

Complex project 'Realisatie van extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen'



Geïntegreerd onderzoek

Ontwerprapport 10 Simulatiestudie voor het alternatief Duplex

01/09/2023

DOCUMENTINFORMATIE

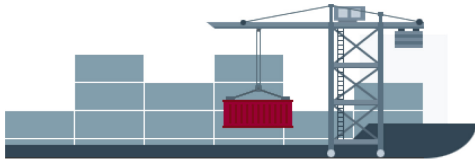
Naam project	Complex project 'Realisatie van extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen' (CP ECA)
Rapporttitel	Ontwerprapport 10: Simulatiestudie voor het alternatief Duplex
Opdrachtgevers	Departement Mobiliteit en Openbare Werken Havenbedrijf Antwerpen Maatschappij Linkerscheldeover
Contactpersoon opdrachtgevers	Dr. Reginald Loyen Programmadirecteur CP ECA Reginald.loyen@mow.vlaanderen.be
Opdrachtnemer	Waterbouwkundig Laboratorium
Contactpersoon opdrachtnemer	Dr. ir. Katrien Eloot
Projectnummer	21_043

VERSIEBEHEER

Versiedatum	Auteur(s) document	Doc.verantwoordelijke	Doc.screener
01/09/2023	Eloot, Katrien	Loyen, Reginald	Verwilligen, Jeroen

DISCLAIMER

"Dit onderzoeksrapport is een ontwerprapport. Het werd niet formeel goedgekeurd door de bevoegde instanties. Voorliggend ontwerprapport wordt nog aangepast en verliest de ontwerpstatus pas na het openbaar onderzoek over het projectbesluit. Pas op dat ogenblik krijgen de eindrapporten een juridische betekenis."



Medegefinancierd door
de Europese Unie

Extra Containercapaciteit Antwerpen

Ontwerprapport 10: Simulatiestudie voor het alternatief Duplex

Project Acroniem:	ECA
Project titel:	Complex project 'Realisatie van extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen'
Grant Agreement Nr.	2020-BE-TM-0086-S
Website:	www.cpeca.be
Versie:	1.0
Datum:	01 september 2023

Disclaimer

De inhoud van deze website valt onder de verantwoordelijkheid van het ECA-project management en weerspiegelt niet noodzakelijk de standpunten van de Europese Unie.



Vlaanderen
is wetenschap



21_043_1
WL rapporten

Complex project Extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen

Deelrapport 1
Geïntegreerd onderzoek
deel nautica: simulatiestudie voor het alternatief Duplex

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Complex project: Extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen

Deelrapport 1 – Geïntegreerd onderzoek – deel nautica:
simulatiestudie voor het alternatief Duplex

Eloot, K.; Verwilligen, J.

Wettelijke 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.

Auteursrecht en citeren

© Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2023
D/2023/3241/195

Deze publicatie moet als volgt worden geciteerd:

Eloot, K.; Verwilligen, J. (2023). Complex project: Extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen: Deelrapport 1 – Geïntegreerd onderzoek – deel nautica: simulatiestudie voor het alternatief Duplex. Versie 5.0. WL-rapporten, 21_043_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Reproductie van en verwijzing naar deze publicatie is toegestaan mits de bron correct wordt vermeld.

Identificatie van documenten

Klant:	Port of Antwerp-Bruges	Ref:	WL2023R21_043_1
Trefwoorden (3-5):	ULCS, toegankelijkheid, duplex, realtime simulaties		
Kennisdomeinen:	Havens en vaarwegen > Manoeuvreegedrag > Oevers > Simulaties Havens en vaarwegen > Scheepsbeweging > Ontwerp Vaarweg en haven > Simulaties		
Tekst (p.):	49	Bijlagen (p.):	52
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Geen	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Eloot, Katrien
------------	----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwilligen, Jeroen	Getekend door: Jeroen Verwilligen (Signat) Getekend op: 2023-09-04 11:28:50 +02:0 Reden: ik keur dit document goed  
Projectleider:	Eloot, Katrien	Getekend door: Katrien Eloot (Signature) Getekend op: 2023-09-04 10:46:35 +02:0 Reden: ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, Karim	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2023-09-04 11:38:15 +02:0 Reden: ik keur dit document goed  
-----------------	------------------	---



Abstract

Het Duplexalternatief is één van de drie ontwerpen voor een tweede getijdedok naast het Deurganckdok. De alternatieven Boemerang en Winkelhaak zijn eerder geëvalueerd door middel van realtime simulaties, terwijl het Winkelhaakdok ook deel uitmaakte van een realtime verkeerssimulatiestudie met vier Ultra Large Containerschepen (ULCS) in interactie met elkaar in dezelfde virtuele omgeving. Het Duplexalternatief werd onderzocht in 20 simulatieruns die gedurende twee dagen werden uitgevoerd door vier loodsen van het Vlaamse en Nederlandse loodswezen en geassisteerd door een sleepbootloods van Boluda of Antwerp Towage. De toegankelijkheid van een ULCS van 400 m en 430 m is gegarandeerd voor windkrachten beperkt tot maximaal 6 Bft met maximale vloed- en ebstroom. Head in mooring is voornamelijk overwogen maar ook enkele head outbound manoeuvres zijn gerealiseerd. Sleepbootconfiguraties (met ten minste drie sleepboten van 80 ton voor 6 Bft) worden voorgesteld om de ULCS bij deze manoeuvres te assisteren. In toekomstig onderzoek zullen de resultaten van deze individuele manoeuvres worden gebruikt als start voor verkeerssimulaties met vier ULCS in één virtuele omgeving die met elkaar in interactie zijn.

Inhoud

Abstract	III
Inhoud.....	V
Lijst van tabellen.....	VI
Lijst van figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Simulatieopstelling en programma	3
2.1 Simulatiesetup	3
2.2 Ontwerp schip	7
2.3 Simulatieprogramma	7
3 Analyse	10
3.1 Opvaart.....	11
3.1.1 Vloedstroom	11
3.1.2 Ebstroom	19
3.2 Afvaart	25
3.2.1 Vloedstroom	25
3.2.2 Ebstroom	34
4 Conclusies en toekomstig werk	41
Referenties	49
Bijlage 1: Pilot kaart 430 m en 400 m ULCS.....	A1
Bijlage 2: Handleiding voor KMZ-tracks.....	A7
Bijlage 3: Feedback.....	A10
Bijlage 4: Tijdsgrafieken.....	A13

Lijst van tabellen

Tabel 1 - Simulatieprogramma	8
Tabel 2 - Overzicht van simulaties en parameters	9
Tabel 3 - Simulaties in opvaart met vloedstroom en gestandaardiseerde feedback.....	11
Tabel 4 - Simulaties in opvaart met ebstroom en gestandaardiseerde feedback.....	20
Tabel 5 - Simulaties in afvaart met vloedstroom en gestandaardiseerde feedback.....	26
Tabel 6 - Simulaties in afvaart met ebstroom en gestandaardiseerde feedback.....	34
Tabel 7 - Voorgestelde sleepbootconfiguratie als functie van head in/out afmeren, op/afvaart en vloed of eb	44
Tabel 8 - Algemene beschrijving van tijdbesparende manoeuvres afhankelijk van afmeerrichting, stroming en op- of afvaren	47

