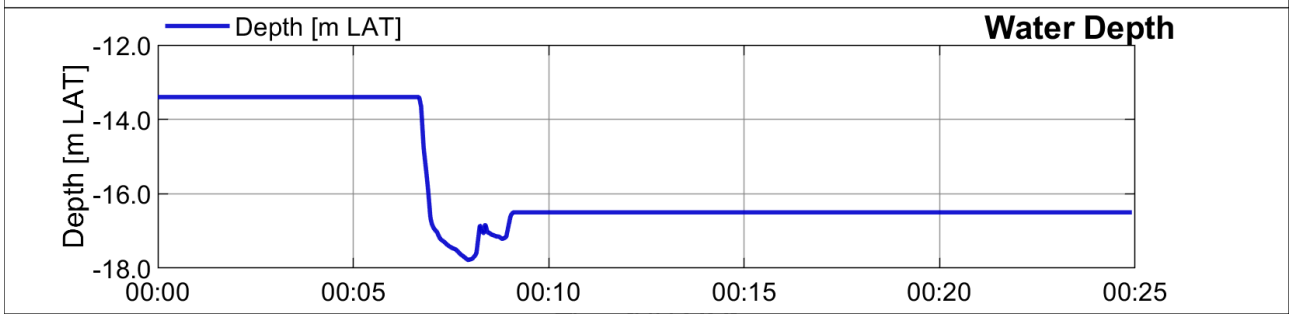
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 10	Wind: WZW5
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







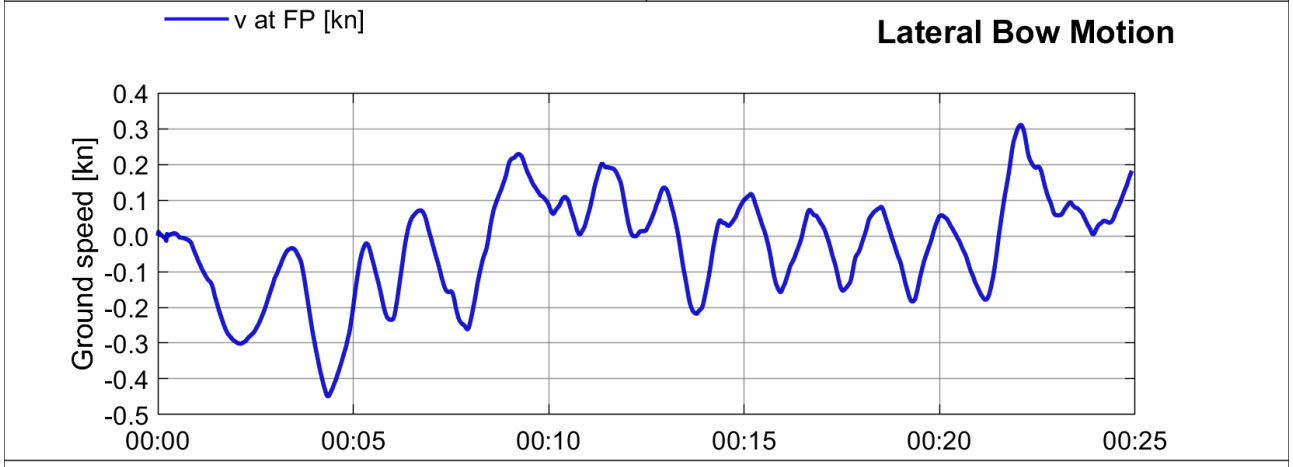


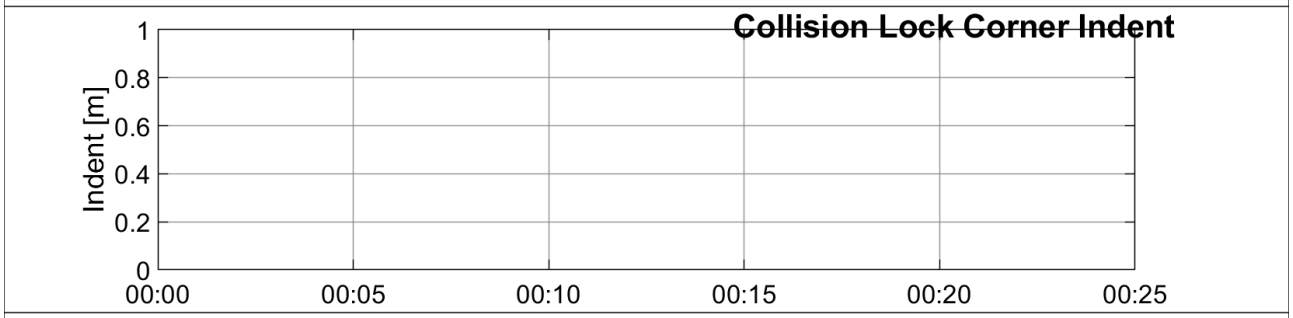
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

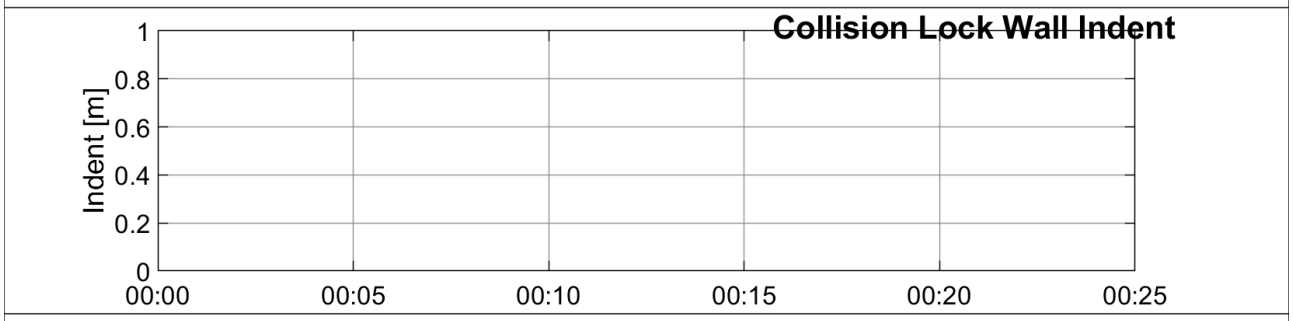
Contacten

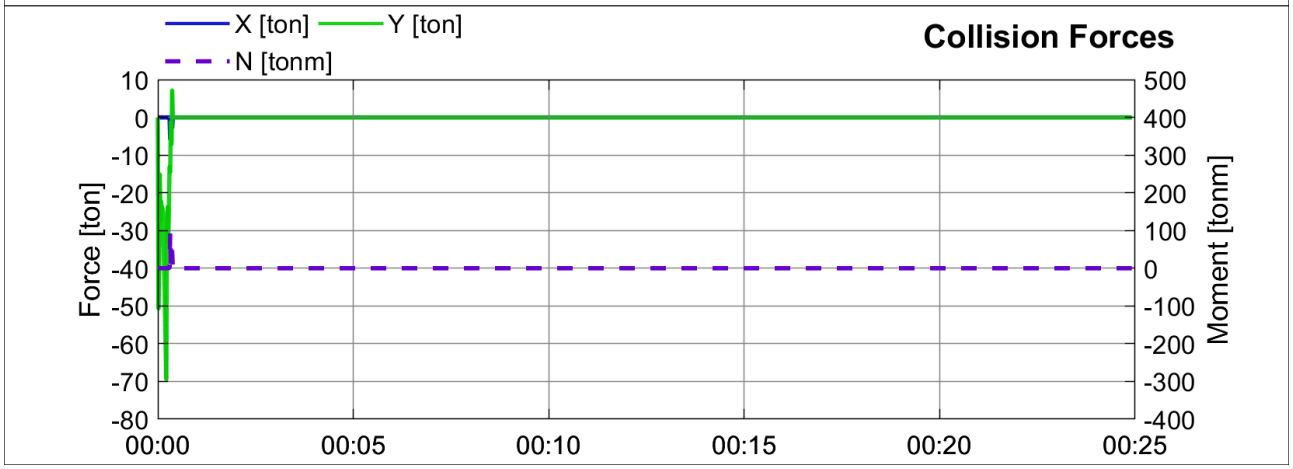
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 10	Wind: WZW5
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







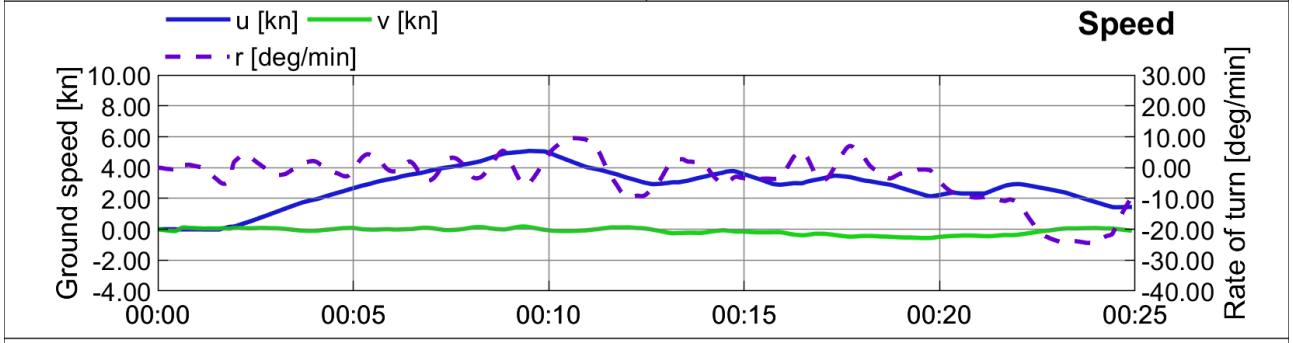


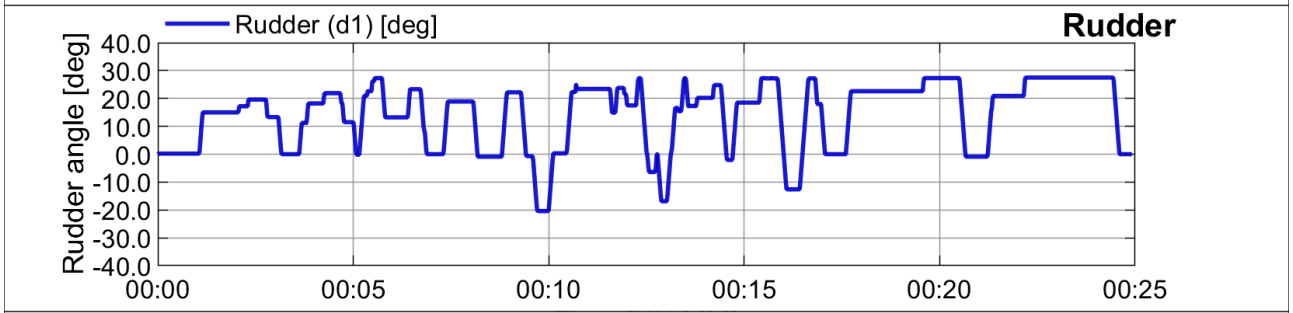
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

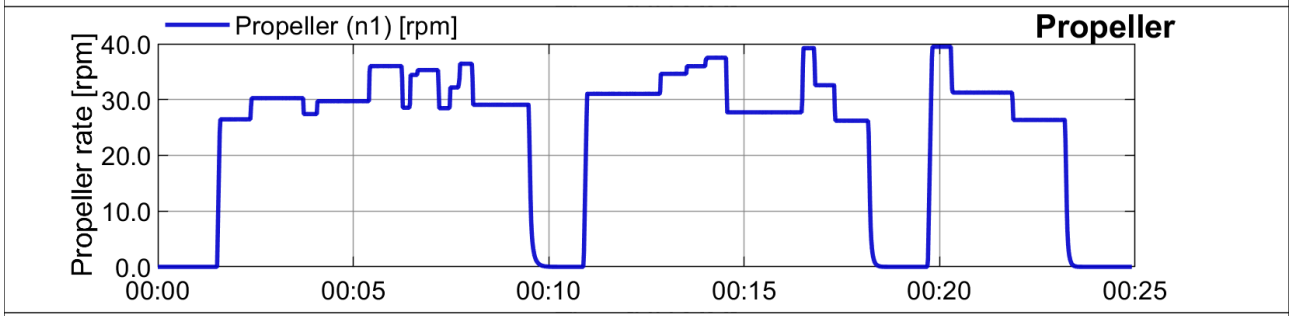
Manoeuvreereigenschappen

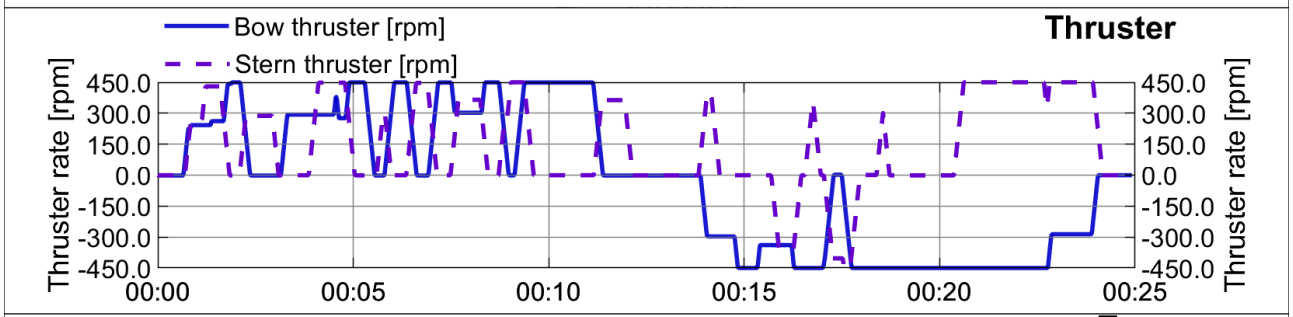
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

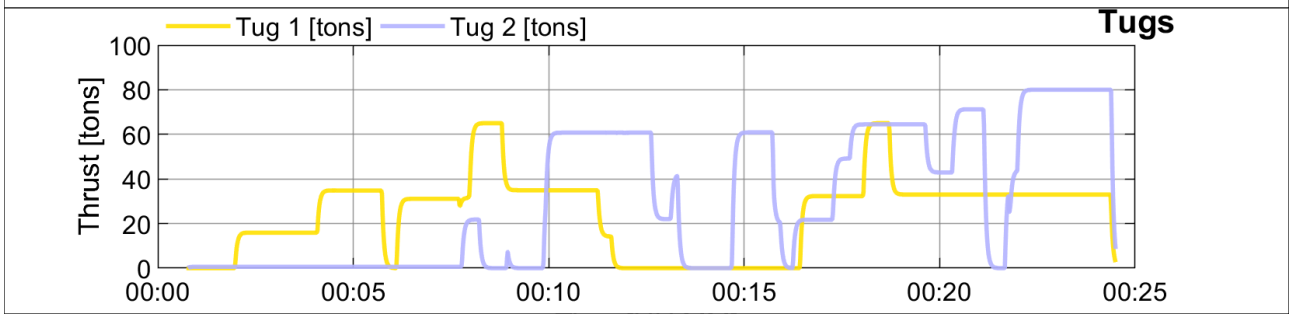
Simulatie: Achterhaven HW 10	Wind: WZW5
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









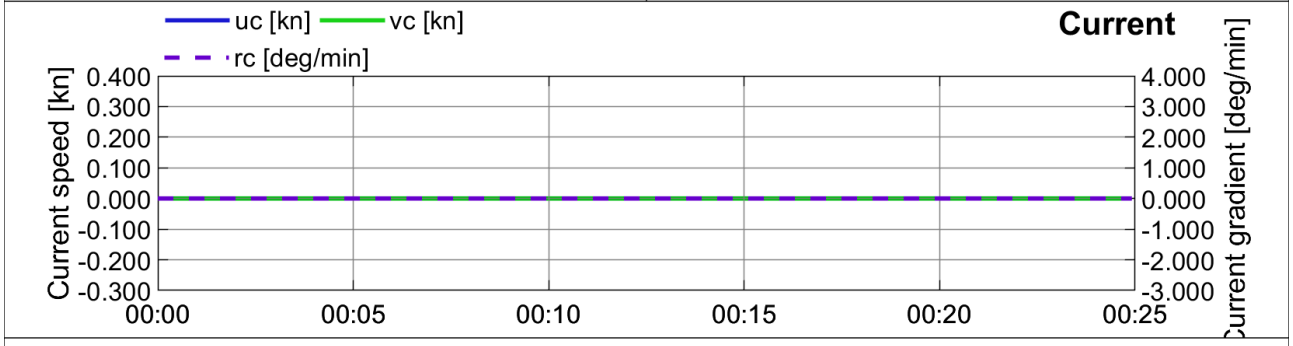


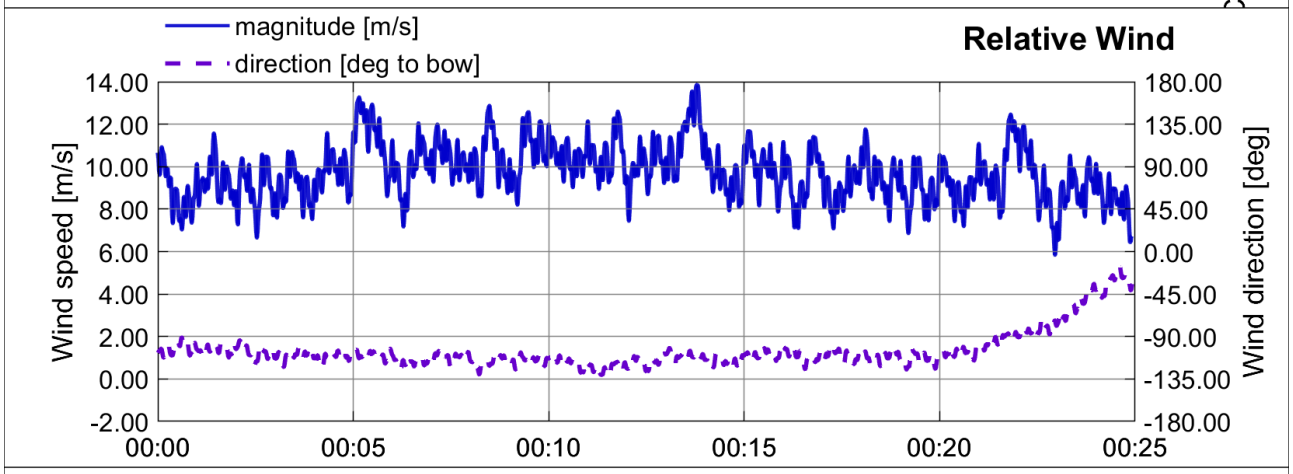
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

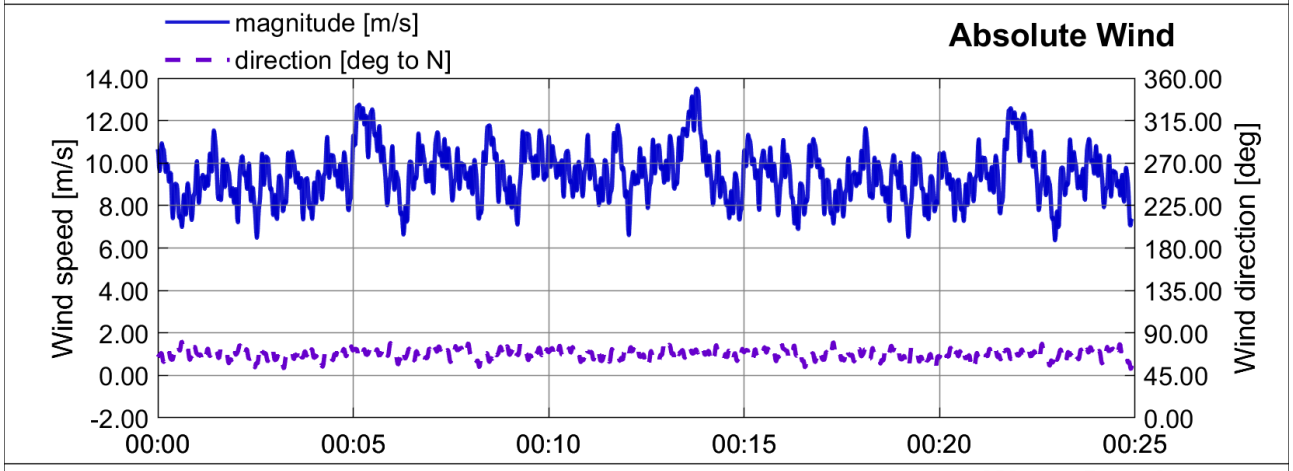
Omgevingscondities

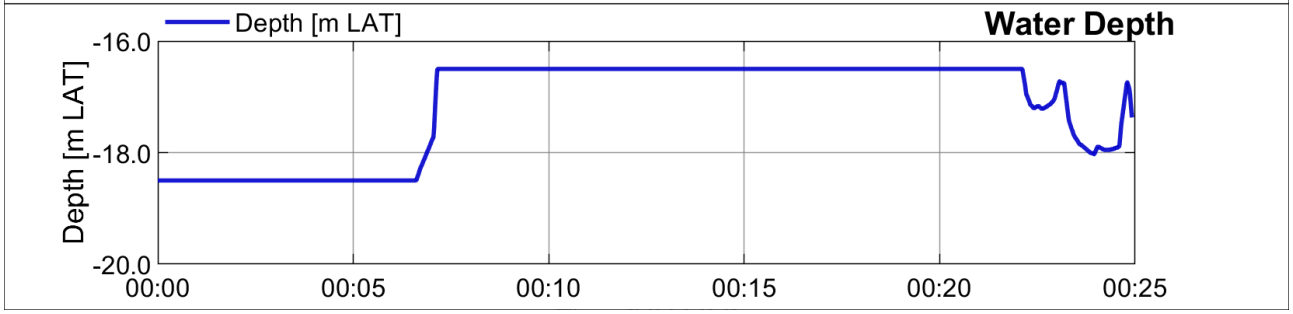
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 10	Wind: WZW5
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







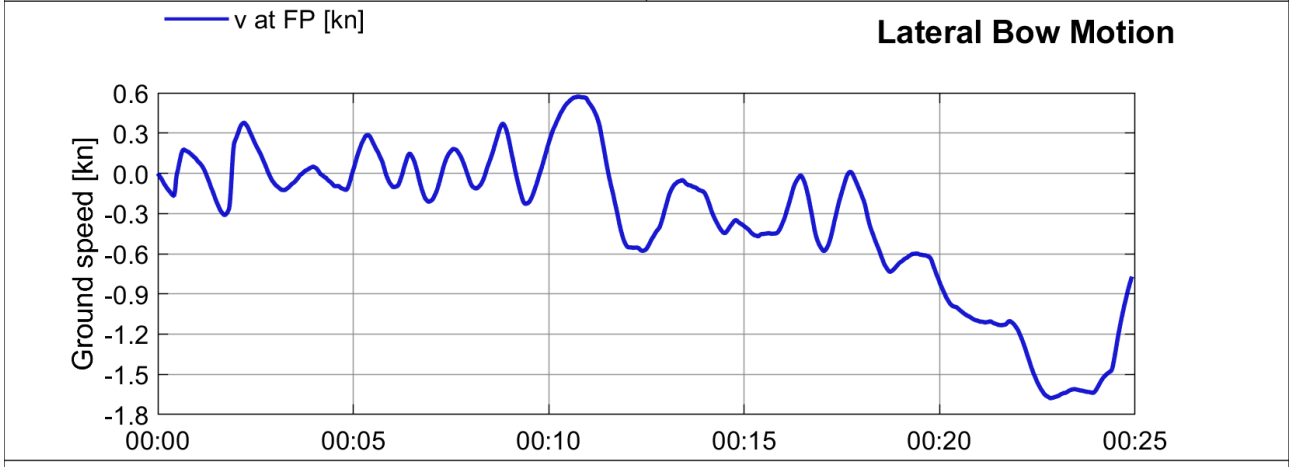


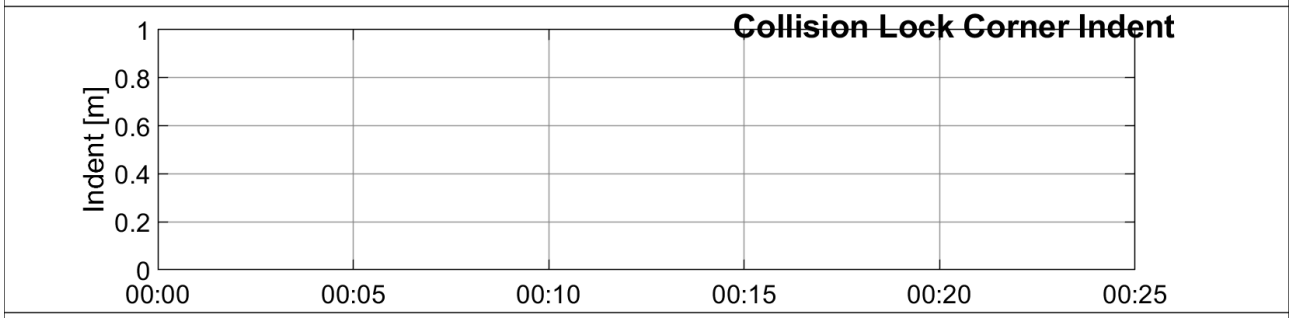
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

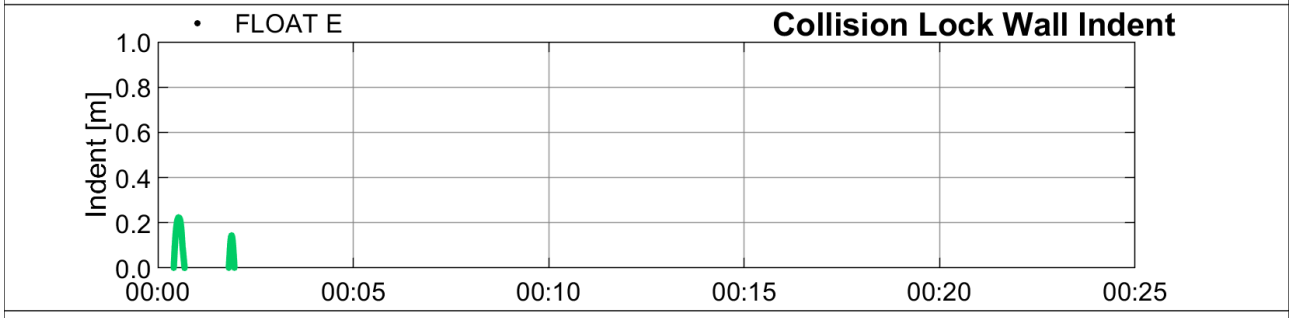
Contacten

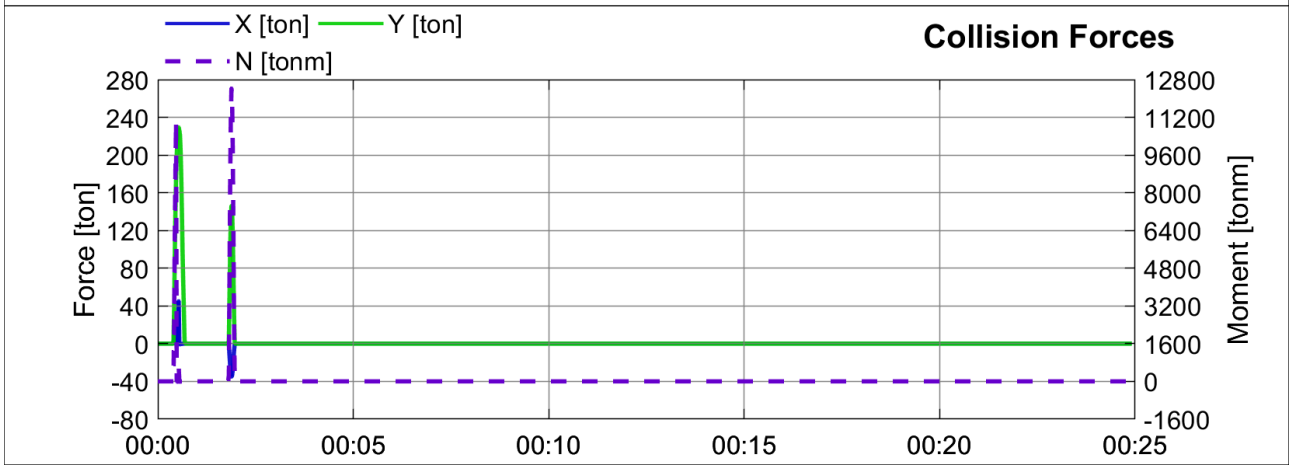
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 10	Wind: WZW5
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







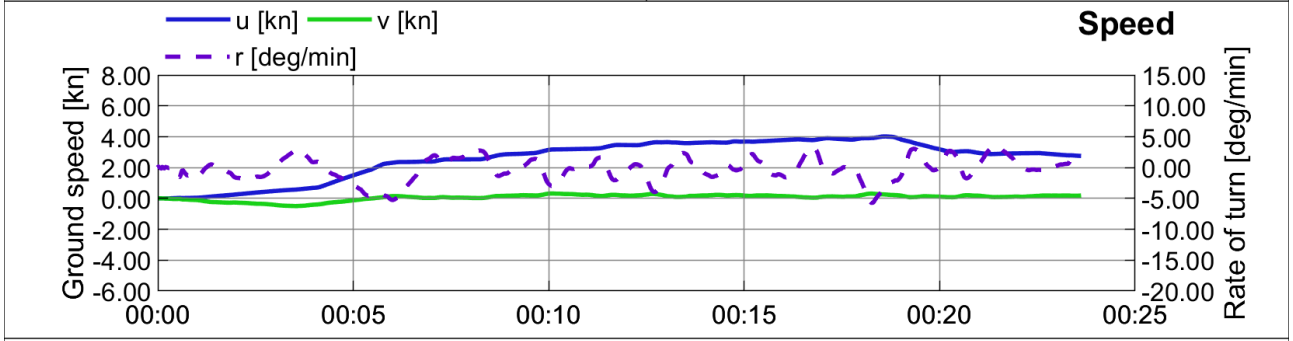


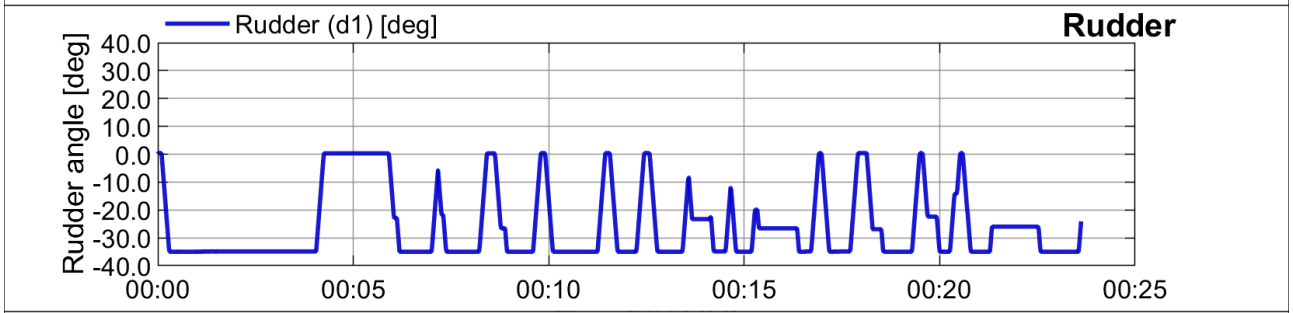
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

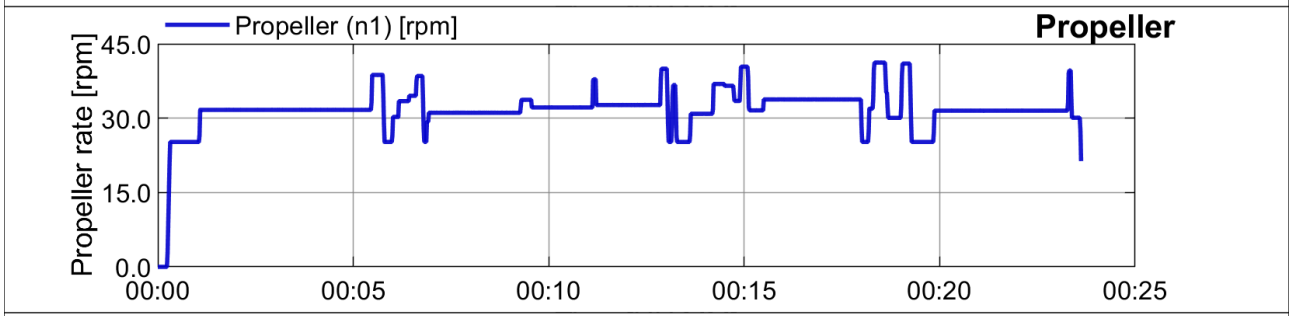
Manoeuvreereigenschappen

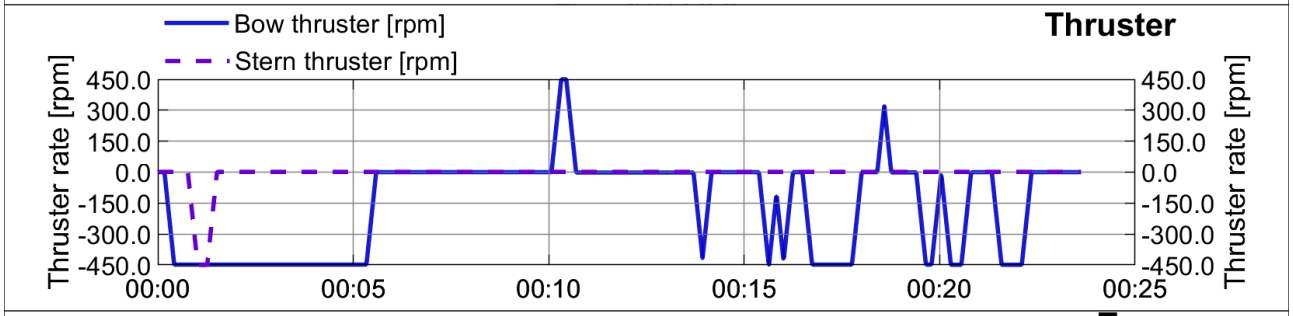
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

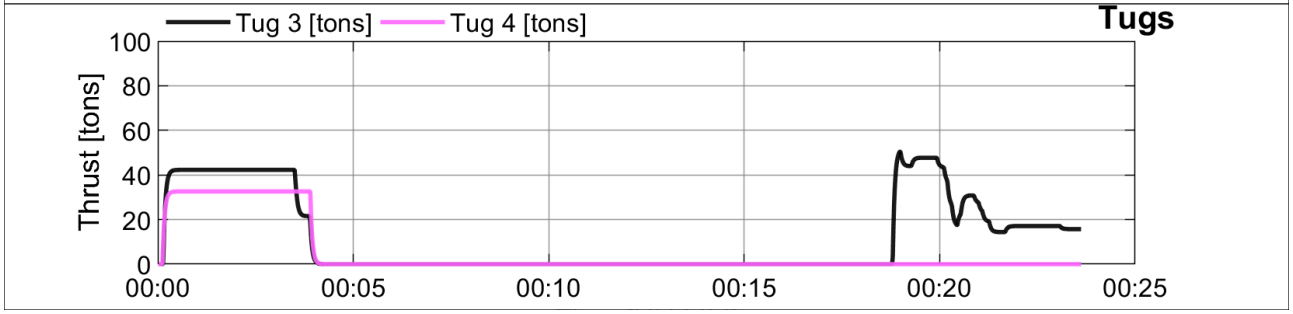
Simulatie: Achterhaven HW 11	Wind: WZW6
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









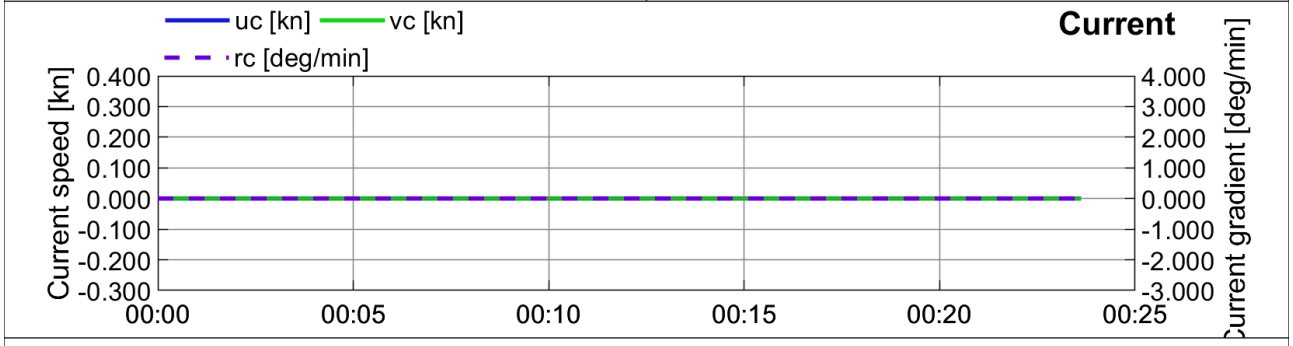


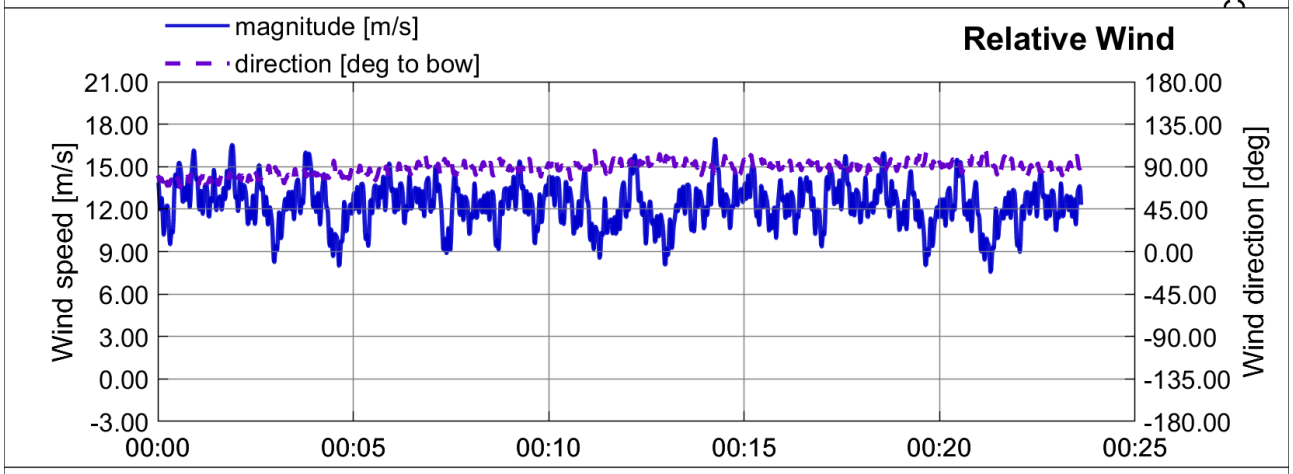
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

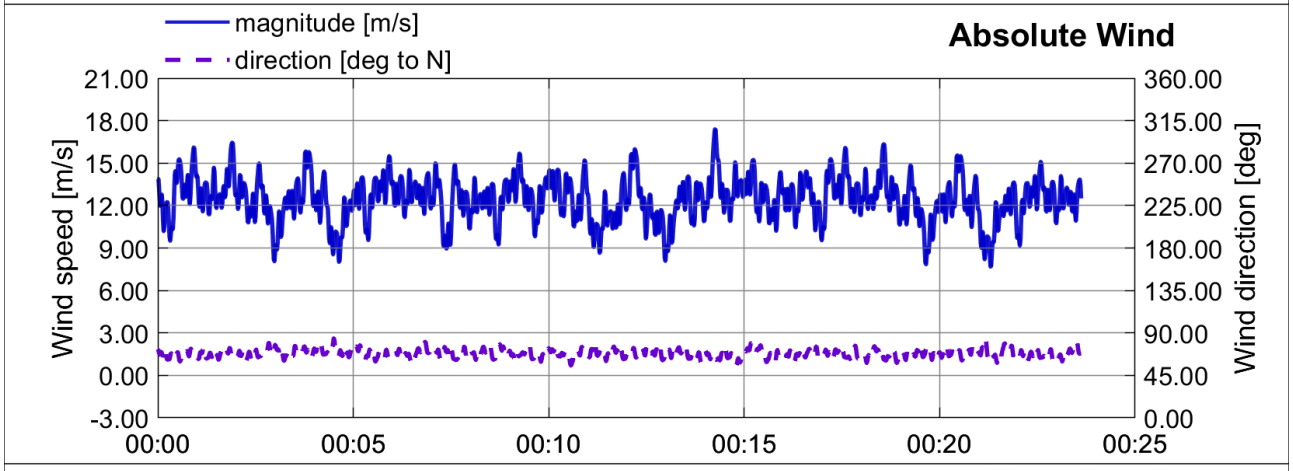
Omgevingscondities

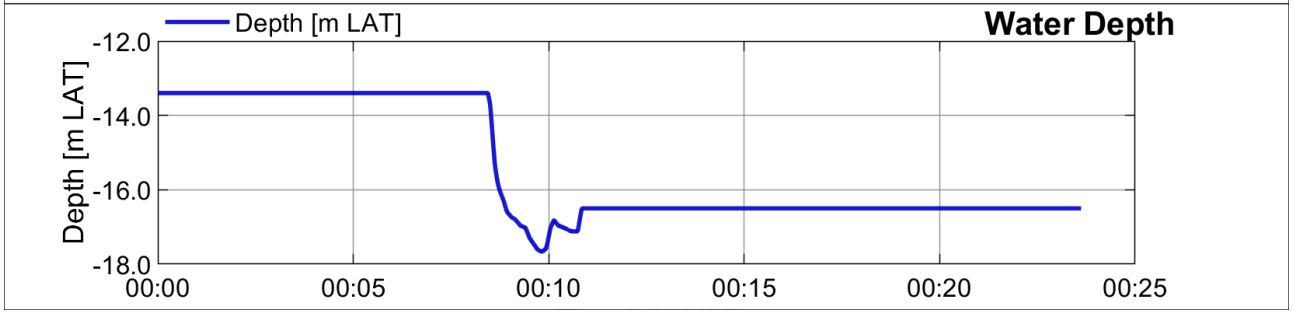
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 11	Wind: WZW6
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







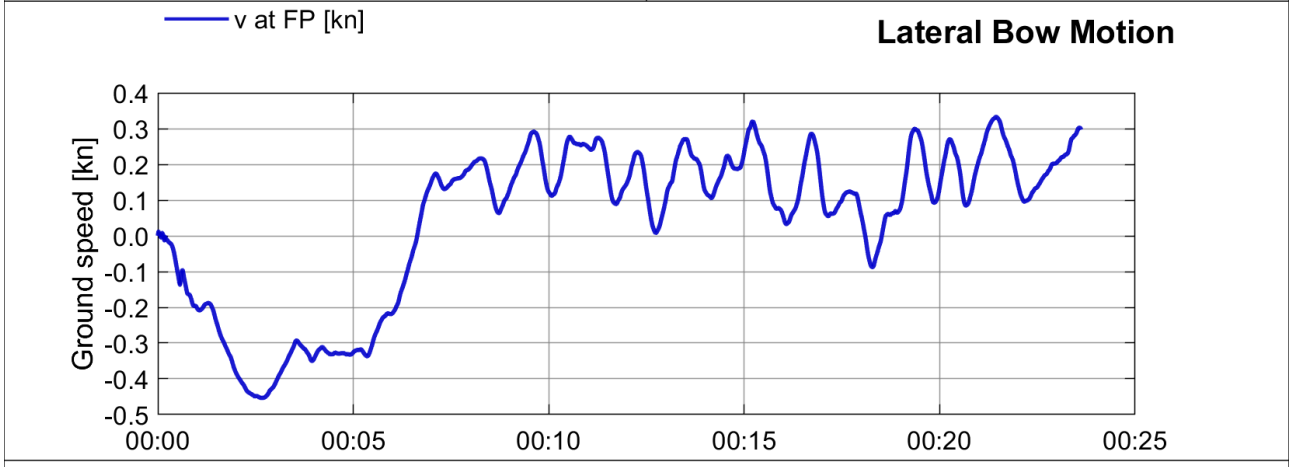


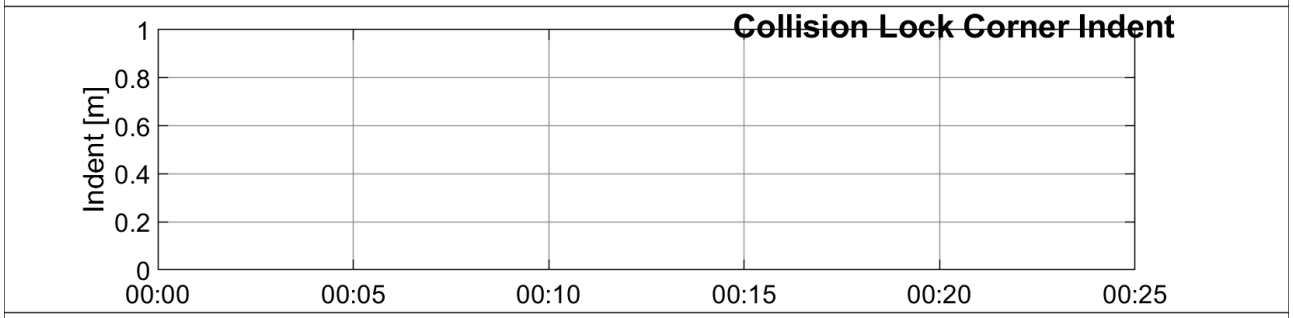
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

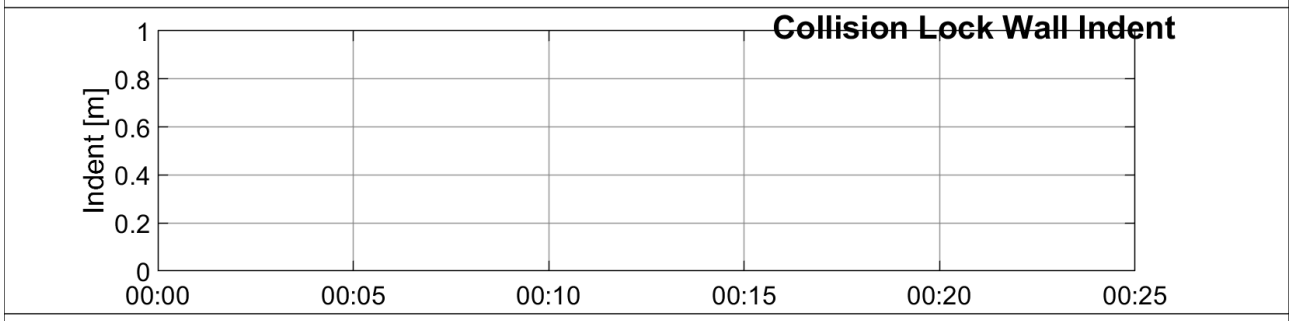
Contacten

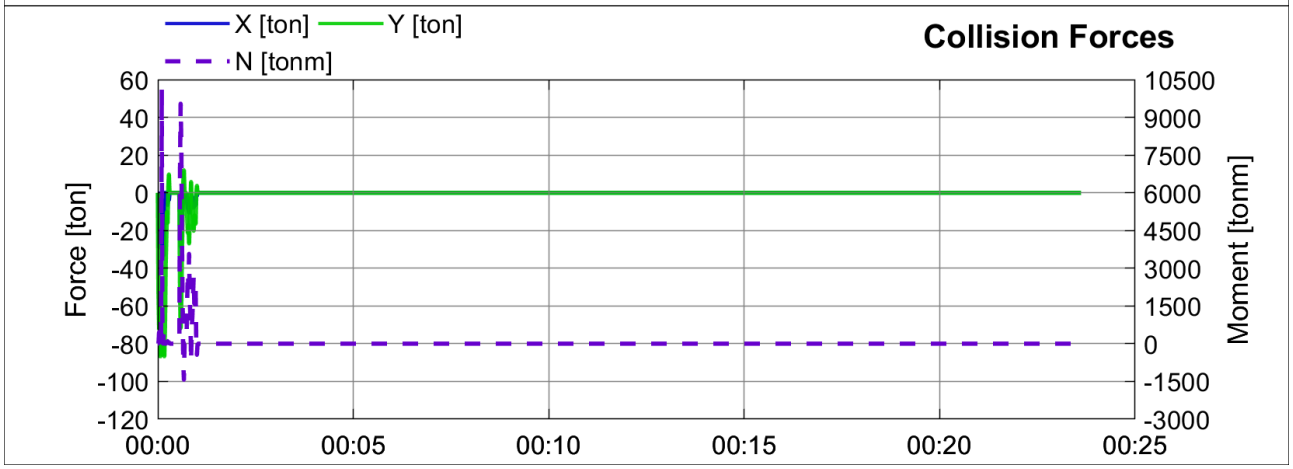
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 11	Wind: WZW6
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







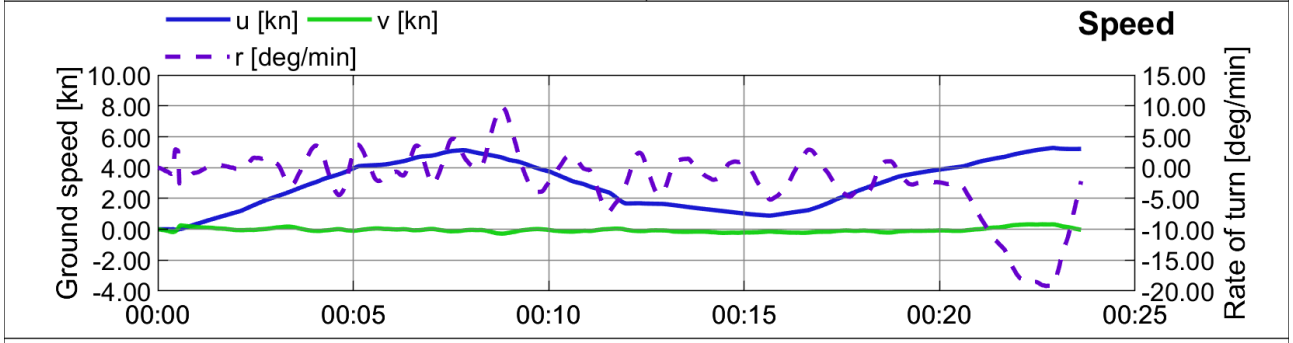


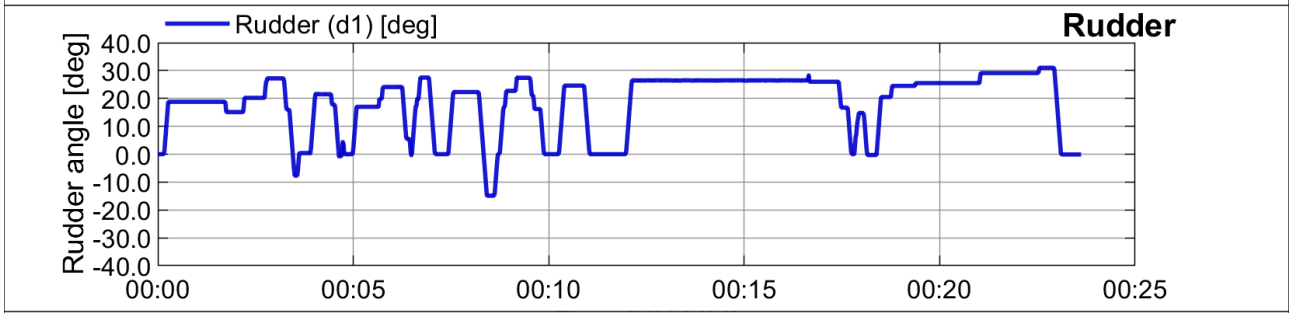
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

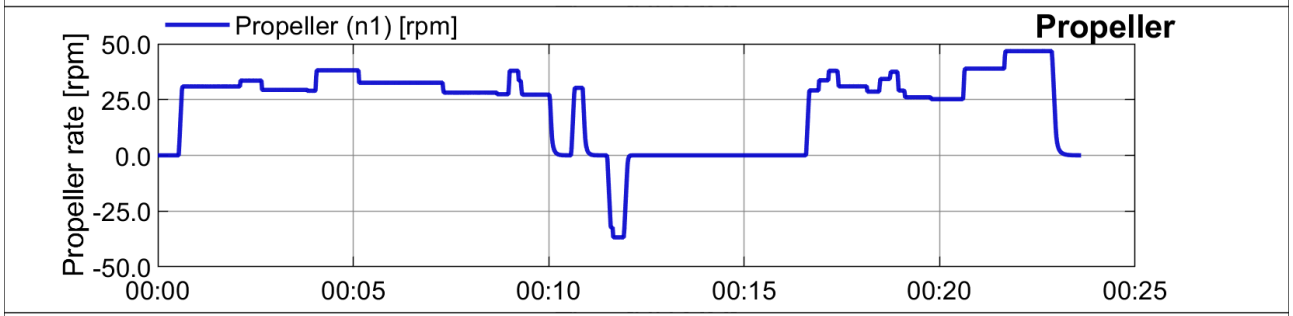
Manoeuvreereigenschappen

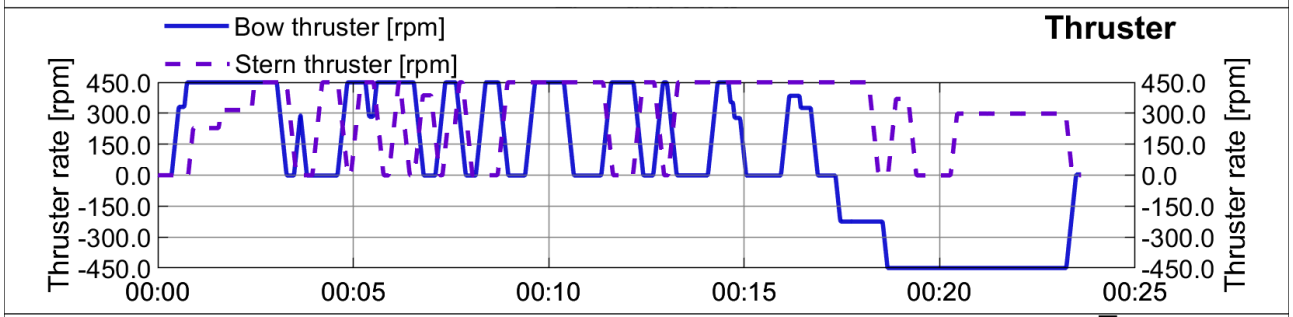
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

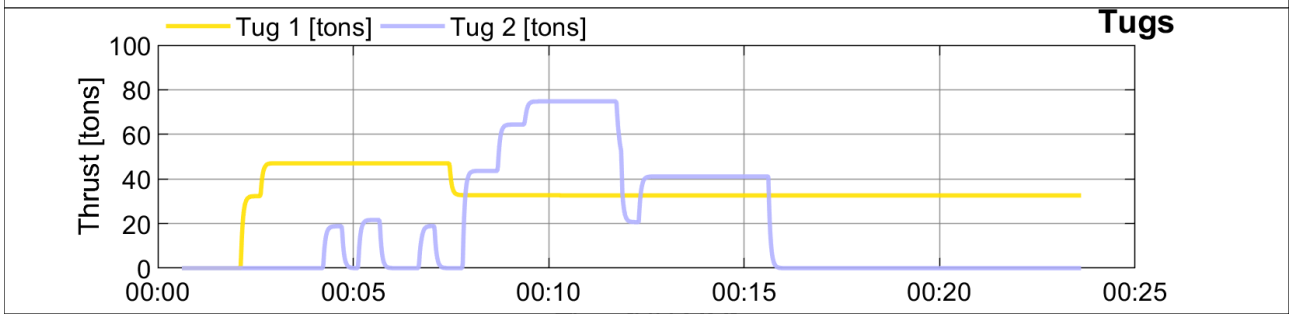
Simulatie: Achterhaven HW 11	Wind: WZW6
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









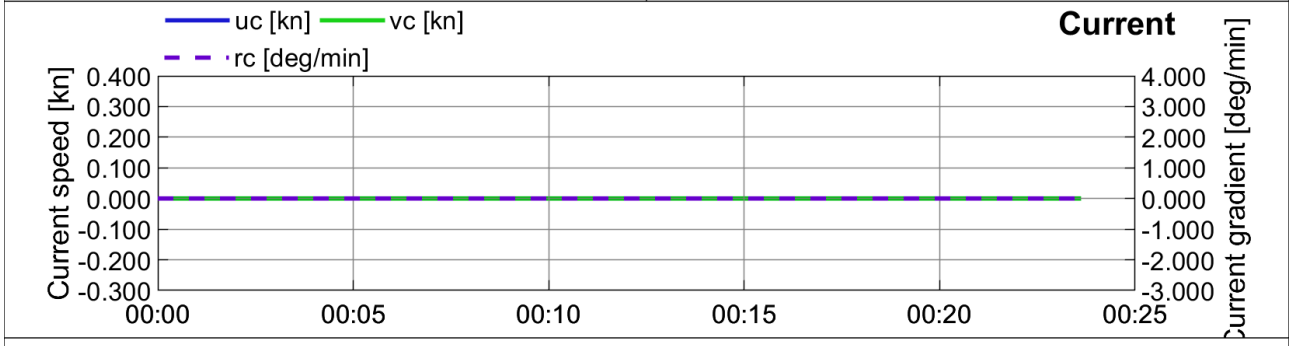


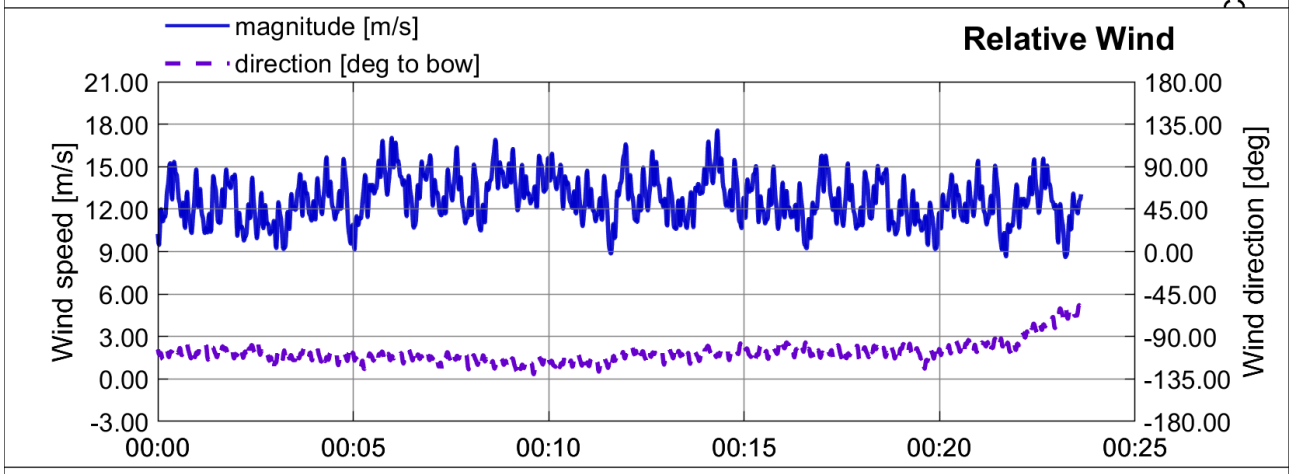
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

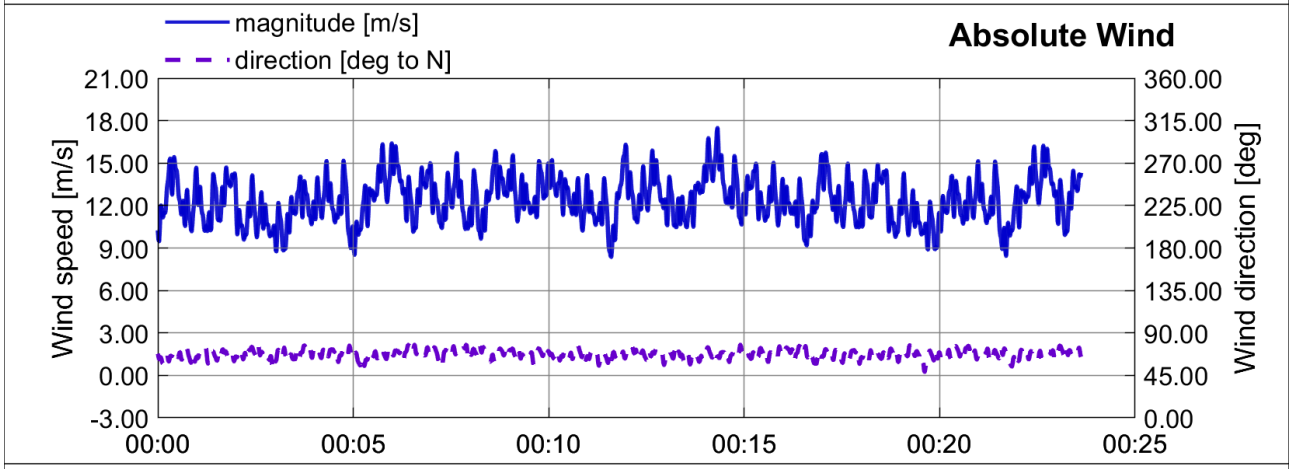
Omgevingscondities

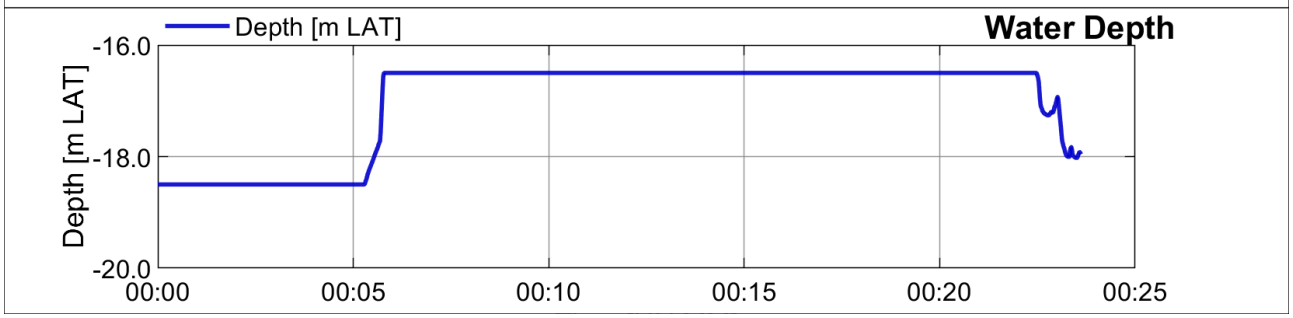
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 11	Wind: WZW6
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







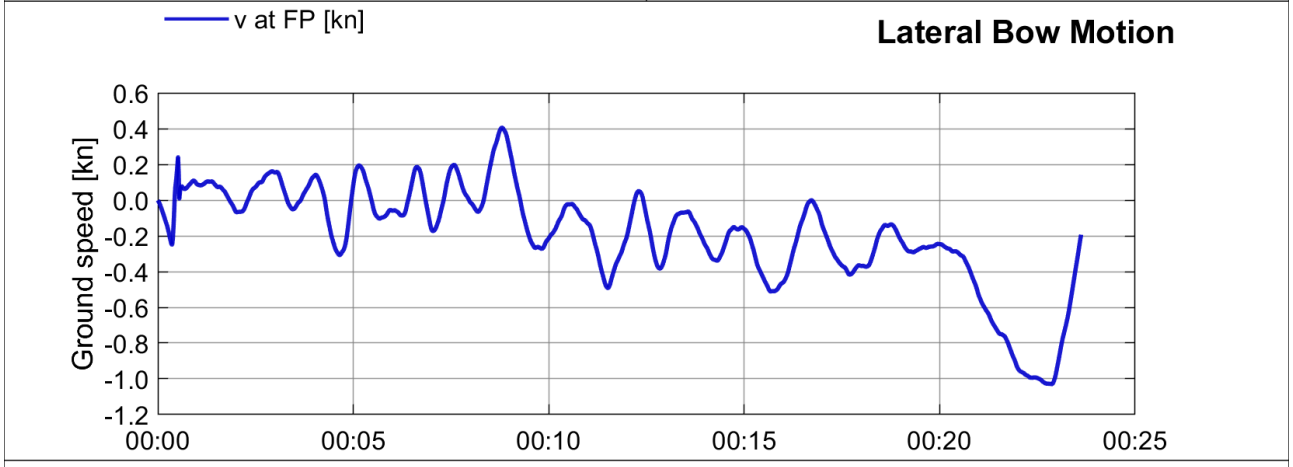


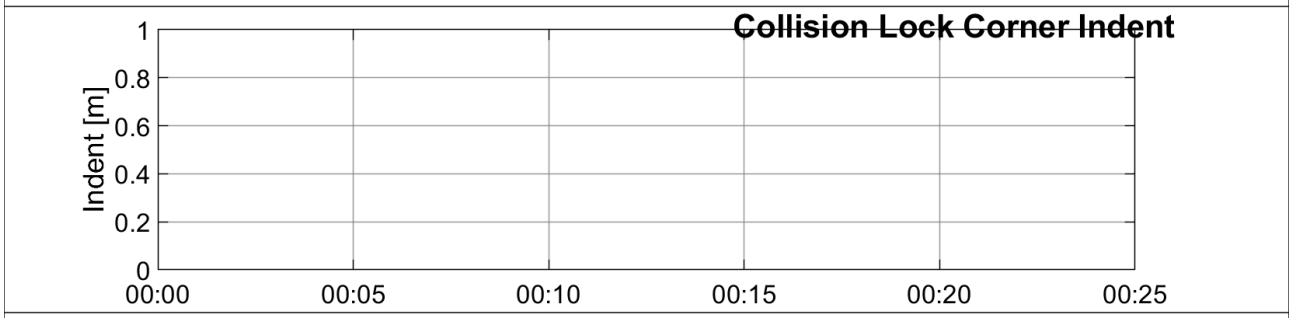
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

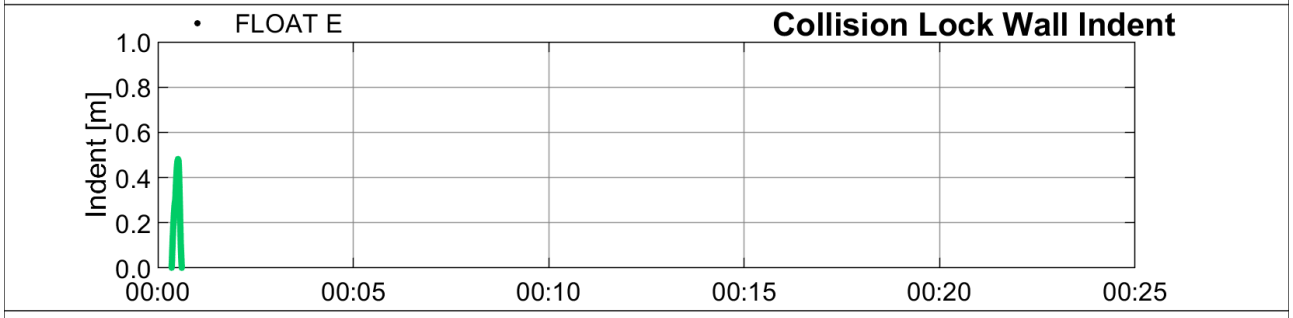
Contacten

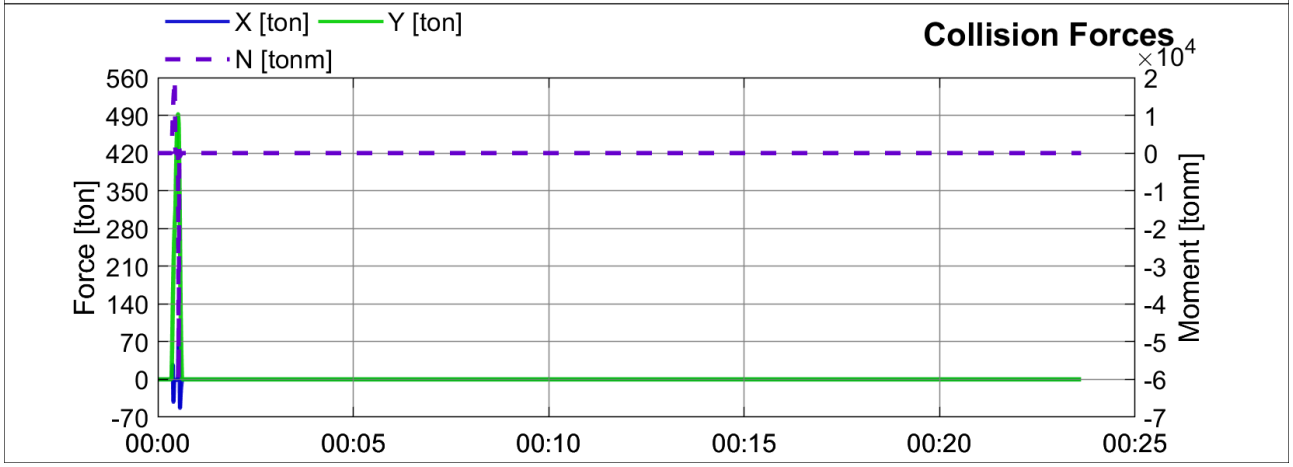
Car Carrier: L = 265 m; B = 32.2 m; T = 11.0 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Achterhaven HW 11	Wind: WZW6
Meeting	Getij: -
Datum: 03/05/2021	Afgemeerd: B = 40 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







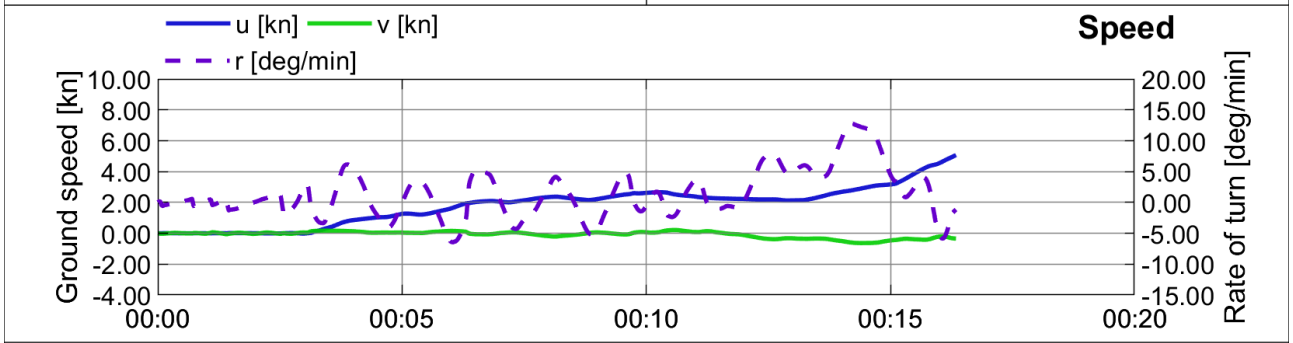


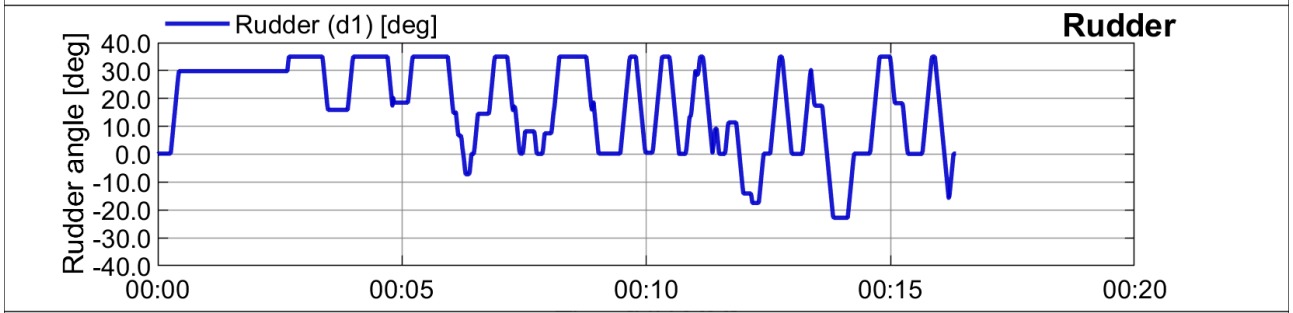
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

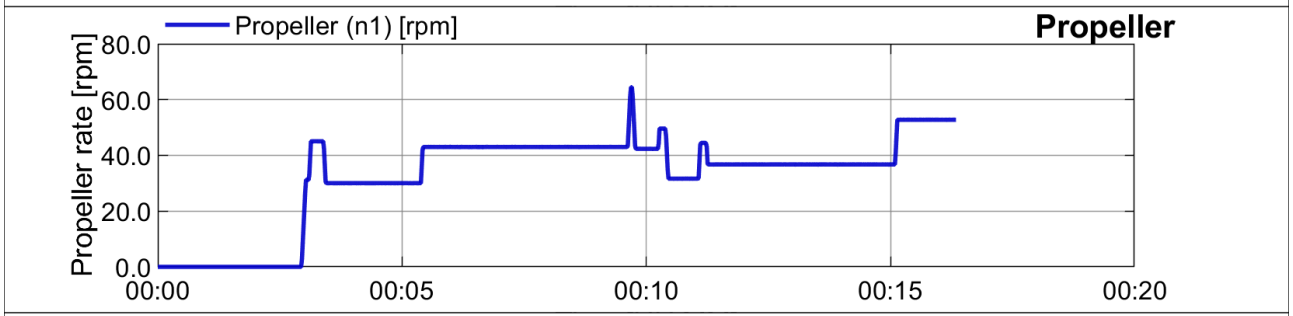
Manoeuvreereigenschappen

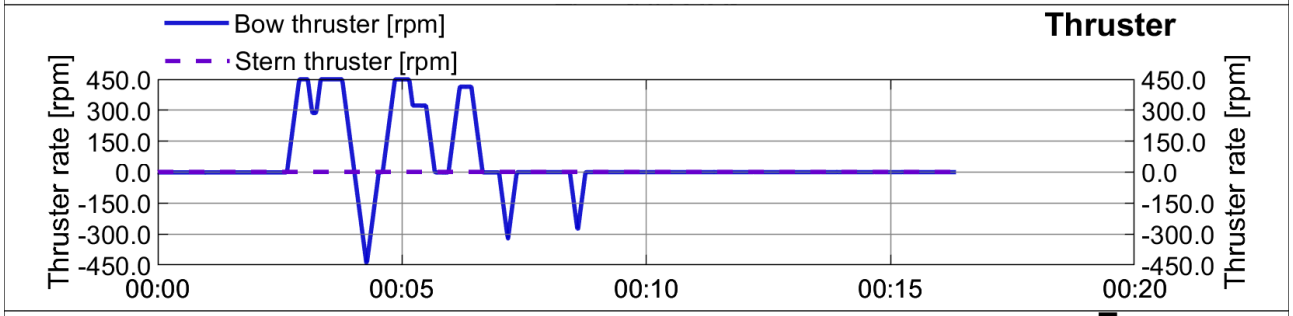
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

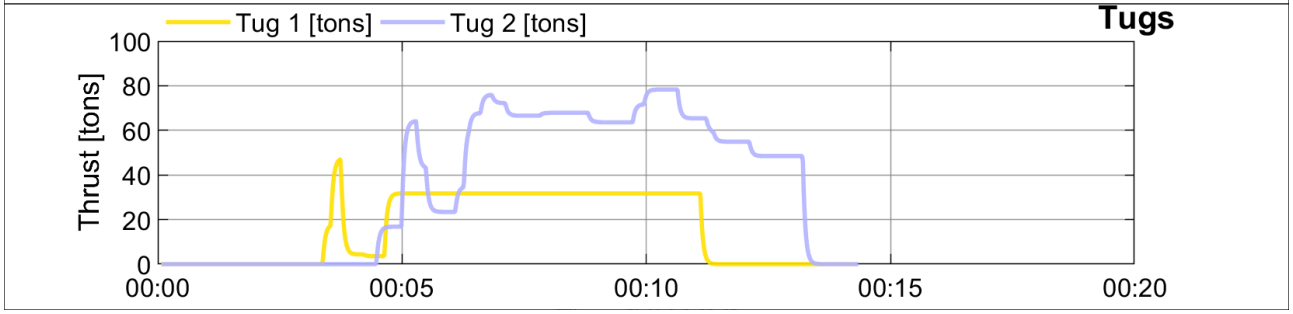
Simulatie: Buitenhaven HW 12	Wind: O5
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









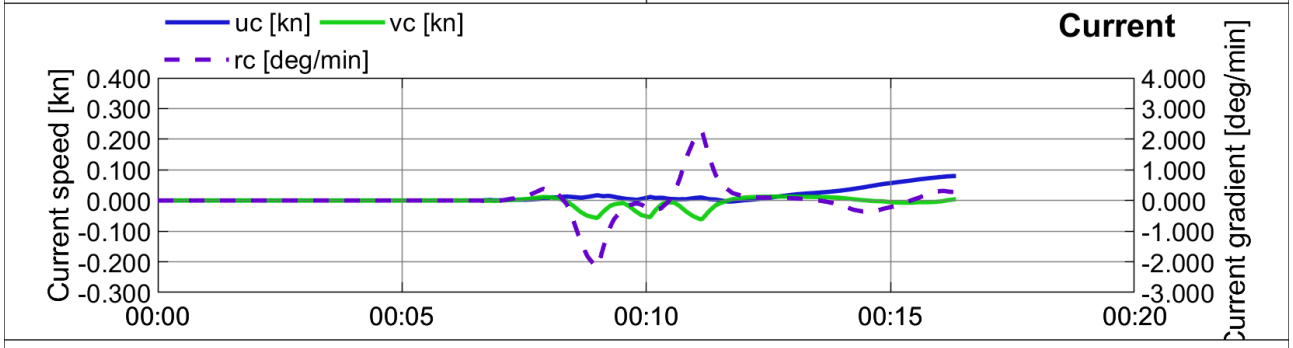


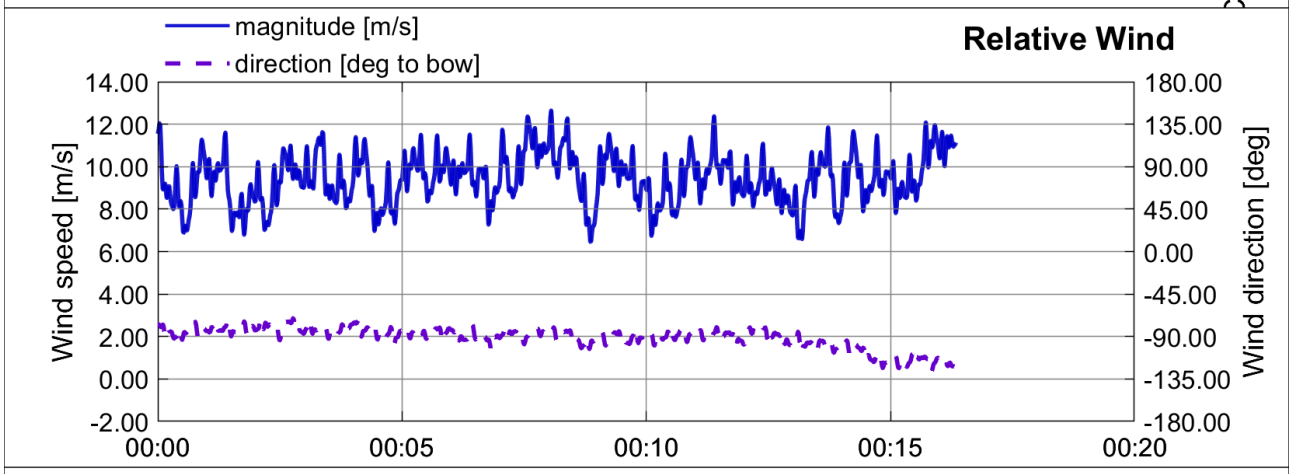
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

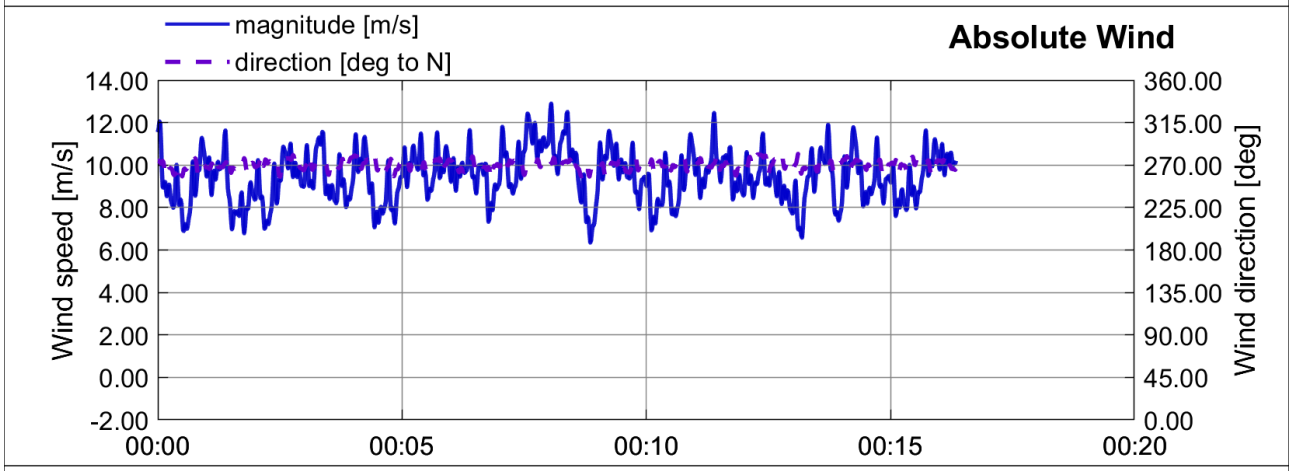
Omgevingscondities

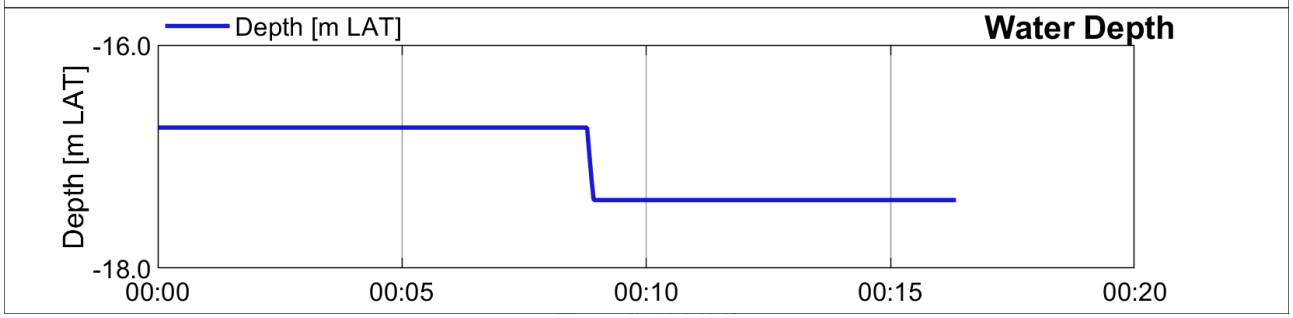
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 12	Wind: O5
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







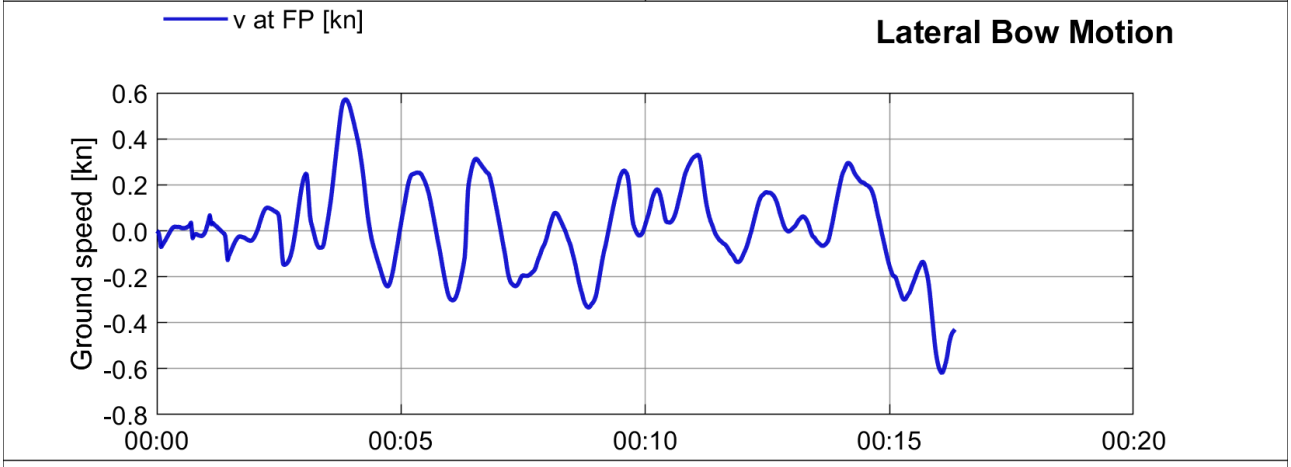


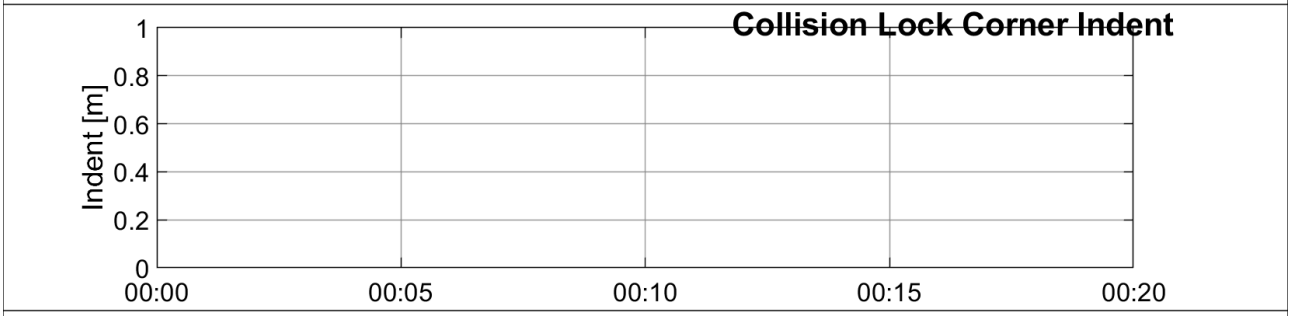
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

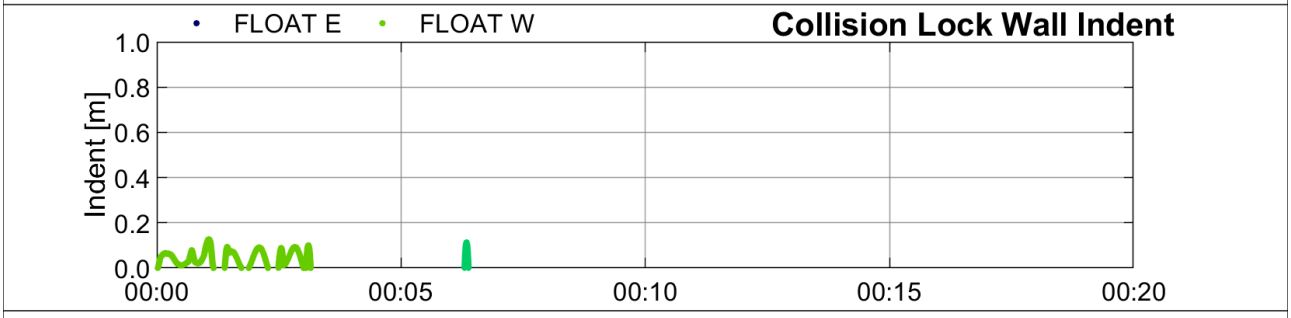
Contacten

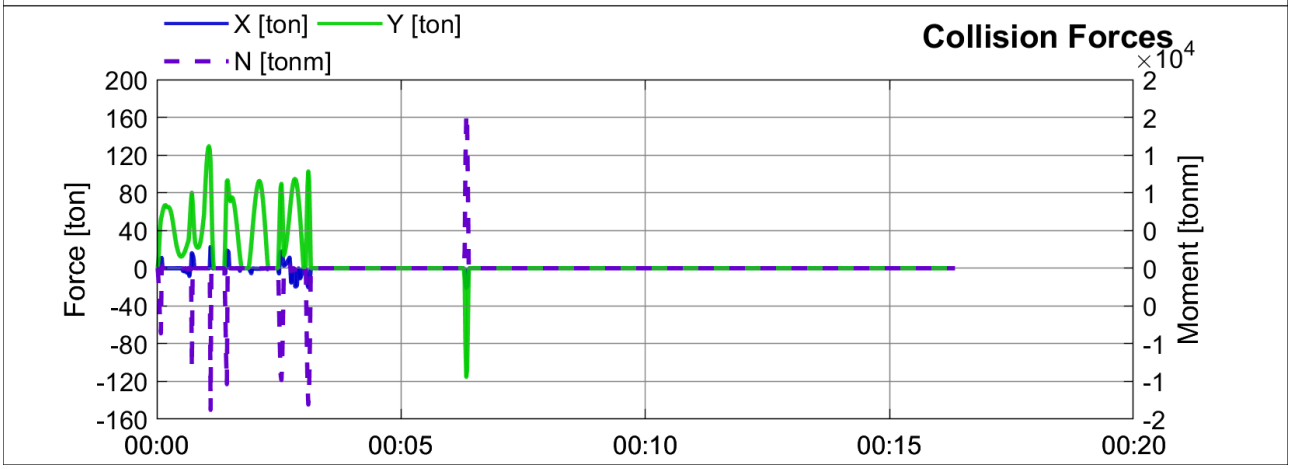
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 12	Wind: O5
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







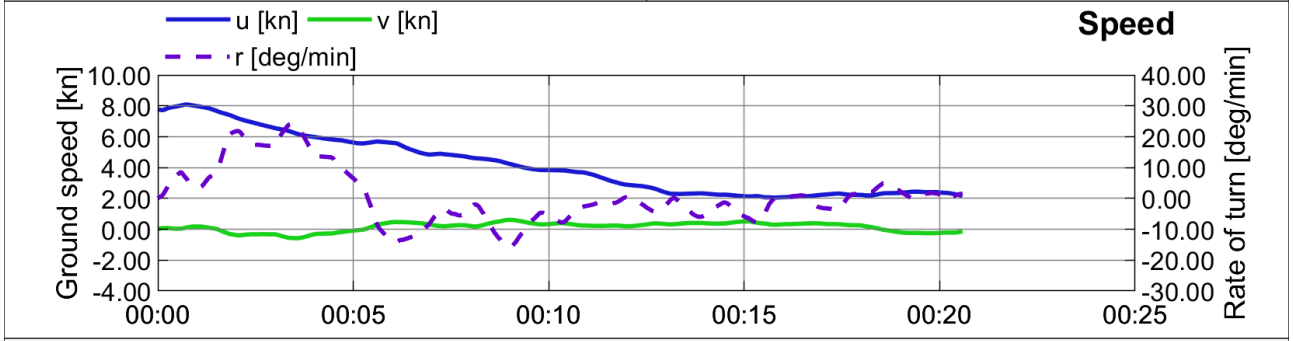


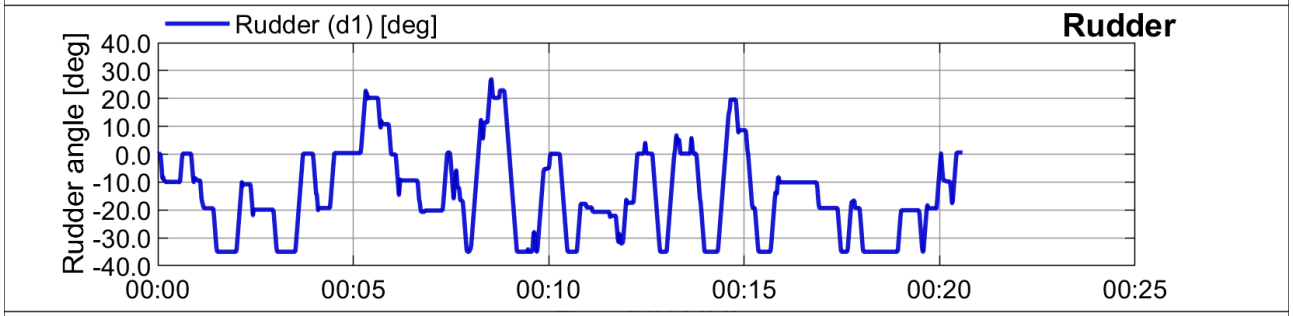
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

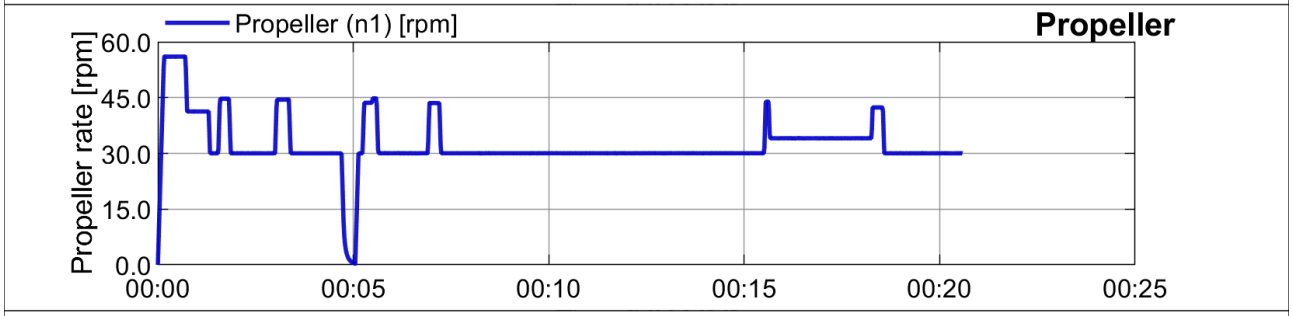
Manoeuvreereigenschappen

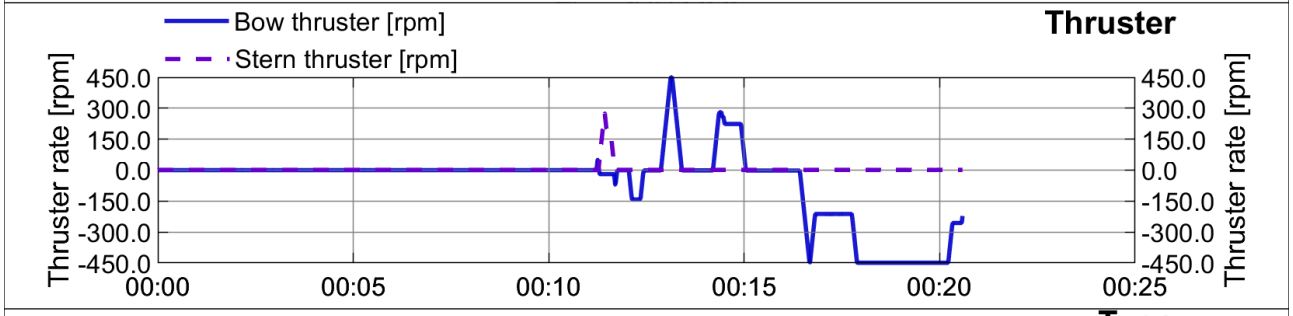
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

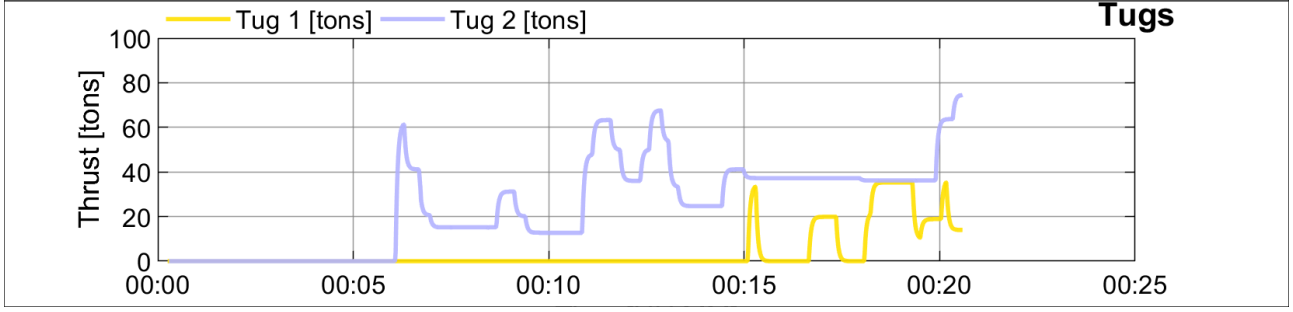
Simulatie: Buitenhaven HW 13	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: OP3 100%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









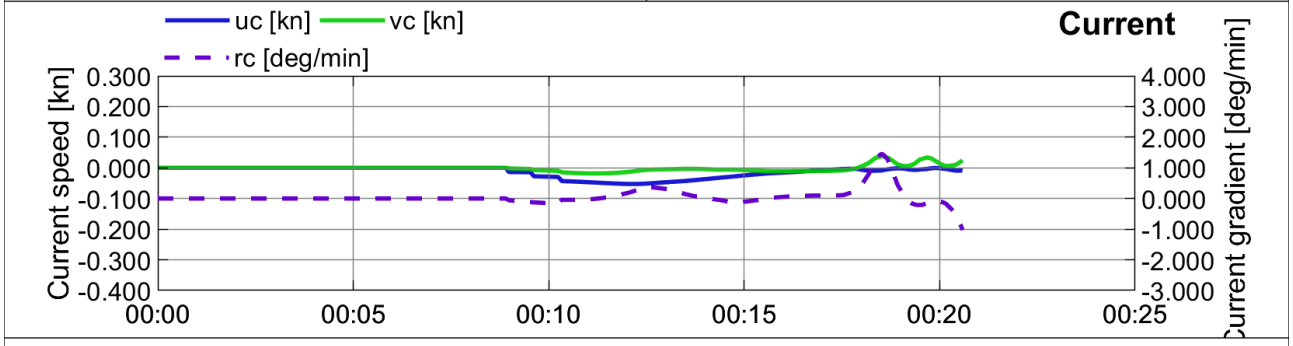


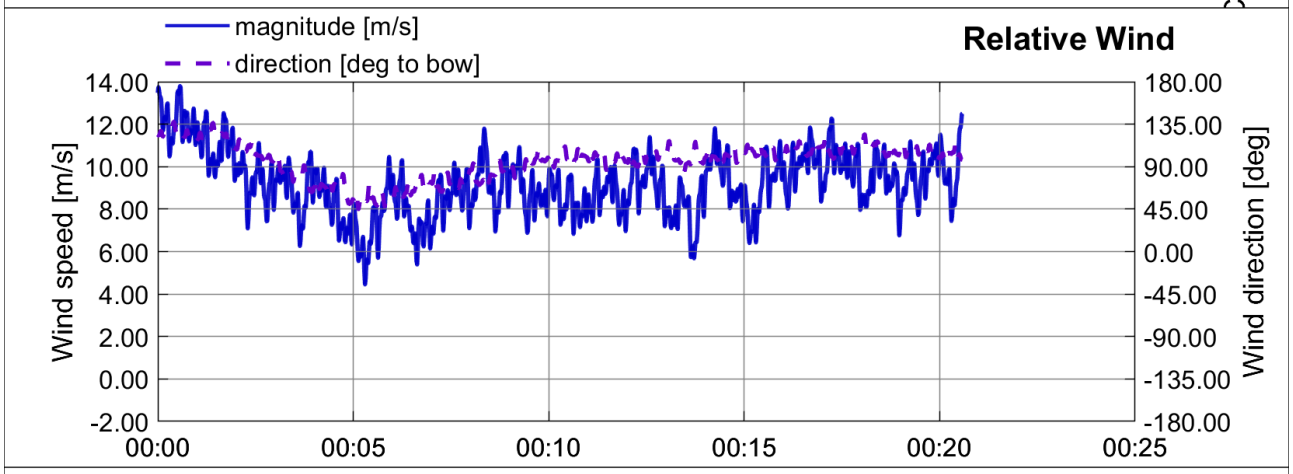
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

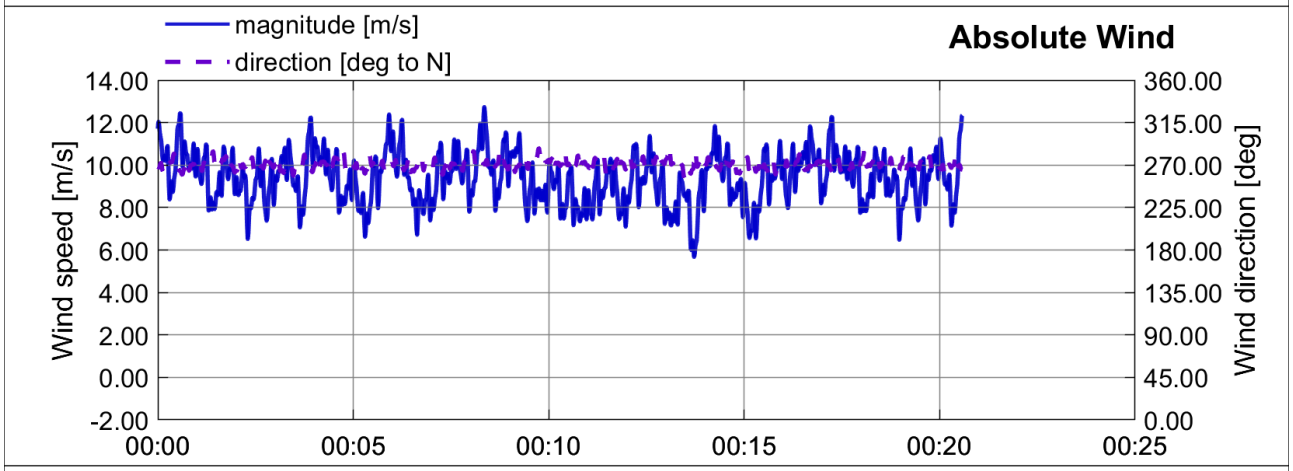
Omgevingscondities

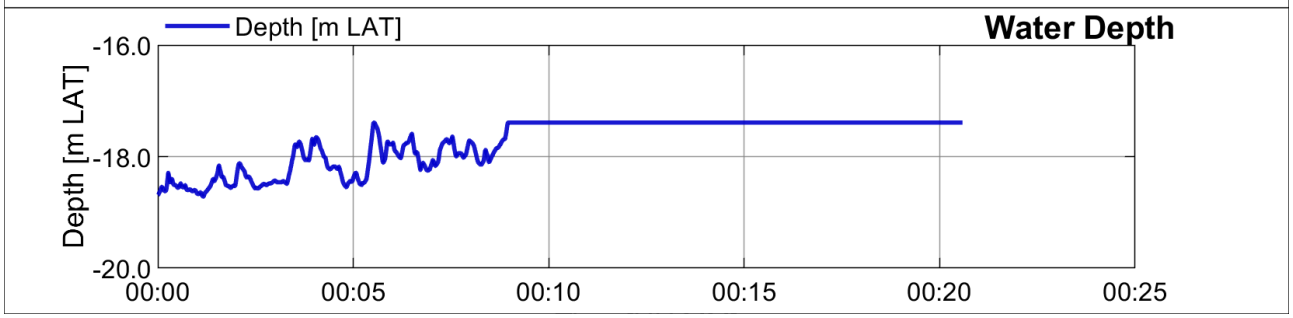
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 13	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: OP3 100%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