Lijst van figuren

Figuur 1 - Boemerangdok	1
Figuur 2 - Winkelhaakdok.....	2
Figuur 3 - Duplexdok.....	2
Figuur 4 - Navigatielijnen (geel) in het tweede getijdedok: 100 m uit kaailijnen en noordelijke gele helling - verticale wandlijn	3
Figuur 5 - Maximaal overstromingsstroomprofiel voor 155 dm diepgang	5
Figuur 6 - Maximale ebstroomprofiel voor 135 dm diepgang	6
Figuur 7 - Vergelijking van de maximale overstromingsstroom middeling voor 155 dm (zwart), 135 dm (rood) en 120 dm (groen) diepgang	7
Figuur 8 - Voorbeeld KMZ van run 9.....	10
Figuur 9 - Opvaart vloedstroom (head in, 430 m): run 2 bij SW 5 Bft.....	12
Figuur 10 - Opvaart vloed (head in, 430 m): run 3 bij SW 5 Bft	13
Figuur 11 - Run 11: sleepbootassistentie	14
Figuur 12 - Opvaart vloed (head in, 430 m): run 11 bij SW 5 Bft	15
Figuur 13 - Opvaart vloed (head in, 430 m): run 12 bij NW 6 Bft.....	16
Figuur 14 - Opvaart vloed (head in, 430 m): alle runs.....	17
Figuur 15 - Opvaart vloed (head out, 400 m): run 2 052021.....	18
Figuur 16 - Opvaart vloed: vergelijking van head in (run 12, rood) en head out (run 2 052021, groen), min 10 tot 33	19
Figuur 17 - Opvaart eb (head in, 400 m): run 13 bij NW 6 Bft (detail)	20
Figuur 18 - Opvaart eb (head in, 400 m): run 4 op NE 5 Bft.....	21
Figuur 19 - Opvaart eb (head in, 430 m): sleepoperatie voor run 14 en 15 bij NW 6 Bft	22
Figuur 20 - Opvaart eb (head in, 430 m): run 14 bij NW 6 Bft.....	23
Figuur 21 - Opvaart eb (head in, 430 m): run 15 bij NW 6 Bft.....	24
Figuur 22 - Opvaart eb (head in, 430 m): run 15 bij NW 6 Bft: min 11 tot 24.....	25
Figuur 23 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 7 op S 6 Bft: overzicht	26
Figuur 24 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 8 bij S 5 Bft	27
Figuur 25 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 9 bij S 5 Bft	28
Figuur 26 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 17 bij NW 6 Bft.....	29
Figuur 27 - Afvaart vloed (head in, 400 m): run 18 bij NW 5 Bft.....	30
Figuur 28 - Afvaart vloed (head out, 400 m): run 19 bij NW 5 Bft	31
Figuur 29 - Afvaart vloed (head out, 400 m): run 20 bij NW 5 Bft	32

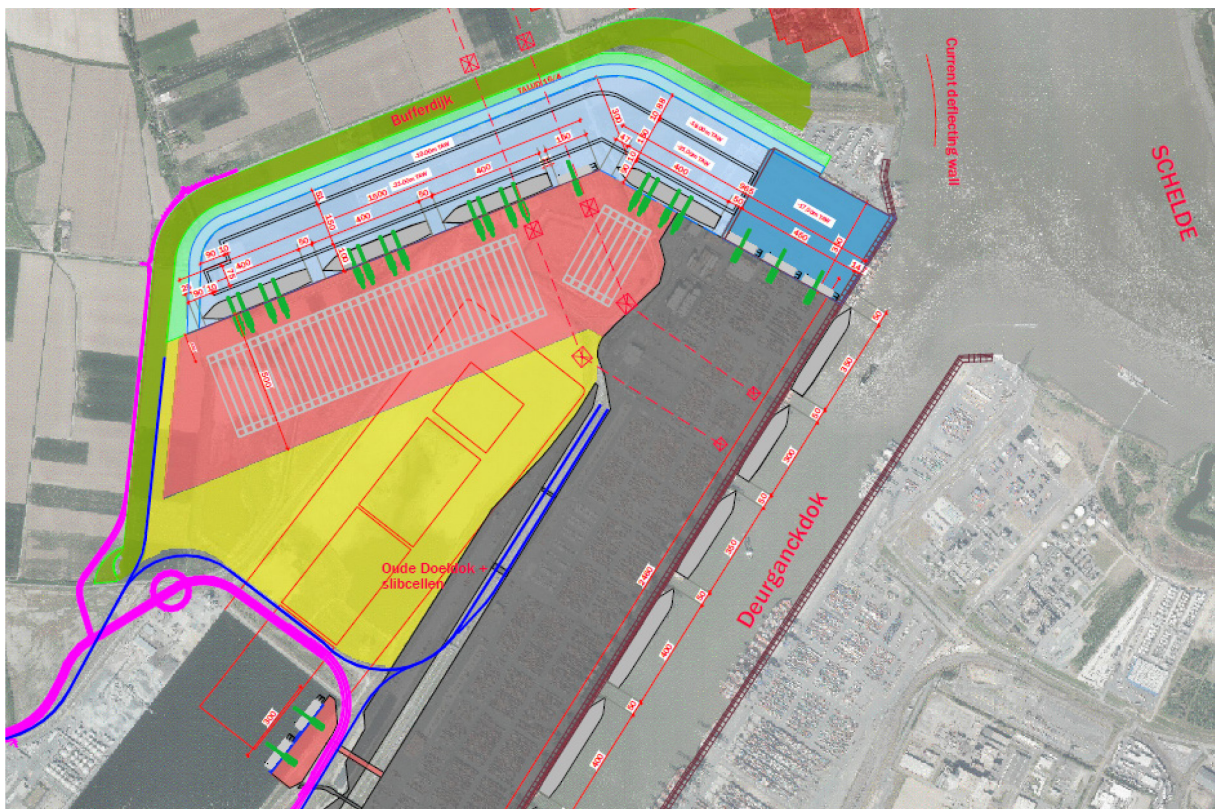
Figuur 30 - Afvaart vloedstroom (400 m): vergelijking van head in (run 18) en head out (run 20), min 7 tot 21	33
Figuur 31 - Afvaart eb (head in, 400 m): run 5 bij NW 6 Bft.....	36
Figuur 32 - Afvaart eb (head in, 400 m): run 6 bij NW 6 Bft.....	37
Figuur 33 - Afvaart eb (head in, 430 m): run 16 bij SW 6 Bft	38
Figuur 34 - Afvaart eb (head out, 400 m): run 10 bij W 5 Bft: overzicht en detail.....	39
Figuur 35 - Afvaart eb (400 m): vergelijking van head in (run 6) en head out (run 10)	40
Figuur 36 - Vergelijking van de grenzen van het Duplexalternatief (wit) met de Boemerang- en Winkelhaakalternatieven (zwart).....	42
Figuur 37 - Overzicht voor head in en head out manoeuvres voor Boemerang- en Winkelhaakalternatieven (430 m ULCS)	42
Figuur 38 - Overzicht voor head in en head out manoeuvres voor Duplexalternatief (430 m en 400 m ULCS)	43
Figuur 39 - Bepaling van wachtruimtes voor binnenschepen	45
Figuur 40 - Sedimentatie op de hoeken van het Deurganckdok en het tweede getijdedok (oranje -14,5 m LAT, rood -10 m LAT)	46