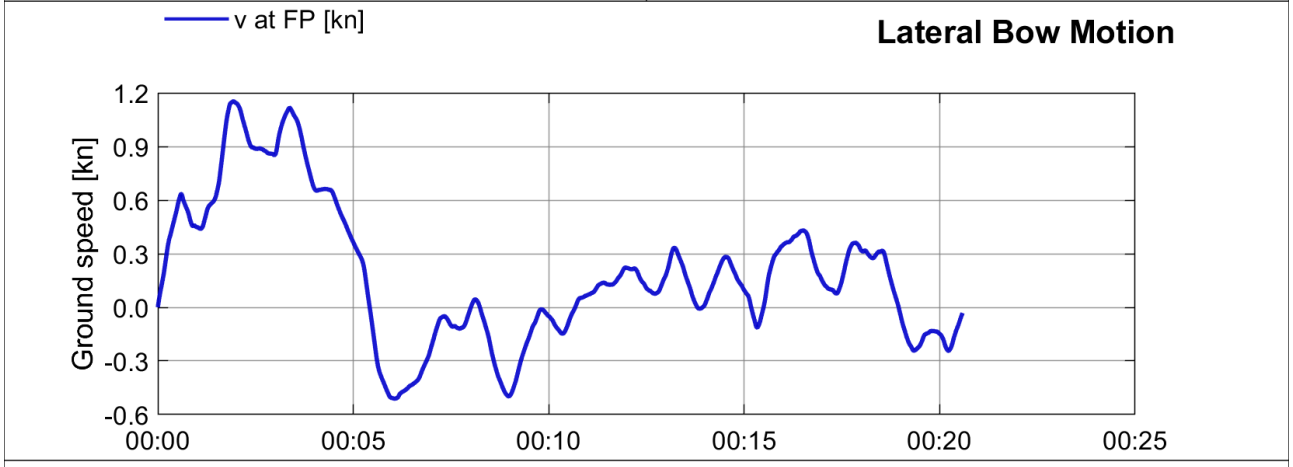


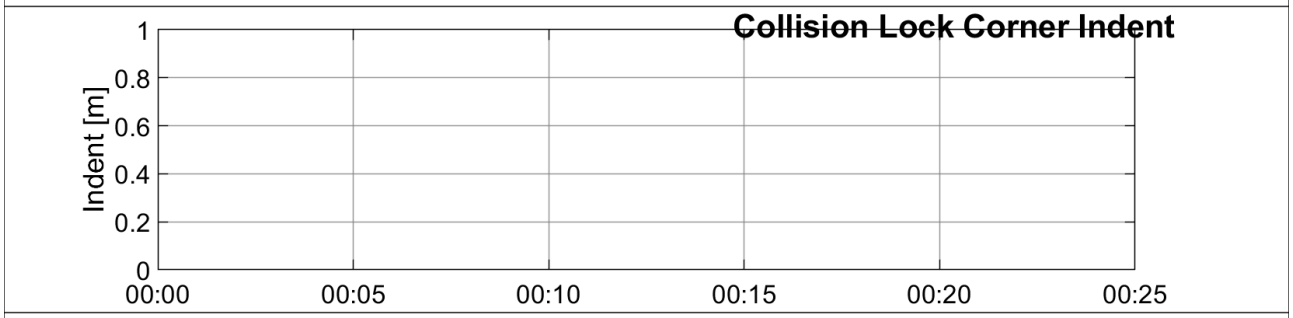
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

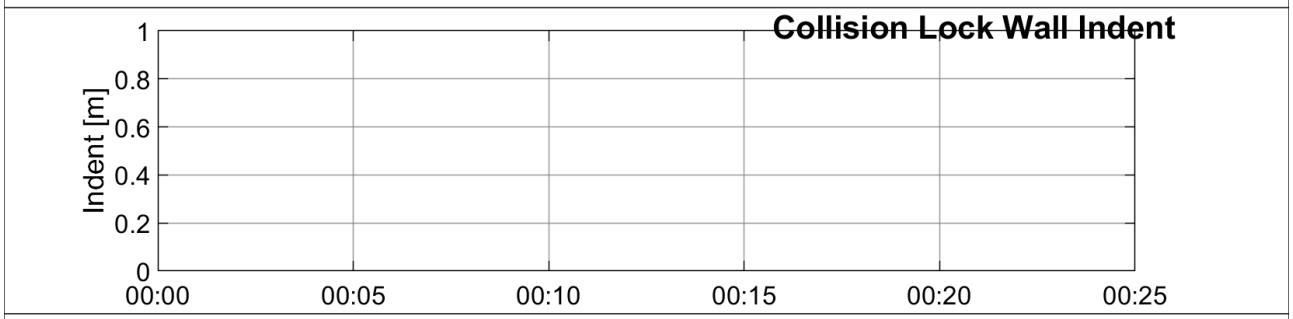
Contacten

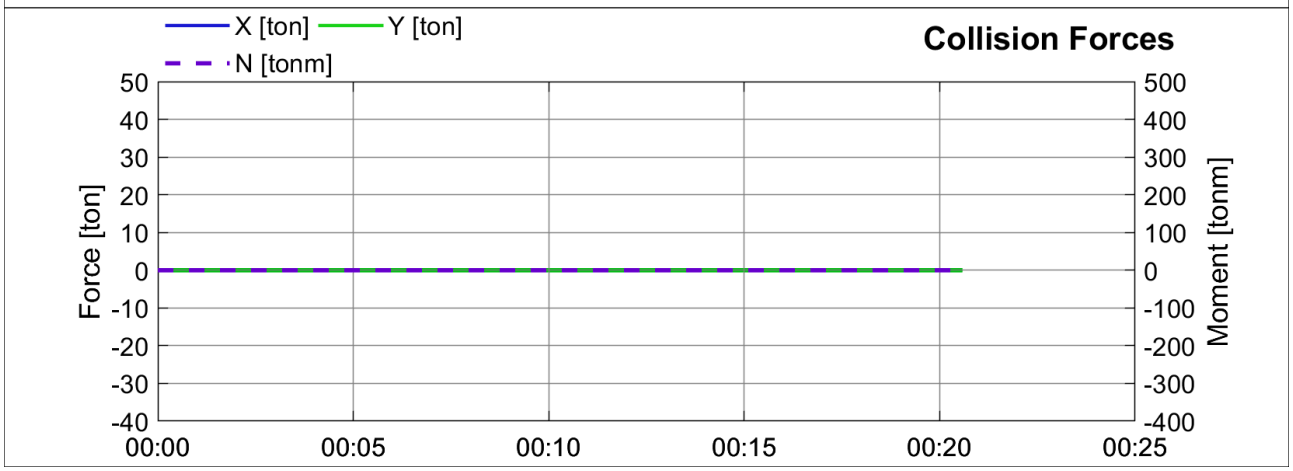
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 13	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: OP3 100%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







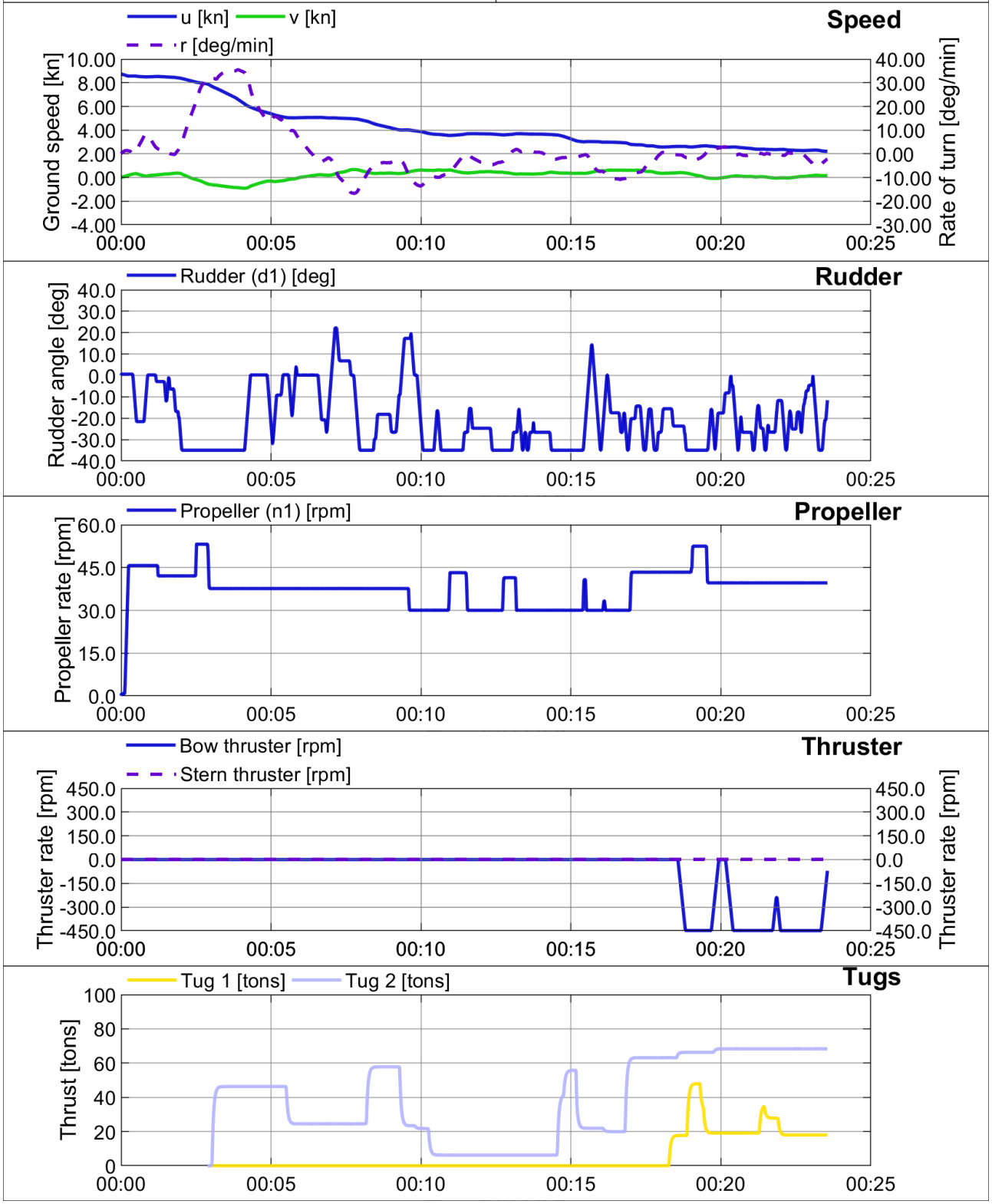


CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

Manoeuvreereigenschappen

Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 14	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 100%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders

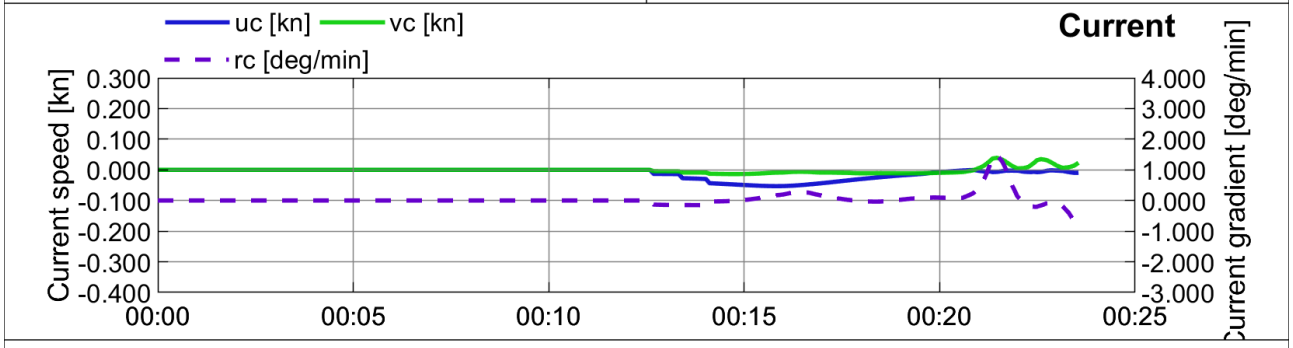


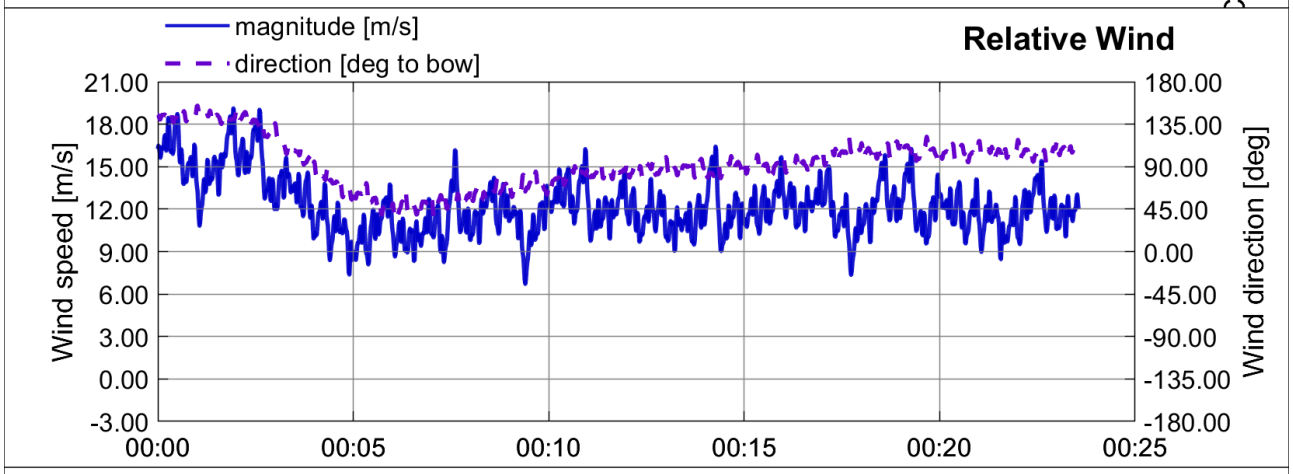
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

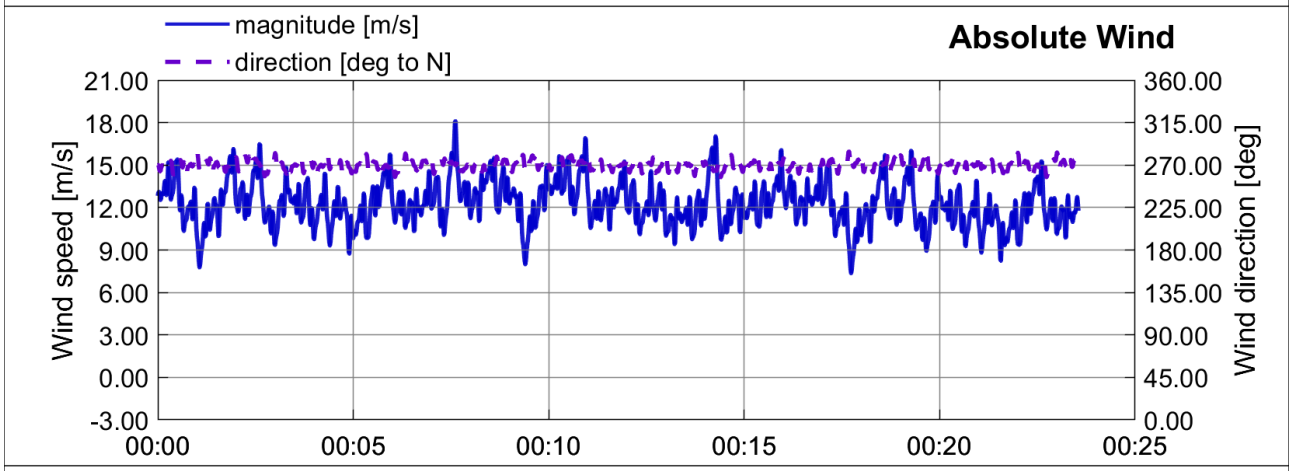
Omgevingscondities

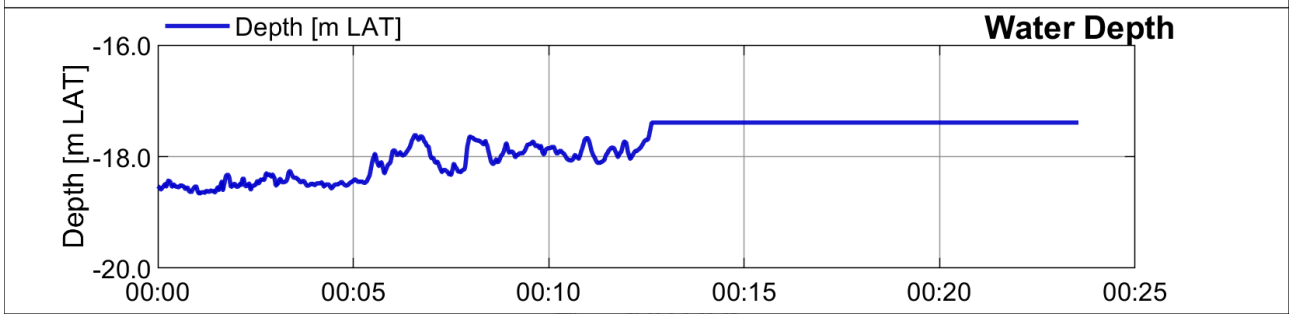
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 14	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 100%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







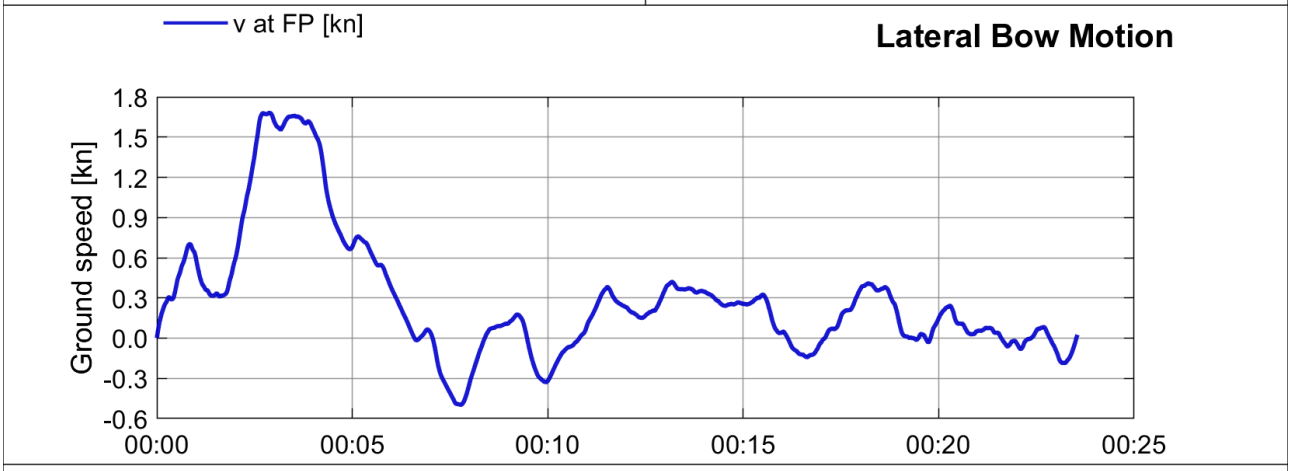


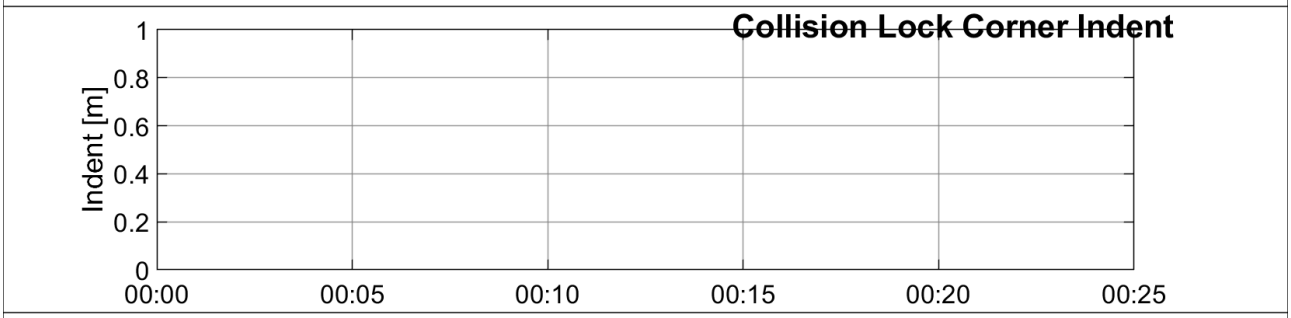
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

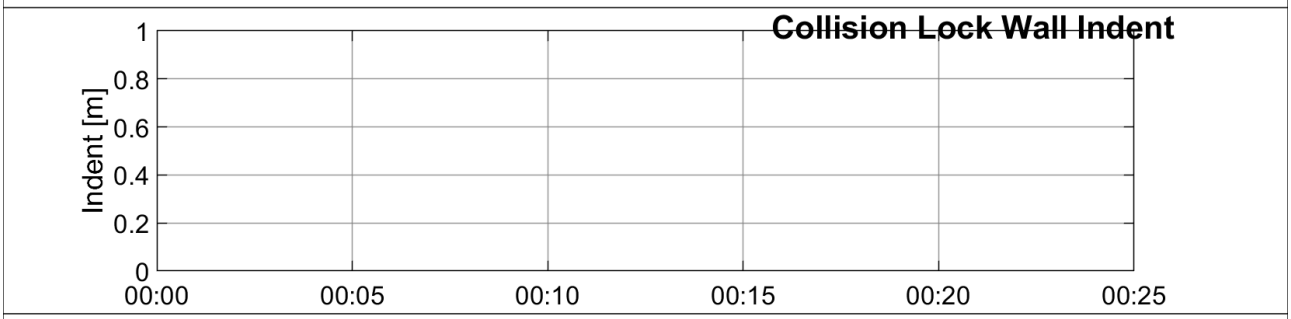
Contacten

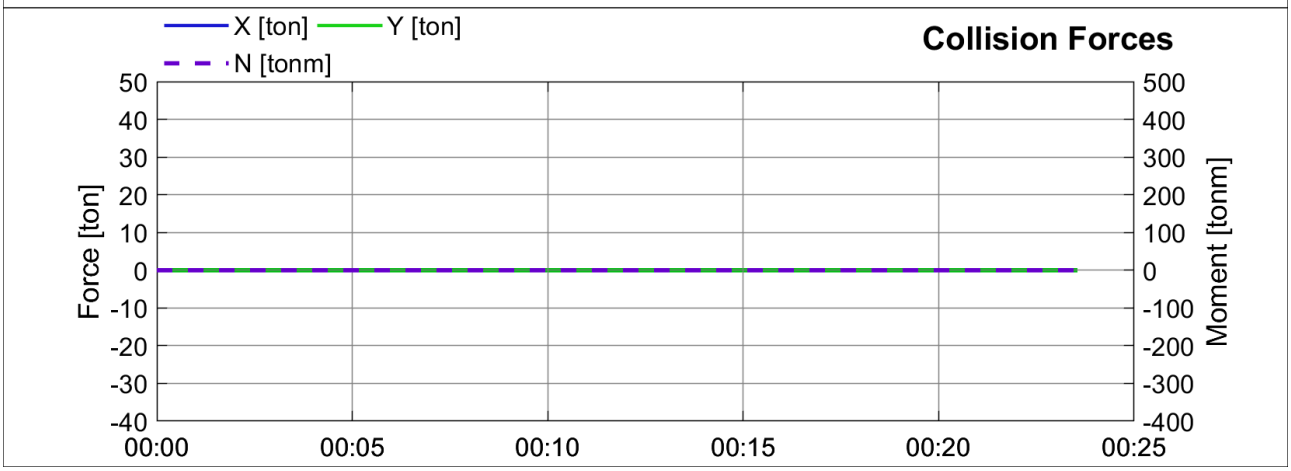
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 14	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 100%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







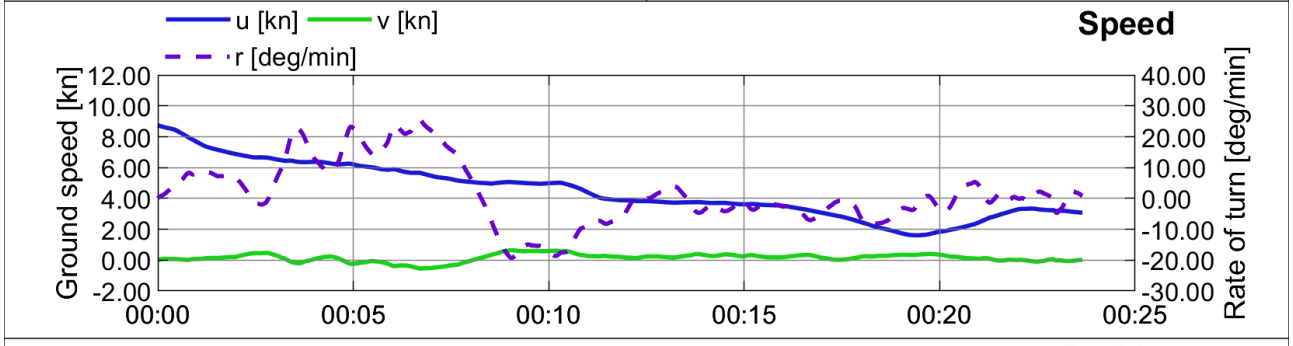


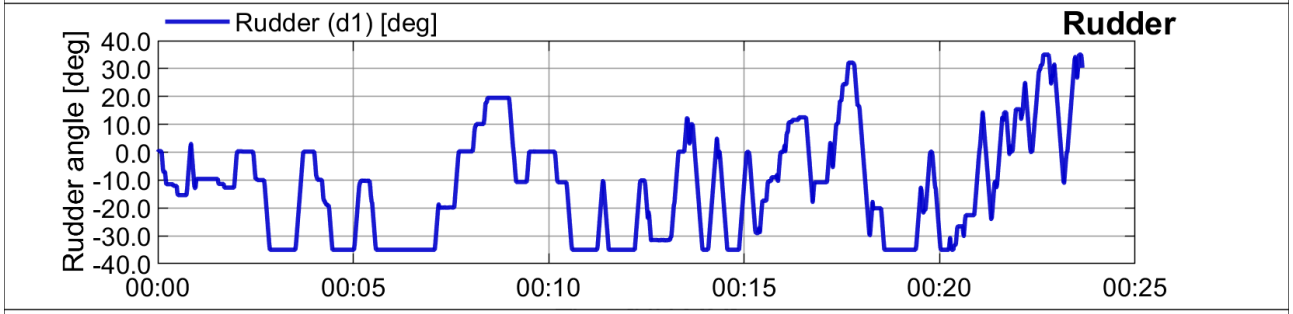
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

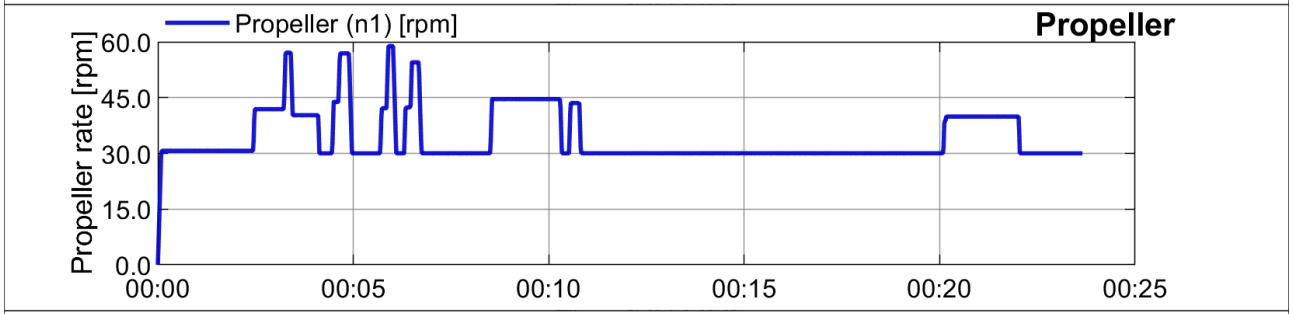
Manoeuvreereigenschappen

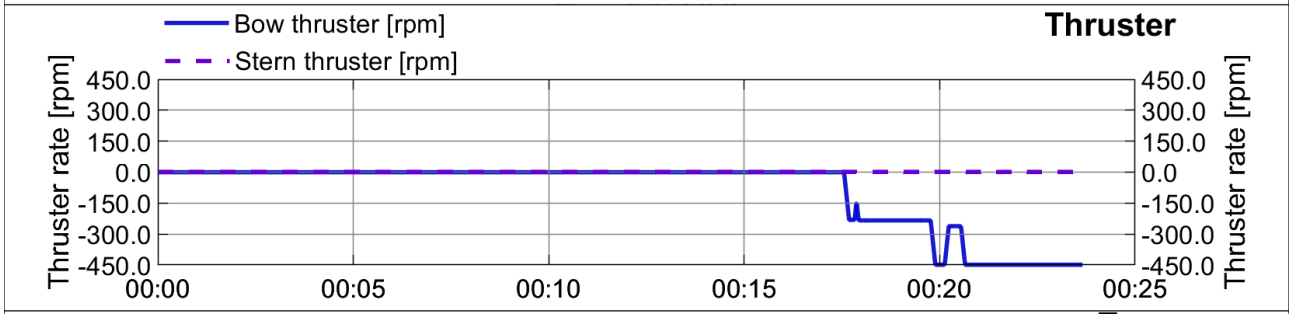
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

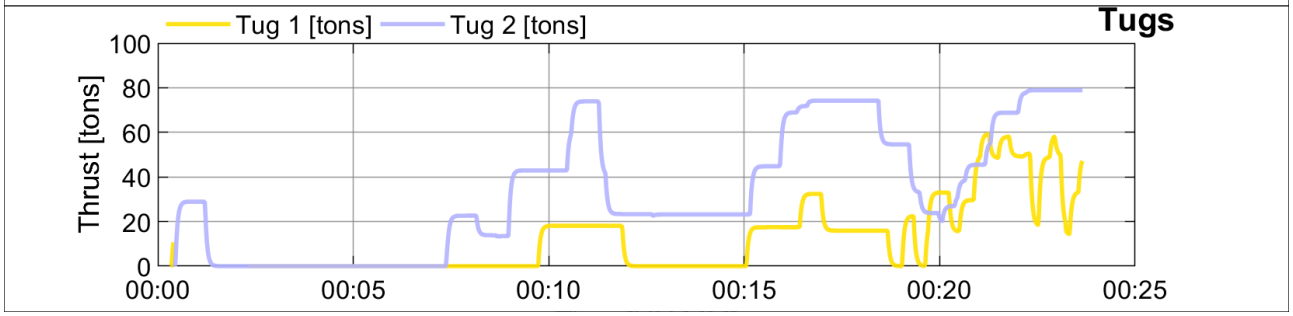
Simulatie: Buitenhaven HP 15	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









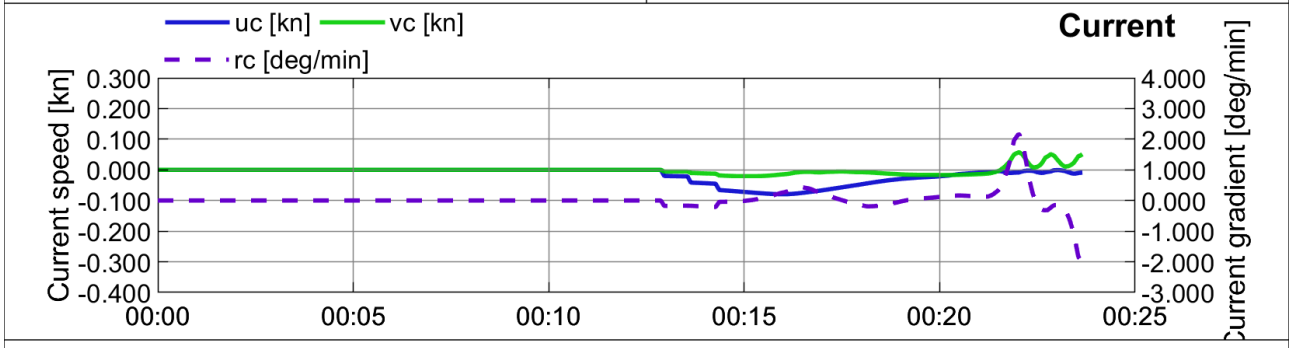


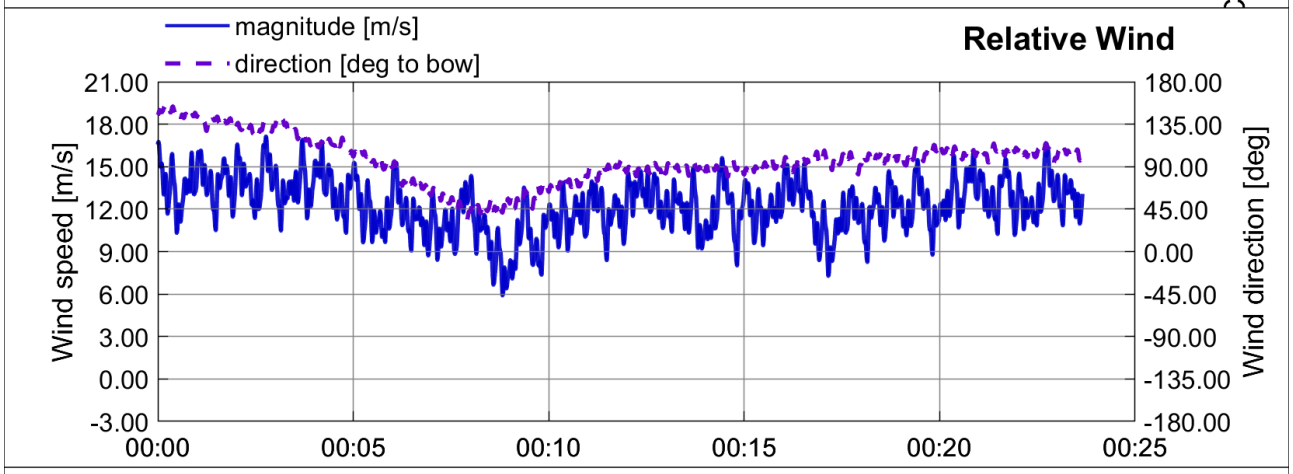
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

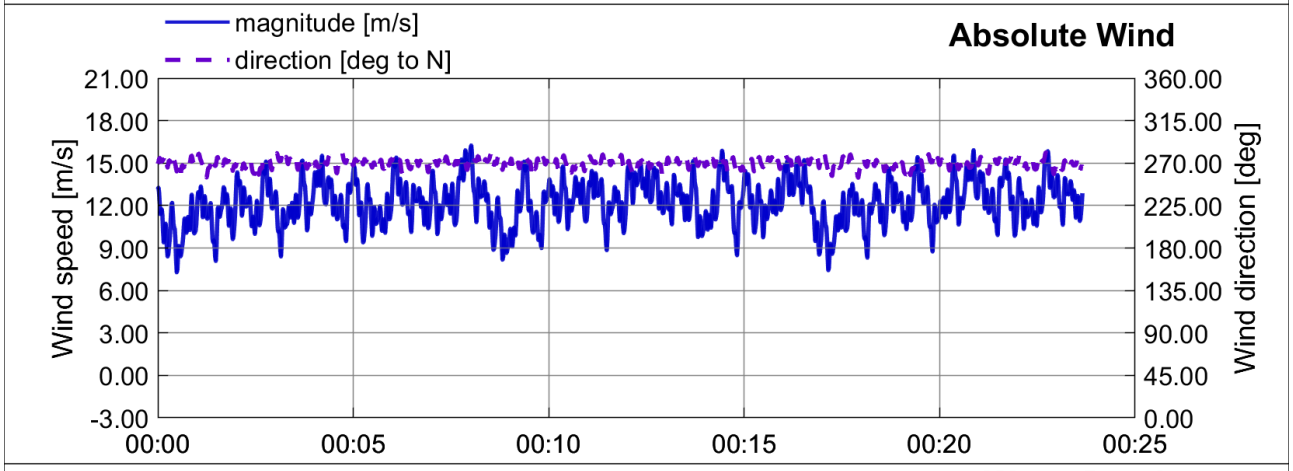
Omgevingscondities

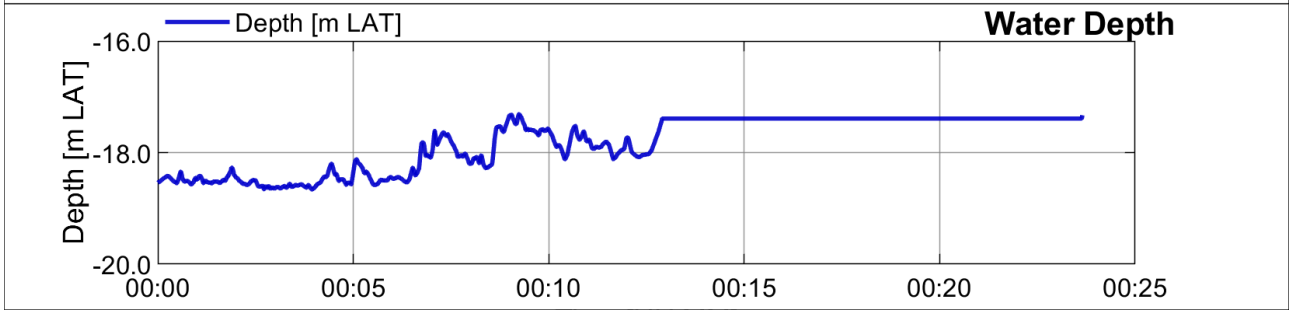
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 15	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







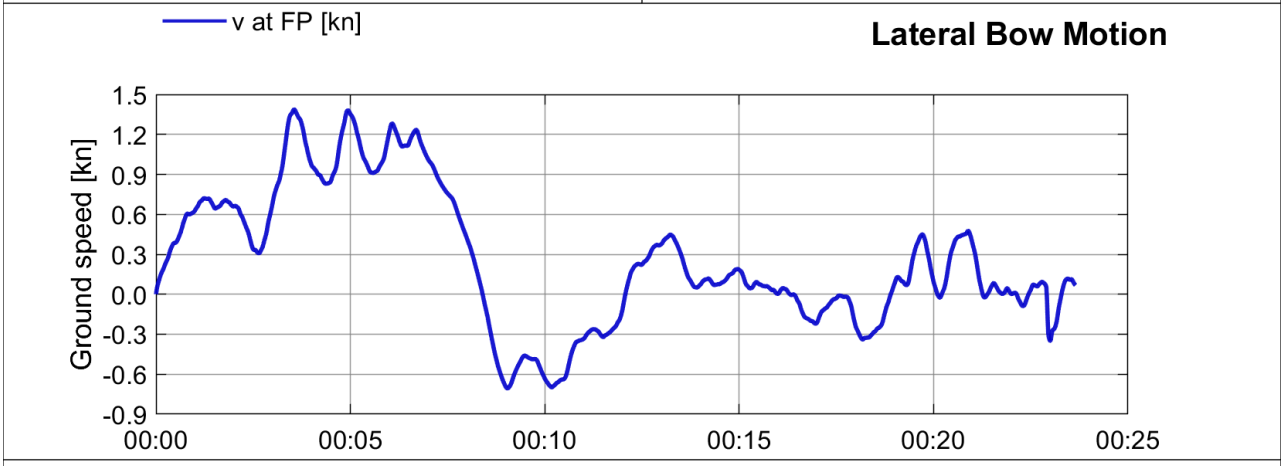


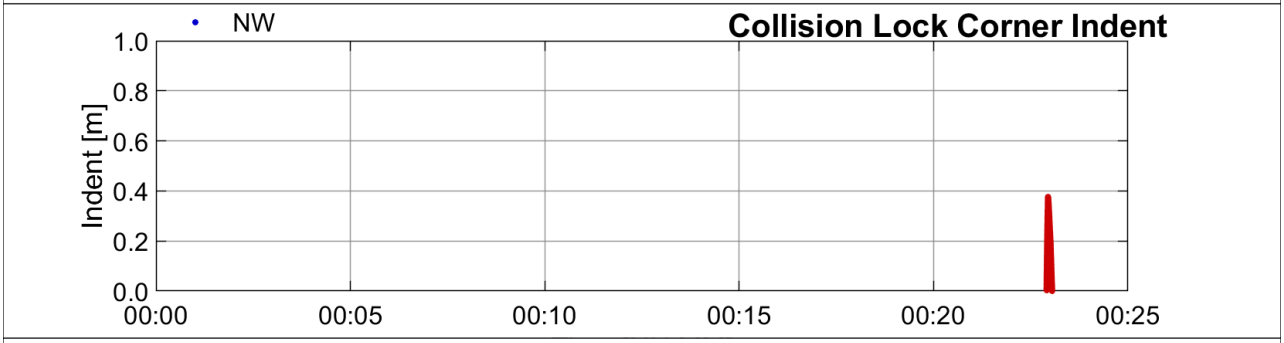
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

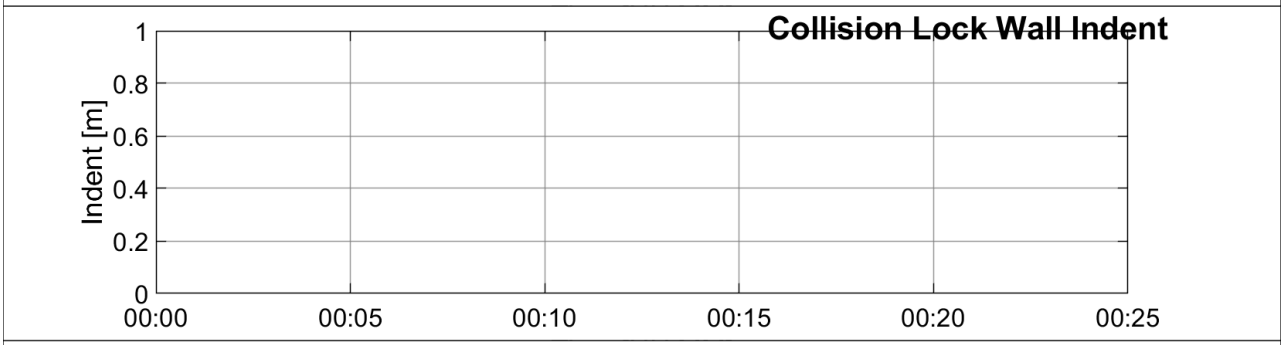
Contacten

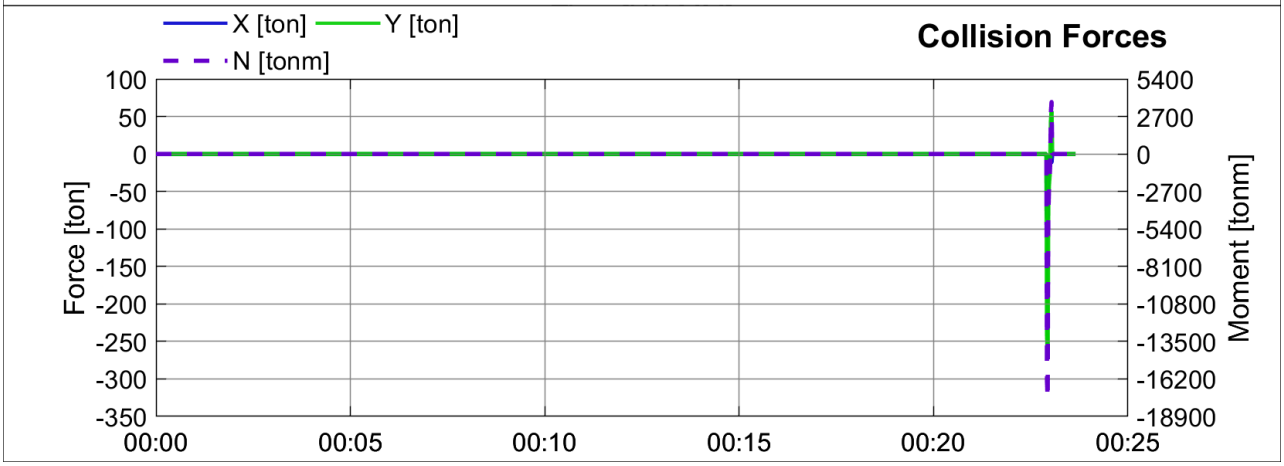
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 15	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







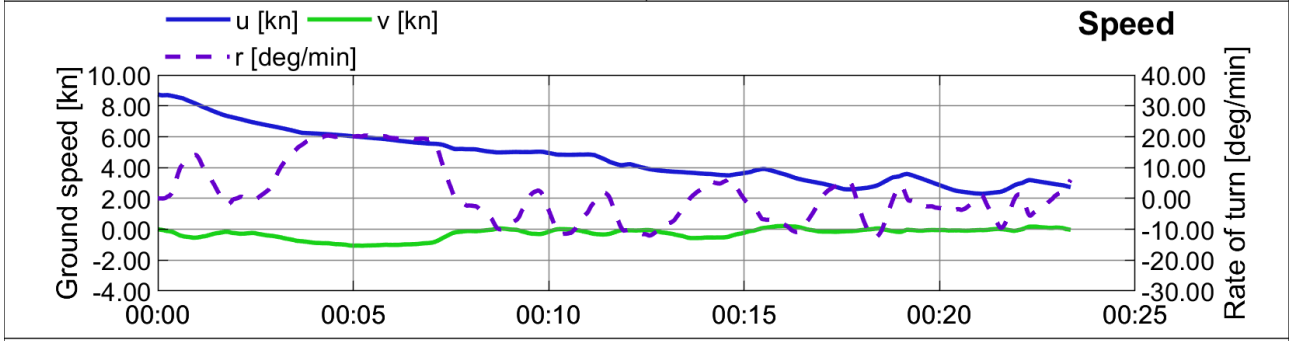


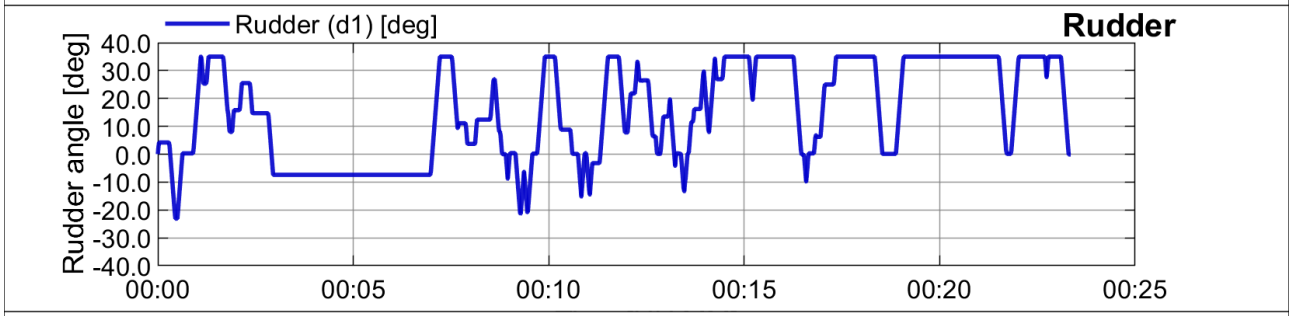
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

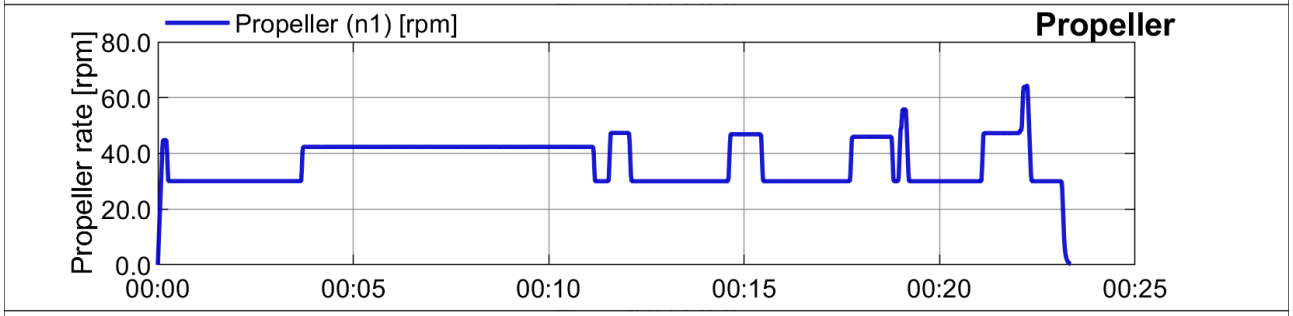
Manoeuvreereigenschappen

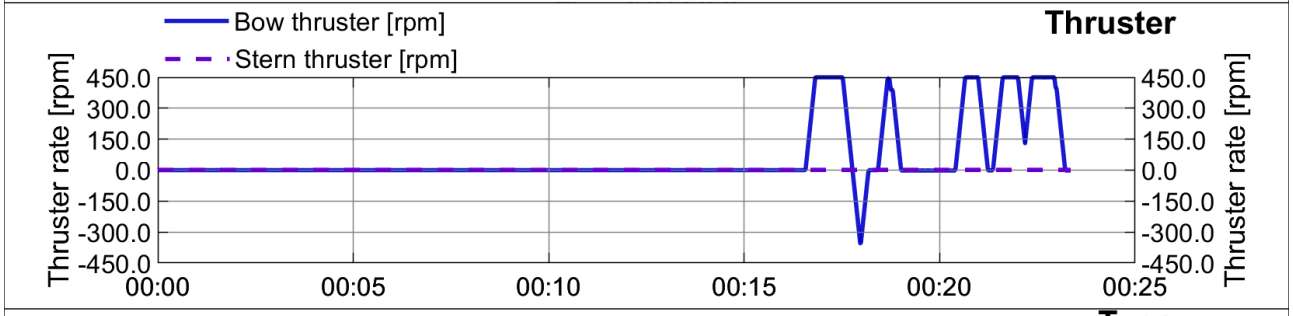
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

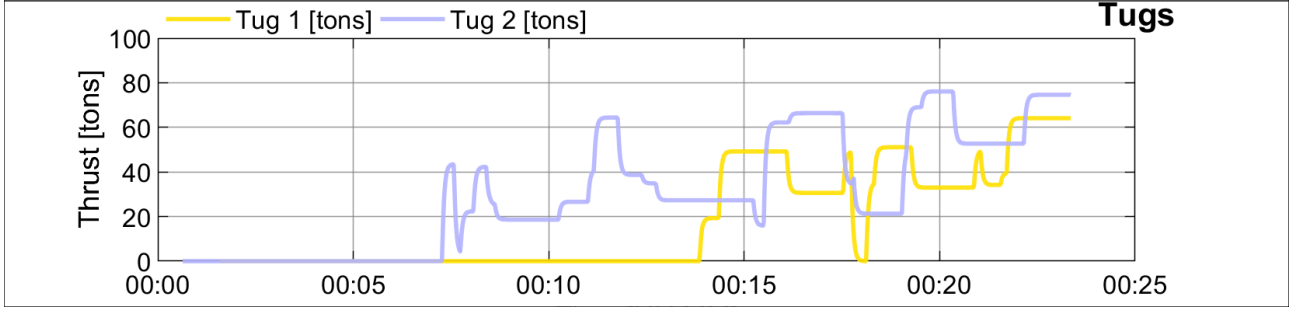
Simulatie: Buitenhaven HW 16	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









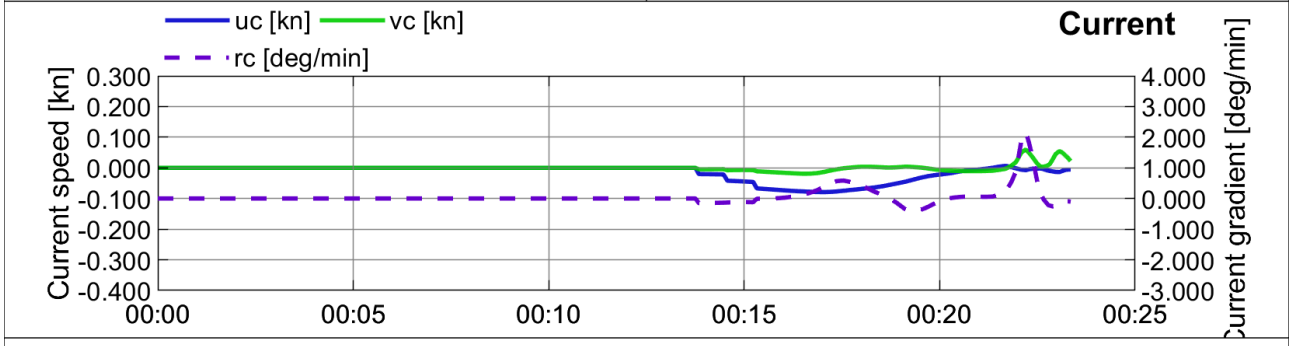


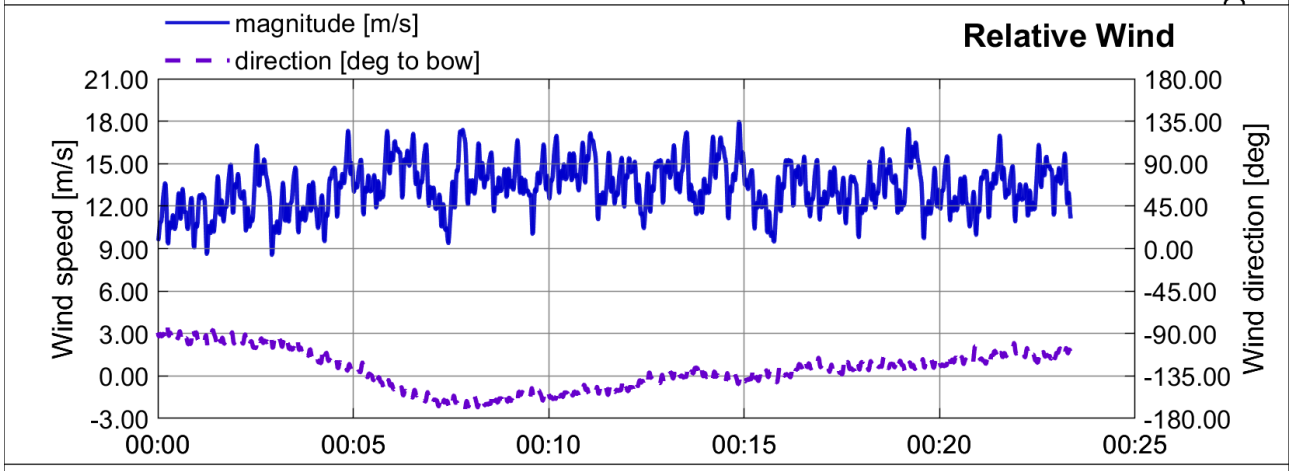
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

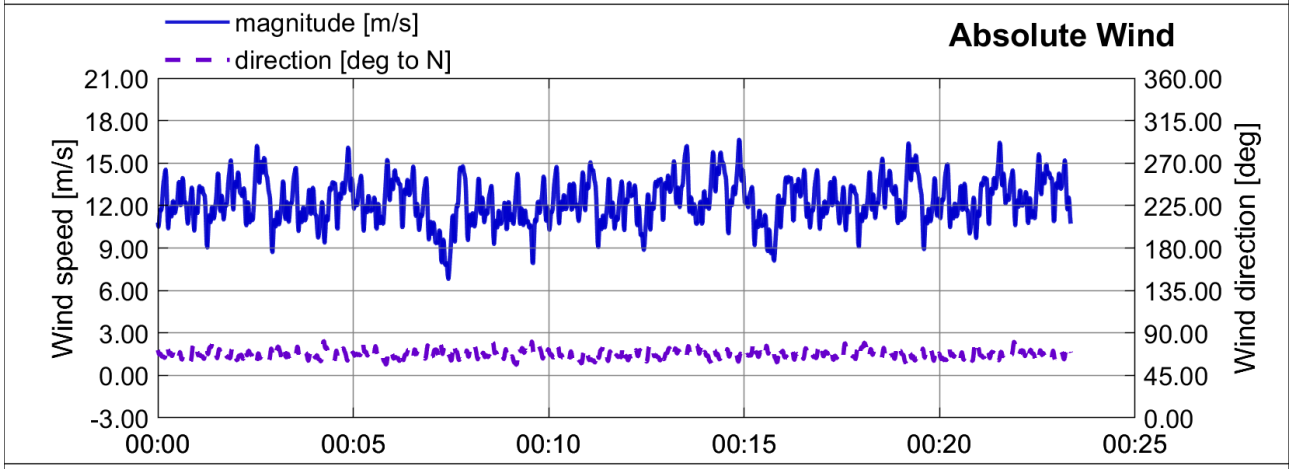
Omgevingscondities

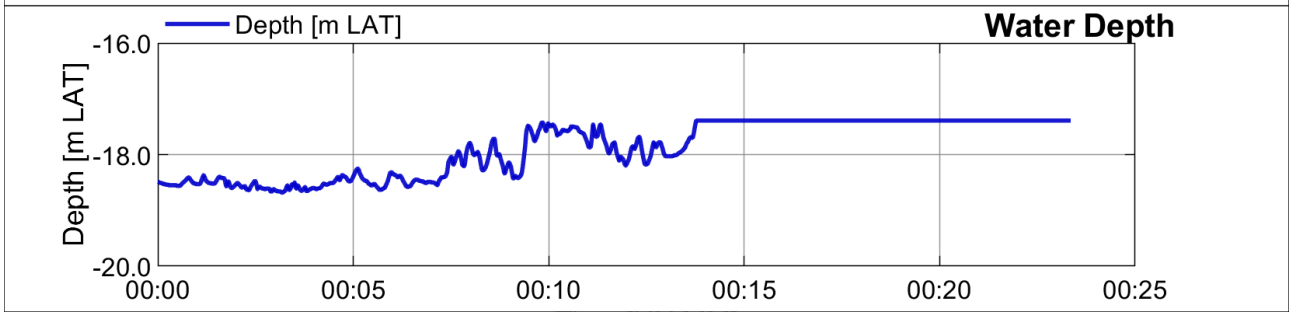
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 16	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







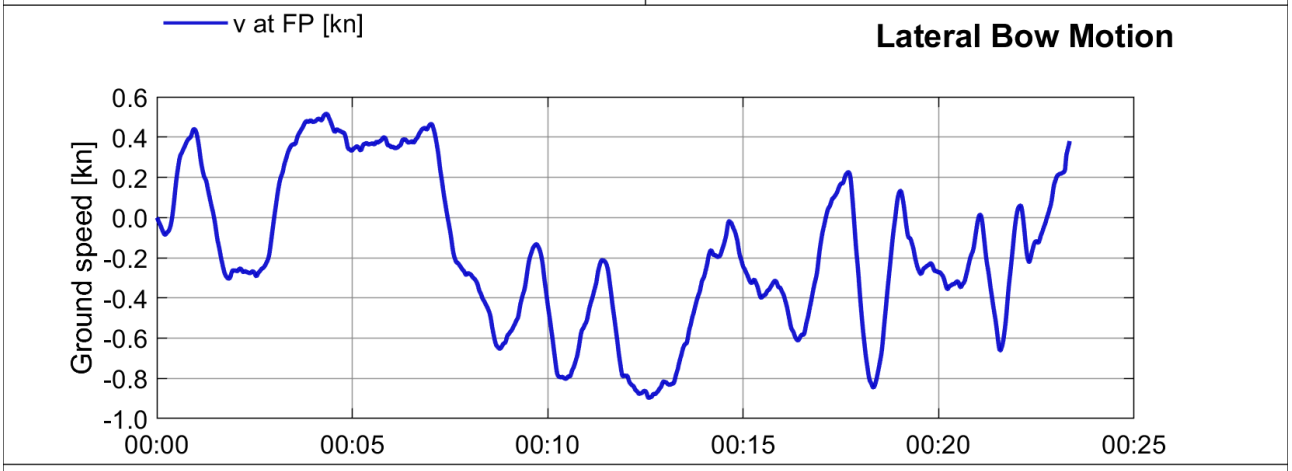


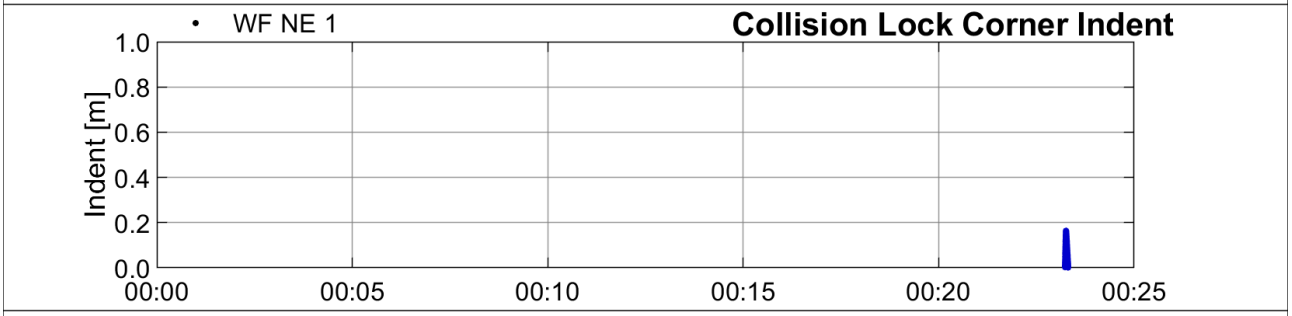
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

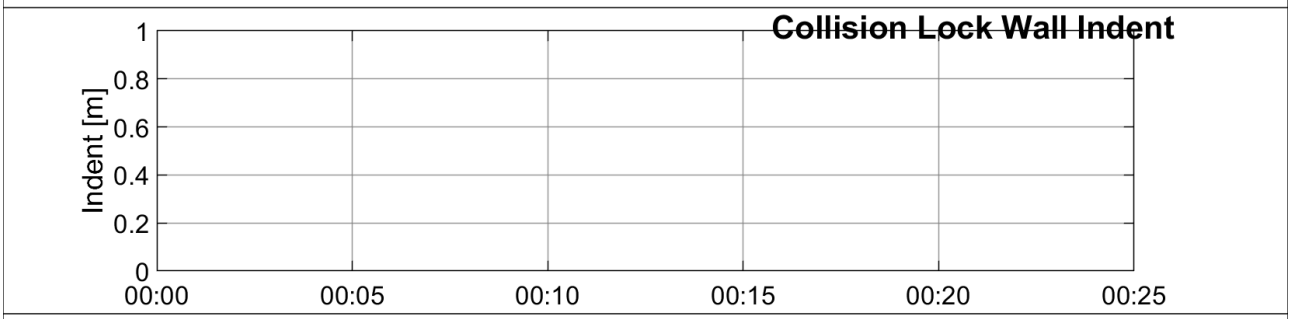
Contacten

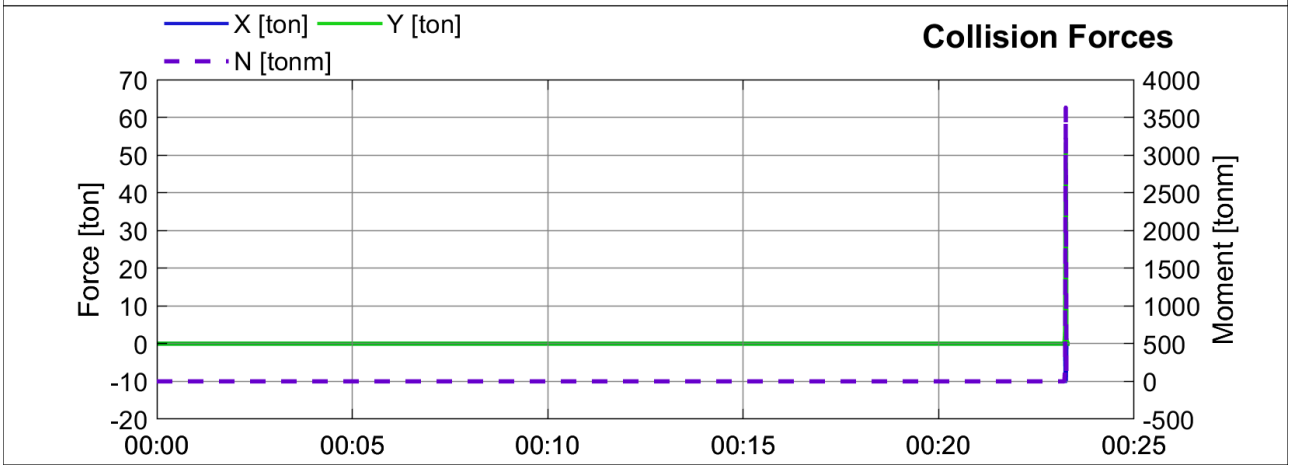
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 16	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







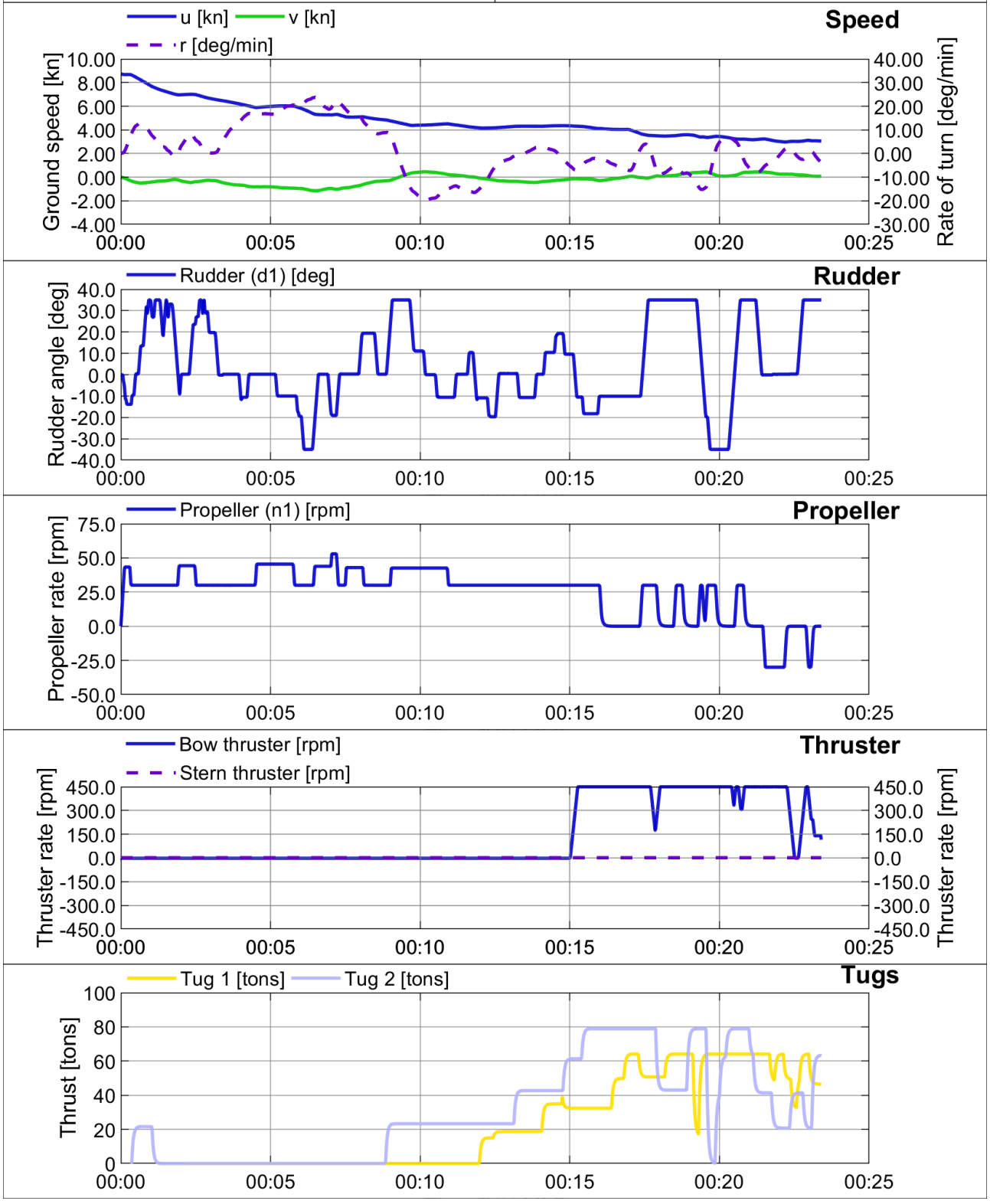


CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

Manoeuvreereigenschappen

Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 17	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders

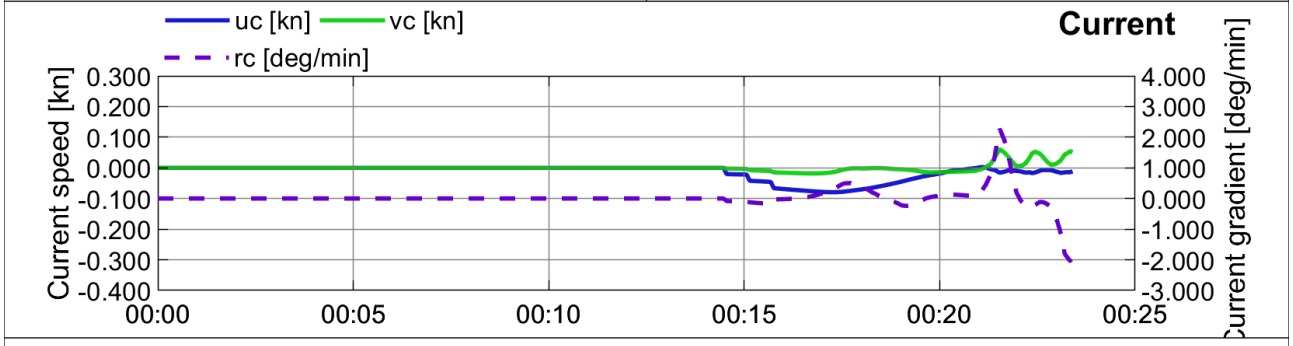


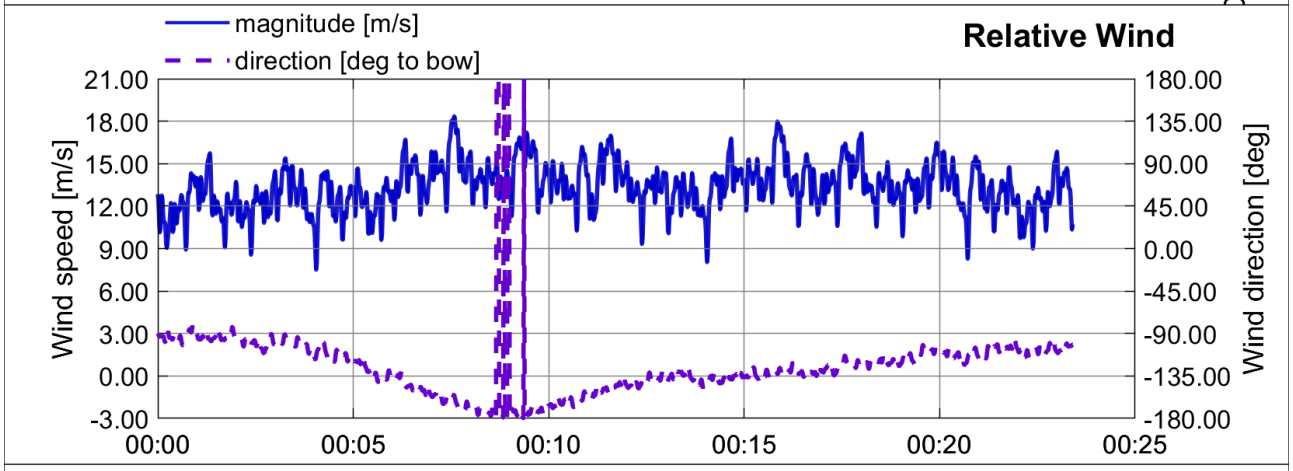
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

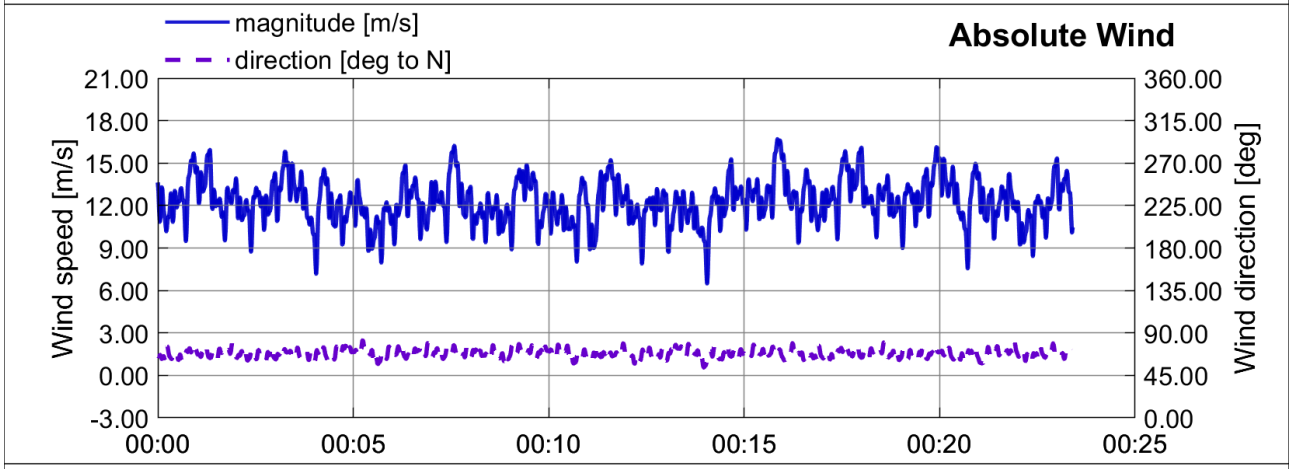
Omgevingscondities

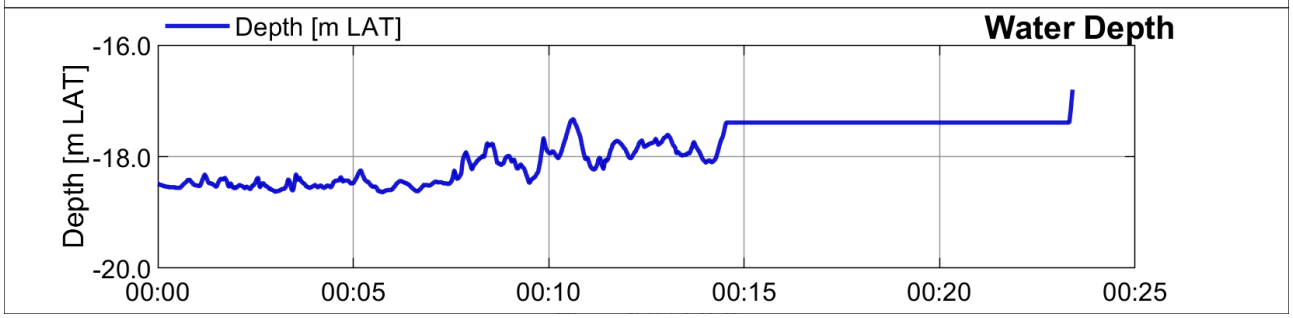
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 17	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







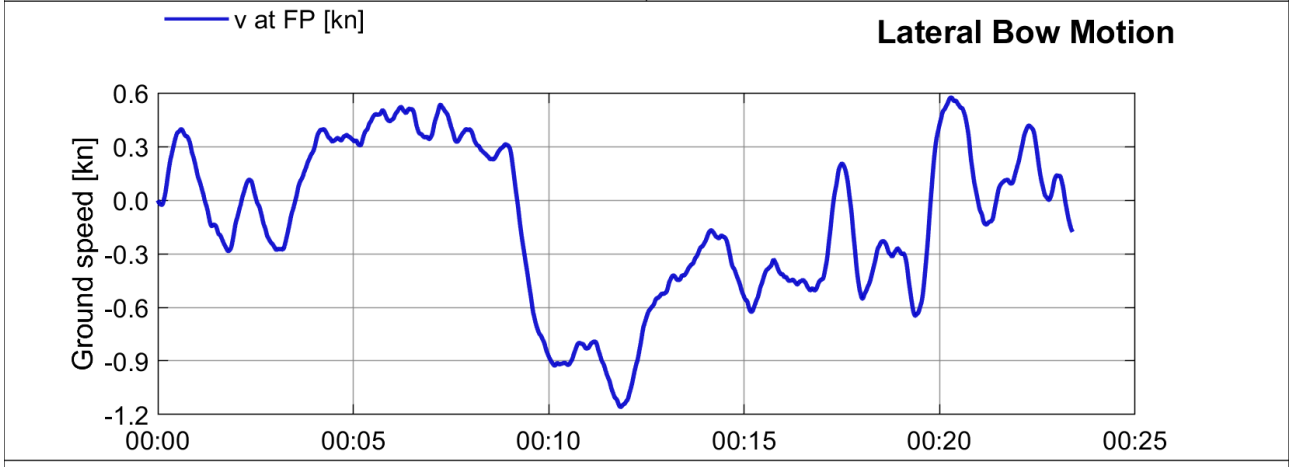


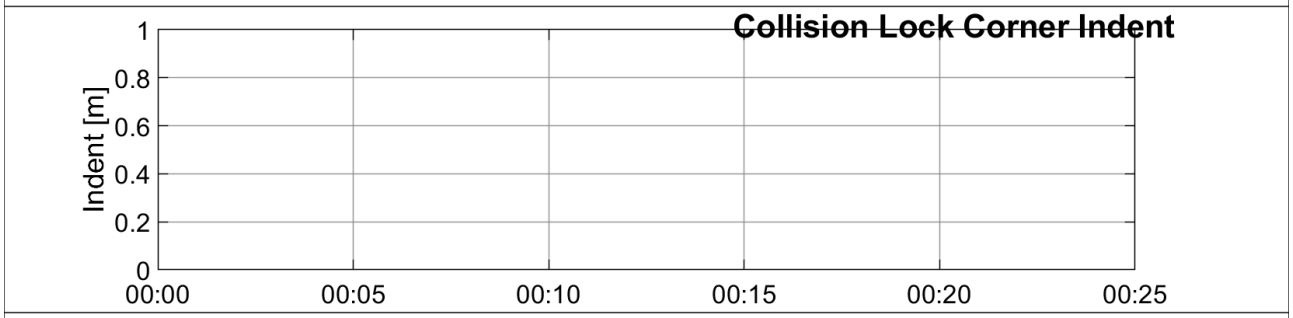
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

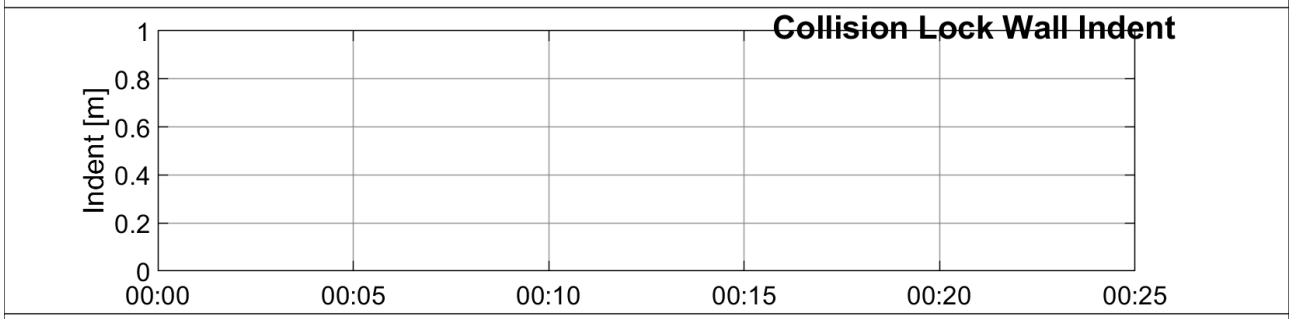
Contacten

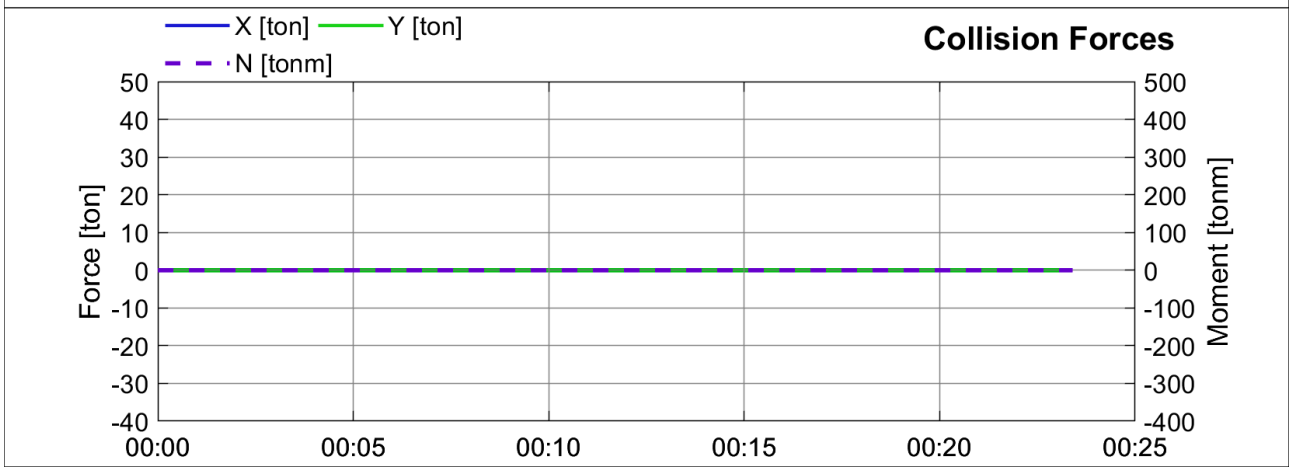
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 17	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







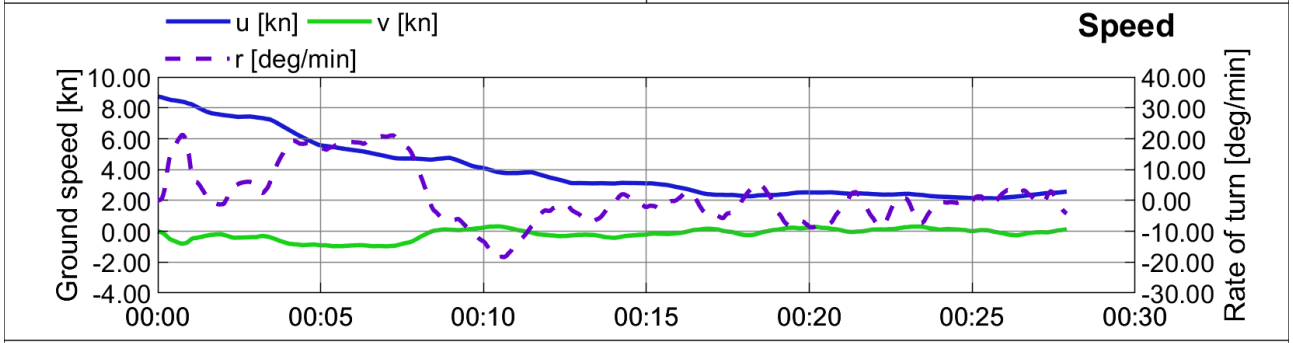


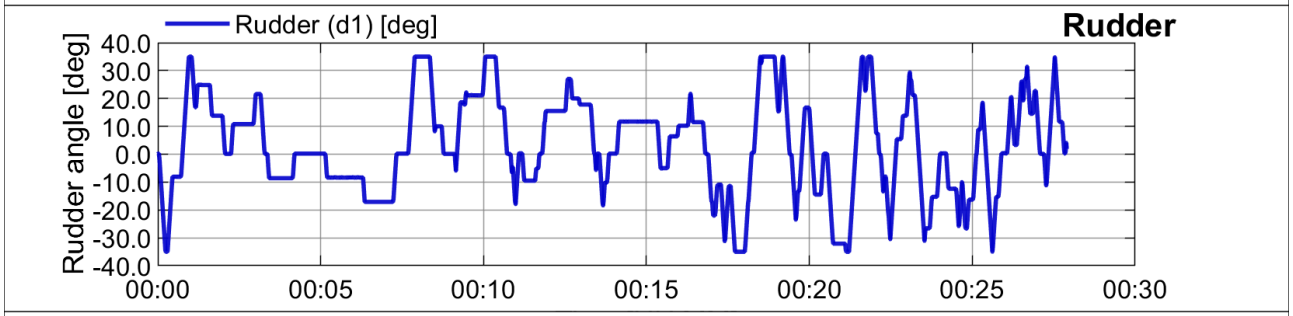
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

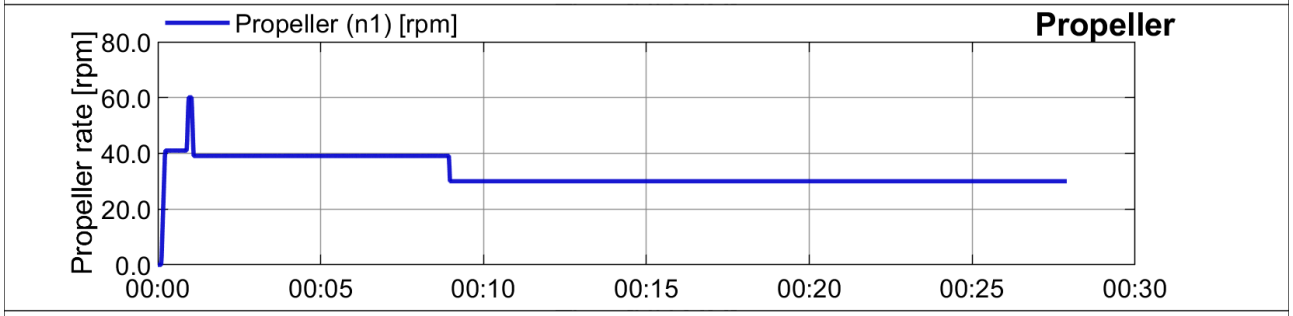
Manoeuvreereigenschappen

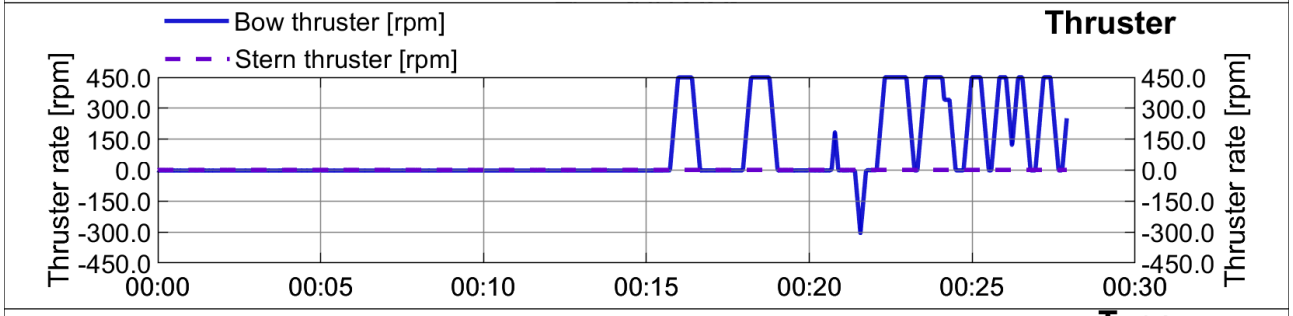
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

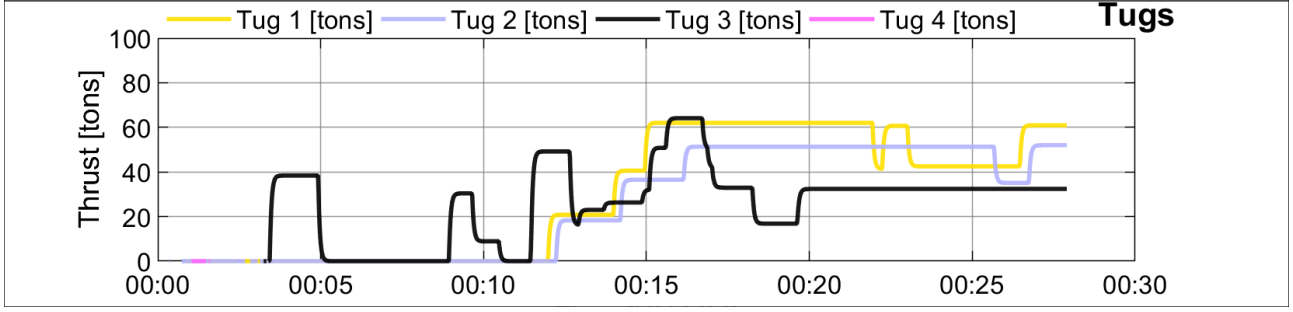
Simulatie: Buitenhaven HP 18	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









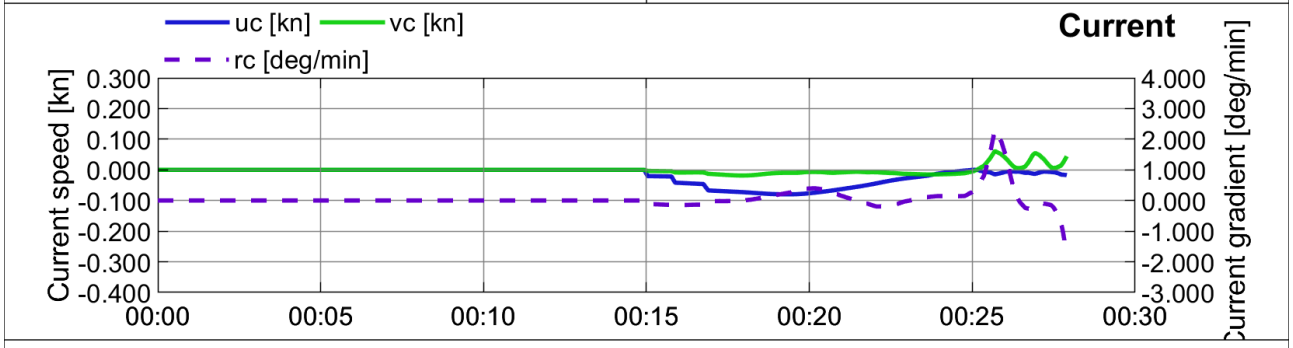


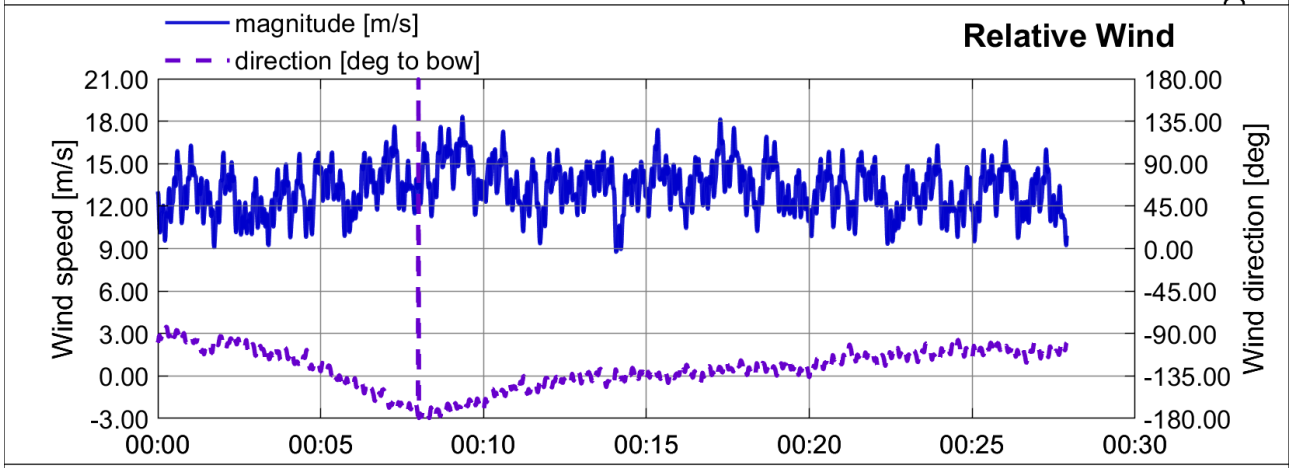
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

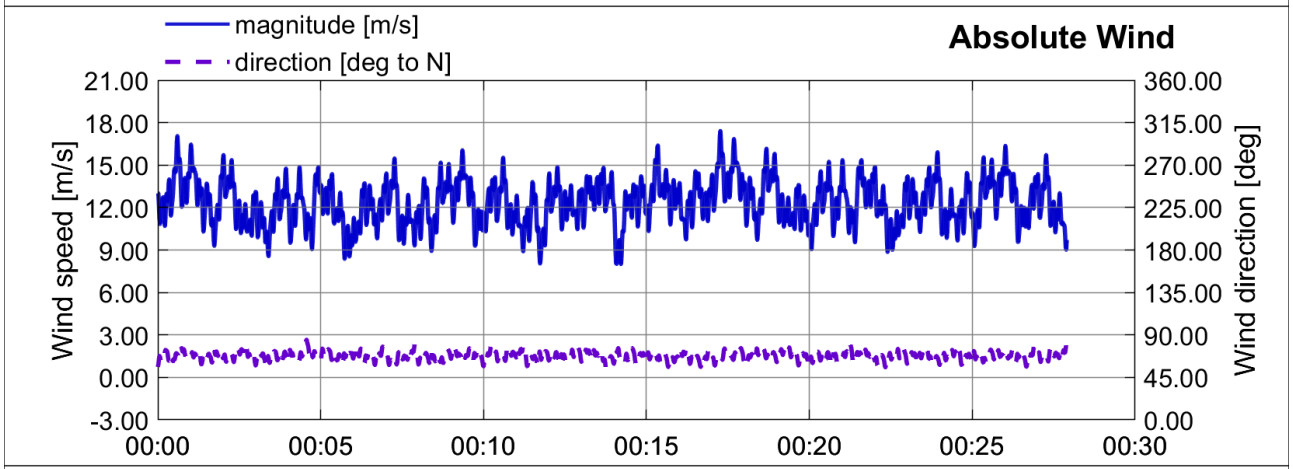
Omgevingscondities

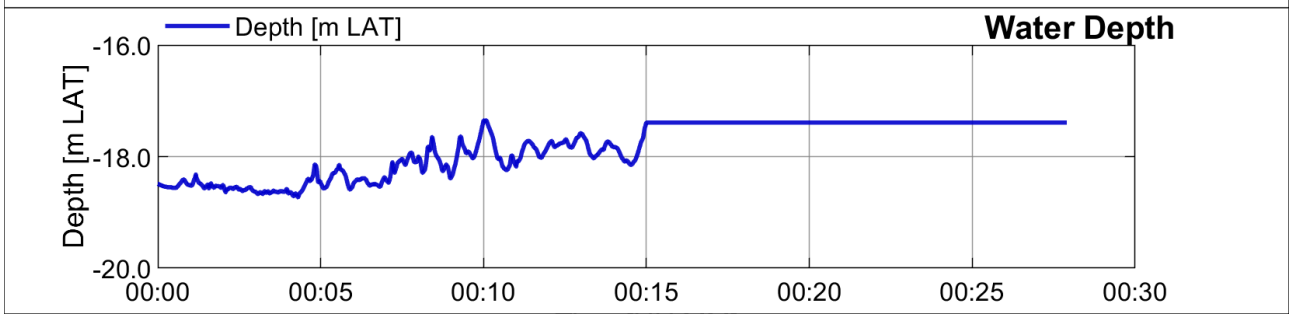
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 18	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







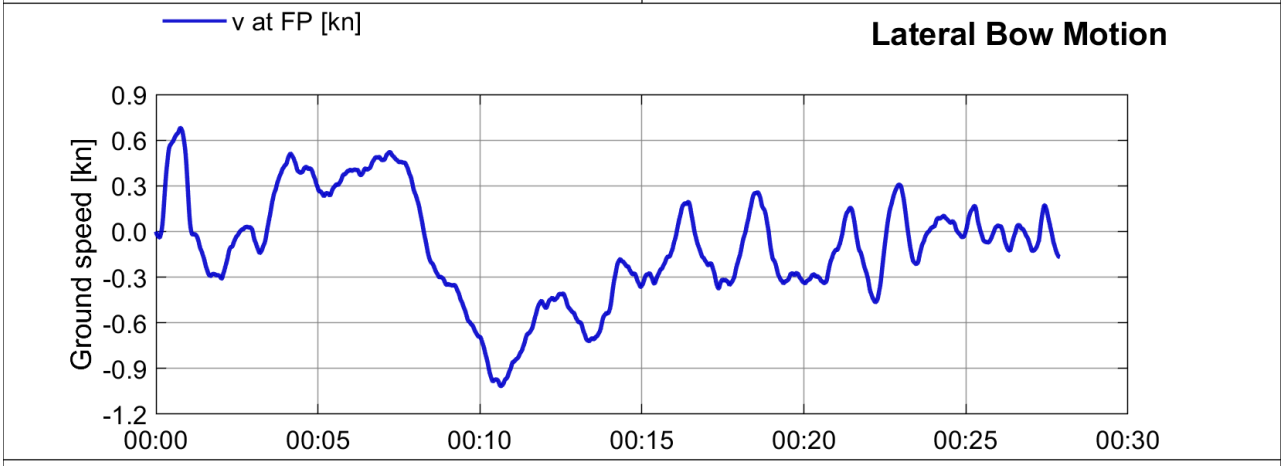


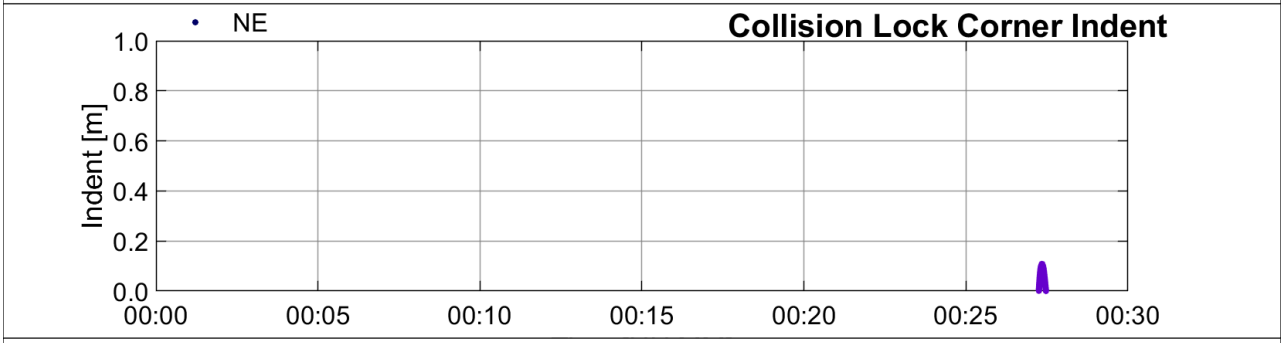
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

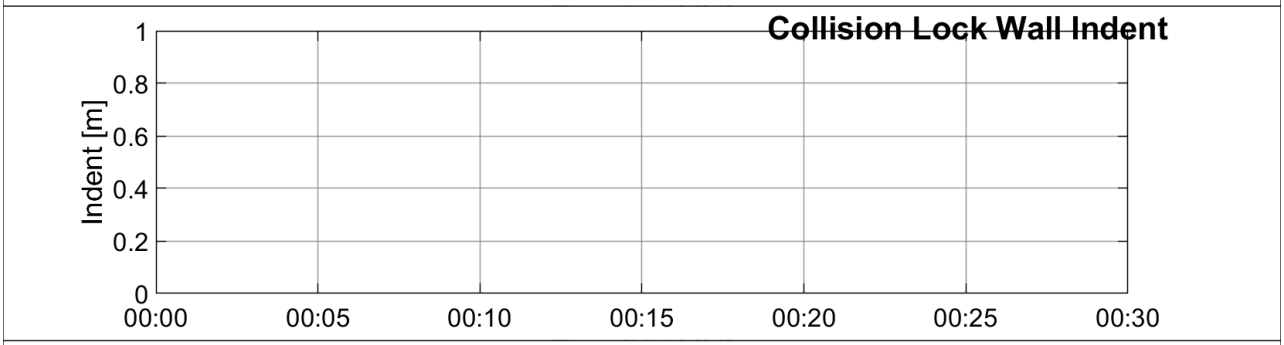
Contacten

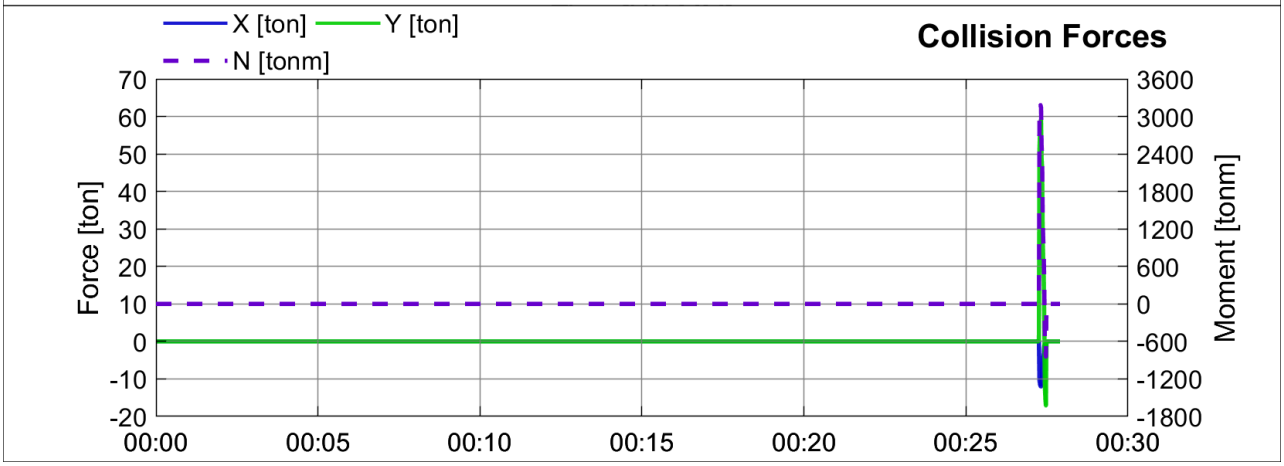
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 18	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







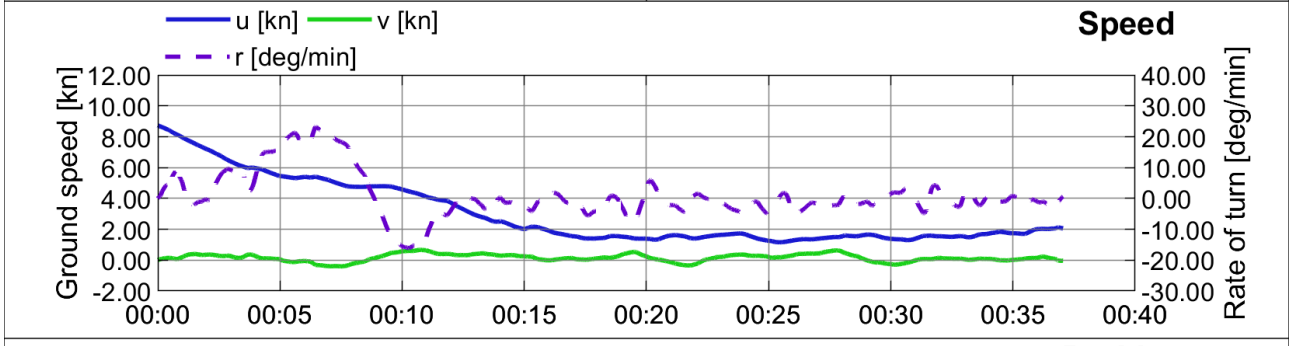


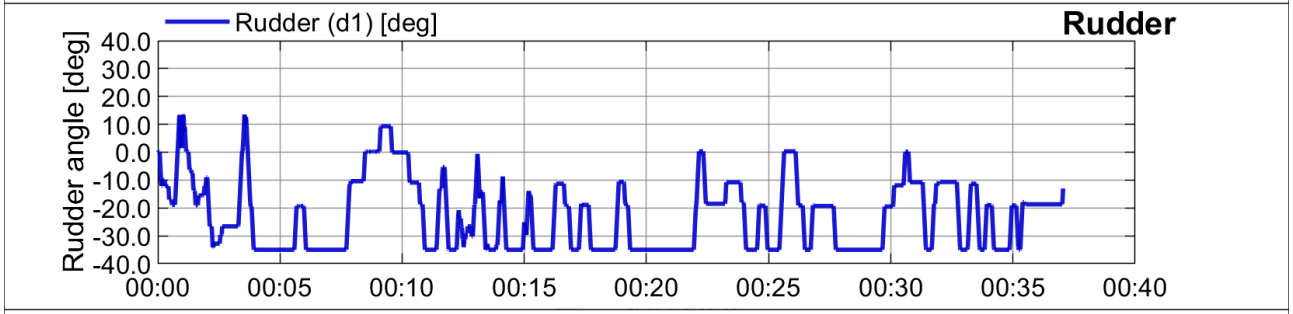
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

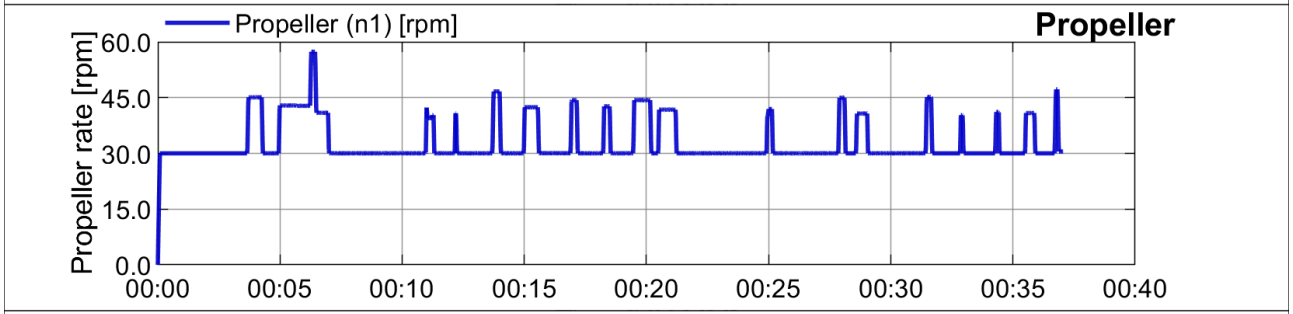
Manoeuvreereigenschappen

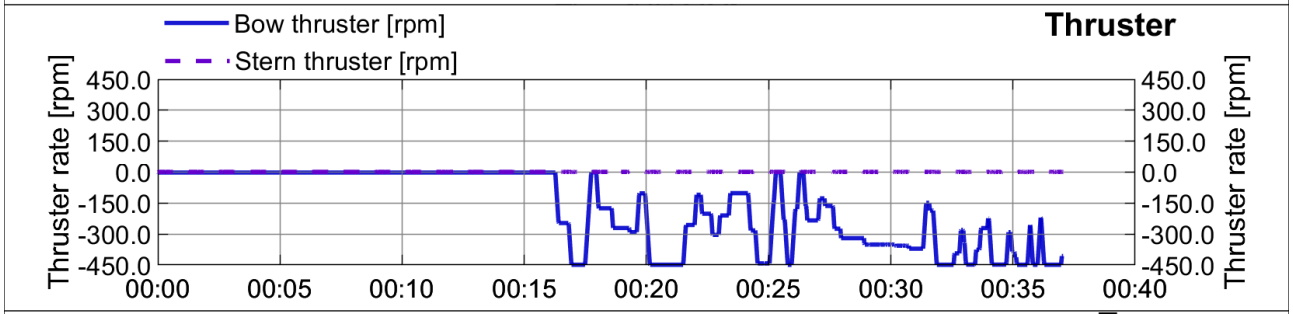
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