1 Inleiding

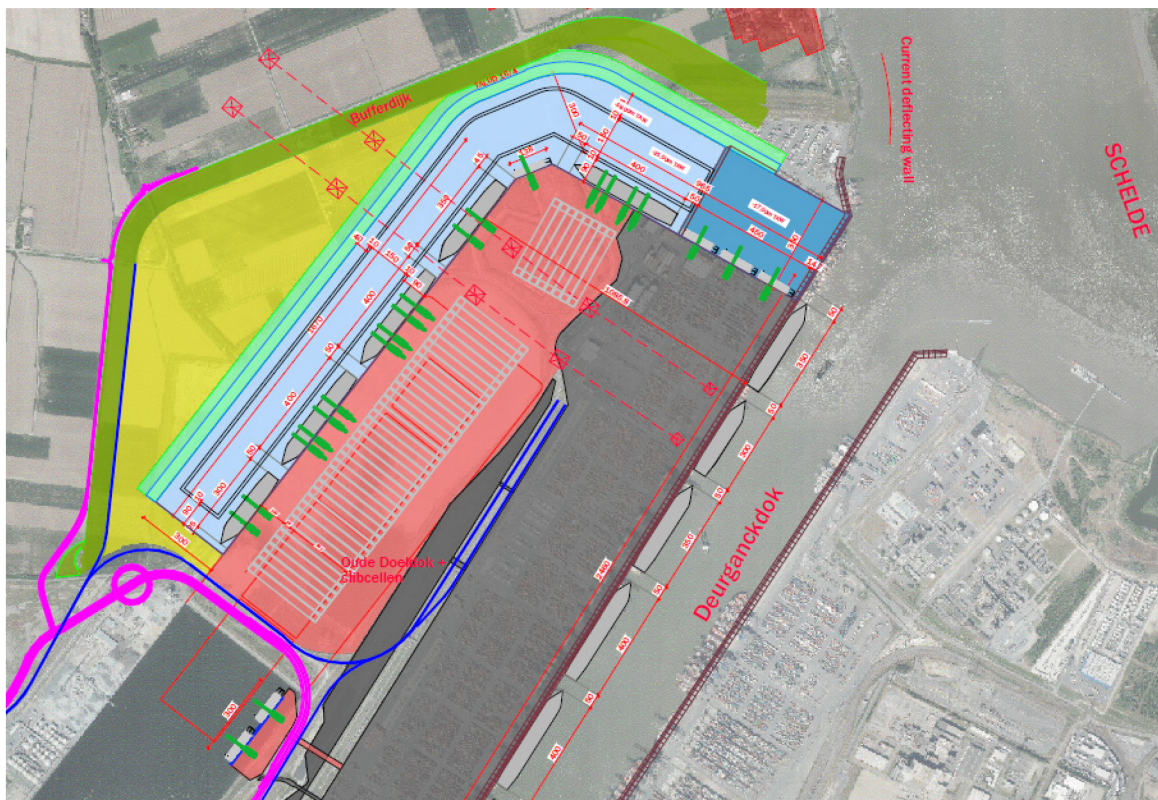
Tijdens de uitwerkingsfase van het Complex Project Extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen (PoAB) zijn drie alternatieven gedefinieerd voor een tweede getijdedok: een Boemerangdok (Figuur 1), een Winkelhaakdok (Figuur 2) en een Duplexdok (Figuur 3).

Het Boemerangdok is onderzocht door middel van realtime simulaties en gerapporteerd in Eloot *et al.* (2019a), het Winkelhaakdok in Eloot *et al.* (2019b) en het Duplexdok is onderwerp van het onderzoek in dit rapport.

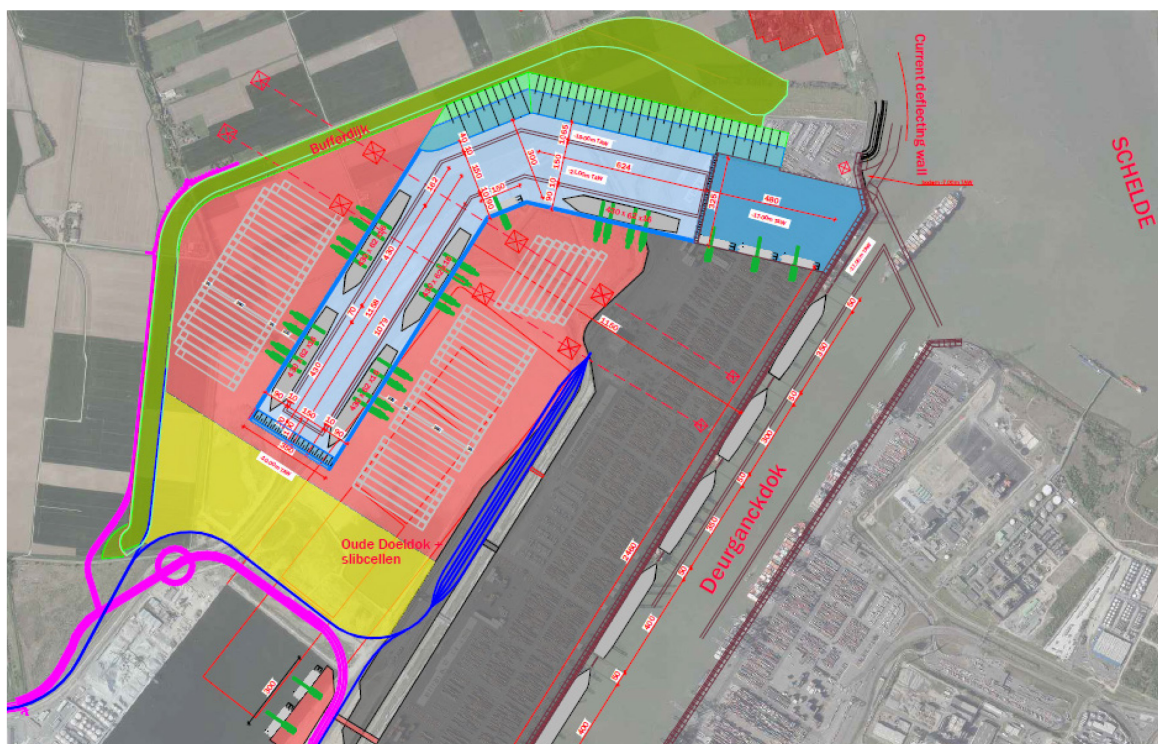
Het doel van deze studie was om de toegankelijkheid van het Duplexdok te onderzoeken door middel van realtime simulaties met loodsen en sleepbootkapiteins gedurende twee dagen. Het ontwerpschip is een schip van 430 m en de wind- en getijdenomstandigheden zijn gekozen als bepalende omstandigheden voor de evaluatie van de toegankelijkheid. Er zijn 20 simulatieruns uitgevoerd, 10 per dag, en het simulatieprogramma en de opstelling worden beschreven in hoofdstuk 2. De analyse is gebaseerd op een evaluatie van elke afzonderlijke simulatierun en onderverdeeld op basis van het inkomende of uitgaande manoeuvre, de huidige toestand (vloed of eb) en de afmeerconditie (head in of head out) in hoofdstuk 3. Conclusies en toekomstig werk worden samengevat in hoofdstuk 4.