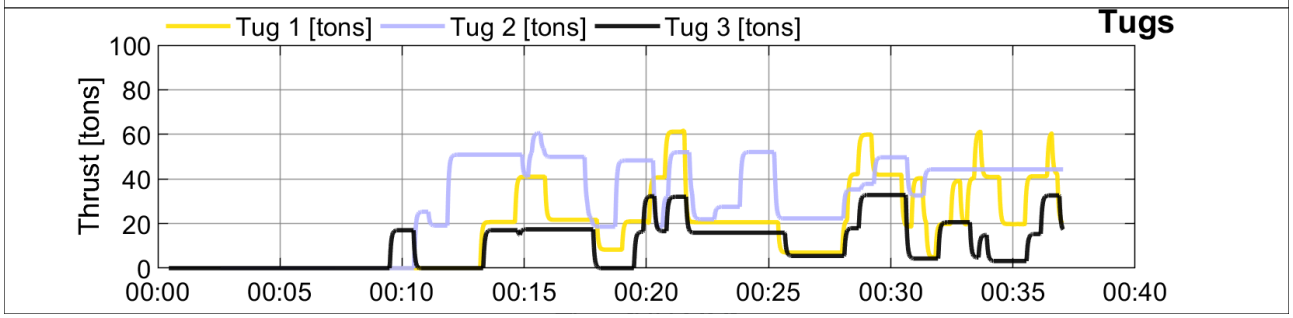
Simulatie: Buitenhaven HW 19	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









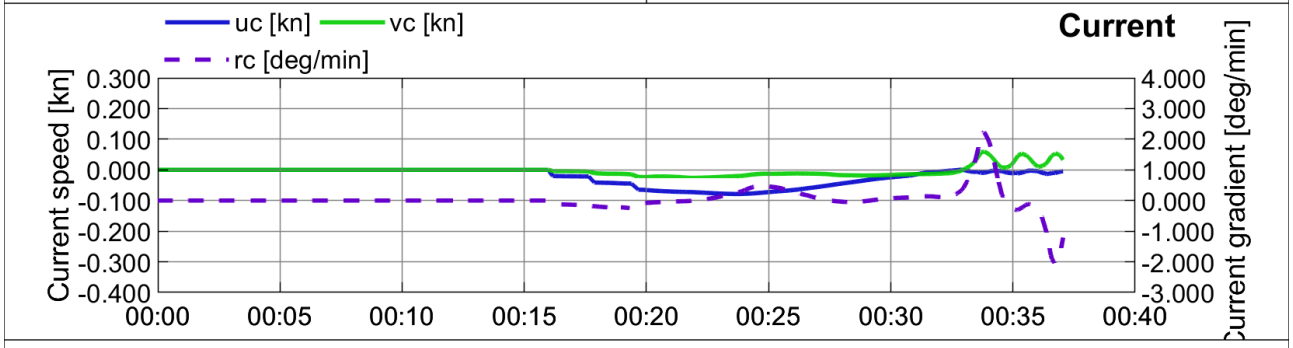


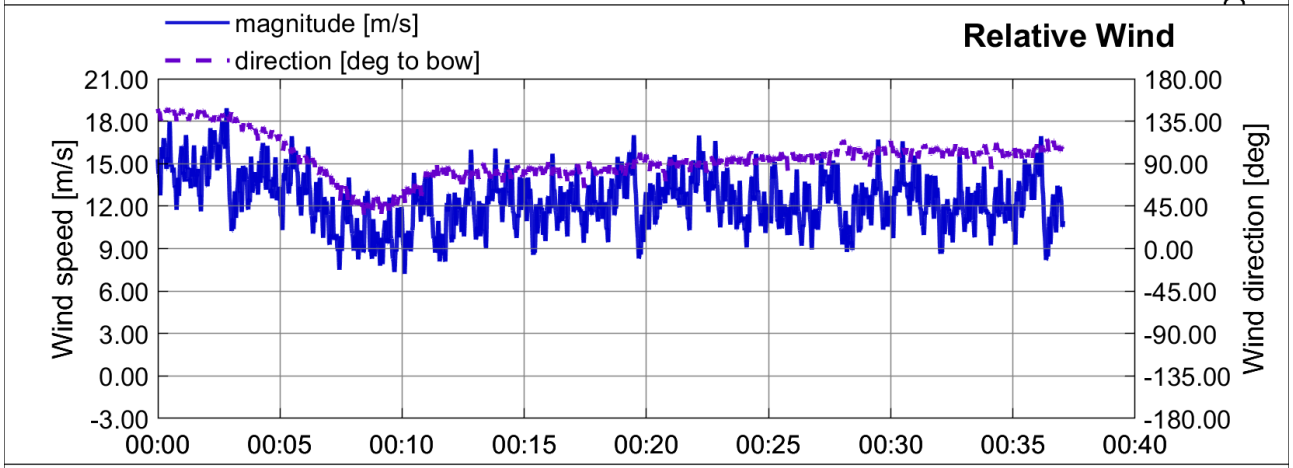
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

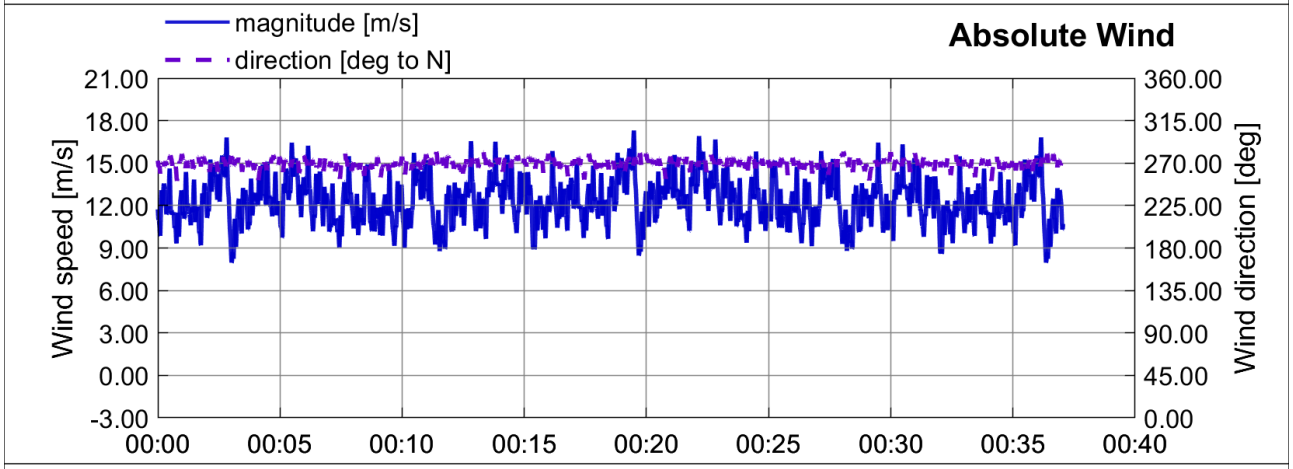
Omgevingscondities

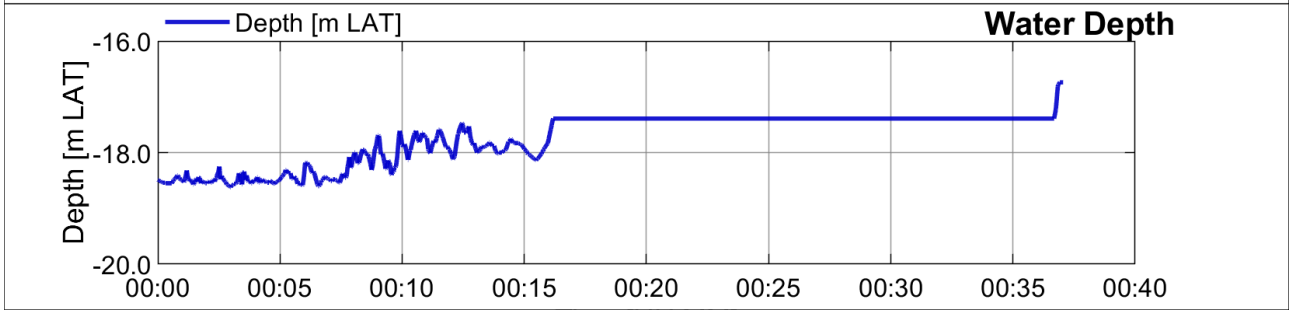
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 19	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







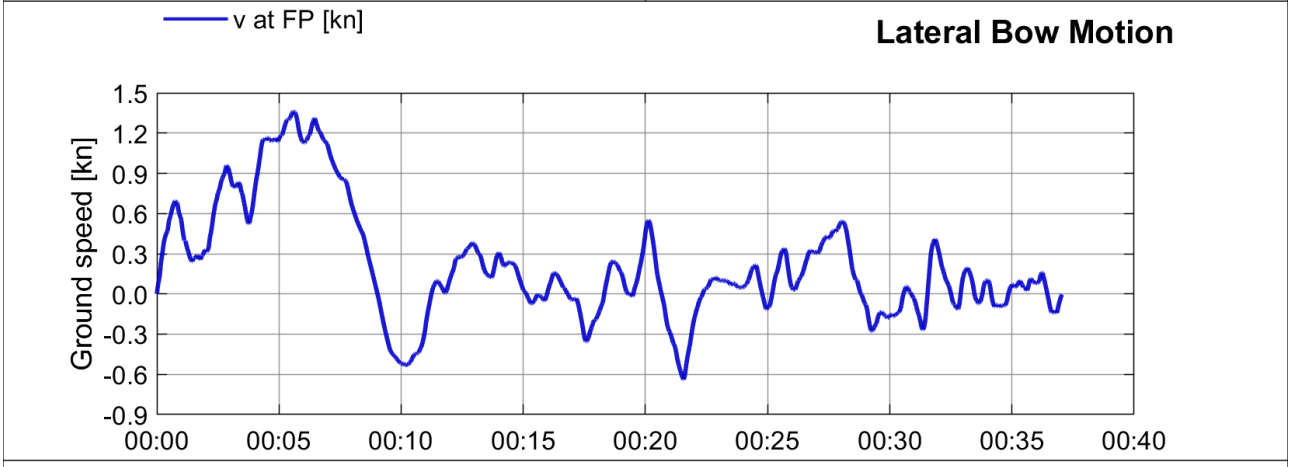


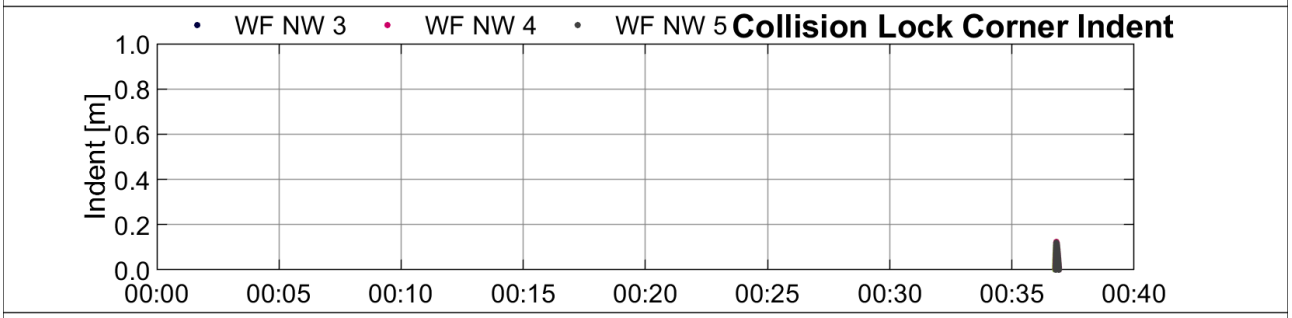
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

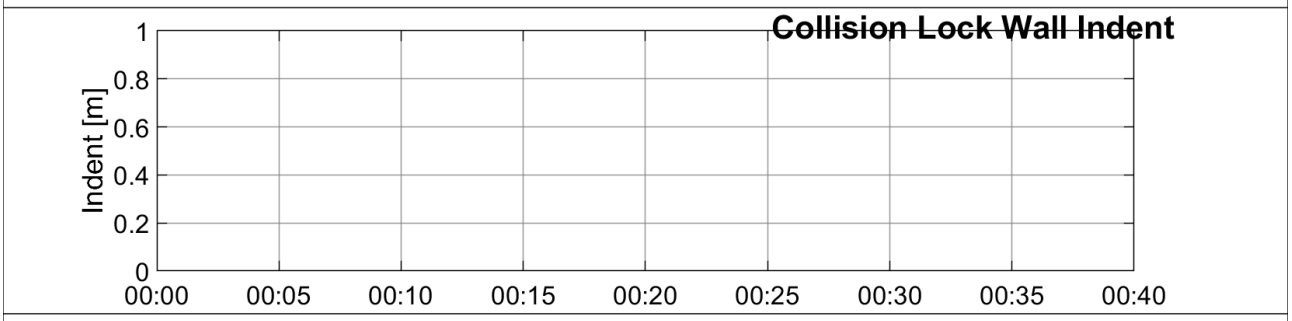
Contacten

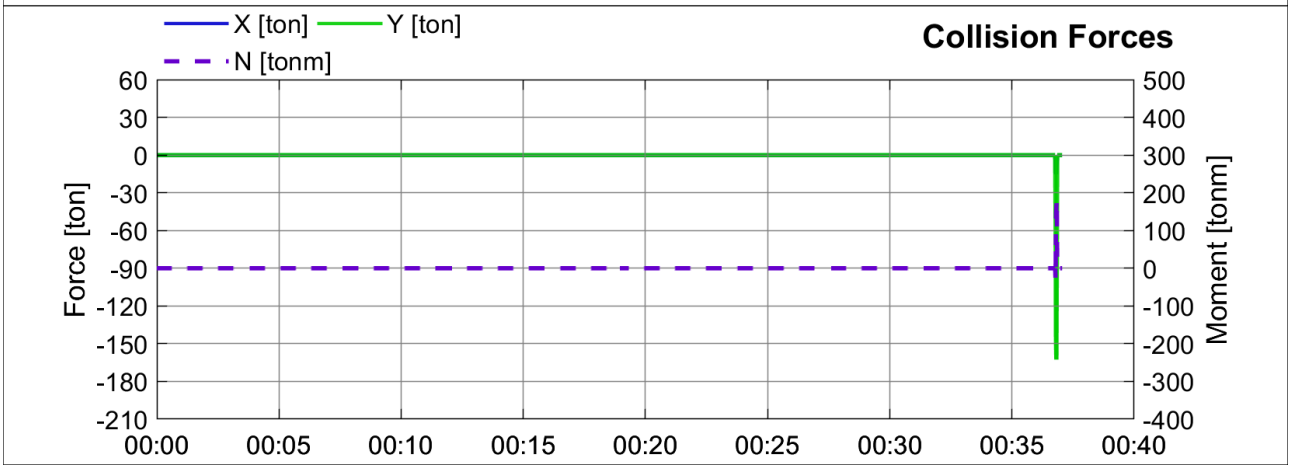
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 19	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 13/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







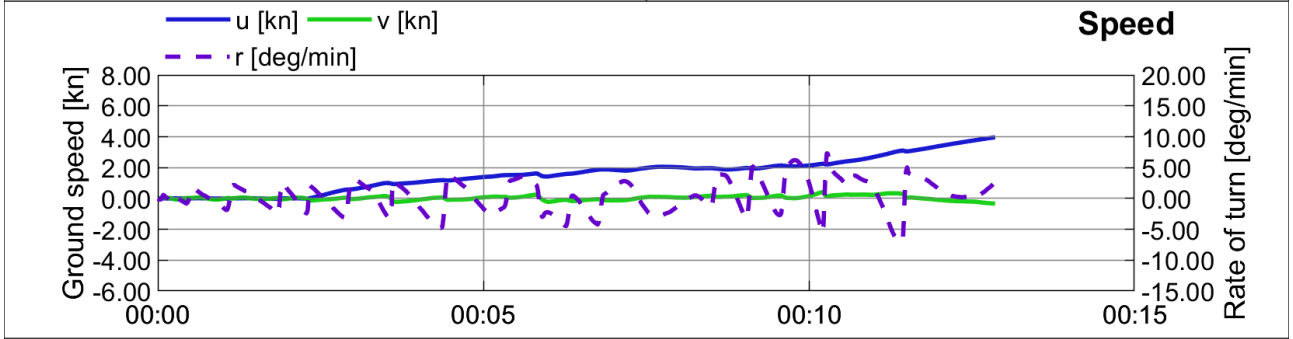


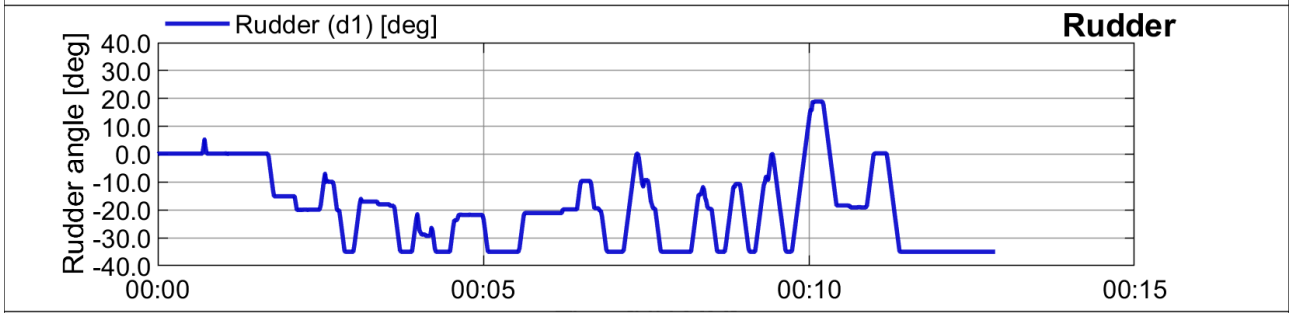
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

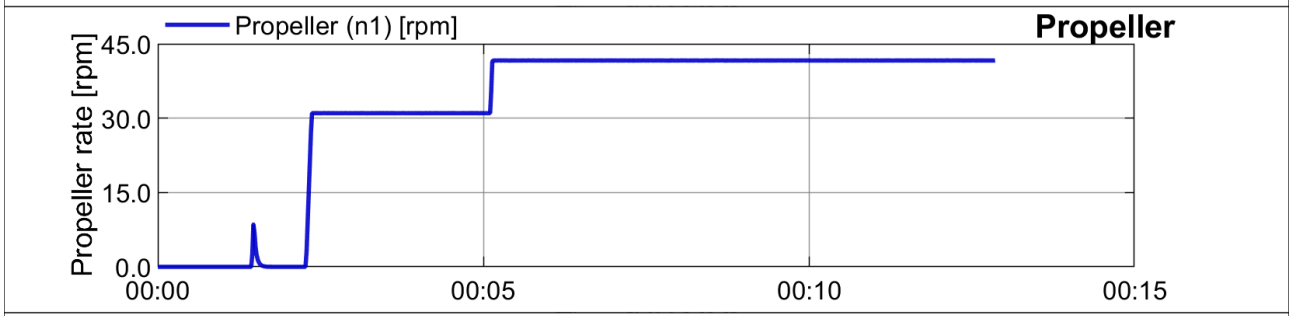
Manoeuvreereigenschappen

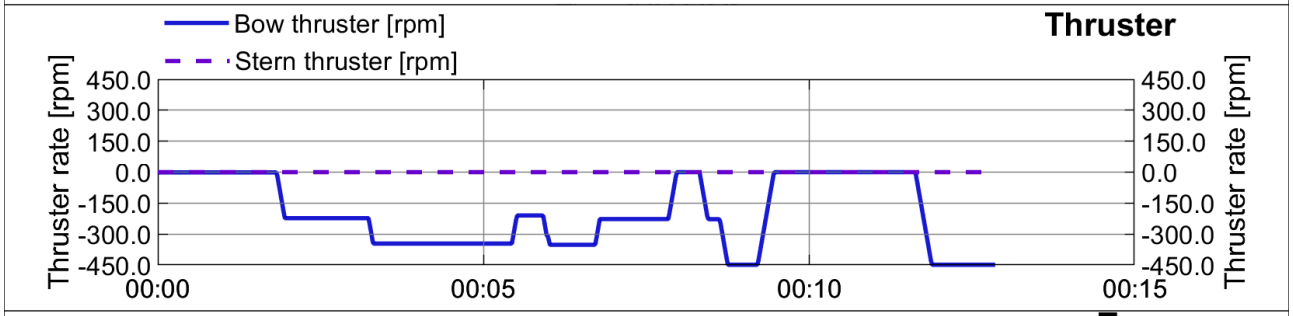
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

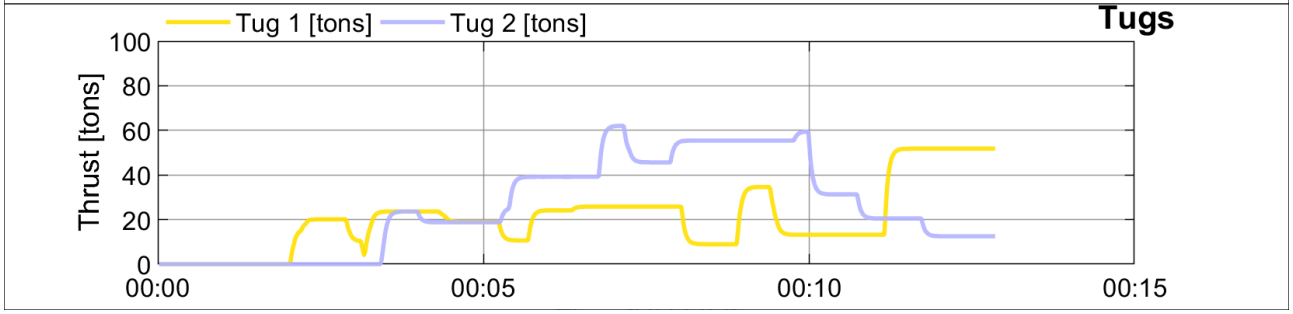
Simulatie: Buitenhaven HP 20	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









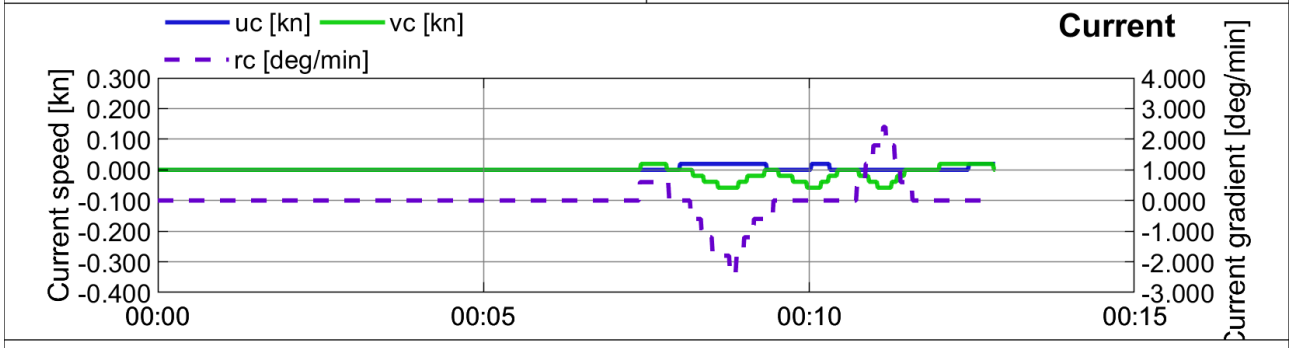


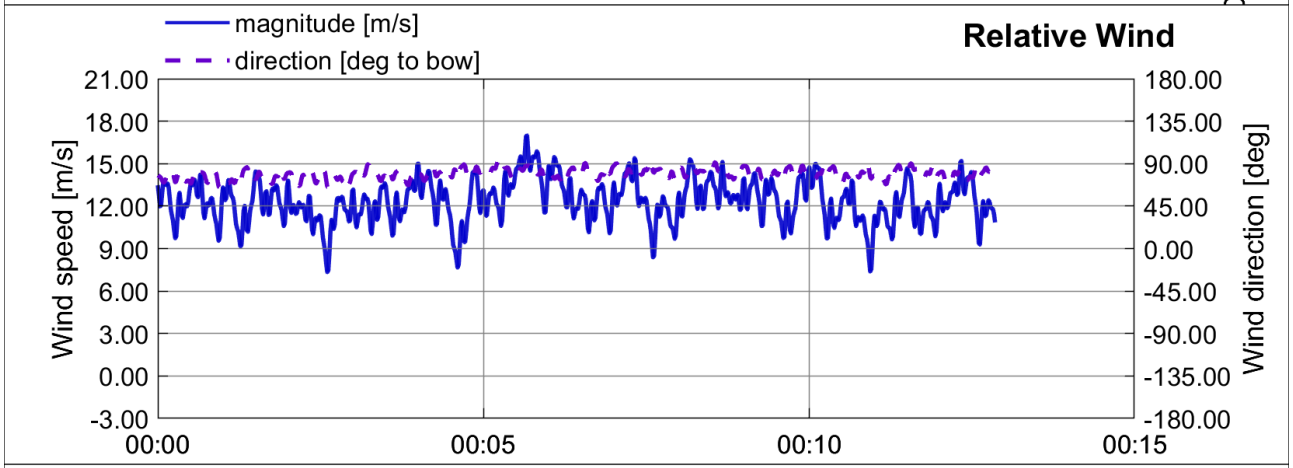
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

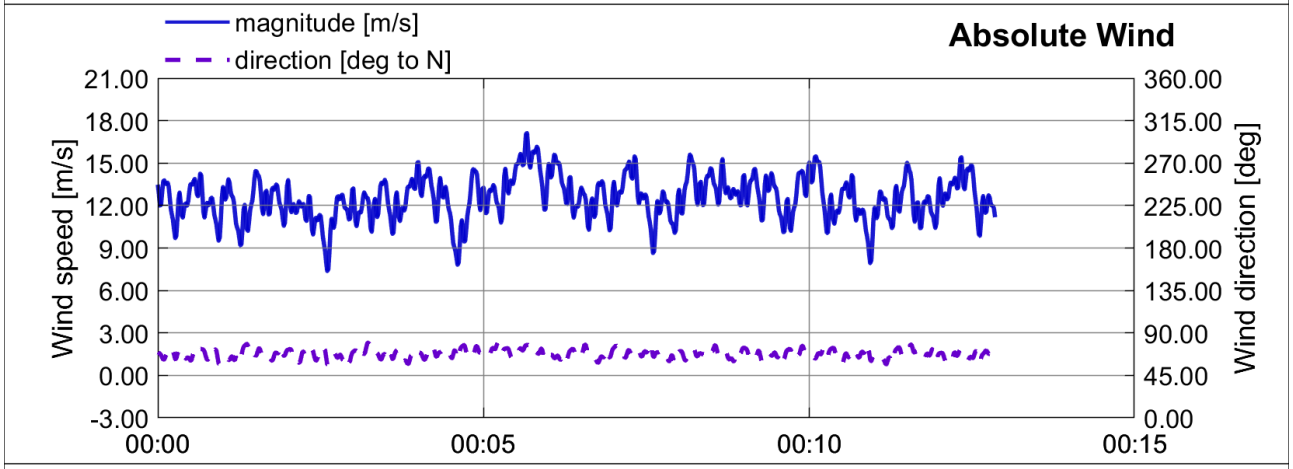
Omgevingscondities

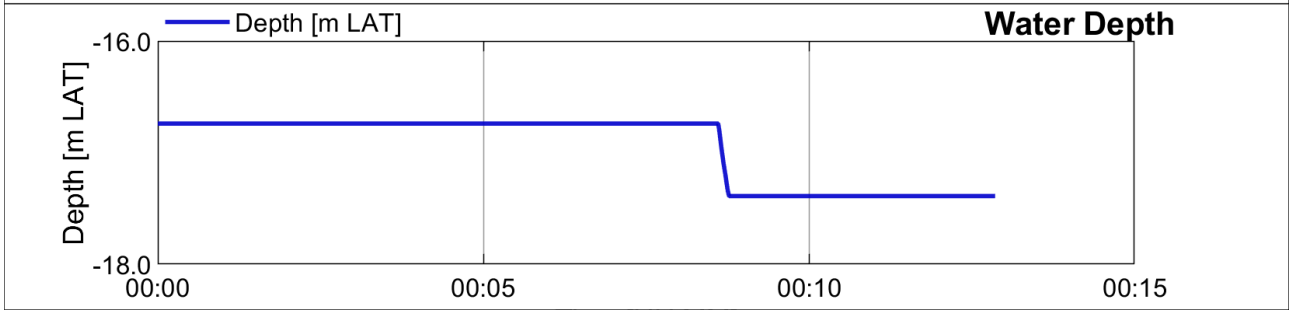
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 20	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







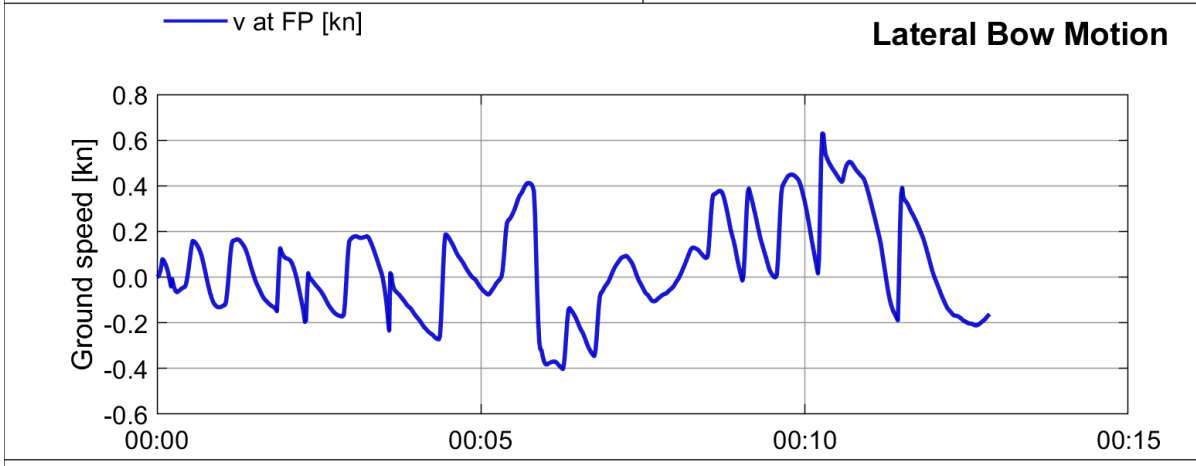


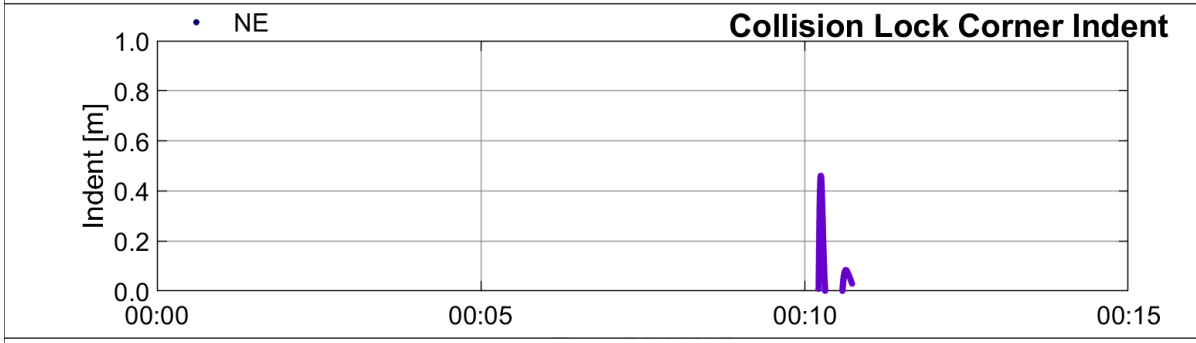
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

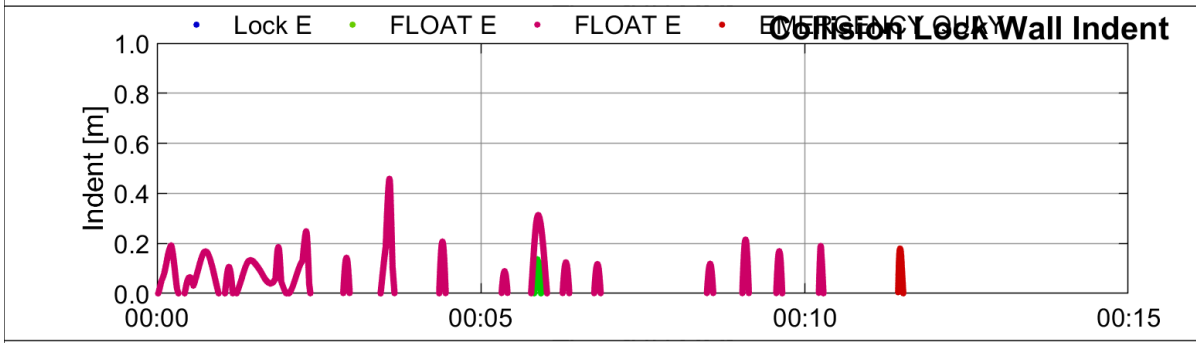
Contacten

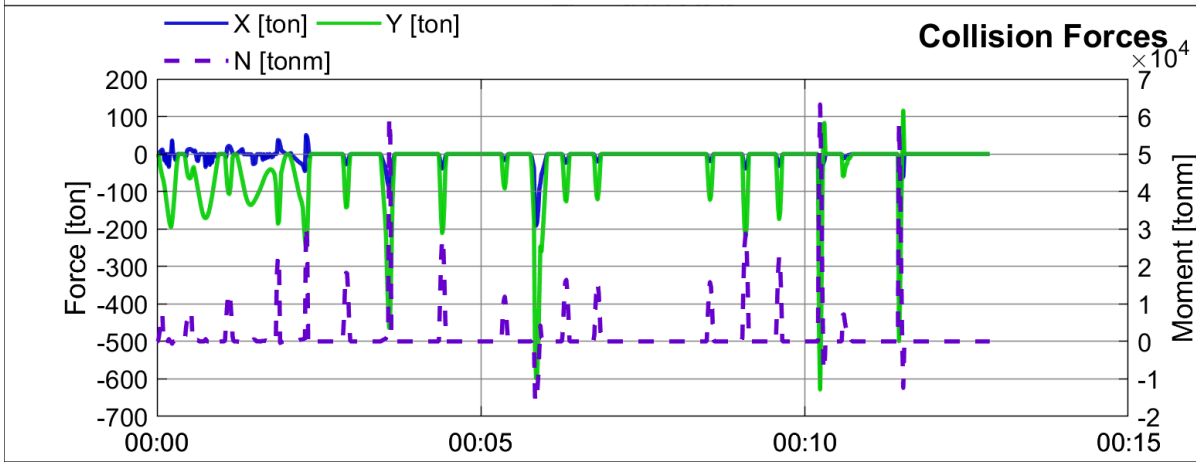
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 20	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







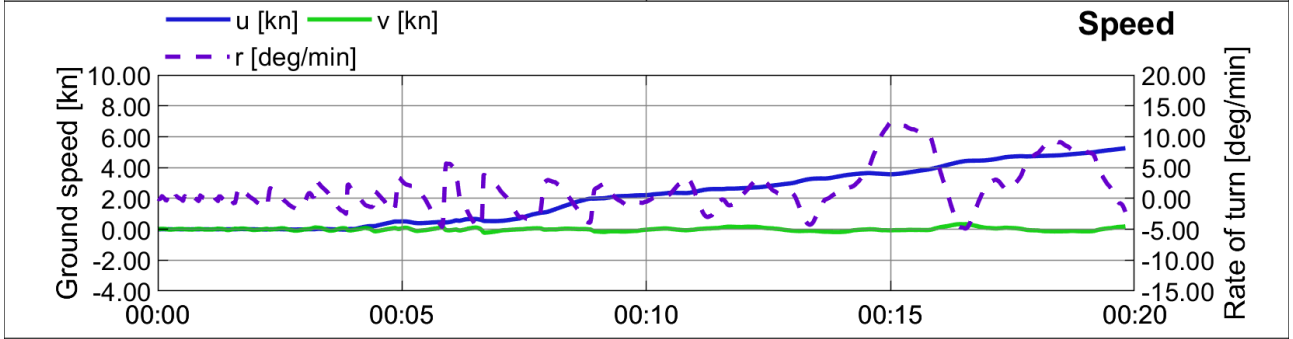


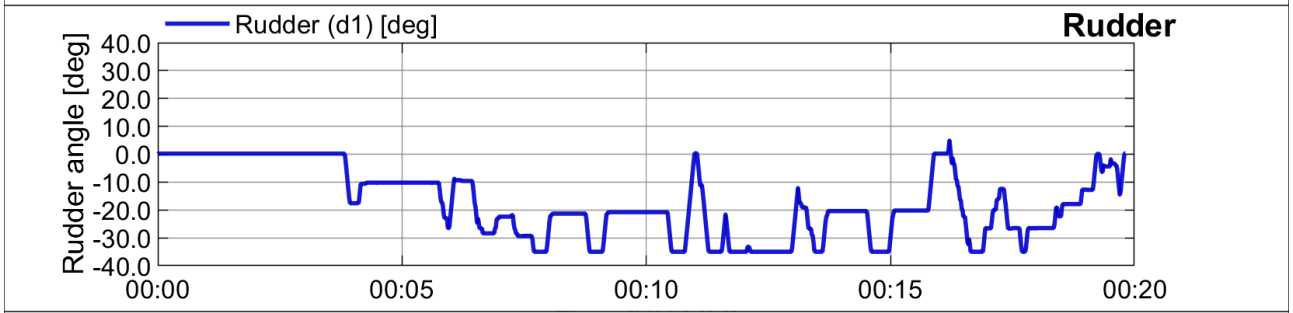
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

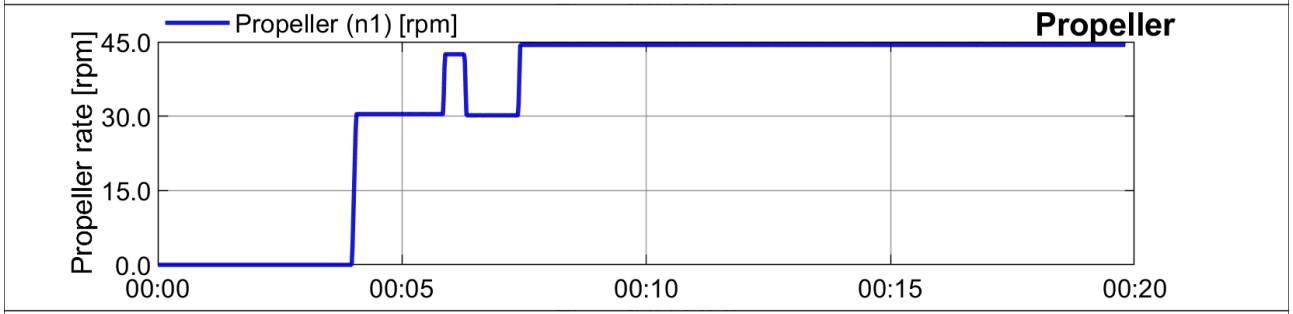
Manoeuvreereigenschappen

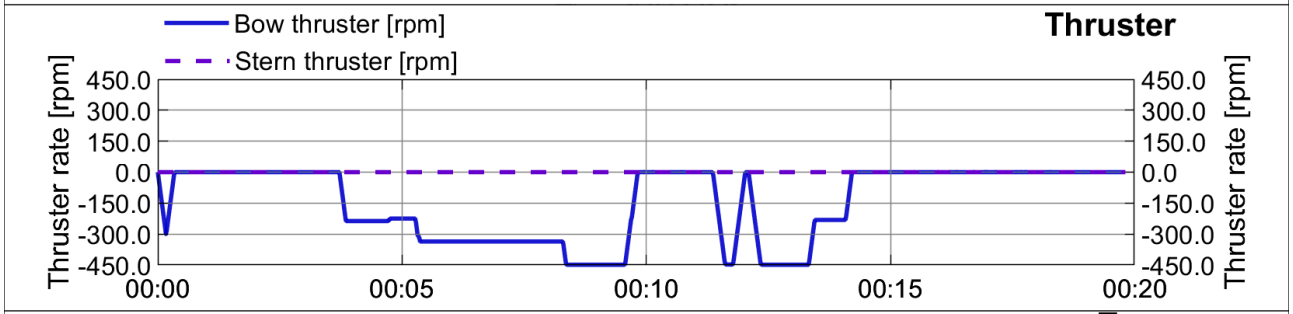
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

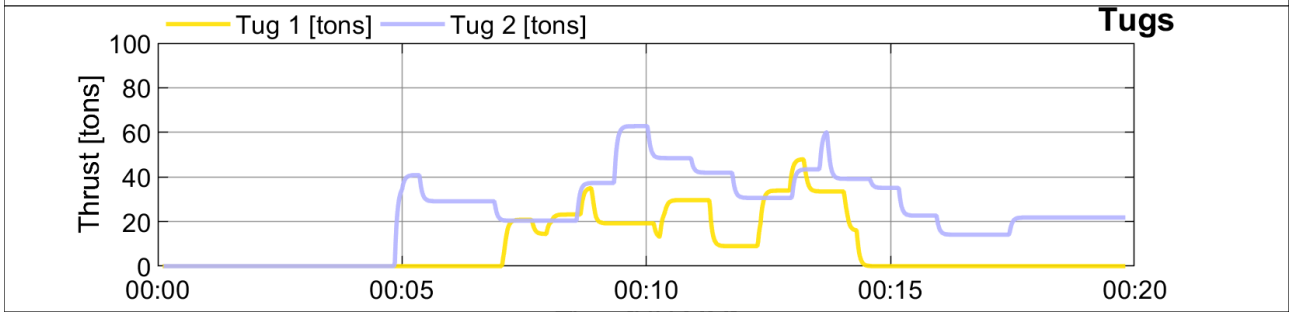
Simulatie: Buitenhaven HP 21	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









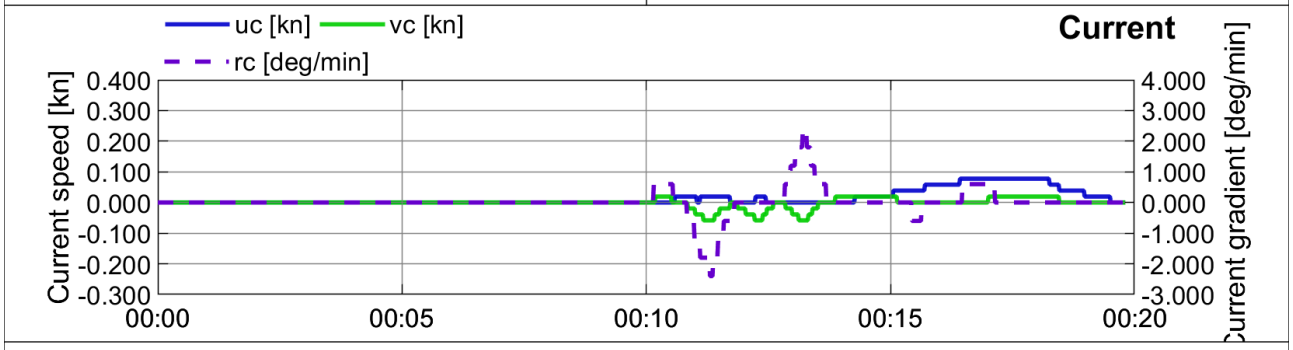


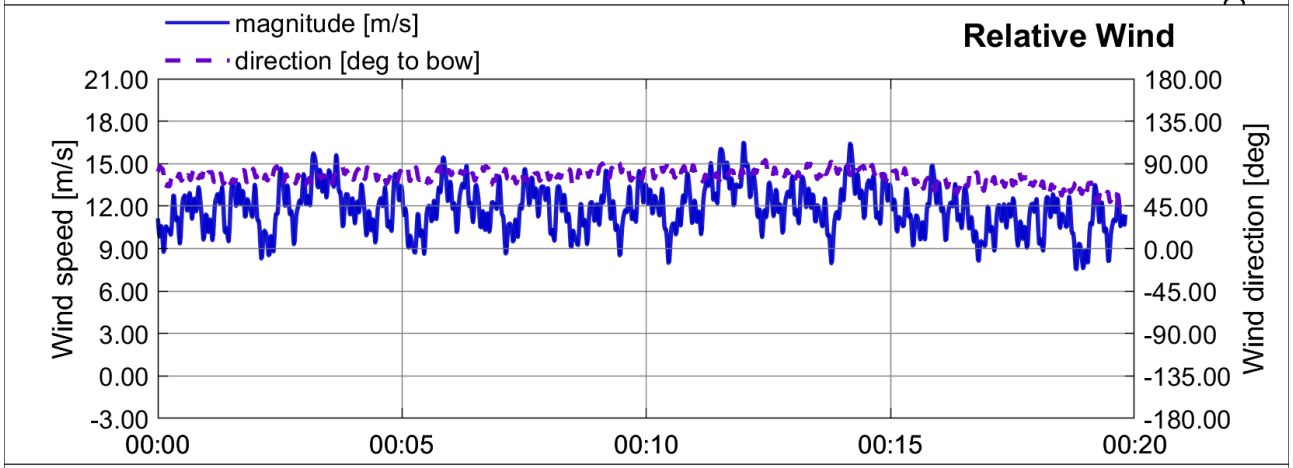
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

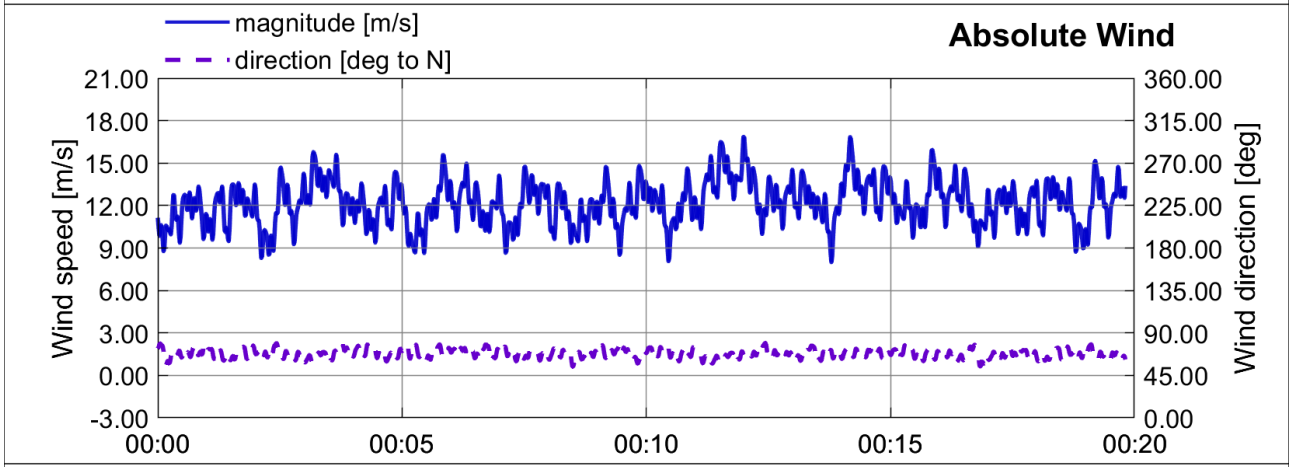
Omgevingscondities

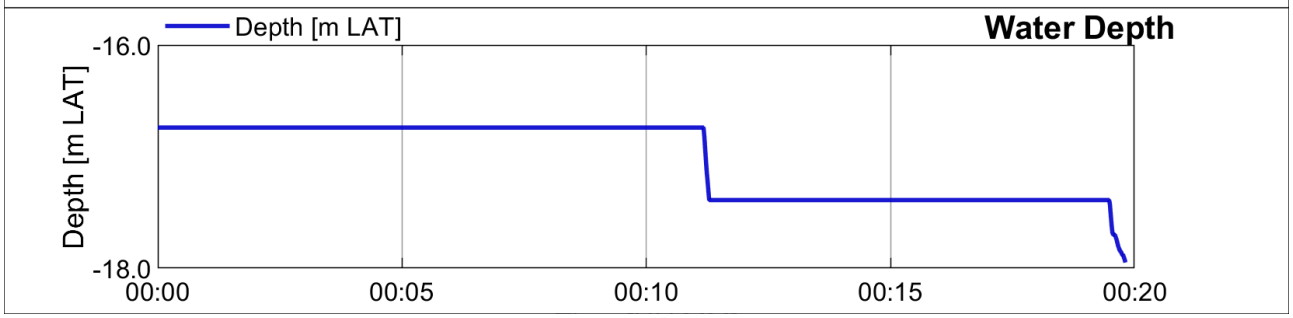
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 21	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







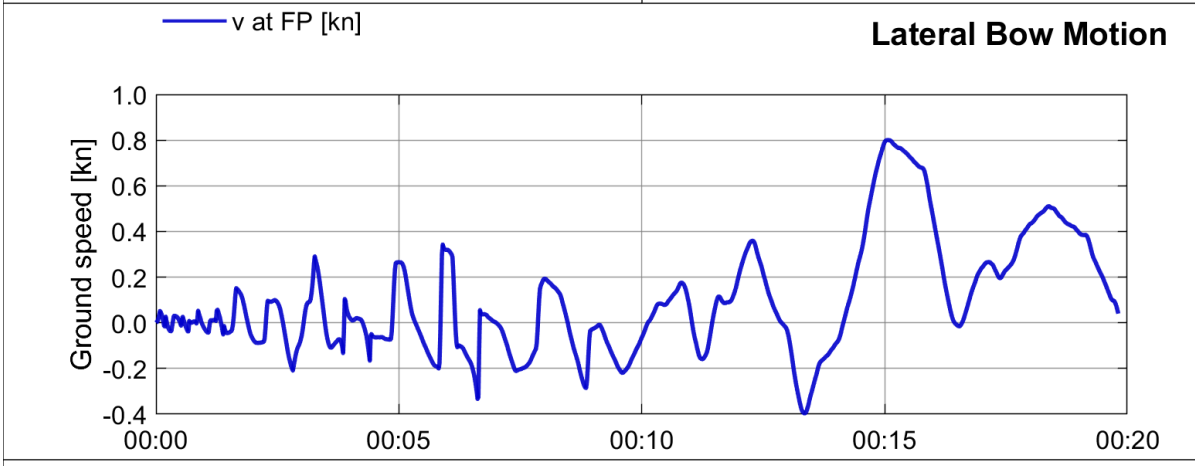


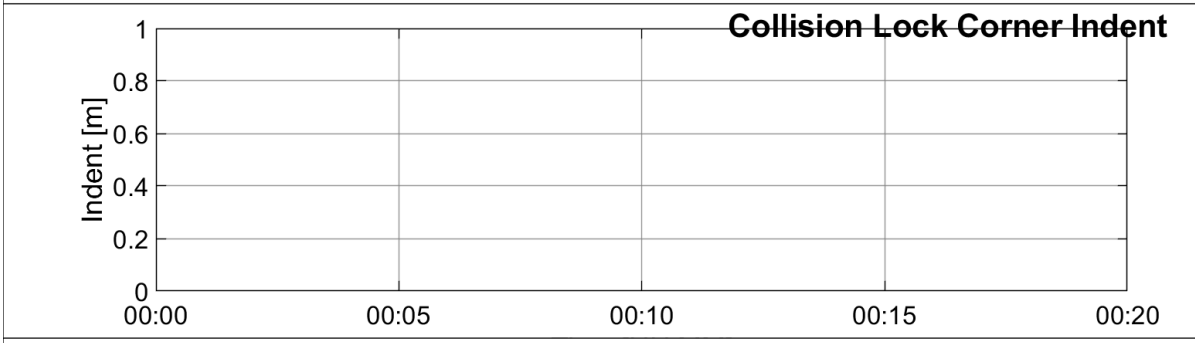
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

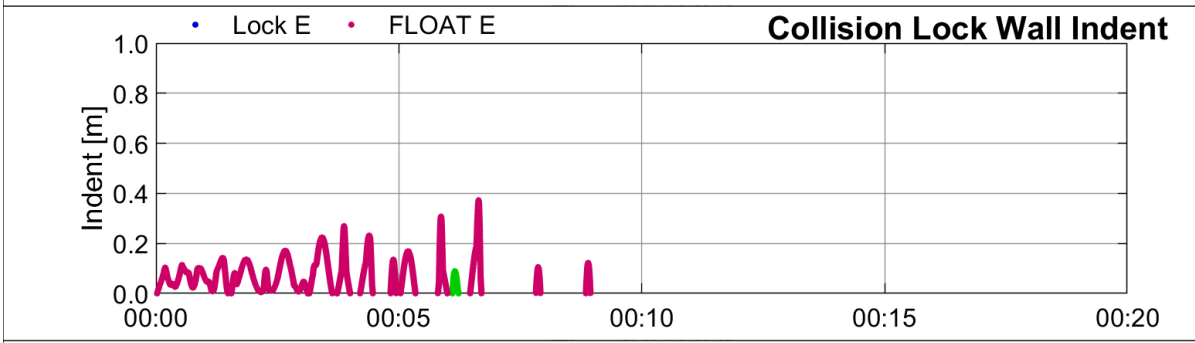
Contacten

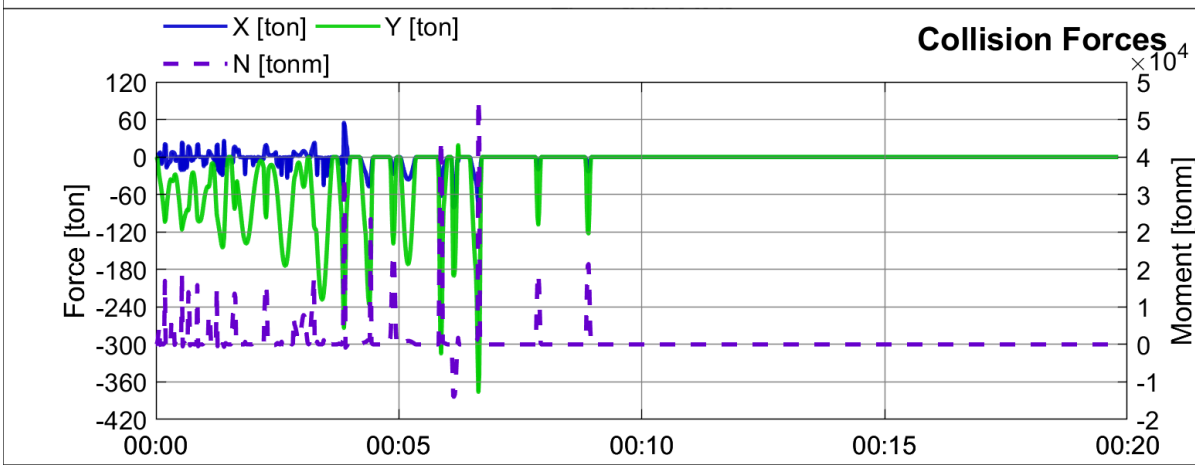
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 21	Wind: WZW6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







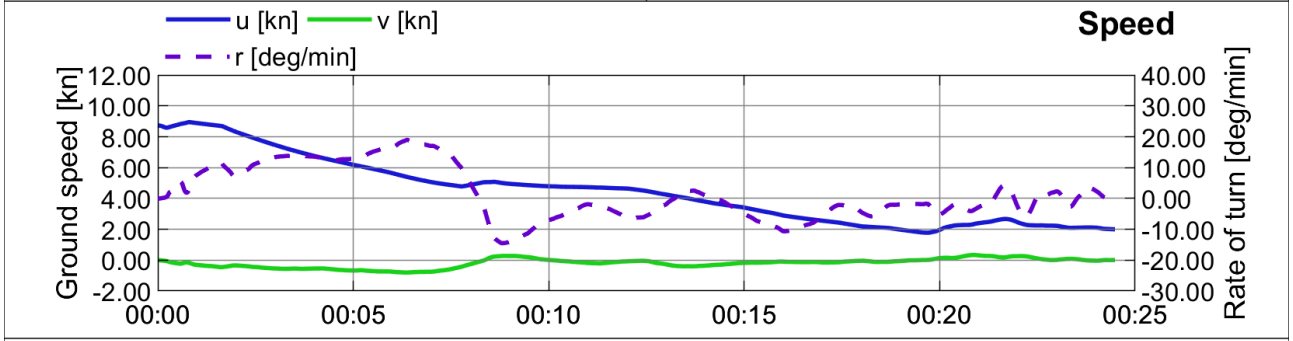


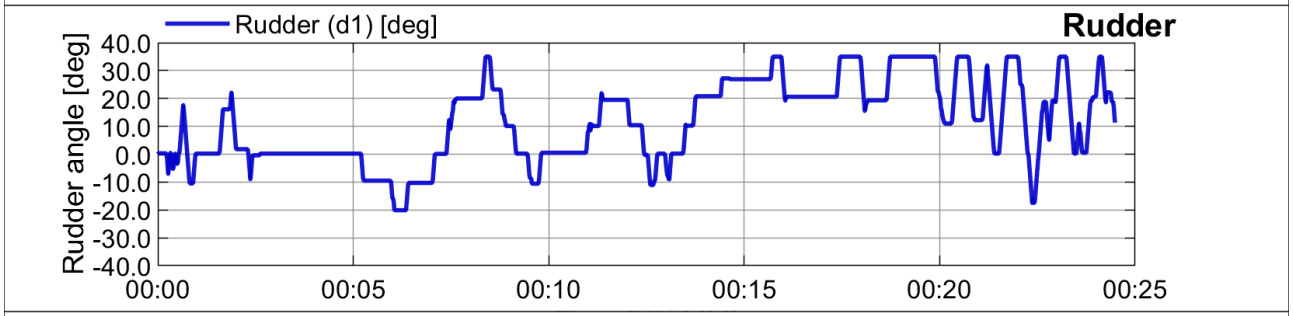
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

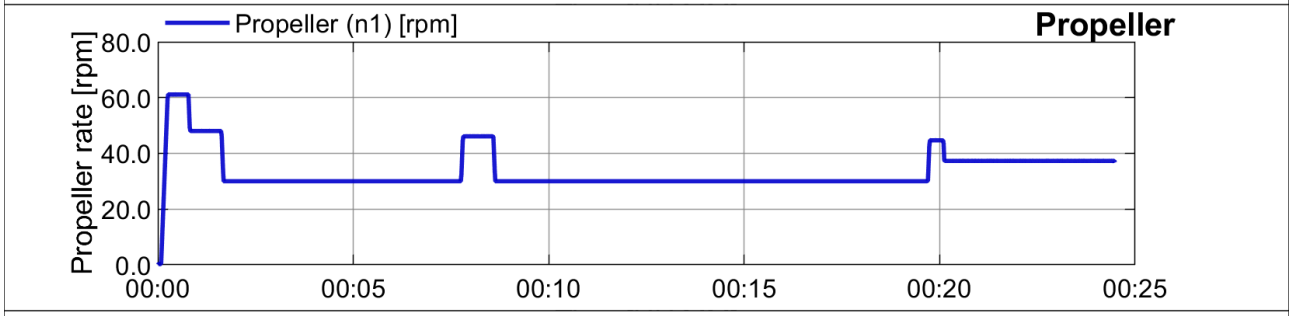
Manoeuvreereigenschappen

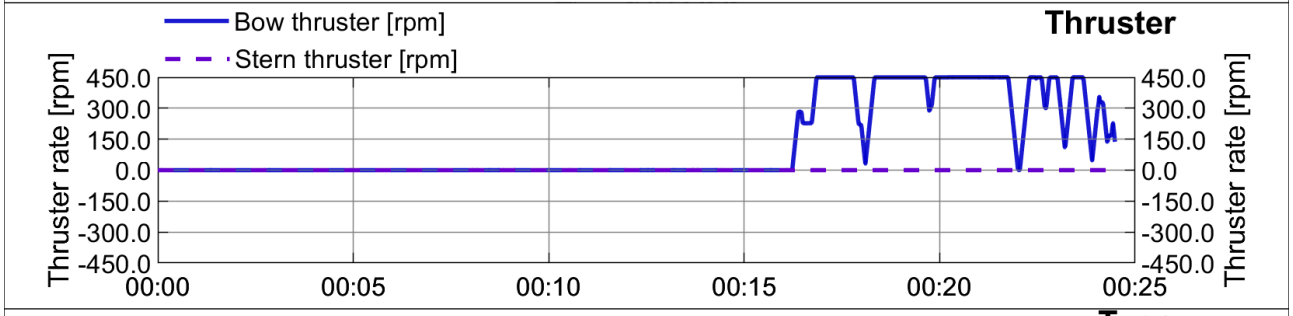
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

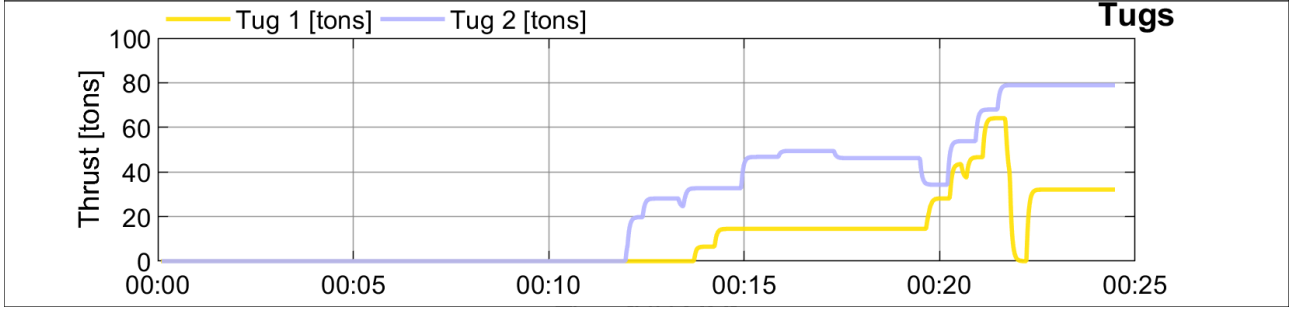
Simulatie: Buitenhaven HP 22	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen









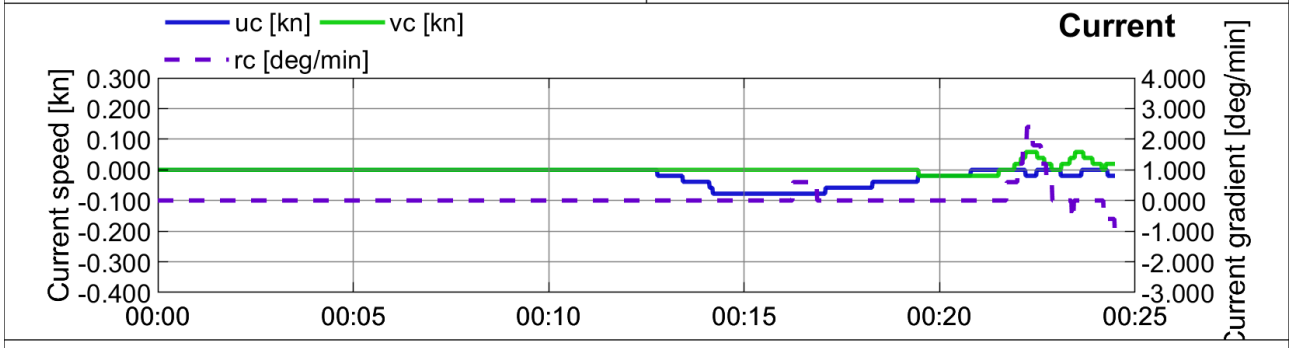


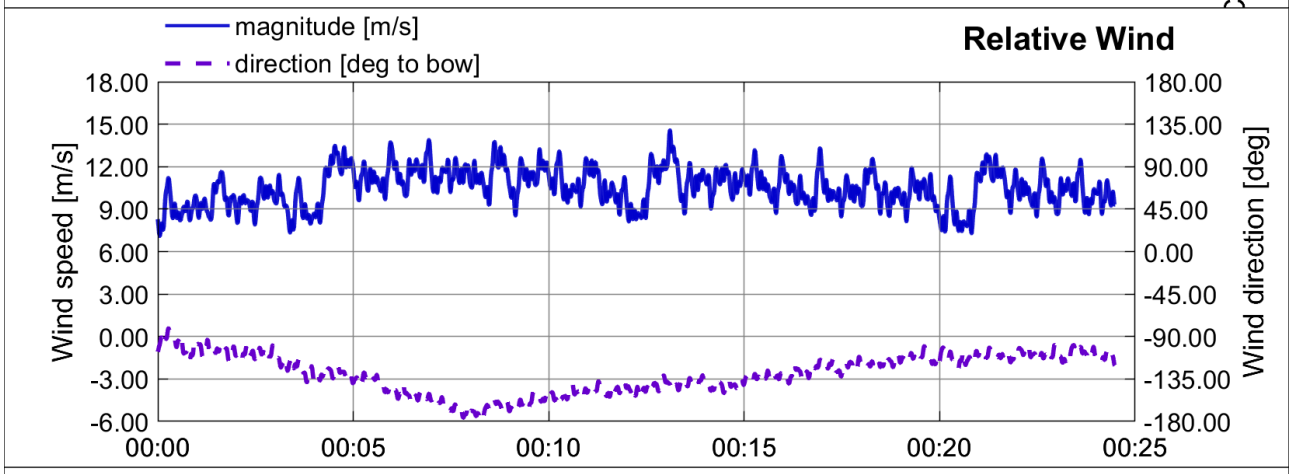
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

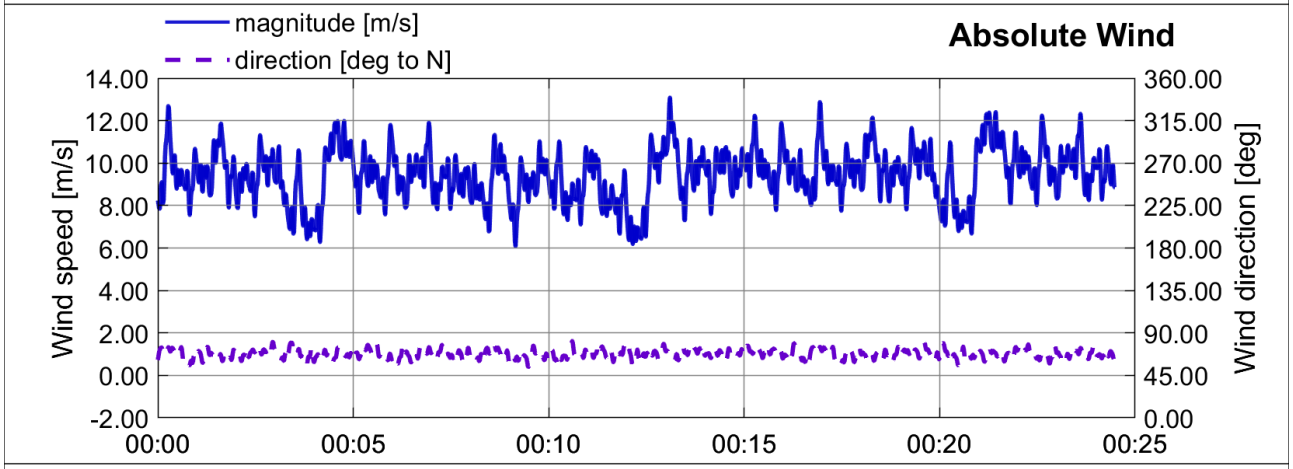
Omgevingscondities

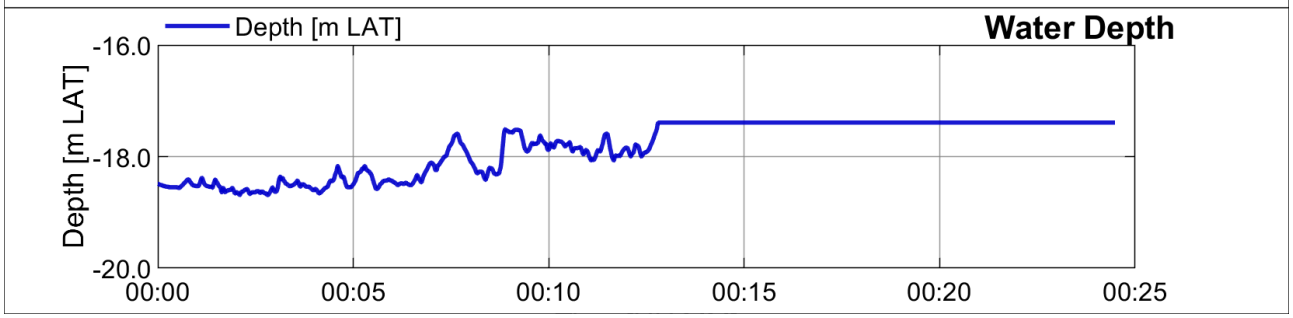
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 22	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







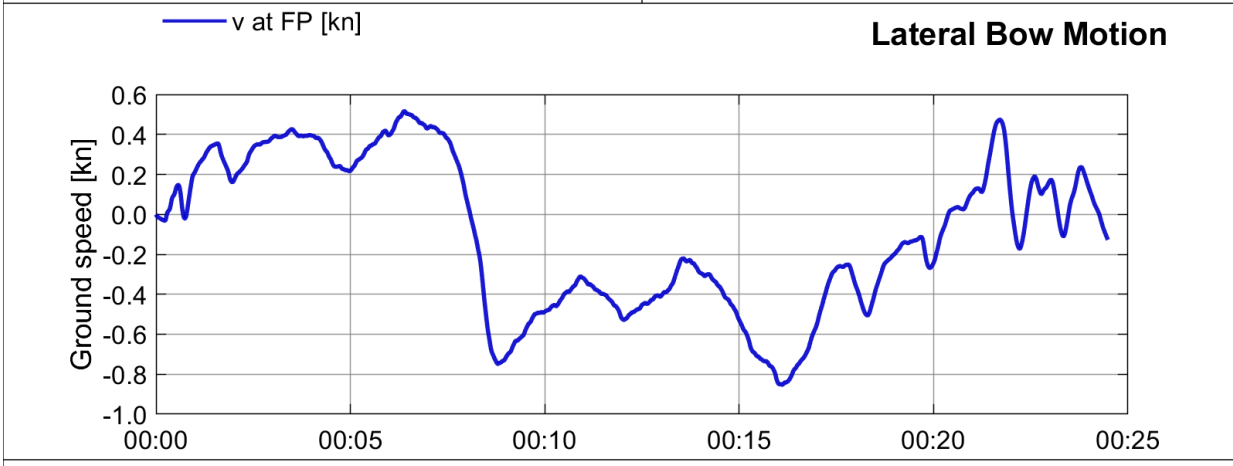


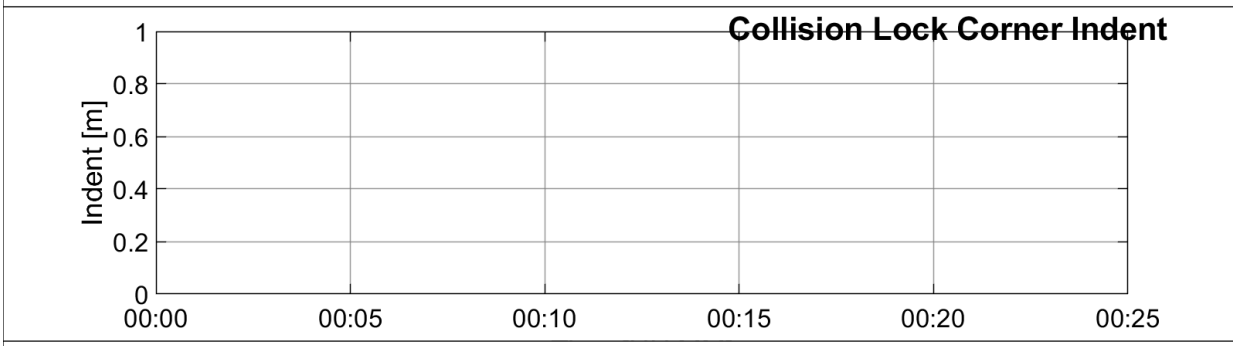
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

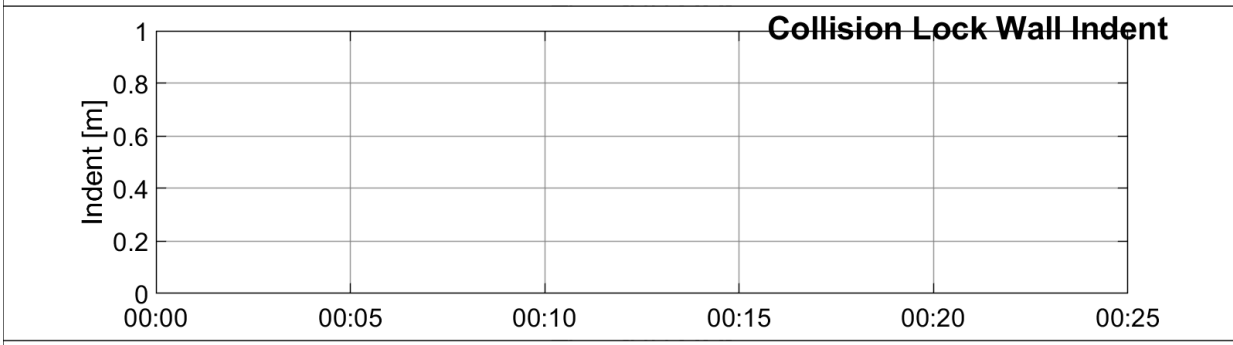
Contacten

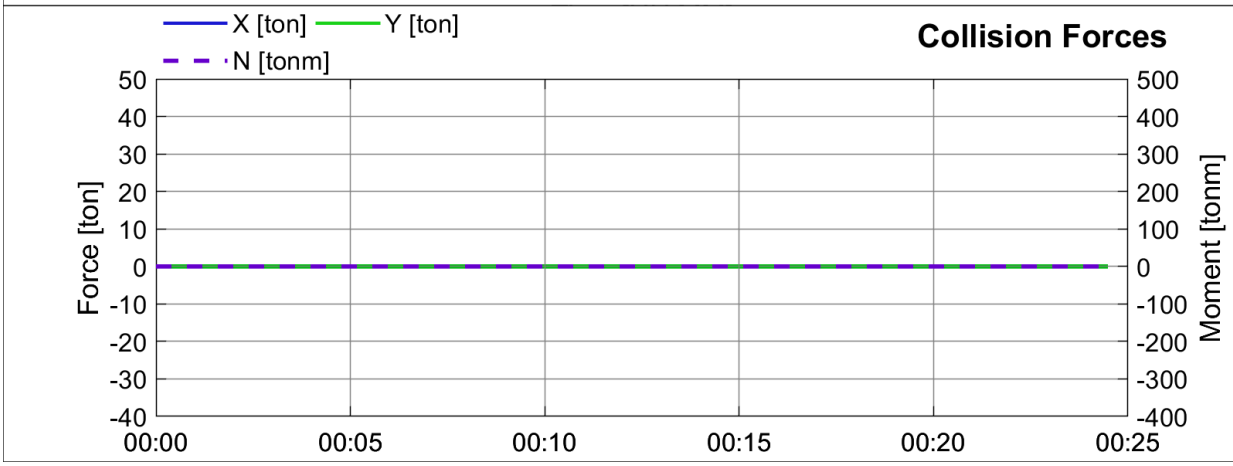
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HP 22	Wind: WZW5
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: buispalen







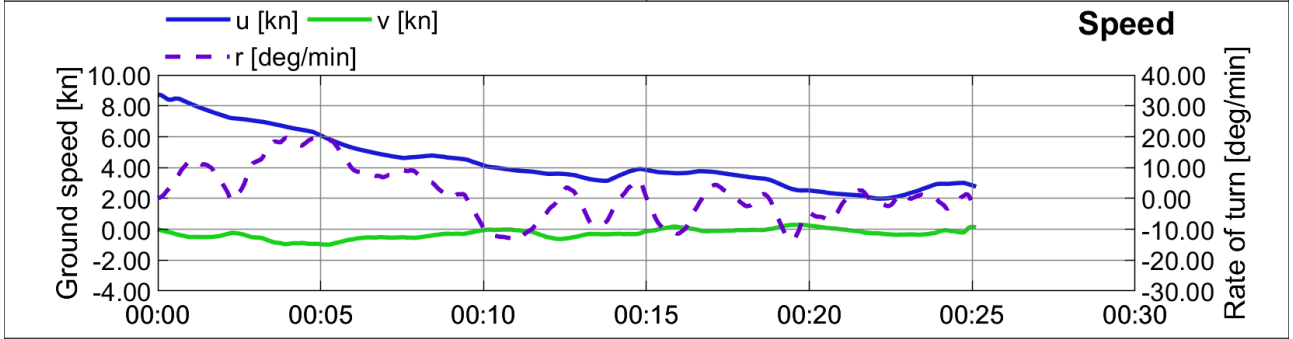


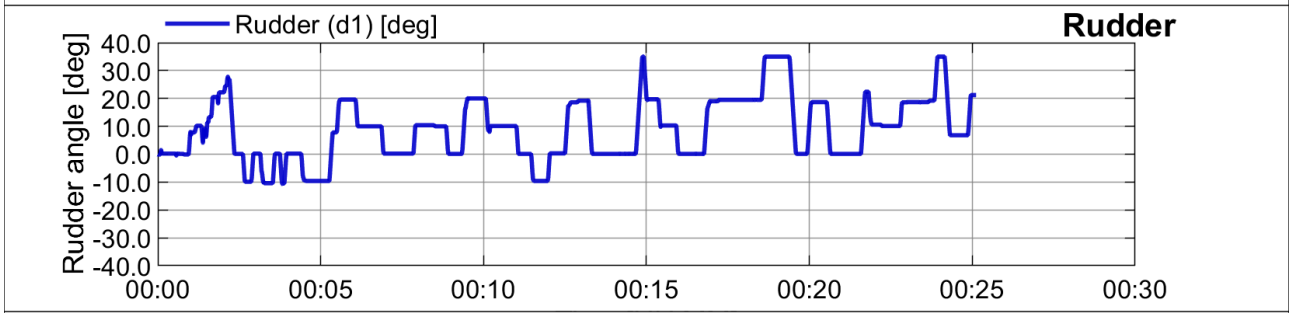
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

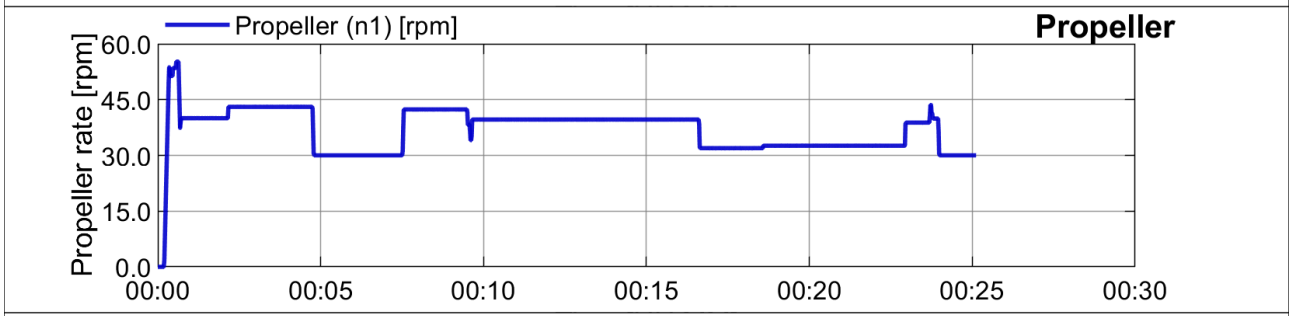
Manoeuvreereigenschappen

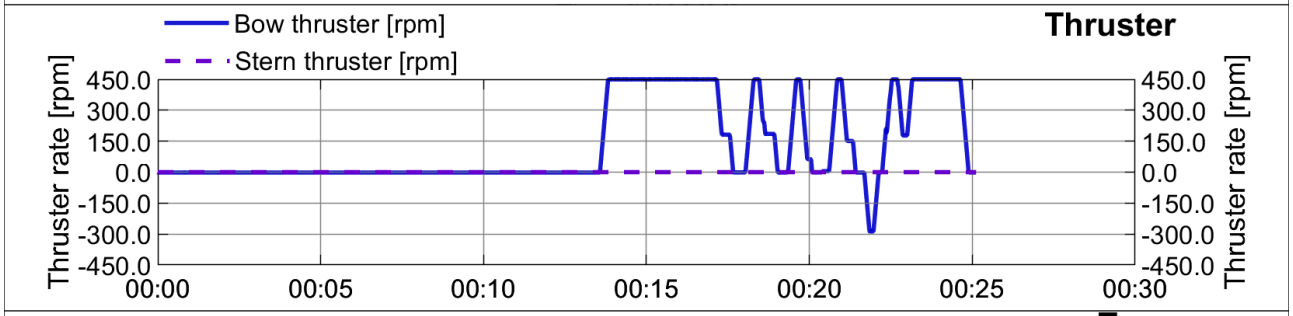
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

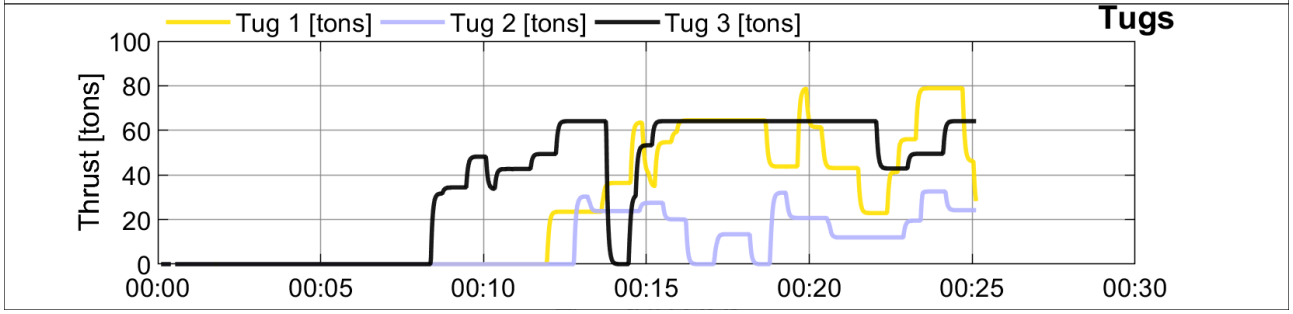
Simulatie: Buitenhaven HW 23	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









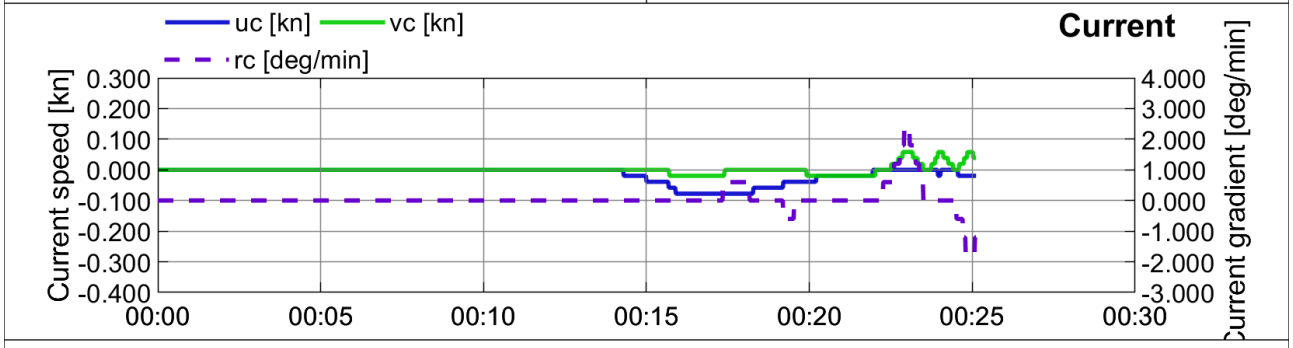


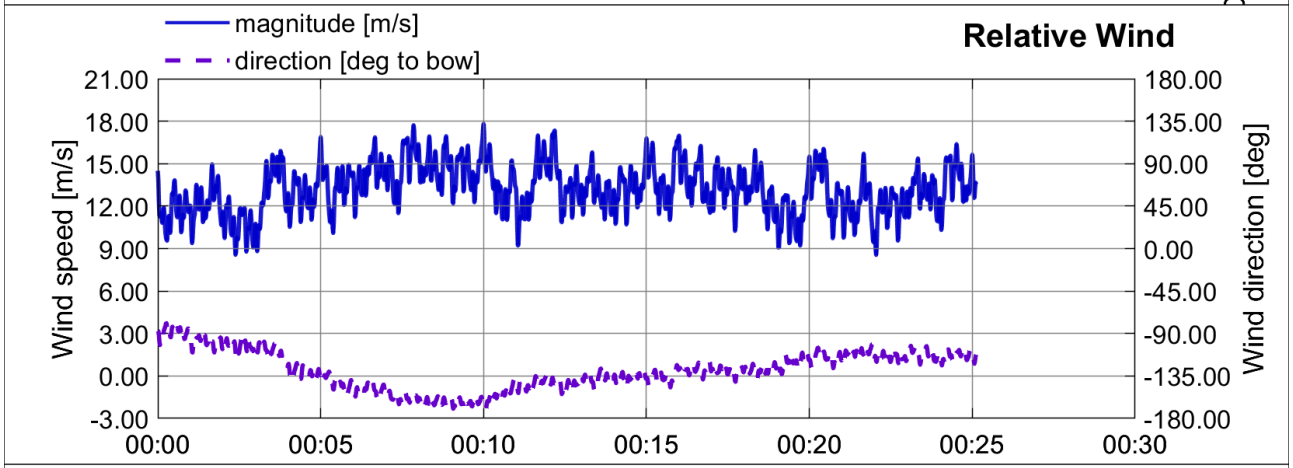
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

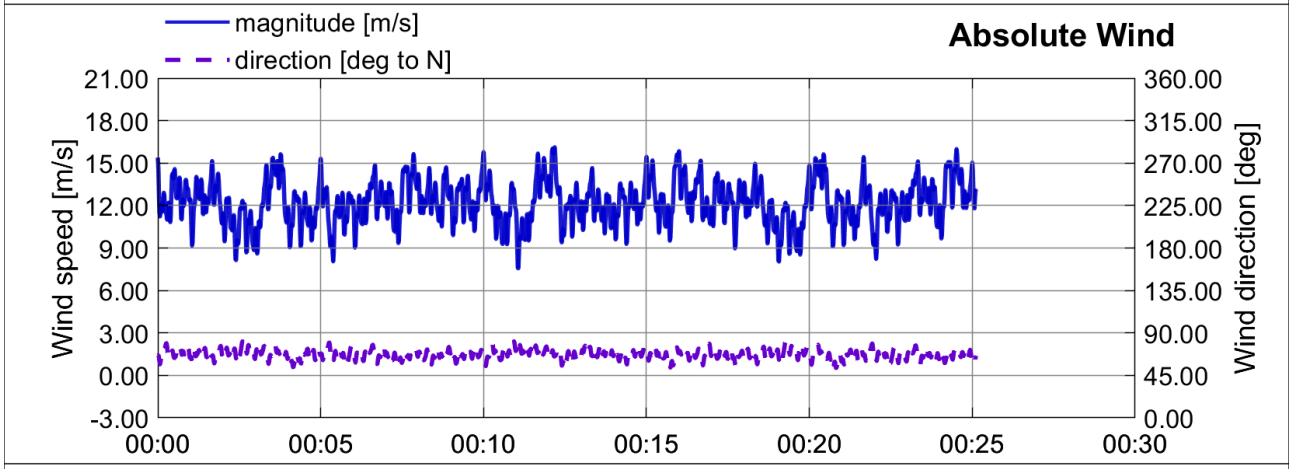
Omgevingscondities

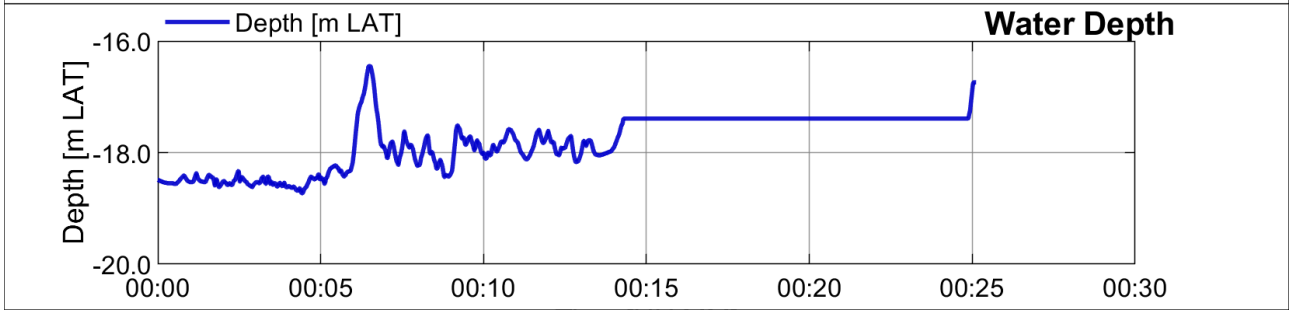
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 23	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







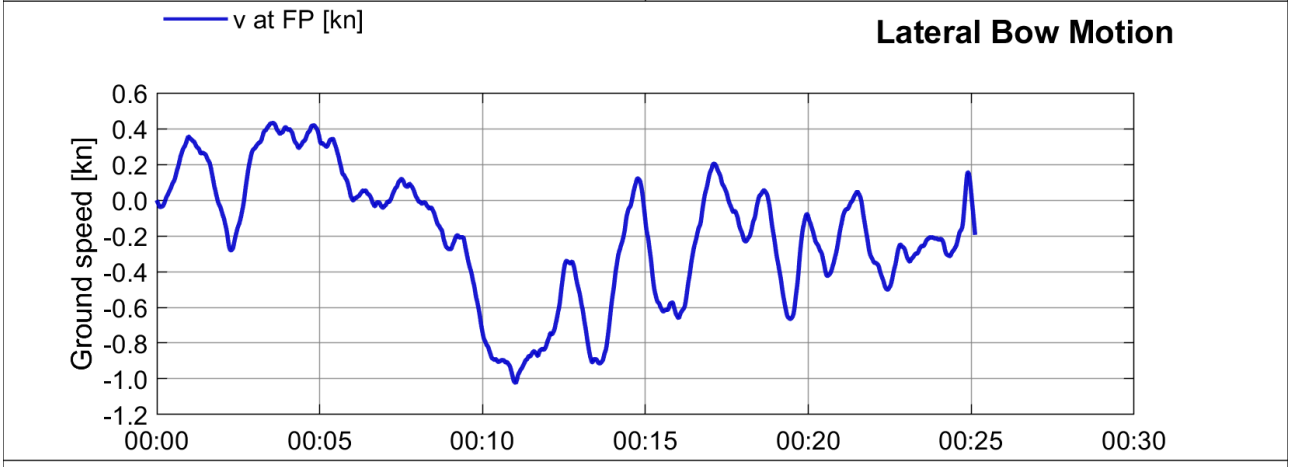


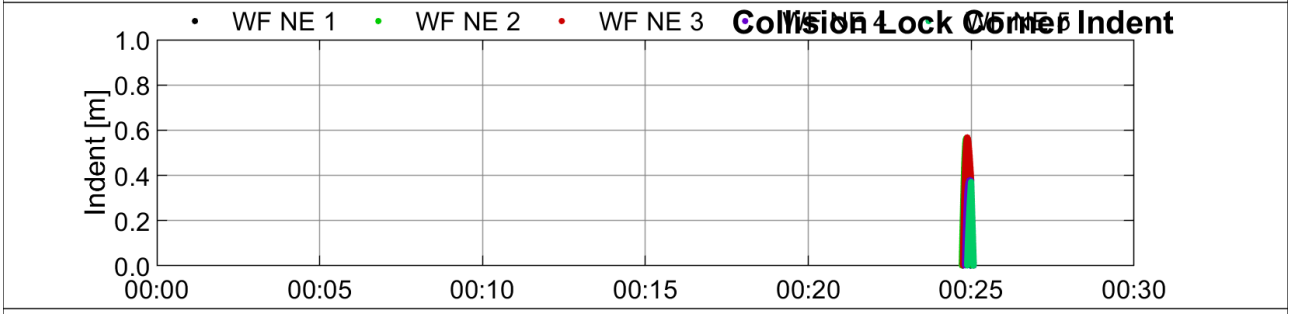
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

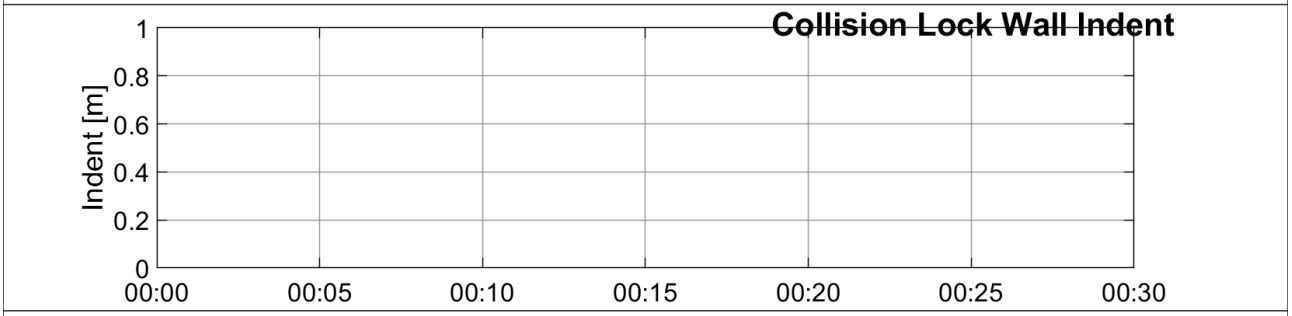
Contacten

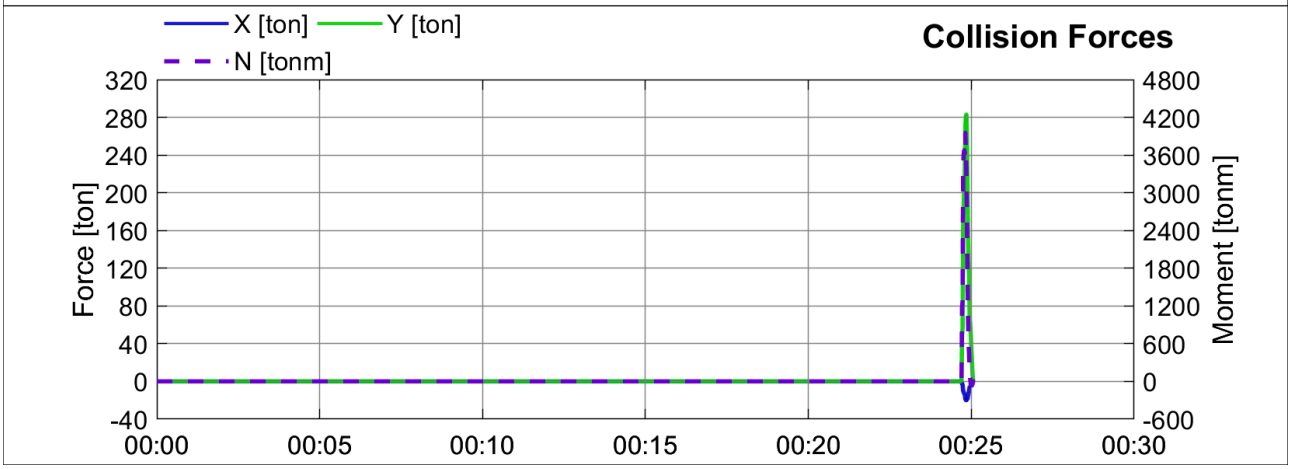
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 23	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







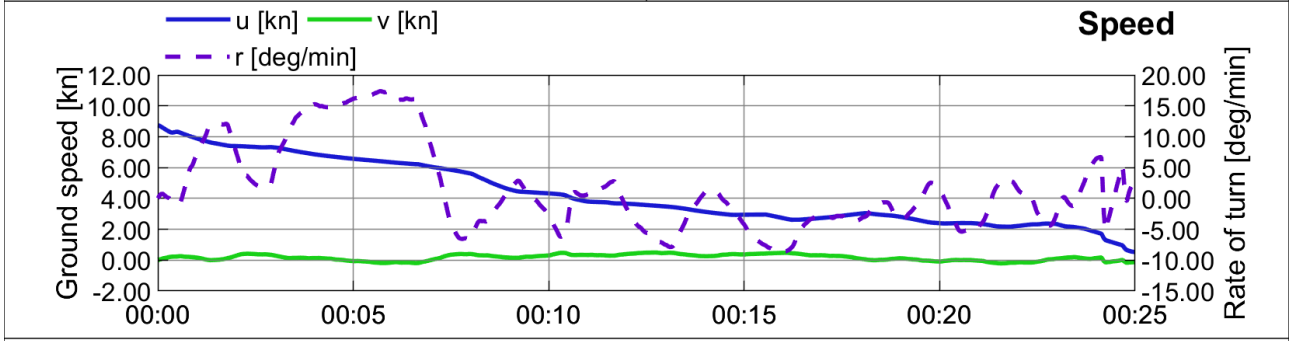


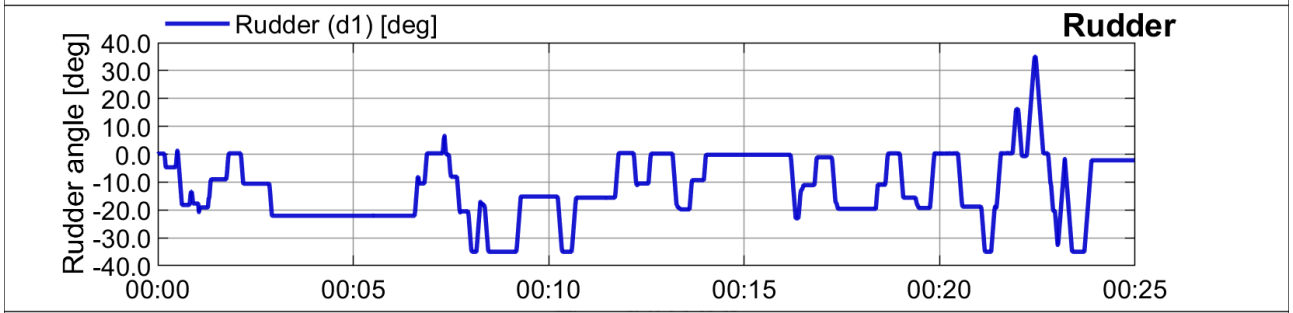
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

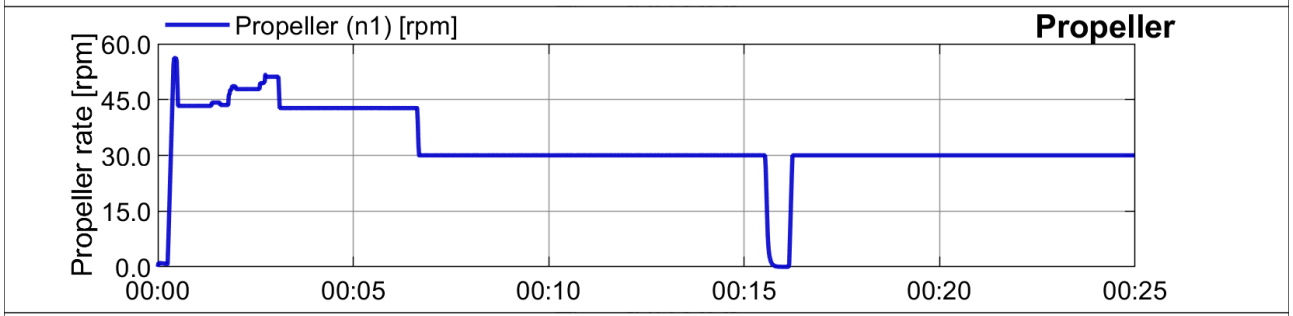
Manoeuvreereigenschappen

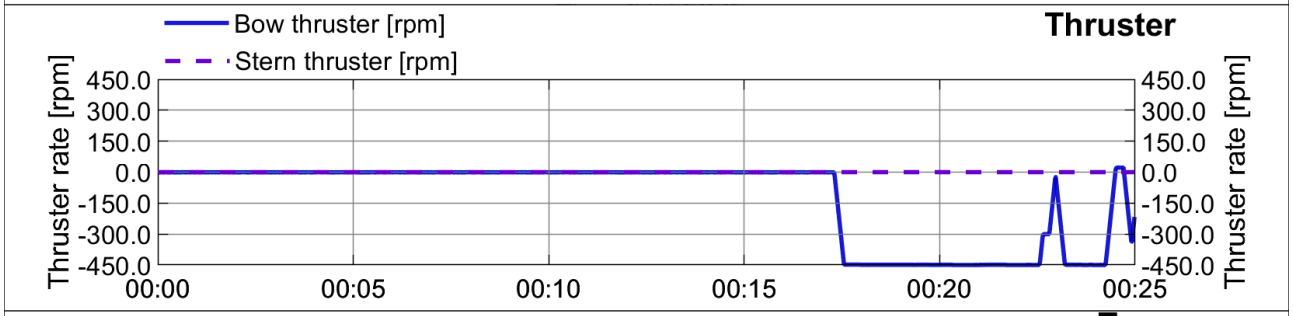
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

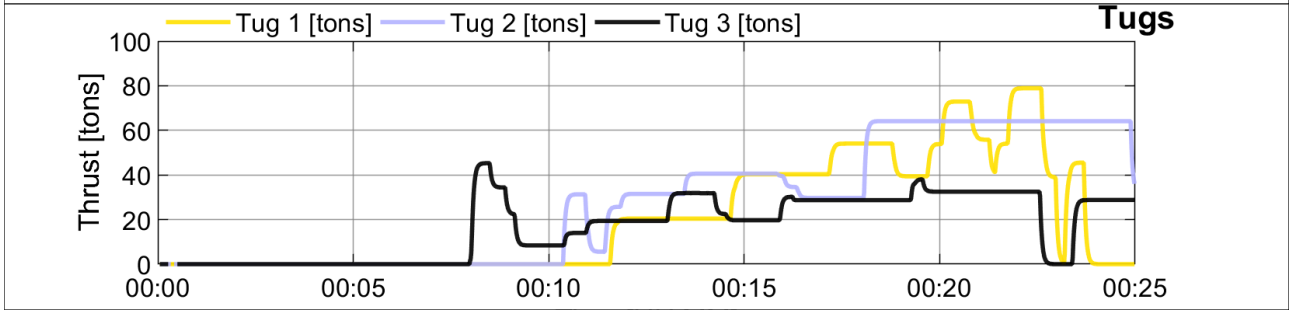
Simulatie: Buitenhaven HW 24	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









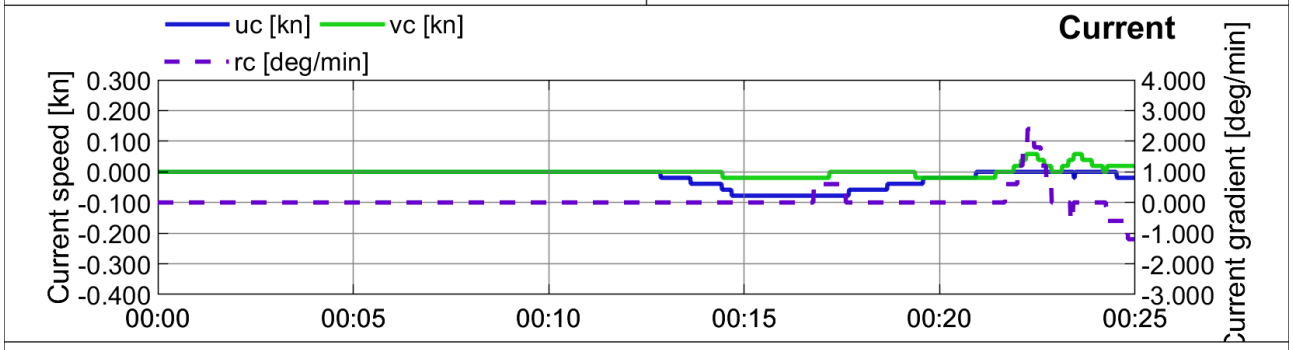


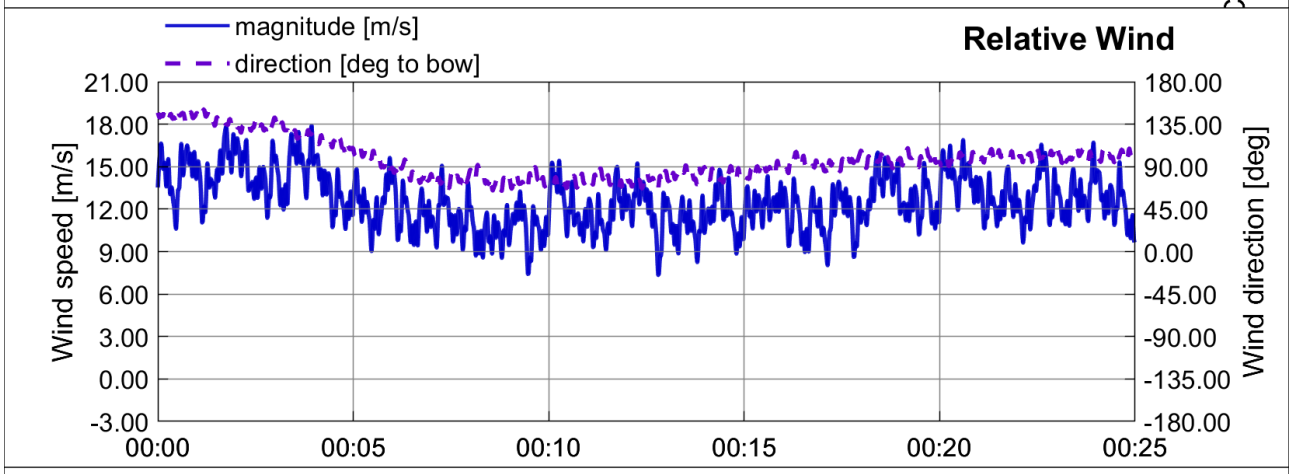
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