Figuur 1 - Boemerangdok [bron PoAB: plan DOECA-001-ONT_CI-025]



Figuur 2 - Winkelhaakdok [bron PoAB: plan DOECA-001-ONT_CI-024]



Figuur 3 - Duplexdok [bron PoAB: plan DOECA-001-ONT_CI-026]

2 Simulatieopstelling en programma

2.1 Simulatiesetup

De simulatieomgeving is gebaseerd op het ontwerpplan in Figuur 3. De ingang van het tweede getijdedok is naar de Schelde gekeerd in vergelijking met de identieke ingangen voor de Boemerang en Winkelhaak alternatieven. De ingang van het Duplexdok is ook smaller met een ingangsbreedte van 325 m in plaats van 350 m voor de twee andere alternatieven. Het tweede deel van het dok na de bocht of knik is ontworpen als een tweezijdig dok met kademuren. Het is belangrijk om de toegankelijkheid van een dok met een breedte van 350 m (na de knik) te onderzoeken voor operaties aan beide zijden van het dok met afgemeerde schepen aan de kades. Het tweede getijdedok is smaller dan het Deurganckdok aan de Kieldrechtsluis (minimaal 400 m), maar er is geen sluis die in rekening moet gebracht worden.

Aangezien het dok faciliteiten nodig zal hebben voor het aanmeren en wachtplaatsen voor de binnenvaart, werden drie zones voorzien met binnenschepen:

1. de eerste 480 m van de kade vanaf de ingang;
2. het talud tegenover de kademuur voor de bocht waar voldoende diepte beschikbaar is voor de diepgang van de binnenschepen en veiligheidsafstand tot passerende zeeschepen;
3. het einde van het dok loodrecht op de kademuuren.



Figuur 4 - Navigatielijnen (geel) in het tweede getijdedok: 100 m uit kaalijnen en noordelijke gele helling - verticale wandlijn

Er zijn navigatielijnen toegevoegd aan de portable pilot unit (PPU) van de loodsen met (Figuur 4):

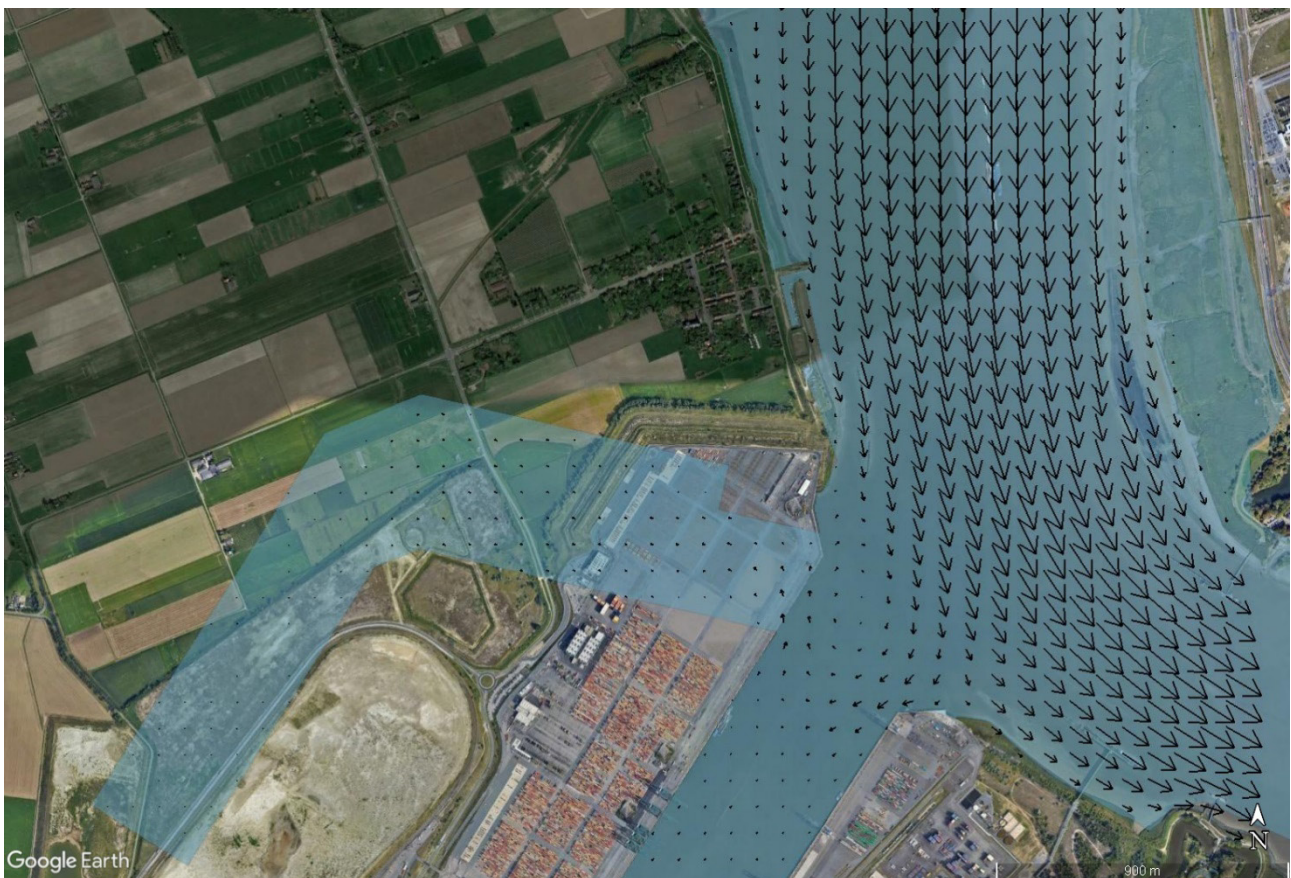
- een 100 m uit de kademuurlijn in het eerste deel vanaf de ingang tot de knik;
- een snijlijn van het talud tussen de verticale noordelijke muur aan de ingang van het dok en het talud in de knik;
- twee 100 m uit kademuurlijnen in het tweede deel van het dok.

Er is een uniform windveld gebruikt, waarbij geen rekening is gehouden met windafscherming door andere schepen of gebouwen. Het windveld is vlagerig volgens een Von Karmann-spectrum. De ongunstige richtingen voor zuidwestelijke tot noordoostelijke winden werden onderzocht en er werd gekozen voor een gemiddelde windkracht van 5 of 6 Bft met pieken tot twee Bft-klassen hoger. Als opmerking voor de invloed van wind is een verschil te zien tussen de perceptie van de windkracht in werkelijkheid (eerder op 1/3e hoogste windsnelheden) en de gemiddelde windkracht tijdens de simulatie. Als gevolg hiervan wordt de windkracht tijdens de simulatie over het algemeen als krachtiger beschouwd. Als richtwaarde voor de benodigde sleepbootassistentie kan men bij een windkracht van 6 Bft (gemiddelde snelheid 12.3 m/s) een zijwaartse winddruk verwachten op het 400 m schip van 160 ton (of minstens twee sleepboten van 80 ton) en hoger op het 430 m schip. Aangezien pieken boven deze gemiddelde snelheid in de wind optreden, zullen twee sleepboten van 80 ton bij hogere windsnelheden niet voldoende zijn om het schip bij lage snelheid tegen de wind in te bewegen.

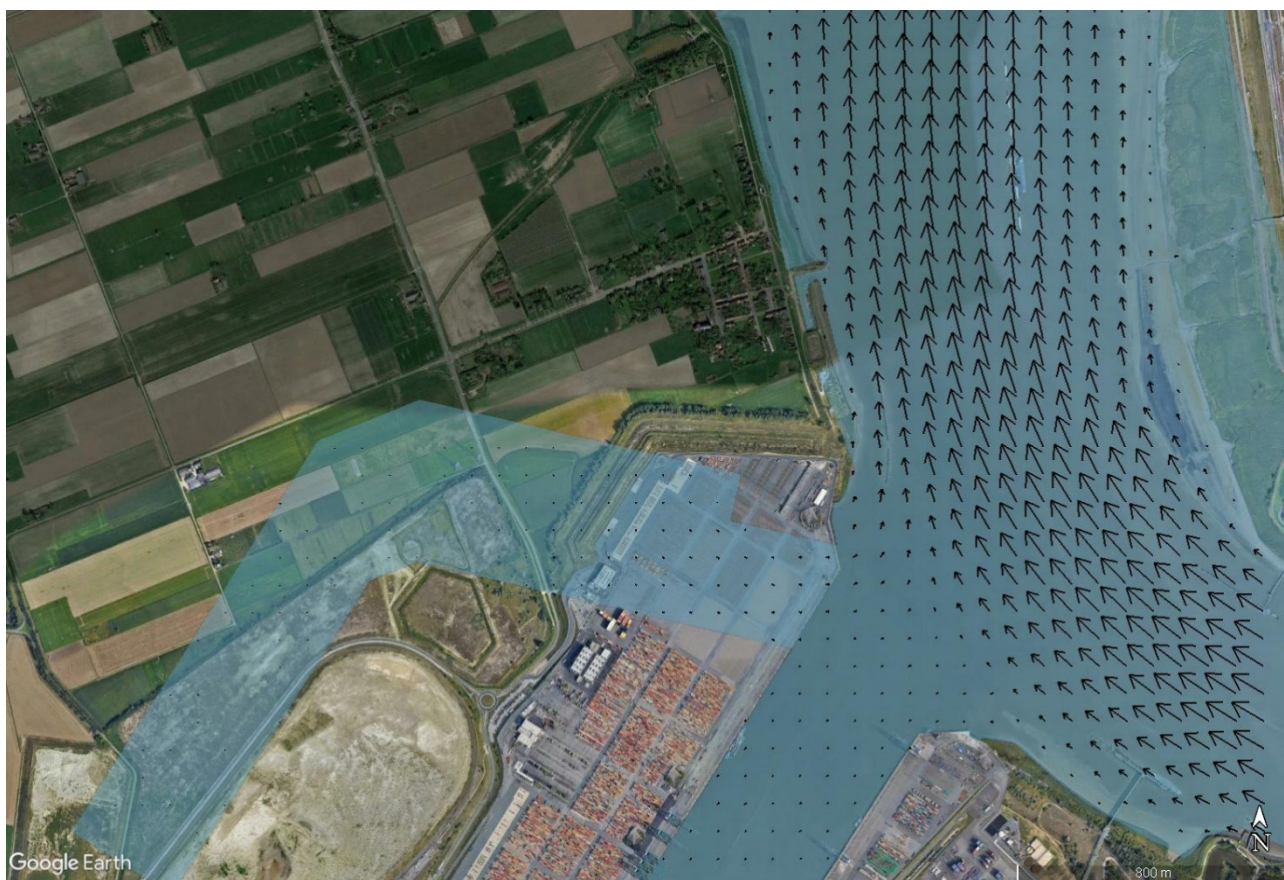
Er werden twee stroomprofielen gekozen die overeenkomen met een maximale vloedstroom (Figuur 5) en een maximale ebstroom (Figuur 6). Een driedimensionaal stroomprofiel werd berekend aan de hand van een origineel Scaldis-model 2013 (Smolders *et al.*, 2015) bijgewerkt met de bathymetrie van 2019 (Vanlede *et al.*, 2020). Het driedimensionale profiel werd gemiddeld over drie verschillende scheepsdiepten van 120 dm, 135 dm en 155 dm vanaf het wateroppervlak (bv. Figuur 7). De gedraaide Europaterminal (Eloot *et al.*, 2020) werd meegenomen in de berekening van het stroomprofiel voor de drie alternatieve dokken. Er is uitgegaan van een getijcyclus (gemiddeld springtij) van 24 tot 25 maart 2019.

- Maximale vloedstroom: -00:54 tot hoogwater Prosperpolder met een getijhoogte van +5,34 m LAT
- Maximale eb: +03:11 en +03:21 na hoogwater Prosperpolder met een getijhoogte van +3,49 tot +3,3 m LAT.