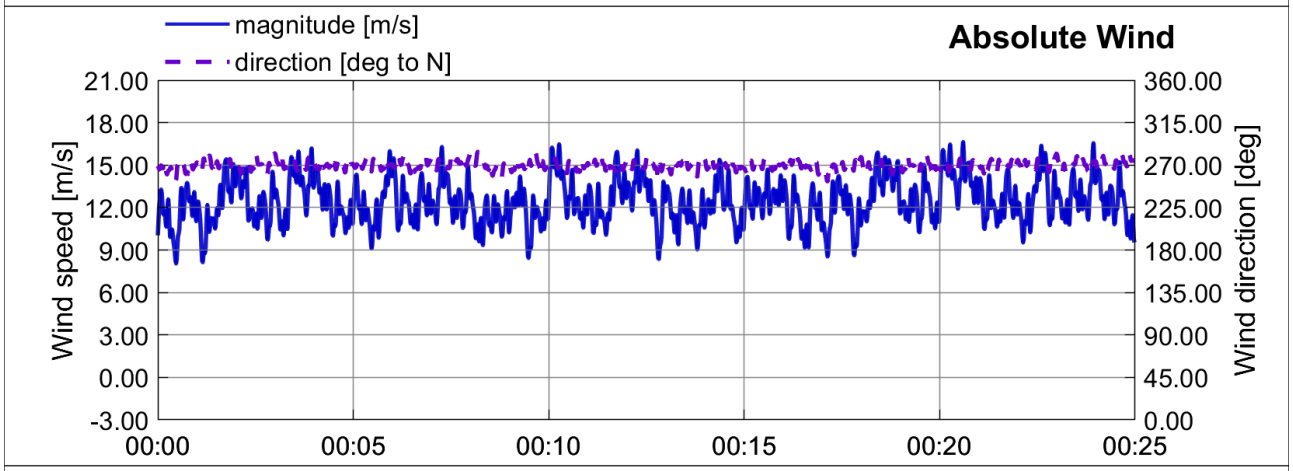
Omgevingscondities

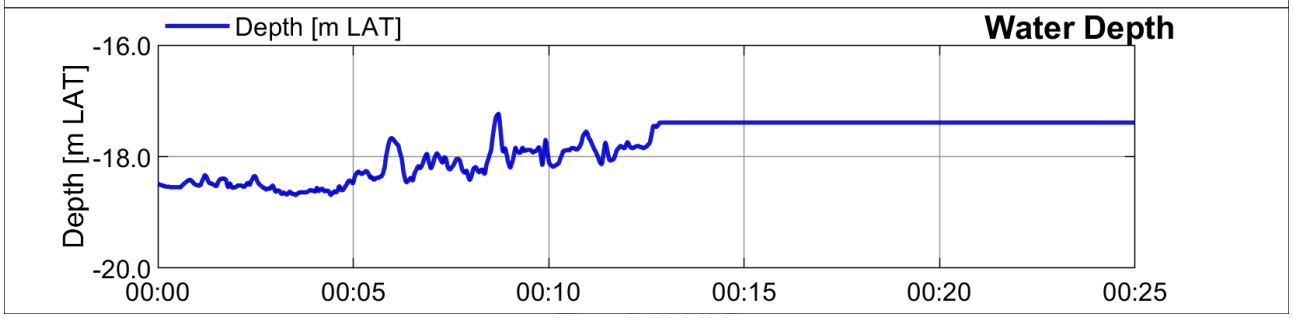
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 24	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







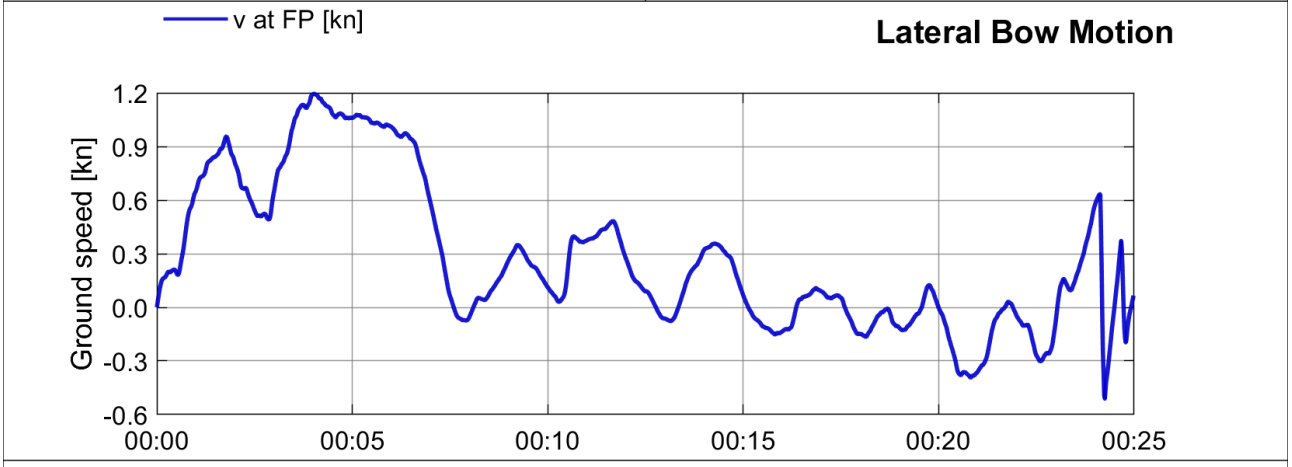


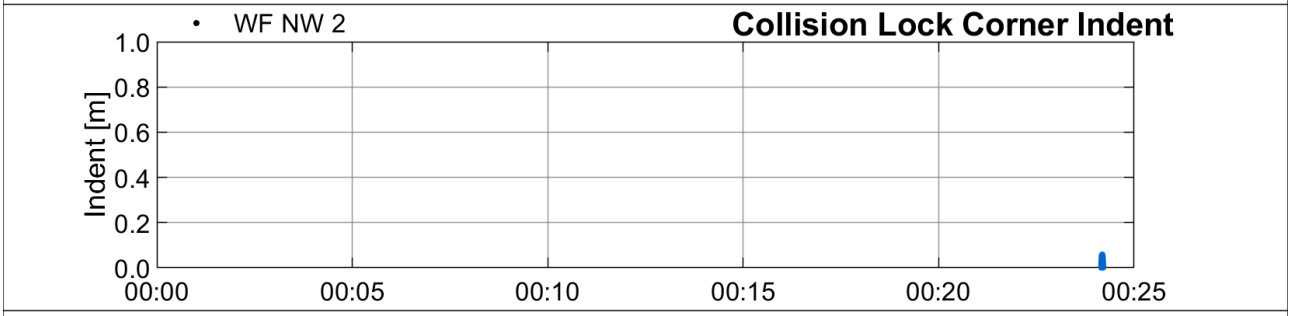
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

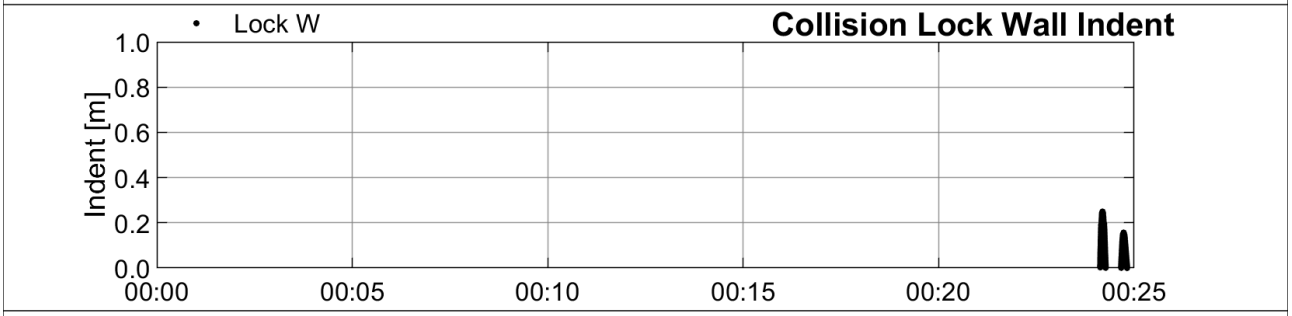
Contacten

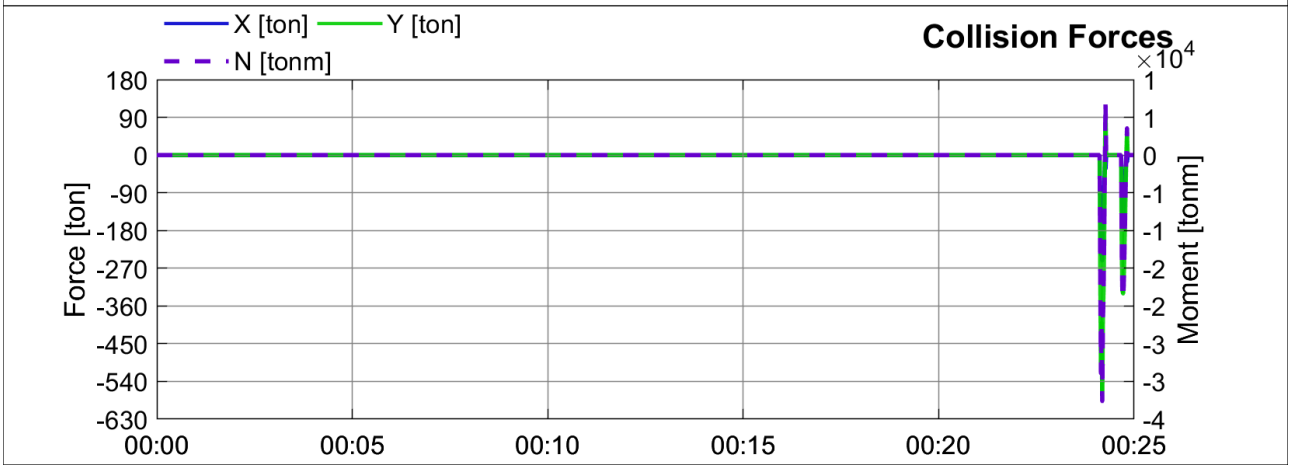
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 80+2x65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 24	Wind: O6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







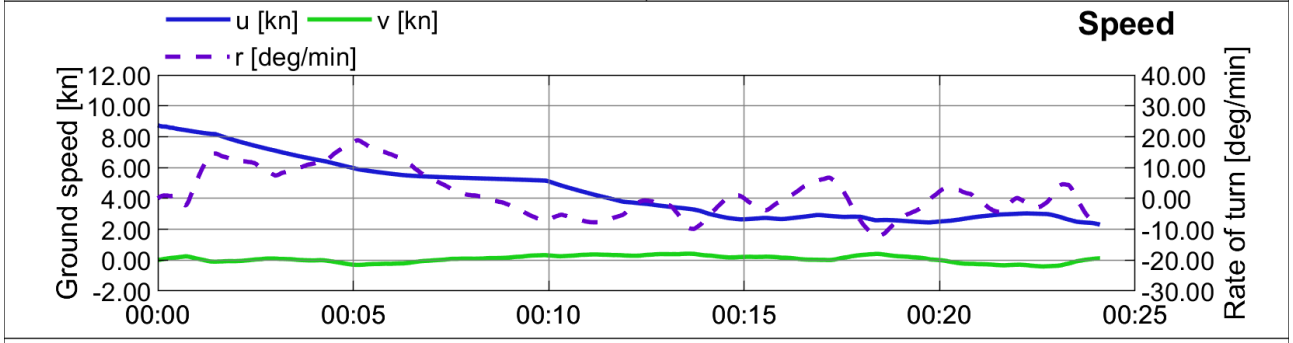


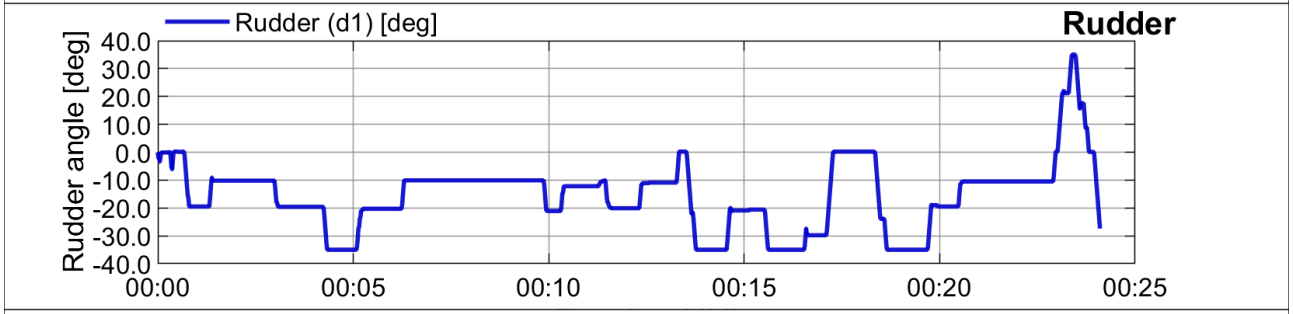
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

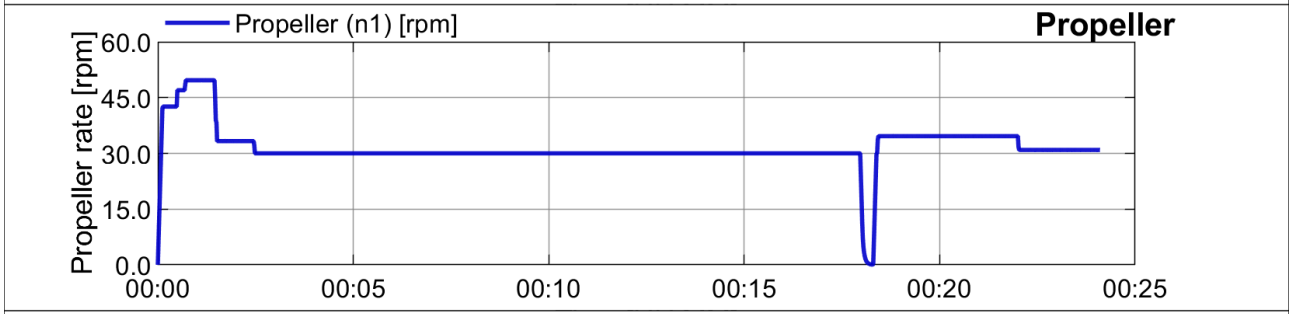
Manoeuvreereigenschappen

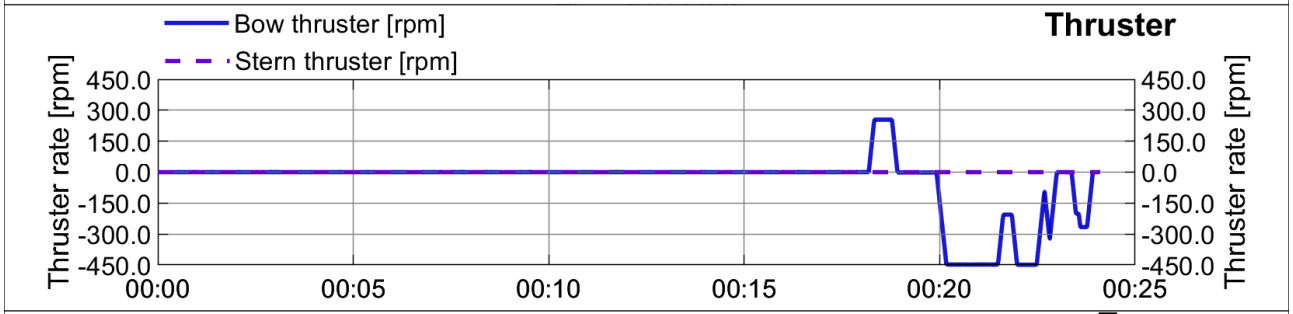
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

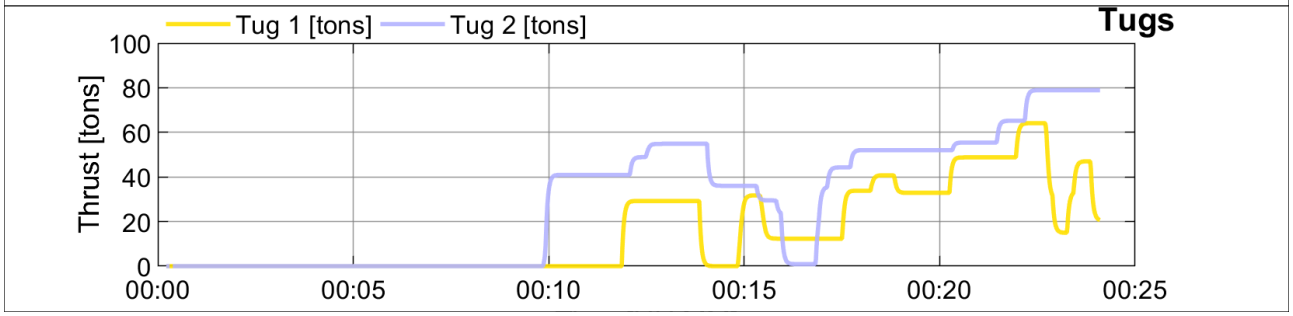
Simulatie: Buitenhaven HW 25	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









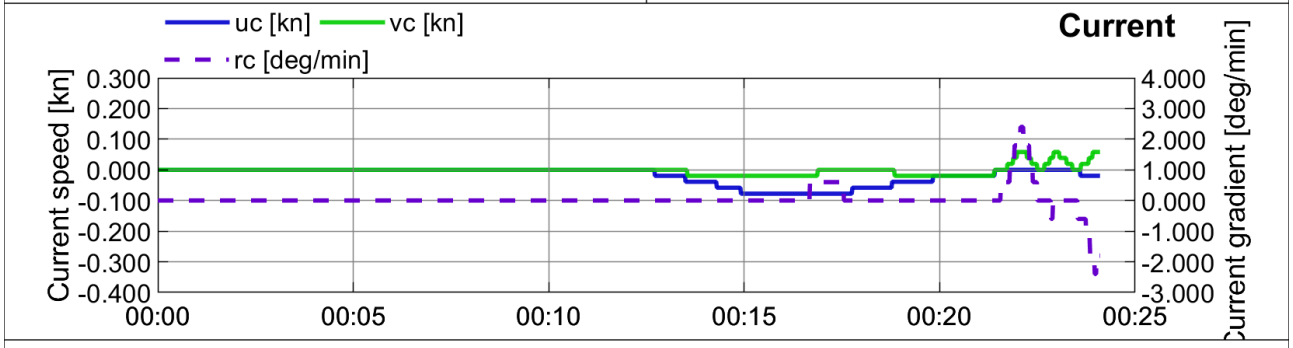


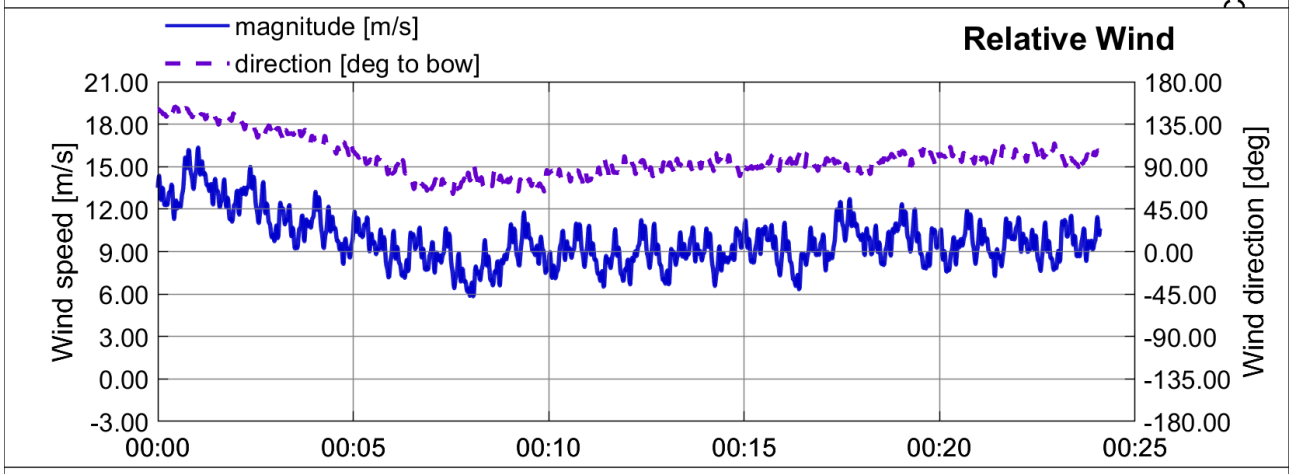
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

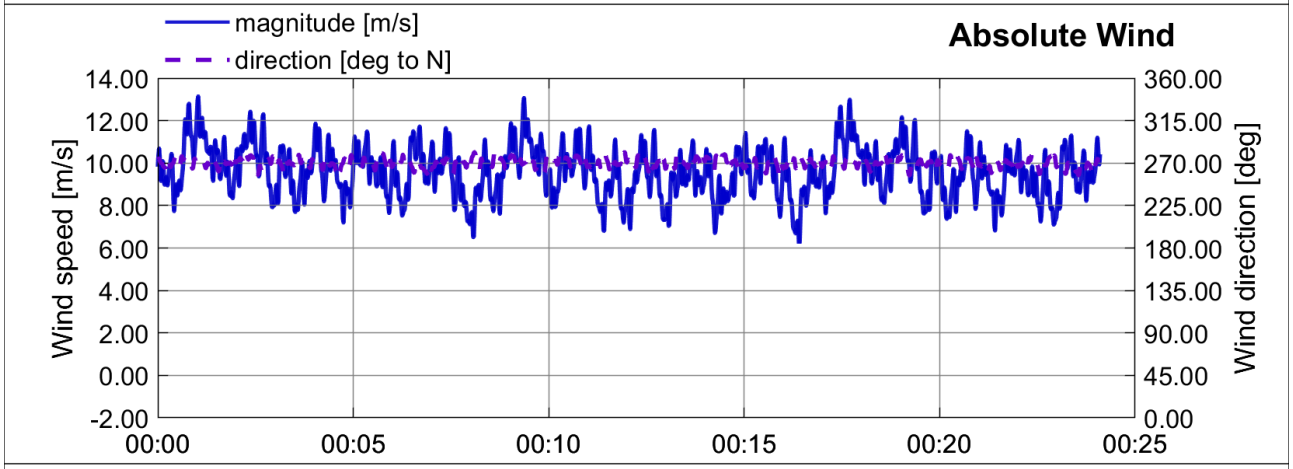
Omgevingscondities

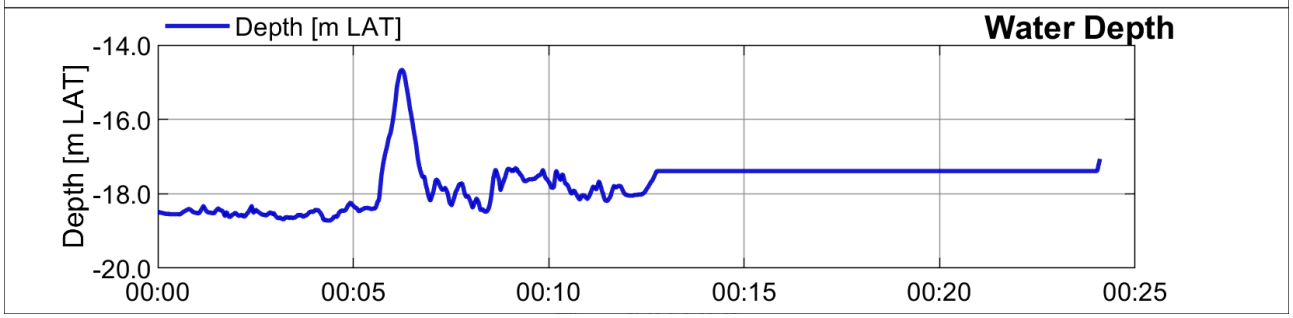
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 25	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







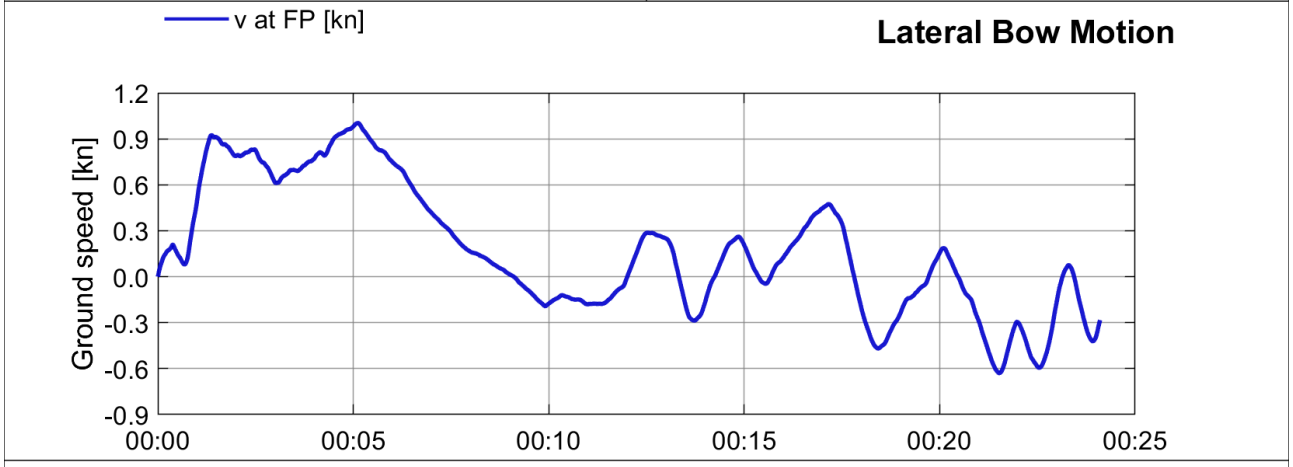


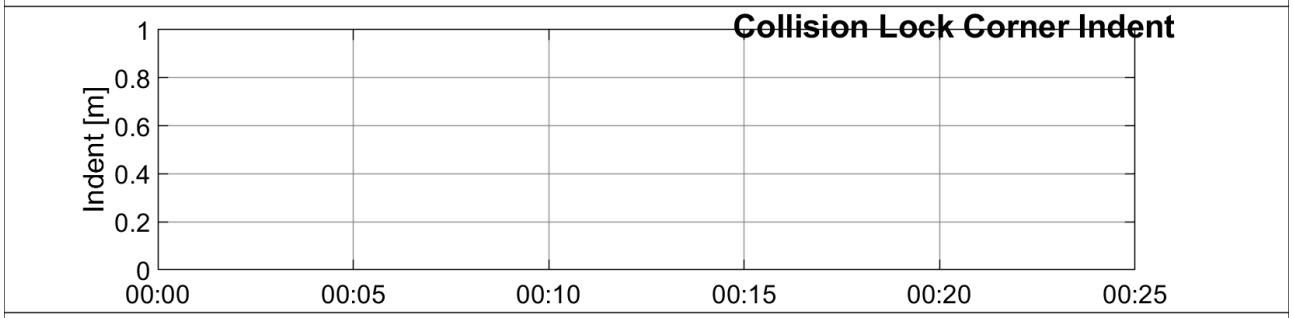
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

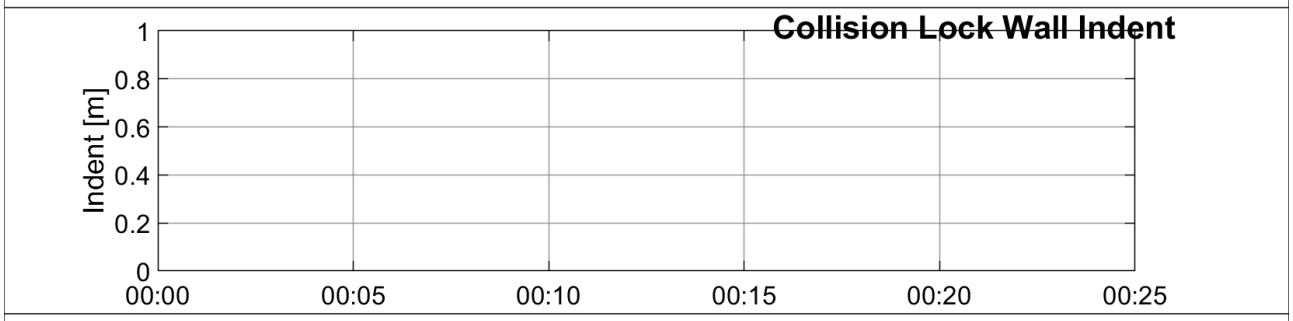
Contacten

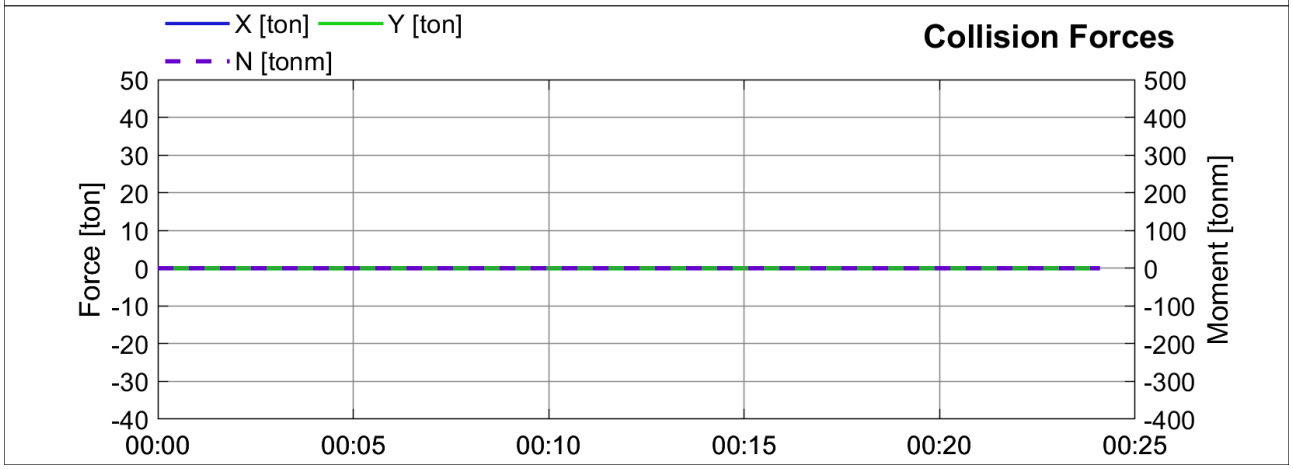
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 25	Wind: O5
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







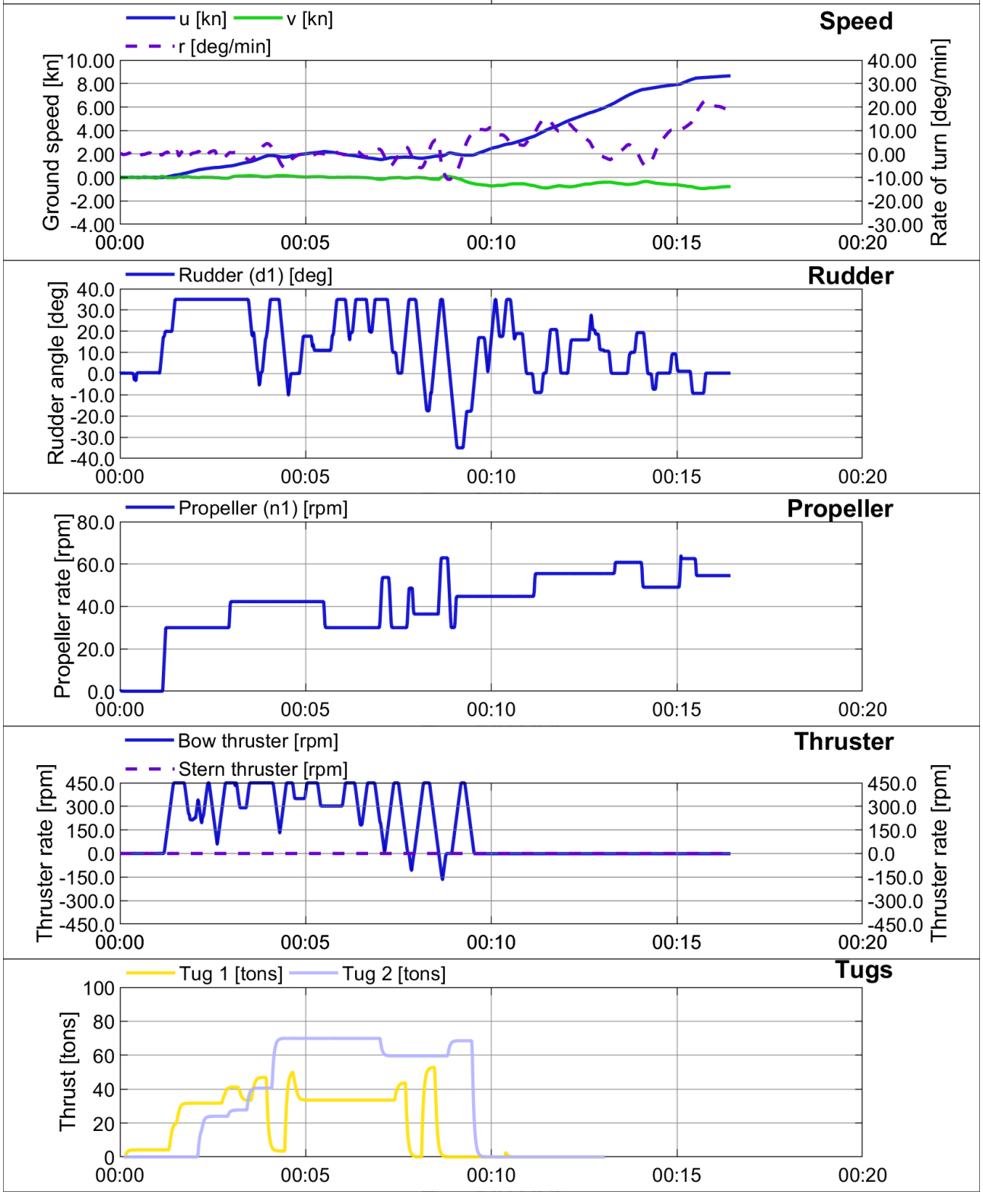


CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

Manoeuvreereigenschappen

Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 26	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders

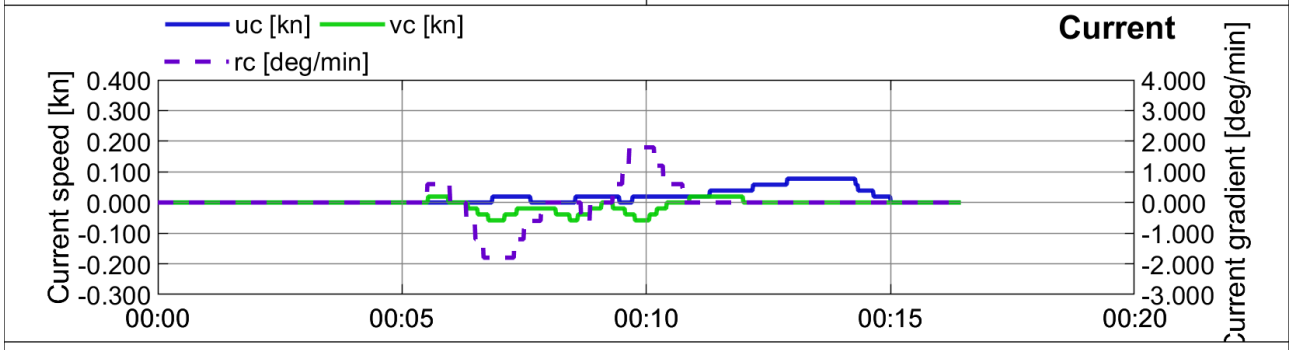


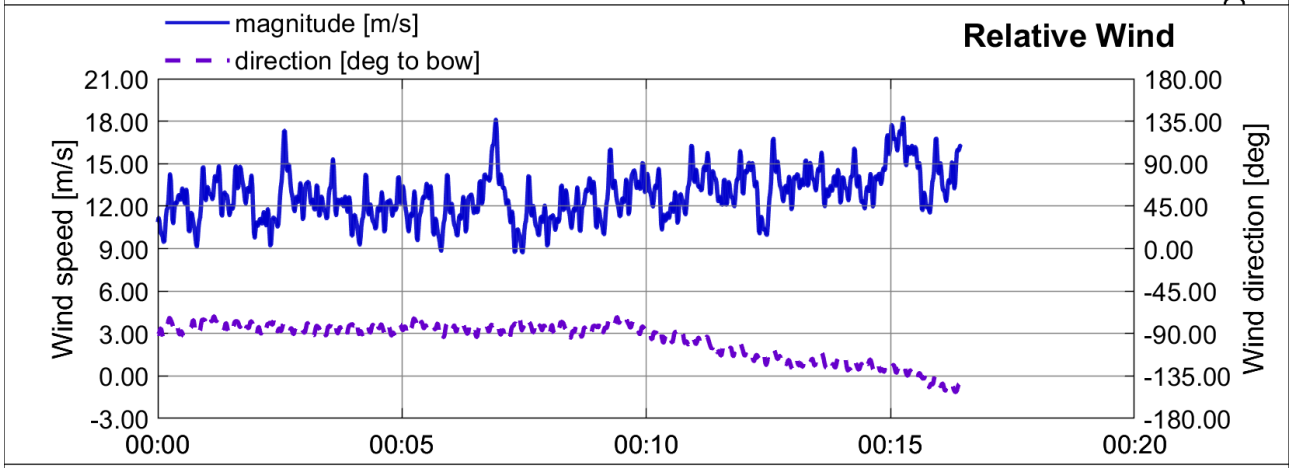
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

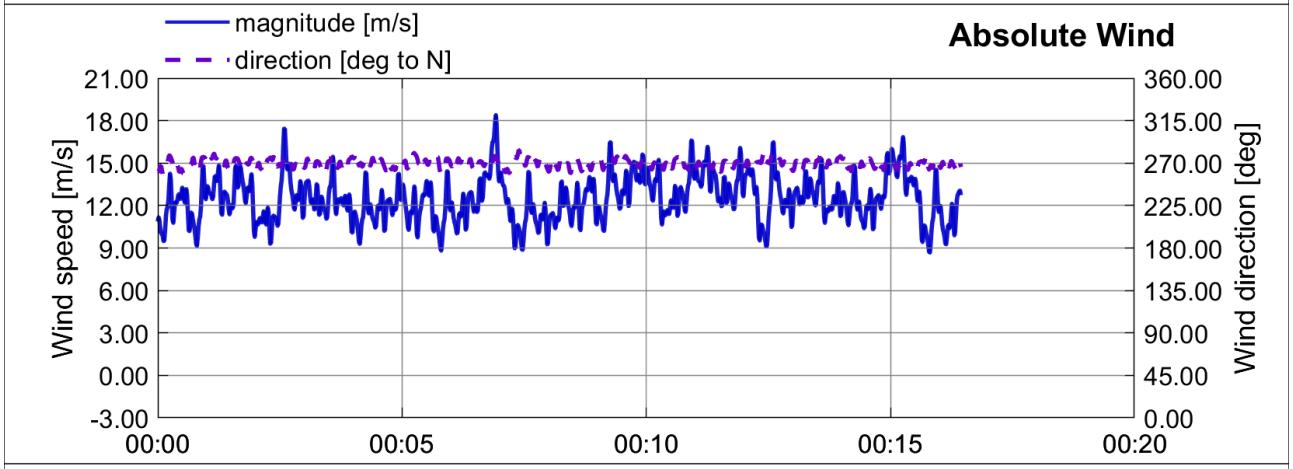
Omgevingscondities

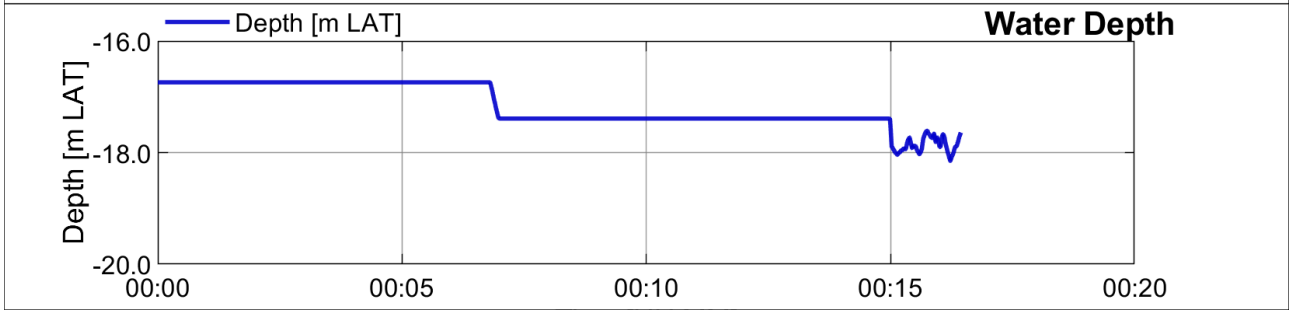
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 26	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







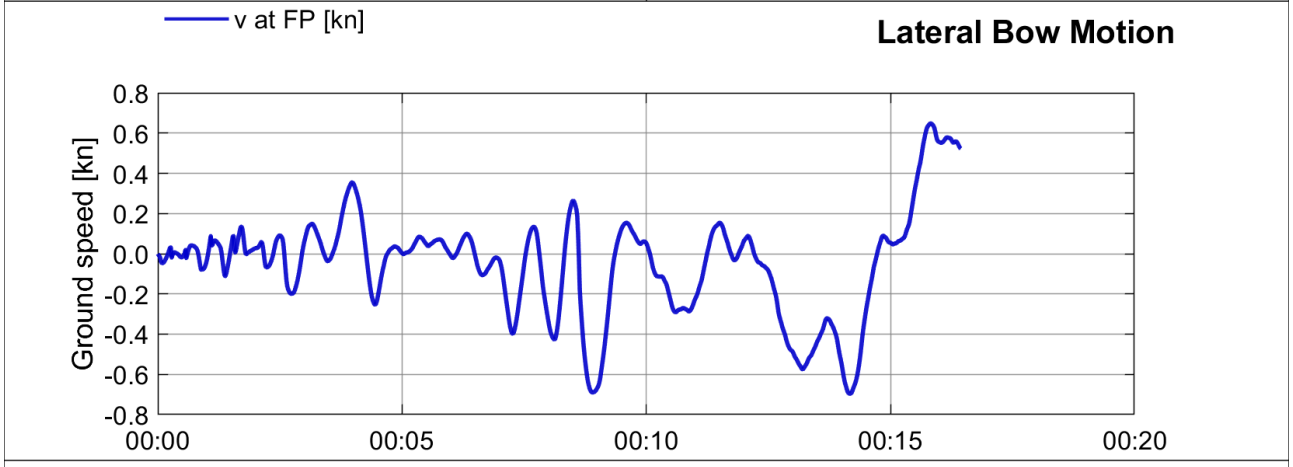


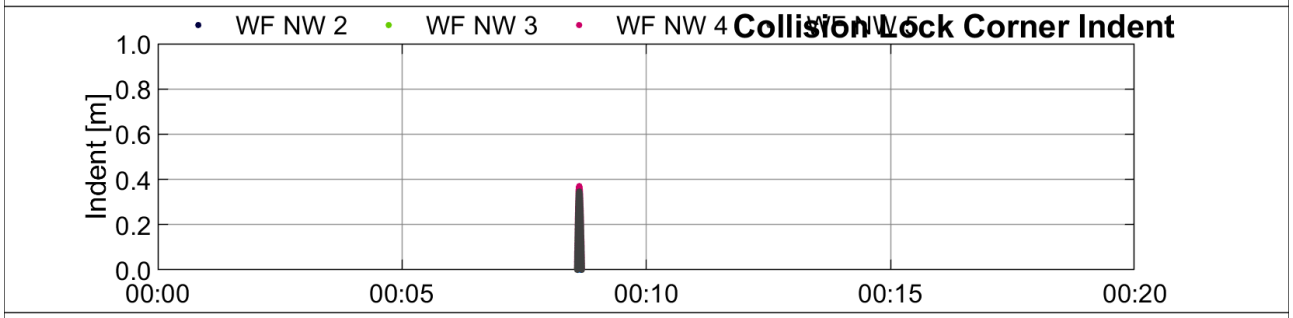
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

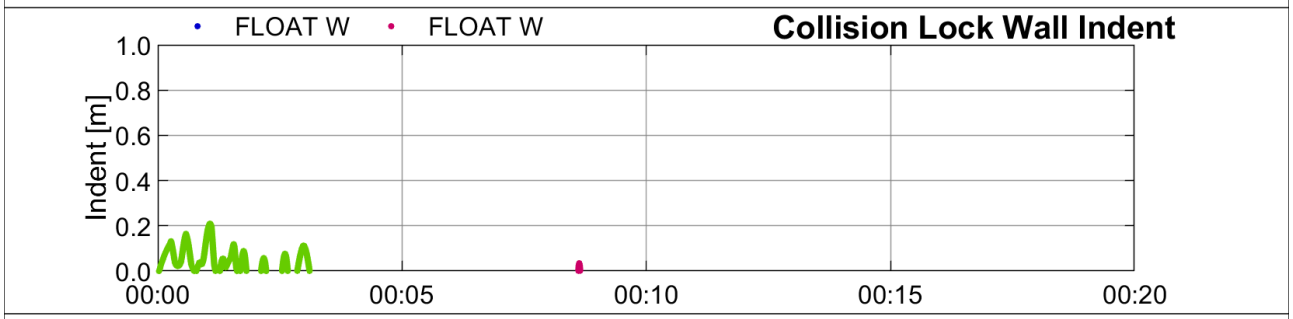
Contacten

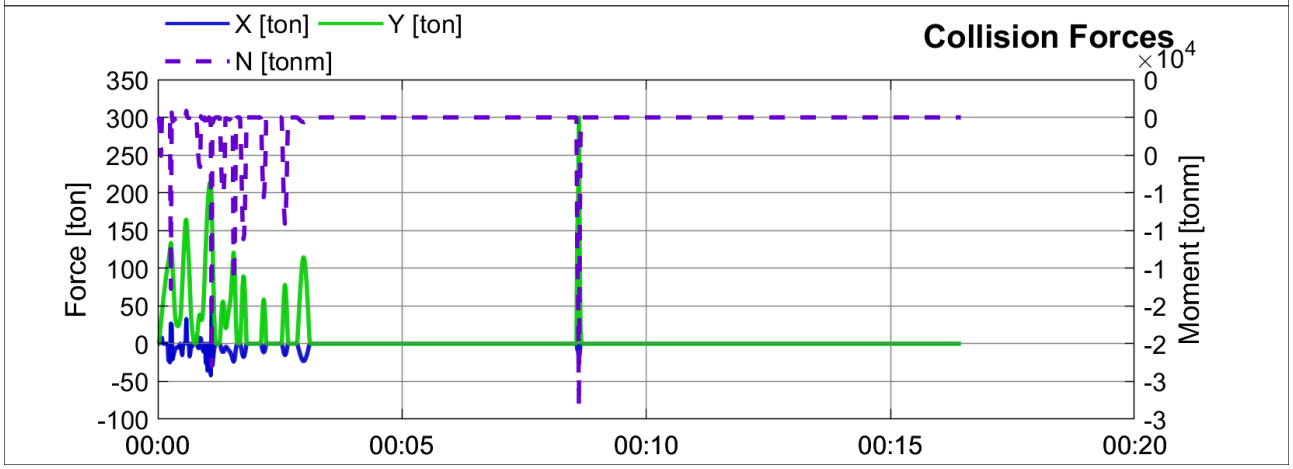
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 26	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







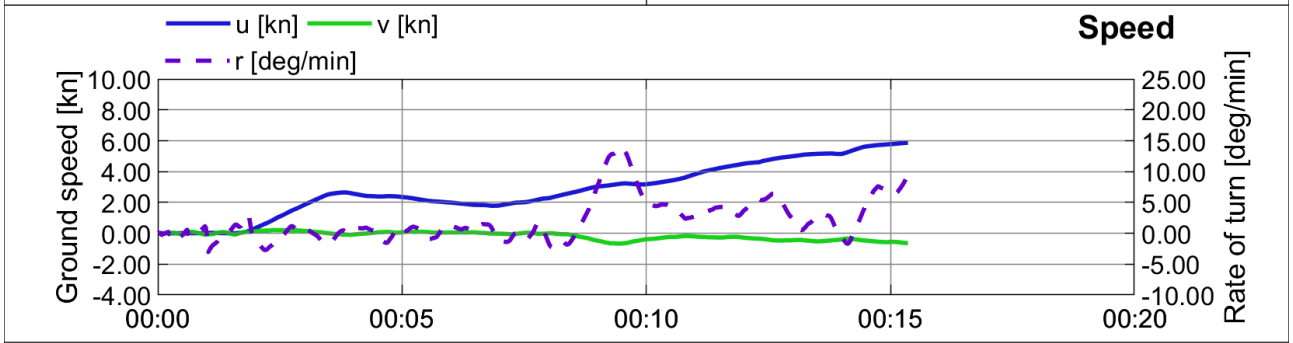


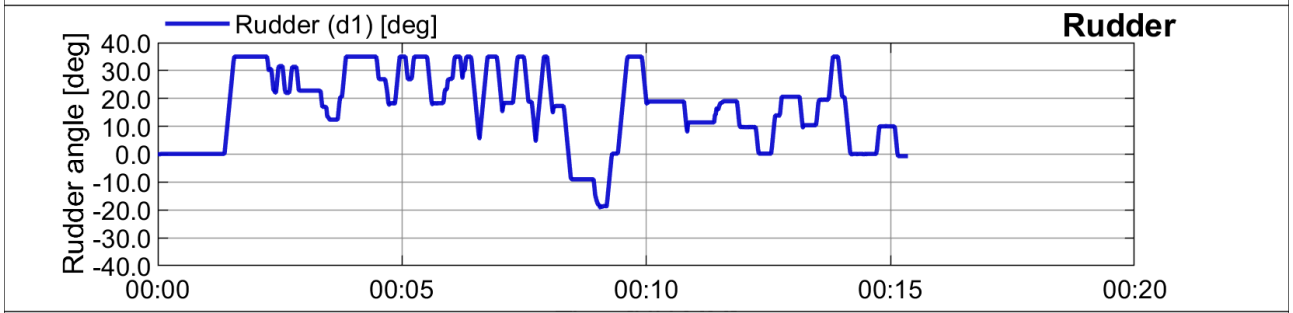
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