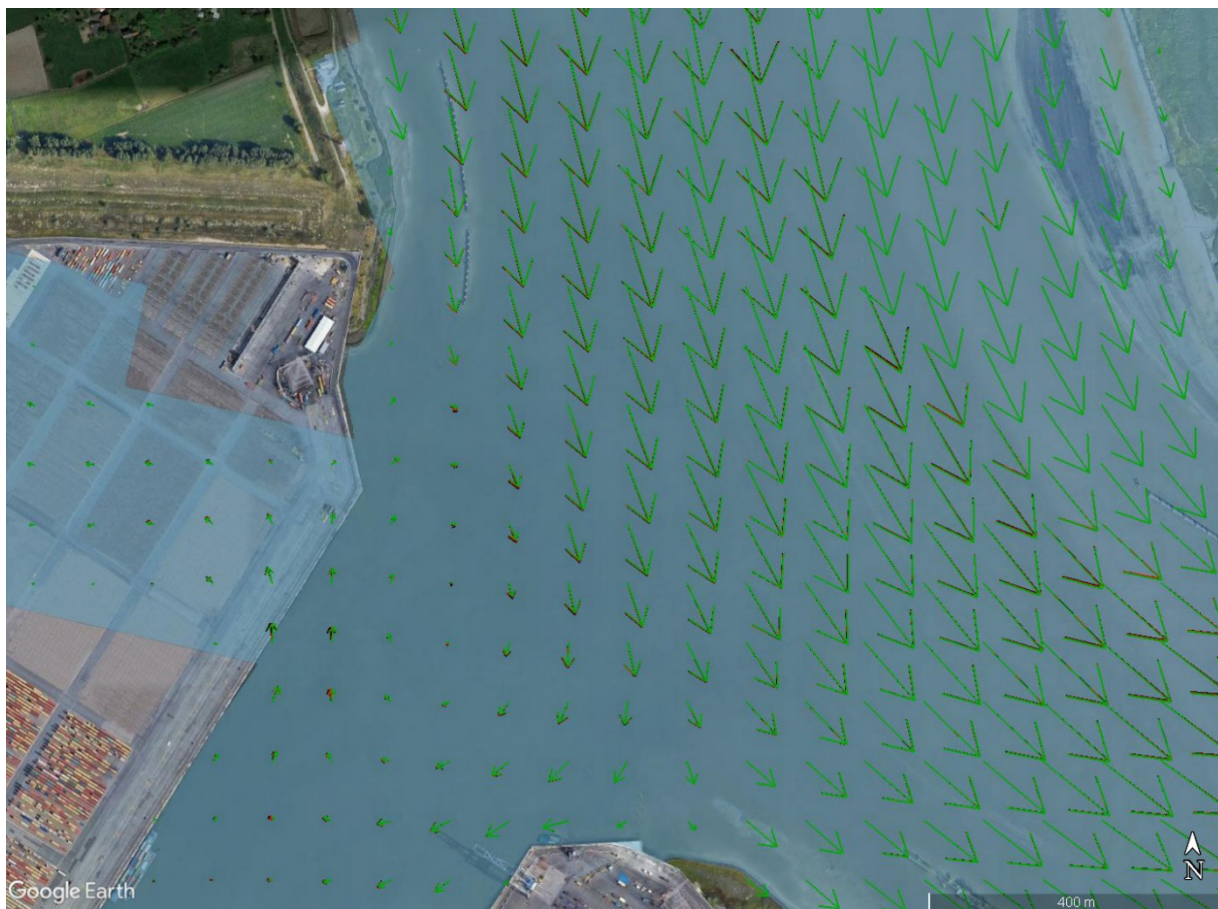
Op basis van validatie door metingen in de werkelijke Westerschelde en eerdere vergelijking met numerieke berekeningen is een multiplicator gebruikt met factor 1.15 die een toename geeft van 15% ten opzichte van het berekende stroomprofiel.



Figuur 5 - Maximaal overstromingsstroomprofiel voor 155 dm diepgang (overzicht en details)



Figuur 6 - Maximale ebstroomprofiel voor 135 dm diepgang (overzicht en details)



Figuur 7 - Vergelijking van de maximale overstromingsstroom middeling voor 155 dm (zwart), 135 dm (rood) en 120 dm (groen) diepgang

2.2 Ontwerp schip

In eerder onderzoek voor het Boemerang- en Winkelhaakdok werd een ontwerpschip van 430 m met een breedte van 62 m gebruikt (zie Bijlage 1). Inmiddels is een 400 m Ultra Large Container Ship (ULCS) ontwikkeld met een breedte van 61.5 m en gebruikt in de ontwerpsimulatiestudie voor een uitbreiding van de Noordzeeterminal in het kader van het Complex project ECA. Omdat het 430 m lange ontwerpschip alleen beschikbaar is bij een diepgang van 15 m en meer, kan het interessant zijn om simulaties op te nemen met het 400 m lange schip bij getij-onafhankelijke diepgang (13.1 m en lager).

2.3 Simulatieprogramma

De parameters die tijdens de simulaties zijn gevarieerd, zijn:

- opvarend (9) of afvarend (11);
- Head in (17) of head out (3): meestal werd head in afmeren beschouwd voor het Duplexalternatief. Enkele extra simulaties met head out afmeren zijn onderzocht. Er zijn geen emergencies uitgevoerd.
- Voor de huidige omstandigheden is een keuze gemaakt tussen maximale vloedstroom (12) of ebstroom (8). Er zijn geen simulaties bij laagwater uitgevoerd.
- De windcondities varieerden tussen S en NE met Beaufortklassen van 5 en 6 Bft (S: 3; SW: 5; W: 1; NW: 10; NE: 1).

- Alle sleepboten waren van het type Azimuth Stern Drive met een bollard pul van 80 ton. Er zijn maximaal drie sleepboten gebruikt.

Vier loodsen (één van het Nederlandse loodswezen en drie van het Vlaamse loodswezen) hebben met hun expertise bijgedragen aan de simulatiestudie. De sleepboten werden bediend met een vereenvoudigde sleepbootconsole met een realistische softwaremodule voor sleepbootbediening. De sleepboten werden geactiveerd door een sleepbootkapitein van Antwerp Towage of van Boluda en zij brachten hun kennis in het project in.

Het simulatieprogramma met 20 realtime simulatieruns is samengevat in Tabel 1. De naam van de run, de datum, de lengte en diepgang van het schip, opvarend of afvarend, head in of out, de stroming, de wind en de sleepbootconfiguratie zijn samengevat.

Tabel 1 - Simulatieprogramma

Run	Datum	Schip (L/T)	In/Uit	Stroom	Wind	Sleepboten ¹	
Duplex_1	30/08/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Vloed	SW5	F	A
Duplex_2	30/08/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Vloed	SW5	F	A
Duplex_3	30/08/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Vloed	SW5	F	A
Duplex_4	30/08/2021	400 m/ 13.1 m	In (head in)	Eb	NE5	F	A-SS / A-PS
Duplex_5	30/08/2021	400 m/ 13.1 m	Uit (head in)	Eb	NW6	F	A
Duplex_6	30/08/2021	400 m/ 13.1 m	Uit (head in)	Eb	NW6	F	A
Duplex_7	30/08/2021	430 m/ 15 m	Uit (head in)	Vloed	S6	F	A / P-PS
Duplex_8	30/08/2021	430 m/ 15 m	Uit (head in)	Vloed	S5	F	A
Duplex_9	30/08/2021	430 m/ 15 m	Uit (head in)	Vloed	S5	F	A
Duplex_10	30/08/2021	400 m/ 13.1 m	Uit (head out)	Eb	W5	F	A
Duplex_11	06/09/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Vloed	SW5	F	A-SS / A-PS
Duplex_12	06/09/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Vloed	NW6	F	A
Duplex_13	06/09/2021	400 m/ 13.1 m	In (head in)	Eb	NW6	F	A-SS / A-PS
Duplex_14	06/09/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Eb	NW6	F	A-SS / A-PS
Duplex_15	06/09/2021	430 m/ 15 m	In (head in)	Eb	NW6	F	A-SS / A-PS
Duplex_16	06/09/2021	430 m/ 15 m	Uit (head in)	Eb	SW6	F	A
Duplex_17	06/09/2021	430 m/ 15 m	Uit (head in)	Vloed	NW6	F	A
Duplex_18	06/09/2021	400 m/ 13.1 m	Uit (head in)	Vloed	NW5	F	A
Duplex_19	06/09/2021	400 m/ 13.1 m	Uit (head out)	Vloed	NW5	F-PS / F	A-SS
Duplex_20	06/09/2021	400 m/ 13.1 m	Uit (head out)	Vloed	NW5	F-PS / F	A-SS

¹ Voor de 80-ton sleepboten betekent P (Pusher), F (Fore) en A (Aft) om de duw- of sleepmodus en positie aan te geven met extra SS (stuurboordzijde) of PS (bakboordzijde) of centre lead indien niet vermeld.

In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van het aantal runs voor de verschillende parameters. Er zijn slechts drie runs uitgevoerd vanaf het tweede getijdedok met head out. Voor de opvarende manoeuvres zijn er geen runs beschikbaar waarbij het schip achteruit het dok in gaat (head out), vanwege tijdsgebrek en bekende zwaaimanoeuvres naar het Deurganckdok, die gedeeltelijk nodig zijn voor het achteruit binnenvaren van het tweede getijdedok. Er wordt een kleurcode gebruikt met grijs voor runs die niet in aanmerking worden genomen (gewenningsrun of impact van externe bezoekers), rood voor runs die voortijdig zijn gestopt (en herhaald) en zwart voor runs die wel in aanmerking worden genomen. Cursief betekent een simulatierun met het schip van 400 m.

Tabel 2 - Overzicht van simulaties en parameters

	Op, vloed	Op, eb	Af, vloed	Af, eb
Head in	1, 2, 3, 11, 12	4, 13, 14, 15	7, 8, 9, 17, 18	5, 6, 16
Head out			19, 20	10

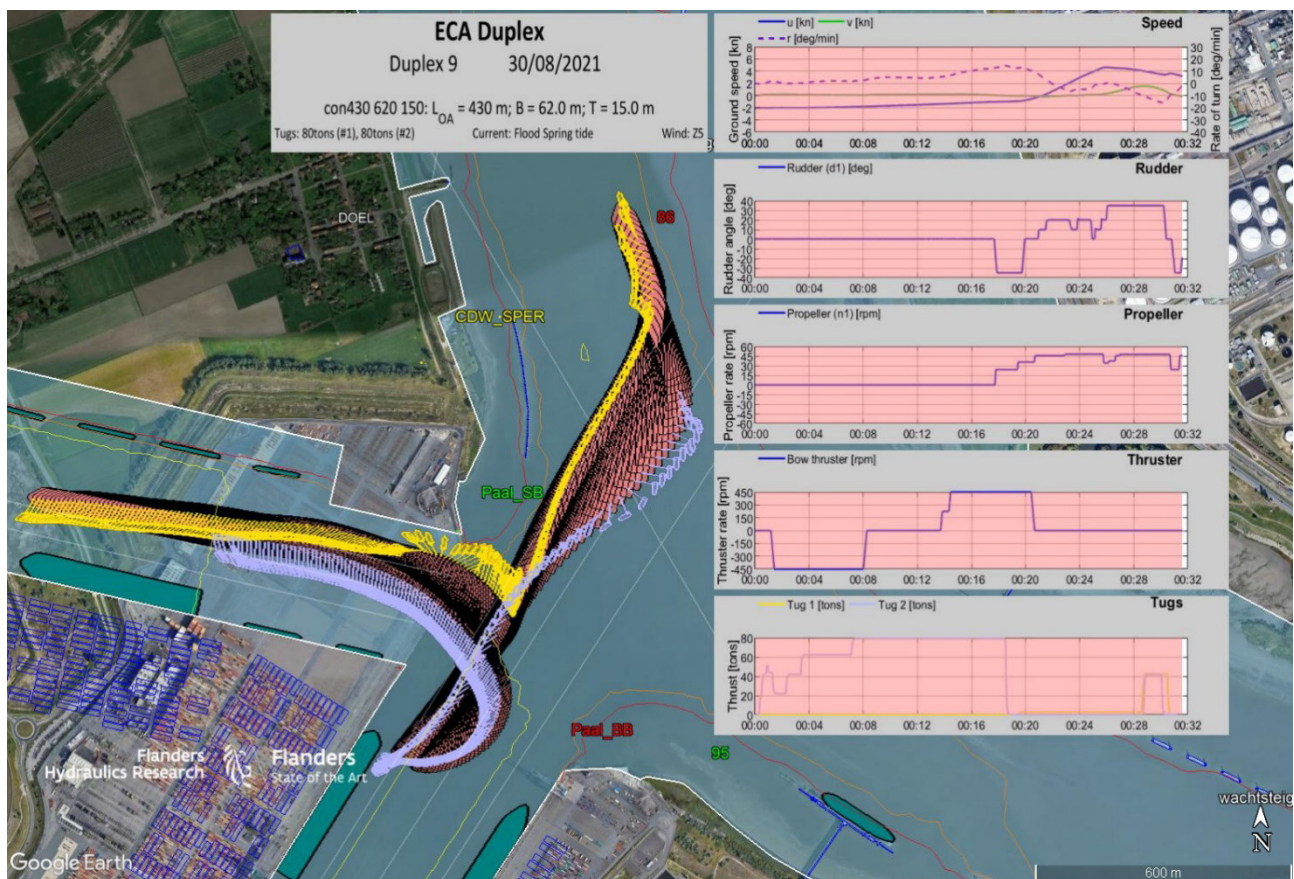
3 Analyse

De analyse werd gebaseerd op:

- KMZ-presentaties van de sloopstrack met sloopboten die in Google Earth kunnen worden geopend (Figuur 8). Deze KMZ-bestanden zijn bij het rapport gevoegd. De handleiding voor het gebruik van deze bestanden wordt beschreven in Bijlage 2;
- Feedback van de loodsen per simulatie met ook een gestandaardiseerd evaluatieformulier (Bijlage 3);
- Grafieken met de kinematische (snelheid) en besturingsvariabelen (schroeftoerental, roerhoek en boegschroef) en het gebruik van sloopboten als functie van de tijd (Bijlage 4).