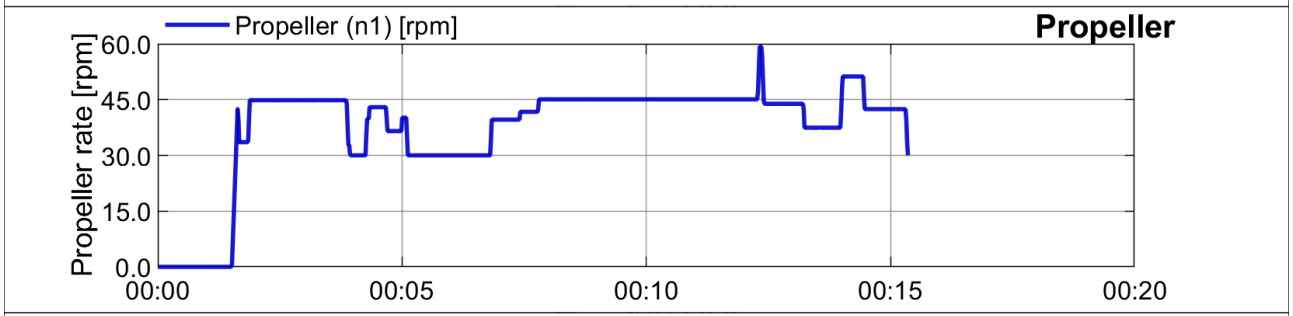
Manoeuvreereigenschappen

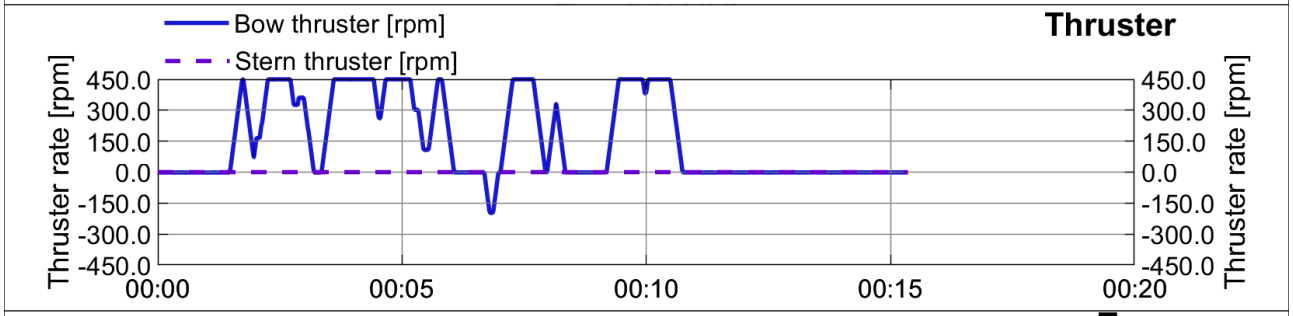
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

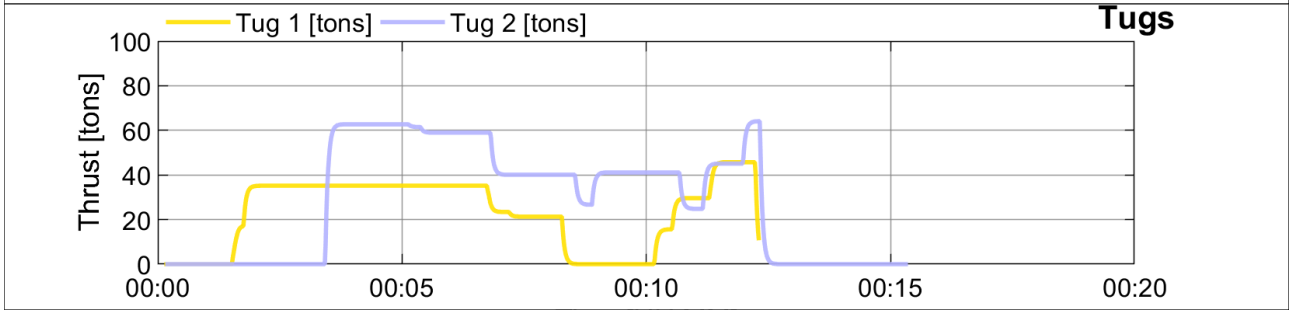
Simulatie: Buitenhaven HW 27	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









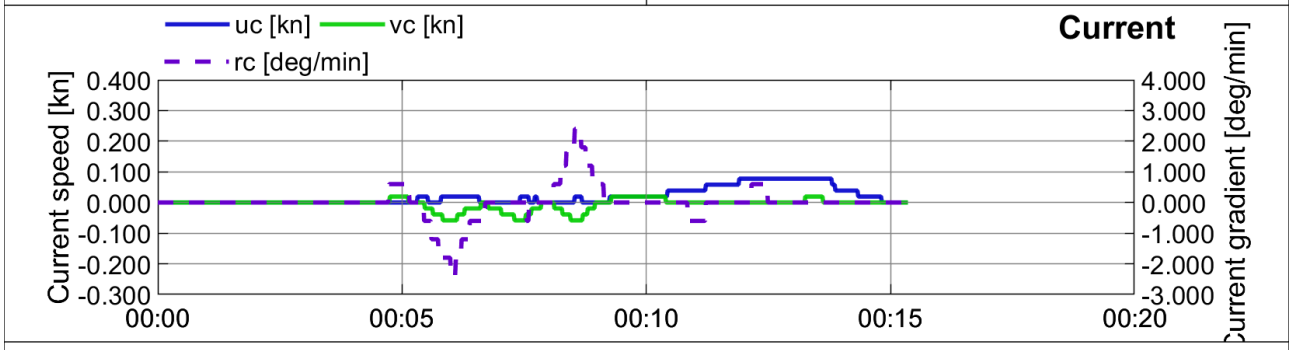


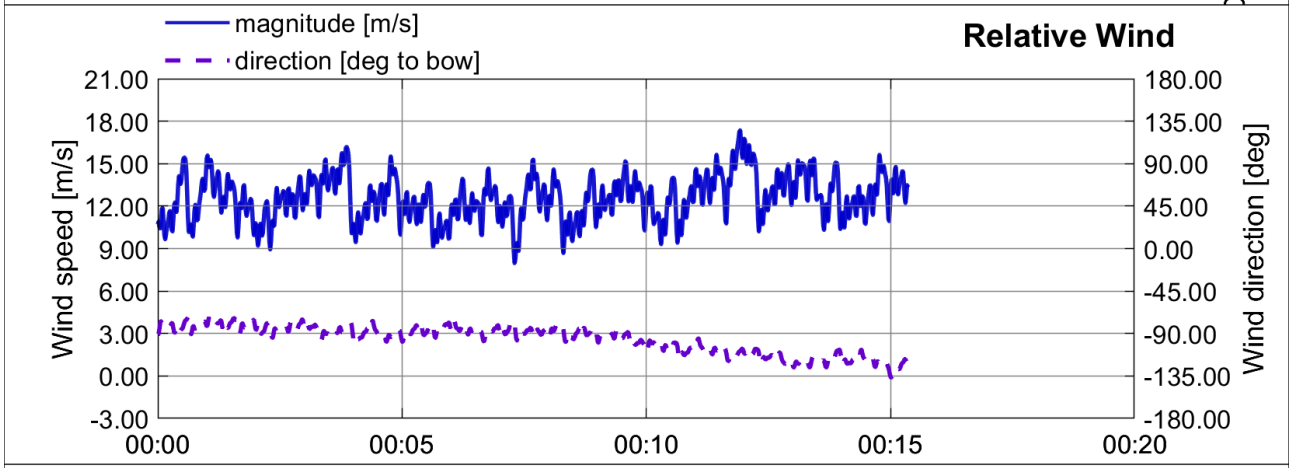
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

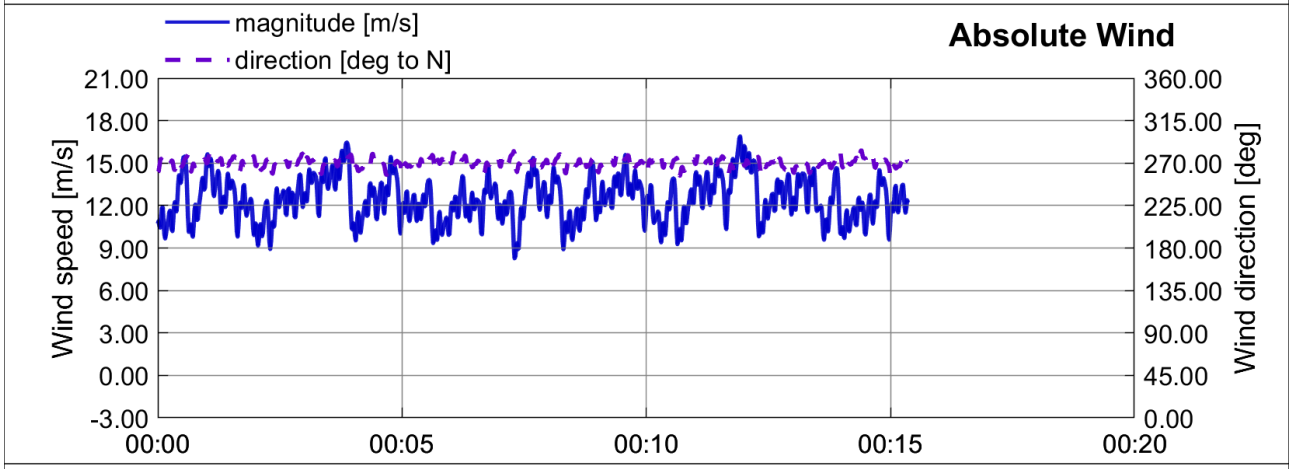
Omgevingscondities

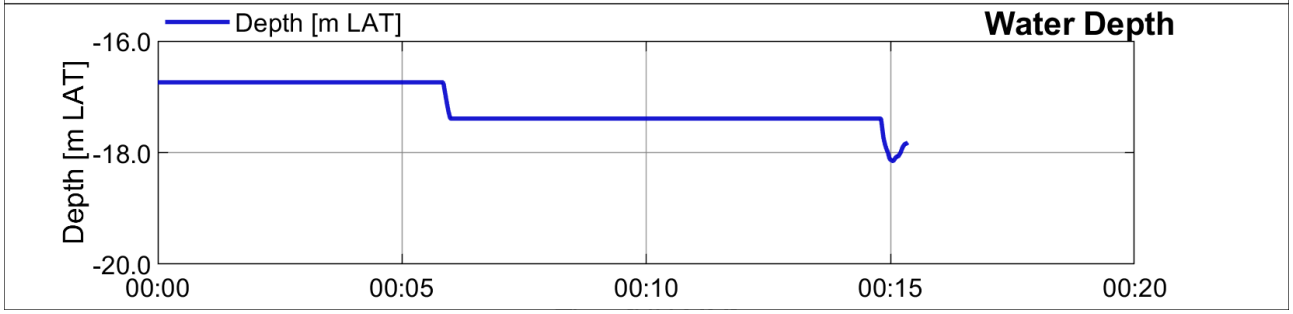
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 27	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







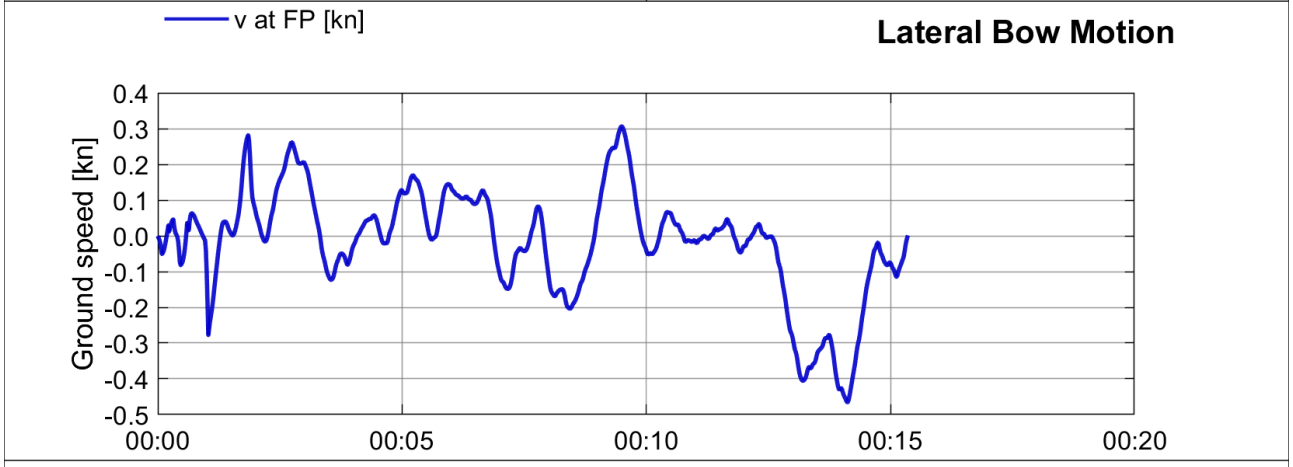


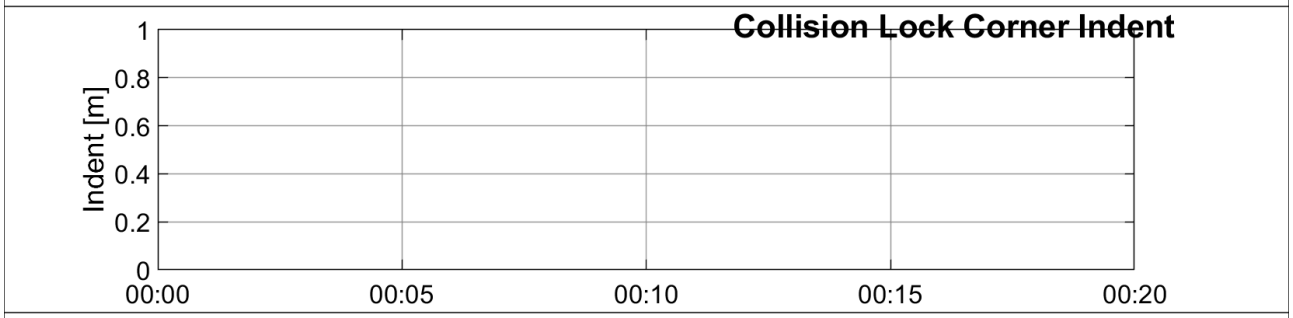
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

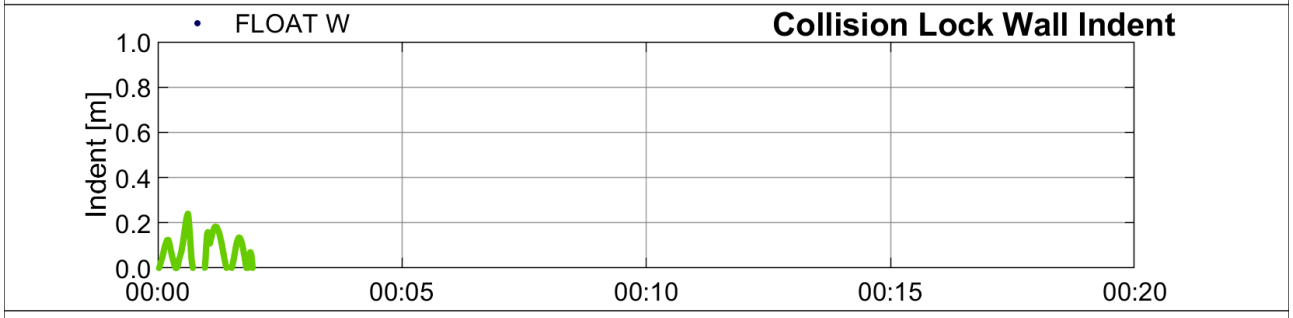
Contacten

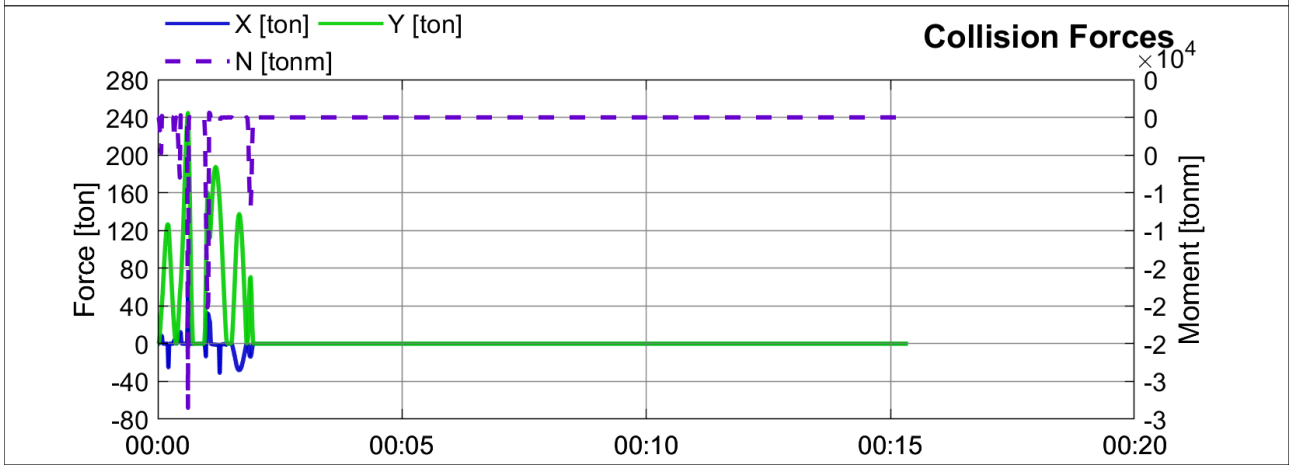
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 27	Wind: O6
Sluisuitvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







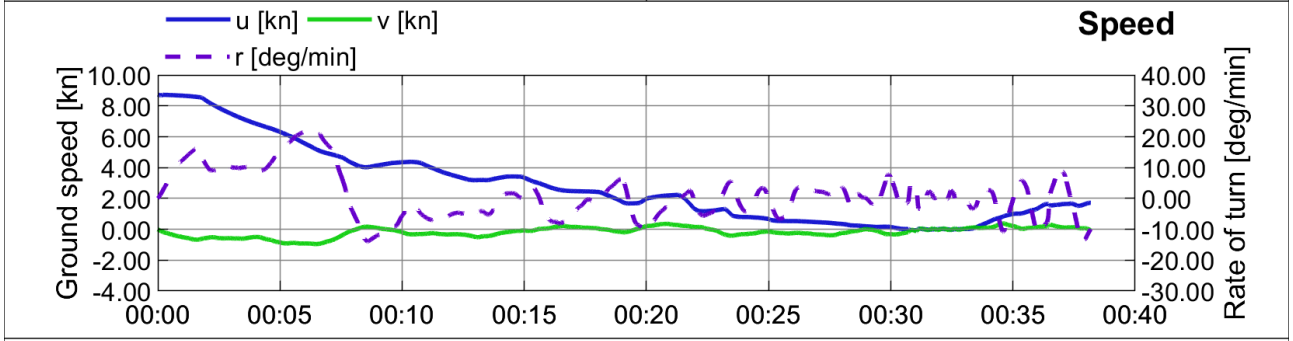


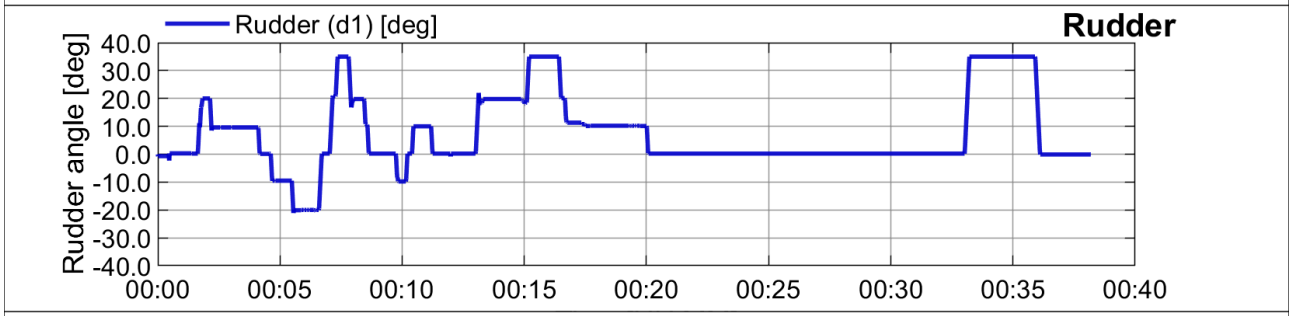
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

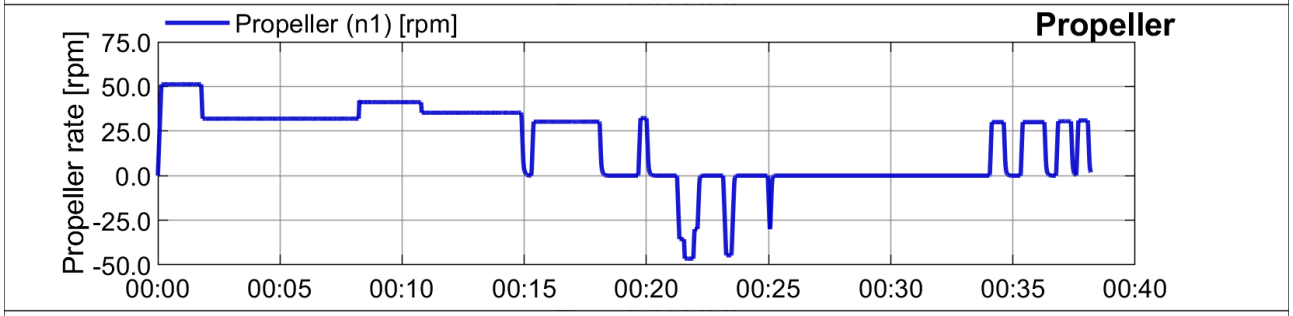
Manoeuvreereigenschappen

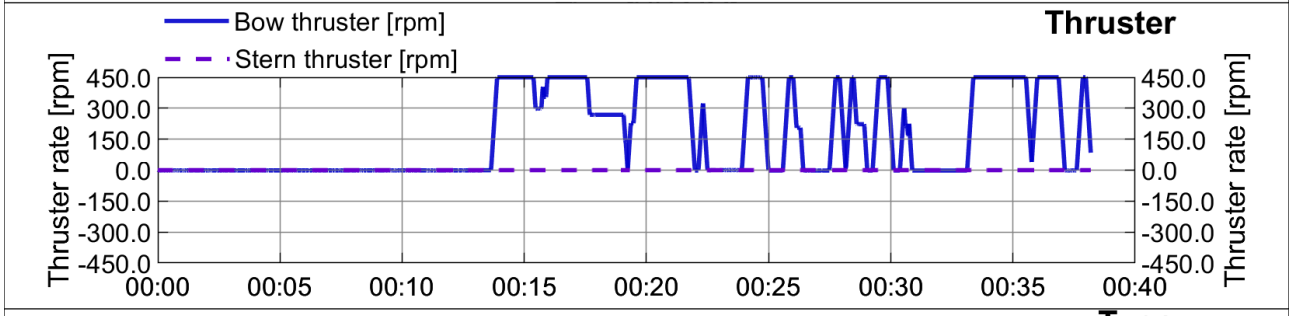
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 >> 65+80+65 tons

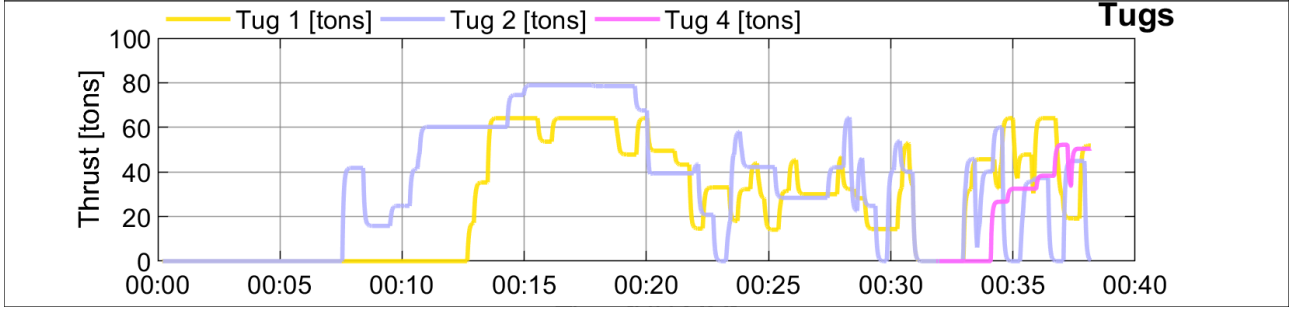
Simulatie: Buitenhaven HW 28	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









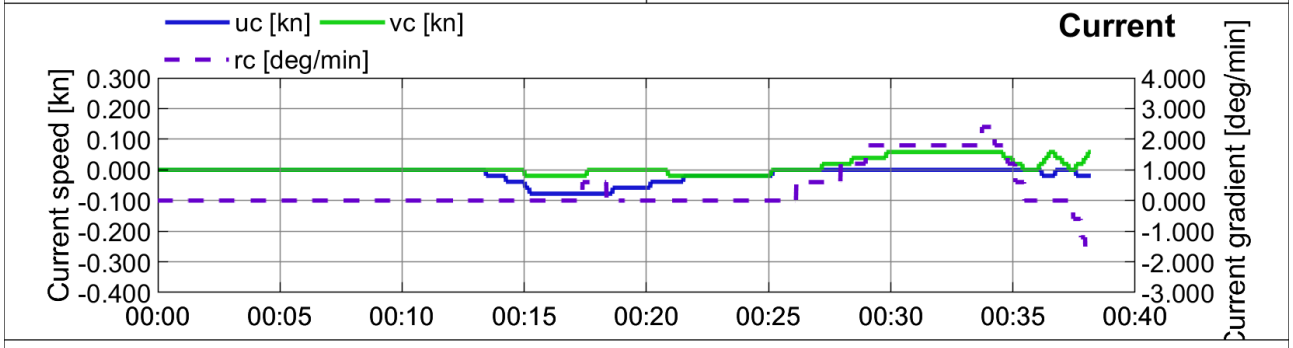


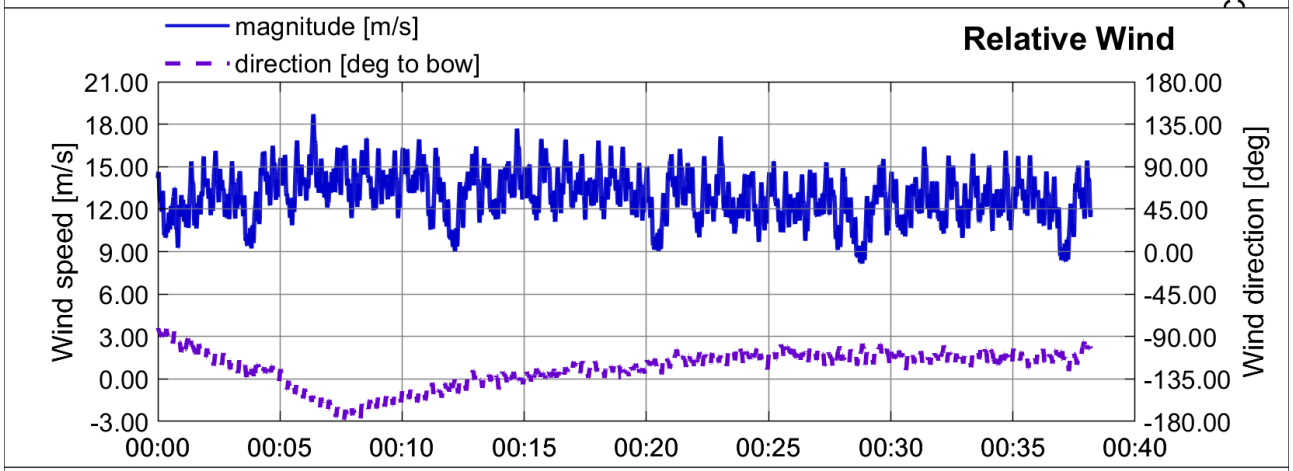
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

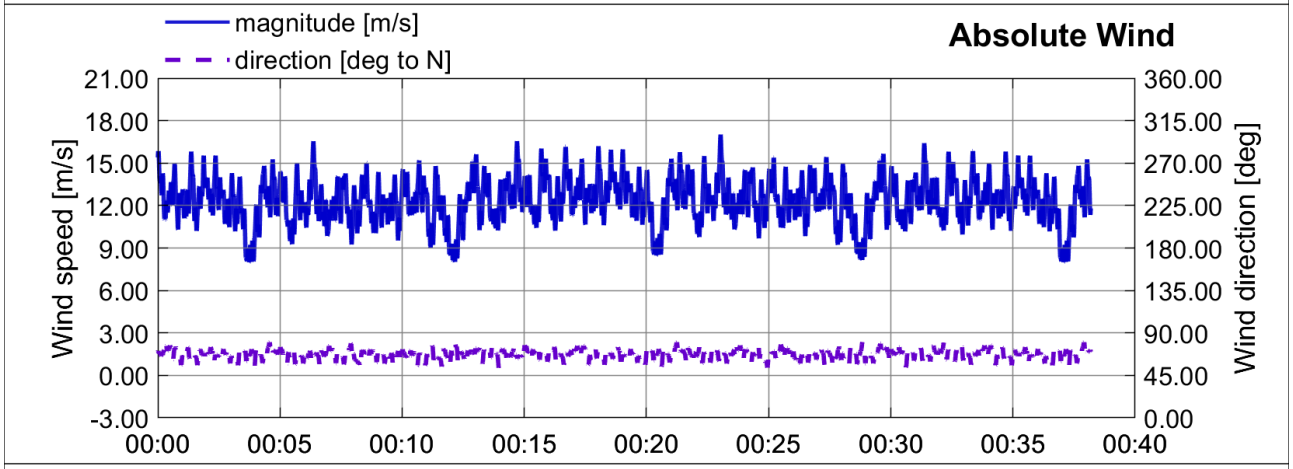
Omgevingscondities

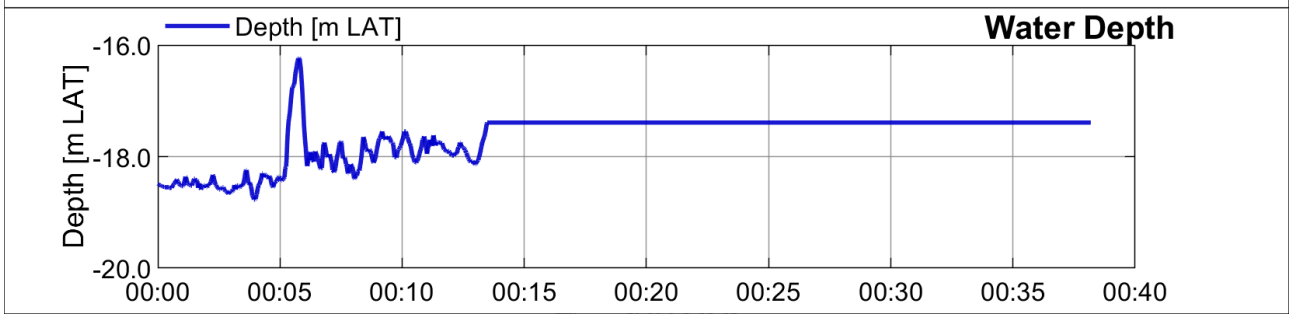
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 >> 65+80+65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 28	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders







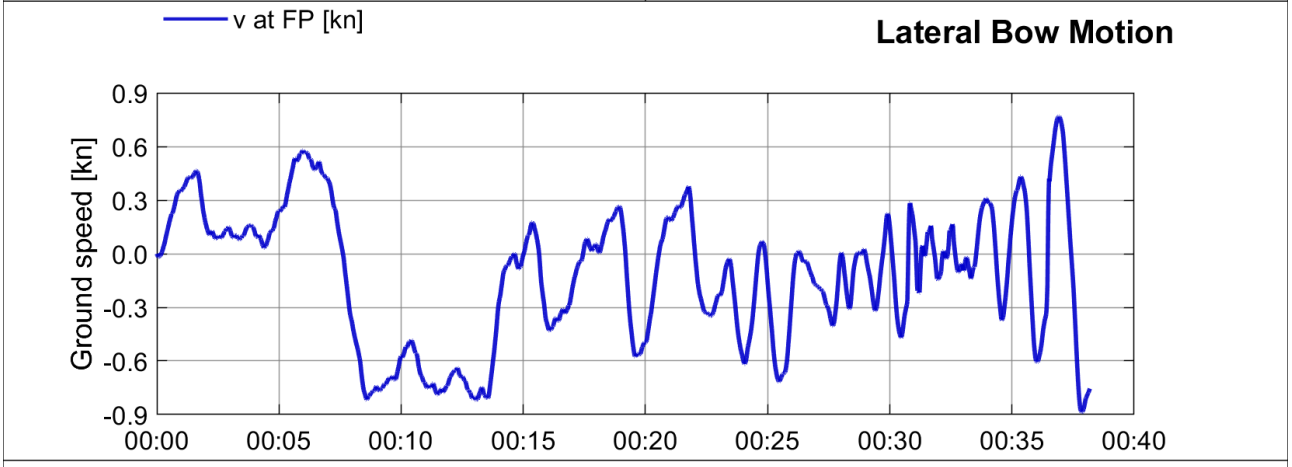


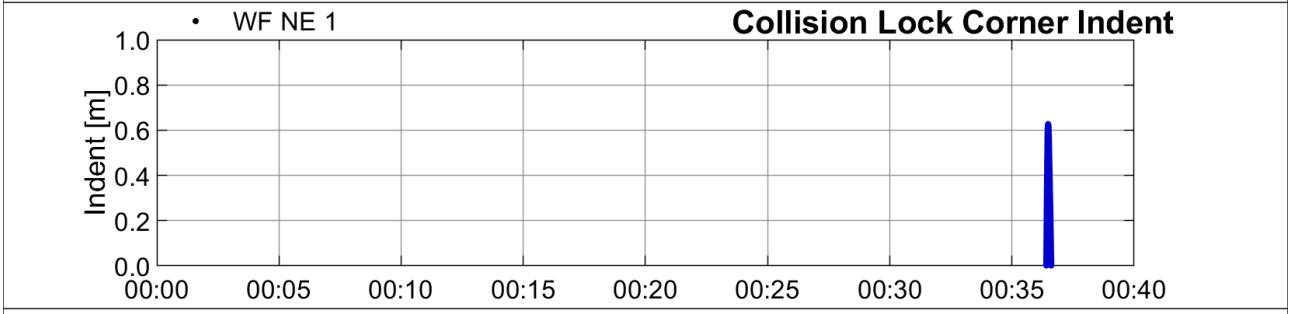
CP Nieuwe Sluis Zeebrugge - Visart V3H

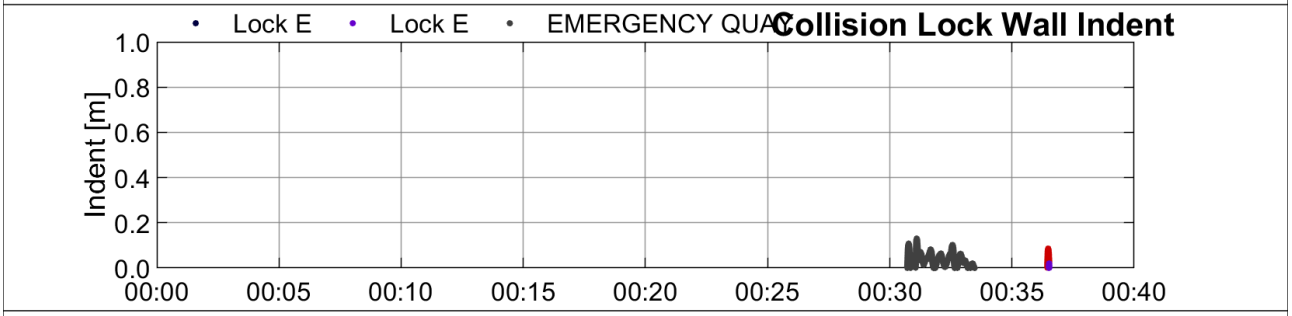
Contacten

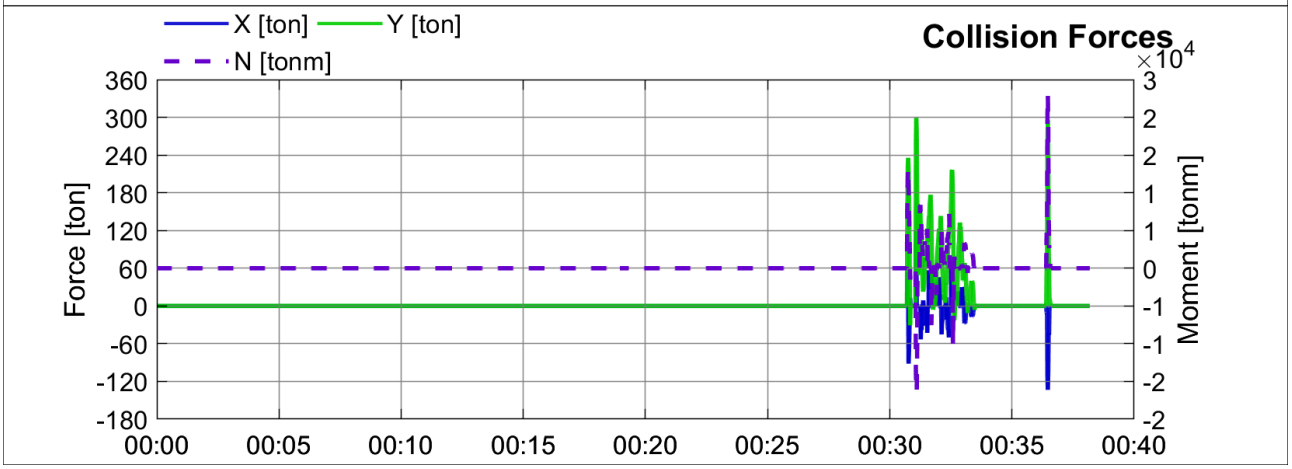
Car Carrier: L = 265 m; B = 40.0 m; T = 9.5 m Tugs: 65+80 >> 65+80+65 tons

Simulatie: Buitenhaven HW 28	Wind: WZW6
Sluisinvaart	Getij: OP3 150%
Datum: 21/01/2022	Afgemeerd: B = 52 m
Project: 20 011	Fendering: wielfenders









Bijlage 4 Handleiding gebruik KMZ-bestanden

De uitgevoerde simulaties kunnen bekeken worden met animatie in Google Earth op basis van de bijgeleverde KMZ bestanden. Voor het bekijken van deze bestanden werd een korte Engelstalige manual opgesteld.

Install Google Earth (the version used for the images in this manual is a Dutch version)

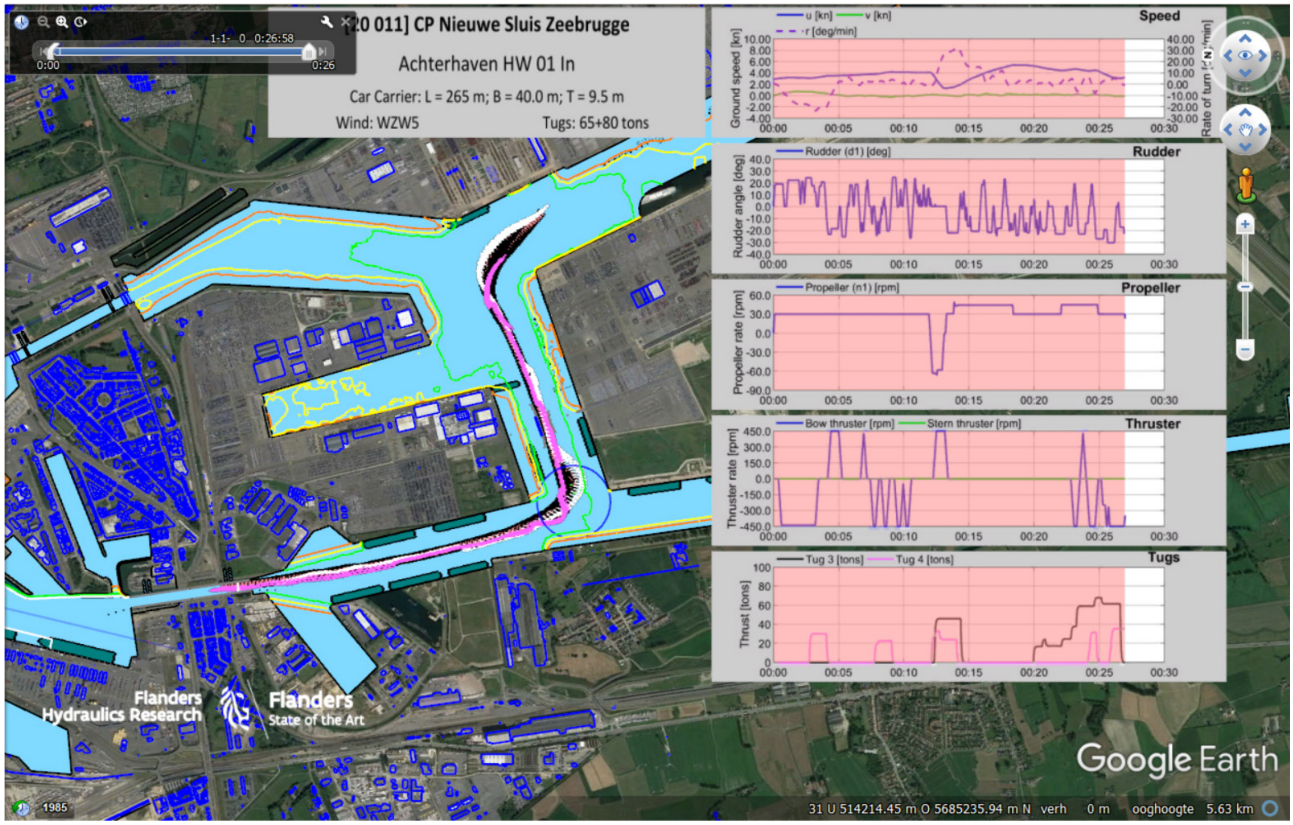
Go to Windows Explorer and double click on a selected KMZ file (or open it directly from the digital attachment in this report).

e.g. Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz

When opening the KMZ-file in Google Earth, a visualisation as shown in Figuur 95 is presented. The kmz-file provides the following information:

1. Track plot of simulated vessels, tugs (positions every 10 seconds) and moored vessels
2. Lineplot of environment and buoys present in the simulation environment
3. Depthlines of bathymetry and watersurface according to variant V3H;
4. Collision of ship with constructions (in orange)
5. Overlay plot of metadata regarding the simulation (top center)
6. Overlay graphs with time evolution of the manoeuvring parameters (right side)

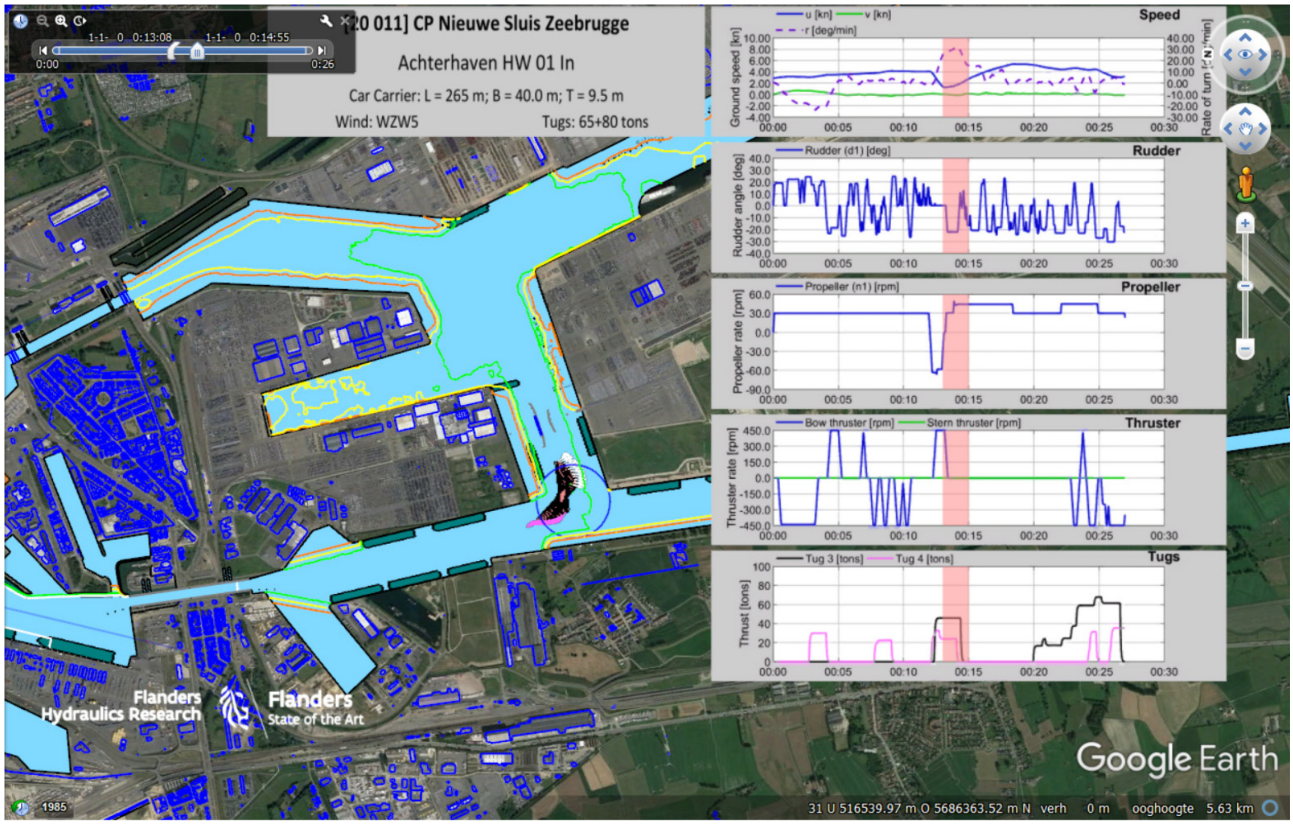
The different components of the KMZ file are presented in the left panel and can be opened using the pull down menu. You can toggle on or off the different components (such as the overlay graphs) in this menu.



Figuur 95 – Presentation of Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (full simulation)

In Figuur 95 the graphs of the different time series present a coloured overlay (in this case red) for the full execution time 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 (see Figuur 96).

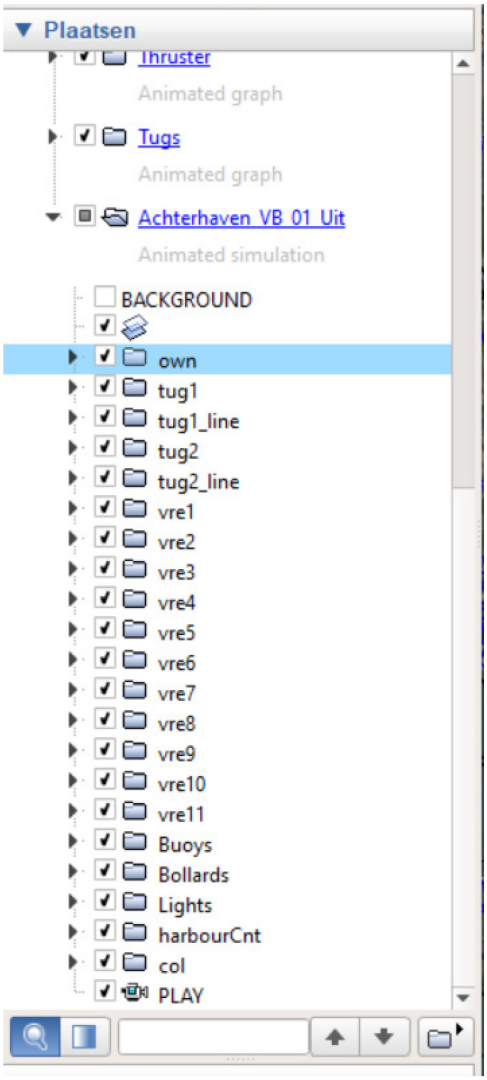
The Graphs shown on the Google Earth presentation are the same graphs as presented in appendix 3 and described in §4.3.2 (Page 1 Manoeuvring conditions). For the simulations in the Voorhaven an additional graph is added containing the lateral motions at the bow, to inspect the influence of the lateral current on the bow motion.



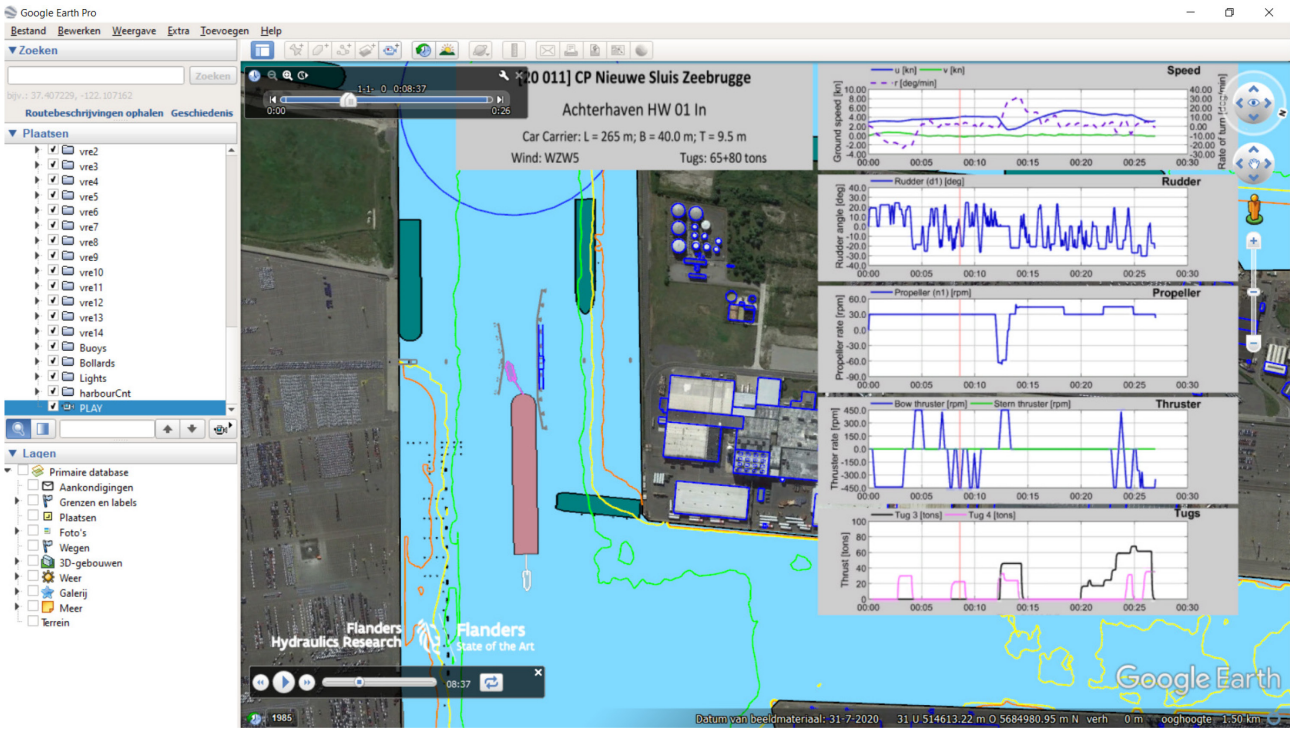
Figuur 96 – Presentation of Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (time selection)

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” (see Figuur 97). Then the Google Earth presentation zooms to the track of the own ship.

In the pull down list of the animated simulation (see Figuur 97) there is also a PLAY button, by double clicking on this button the simulation replays with a vertical coloured 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 bottom corner a play button and a time slider are presented (similar to a video player) and can be used for increasing the replay speed or for sliding through the animation (see Figuur 98).

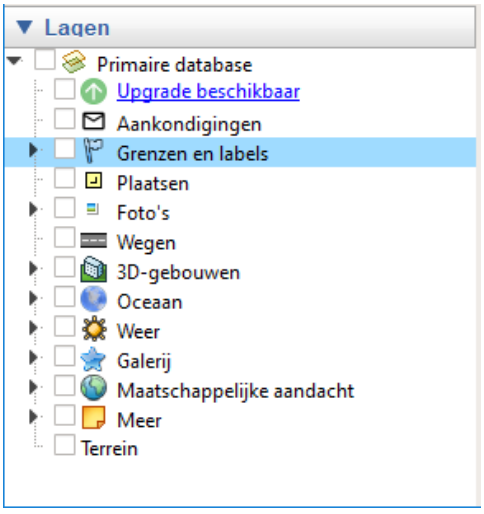


Figuur 97 – Presentation of the simulation trajectories in the left panel



Figuur 98 – Presentation of Achterhaven_HW_01_In_Manoeuvring.kmz in Google Earth Pro™ (PLAY functionality)

Google Earth™ also provides additional layers to be added to the visualisation screen. For presenting KMZ-files from simulations it is advised to toggle off all additional layers (especially *terrain*, see Figuur 99).



Figuur 99 – Layers menu in Google Earth™

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen
T +32 (0)3 224 60 35
F +32 (0)3 224 60 36
waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.waterbouwkundiglaboratorium.be