De analyse kan rekening houden met het verschil in sloopslengte tussen een sloop van 430 en 400 m. De visualisatie van de tracks op Google Earth geeft de mogelijkheid om de simulatierun opnieuw af te spelen en het manoeuvre van het sloop met sloopboten te beoordelen in relatie tot de infrastructuur, dieptelijnen (aan de grond lopen) en navigatielijnen.

Naast de baan van het sloop en de sloopboten worden de tijdsafhankelijke variabelen van het sloop en de sloopboten (vereiste sloopkracht) weergegeven op de tijdgrafieken. Als het vereiste vermogen van de controlelichamen (sloop, roer, boegschroef) groot is, wordt het manoeuvre uitgevoerd met minimale reserve. Aangezien in deze simulatiestudie alleen sterke stroom- en windcondities zijn gekozen, zullen de controlelichamen (roer, boegschroef en sloopboten) in de praktijk minder vaak en minder snel worden gebruikt dan tijdens de simulaties.



Figuur 8 - Voorbeeld KMZ van run 9

De analyse is onderverdeeld in de opvaart (hoofdstuk 3.1) en de afvaart (hoofdstuk 3.2) voor vloed- en ebstroom.

3.1 Opvaart

Er zijn negen simulaties uitgevoerd voor de opvaart naar het tweede getijdedok, het Duplexalternatief, vijf met maximale vloedstroom (Tabel 3) en vier met maximale ebstroom (Tabel 4).

3.1.1 Vloedstroom

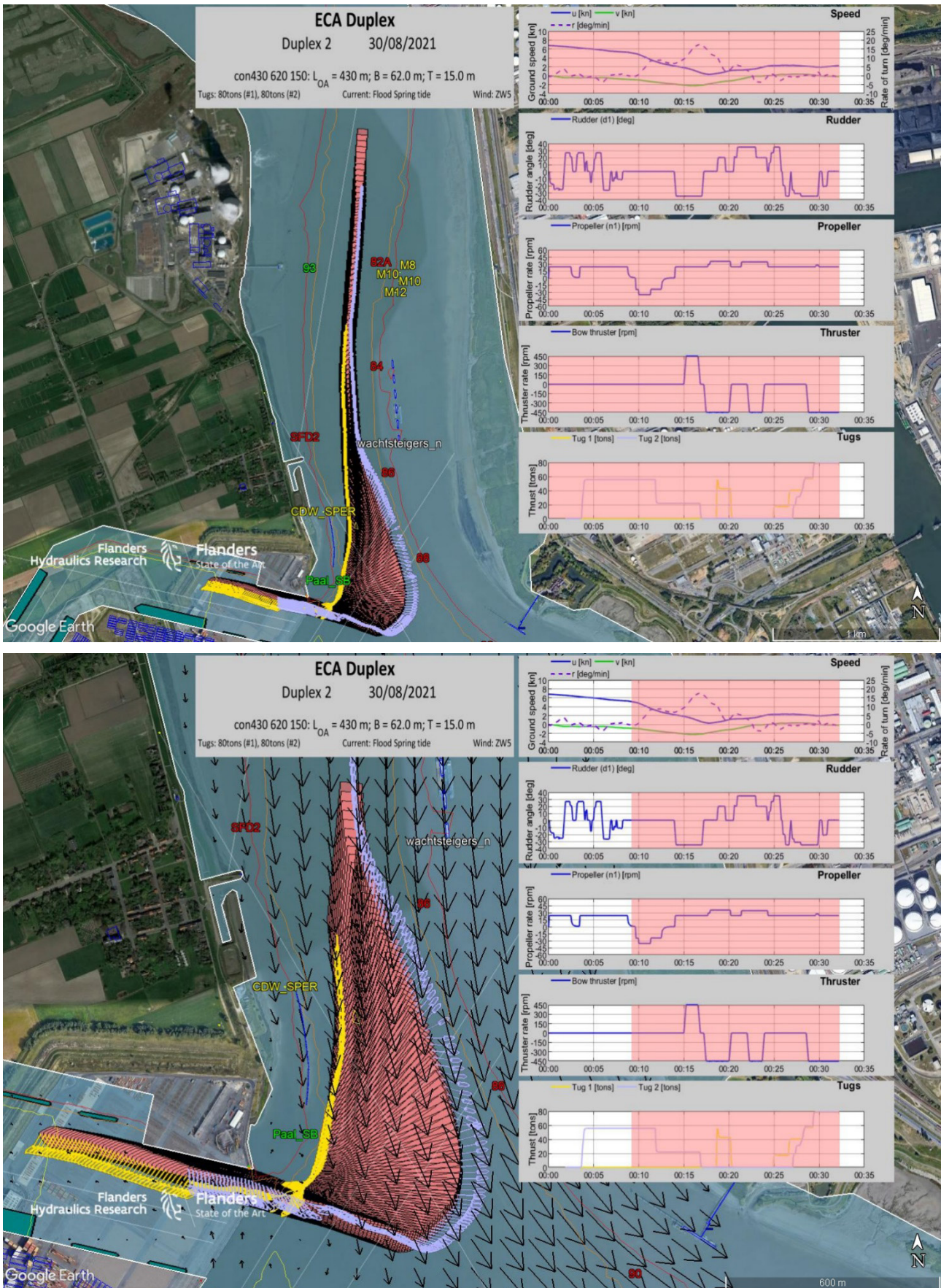
Alle simulatieruns zijn uitgevoerd met het 430 m containerschip op 15 m diepgang, vier bij wind SW 5 Bft en één bij NW 6 Bft. Run 1 werd uitgevoerd als een gewenningsrun van de eerste simulatiedag om vertrouwd te raken met de nieuwe dokconfiguratie en het 430 m ULCS. Het schip voer het tweede getijdedok binnen dicht bij de noordelijke verticale wand, wat geen realistische reserve oplevert.

Tabel 3 - Simulaties in opvaart met vloedstroom en gestandaardiseerde feedback

Run	Schip (L/T)	Wind	Sleepboten		Reserve	Moeilijkheid
Duplex_1	430 m/ 15 m	SW5	F	A	-	-
Duplex_2	430 m/ 15 m	SW5	F	A	4	2
Duplex_3	430 m/ 15 m	SW5	F	A	2	2
Duplex_11	430 m/ 15 m	SW5	F	A-SS / A-PS	2	2
Duplex_12	430 m/ 15 m	NW6	F	A	3	2

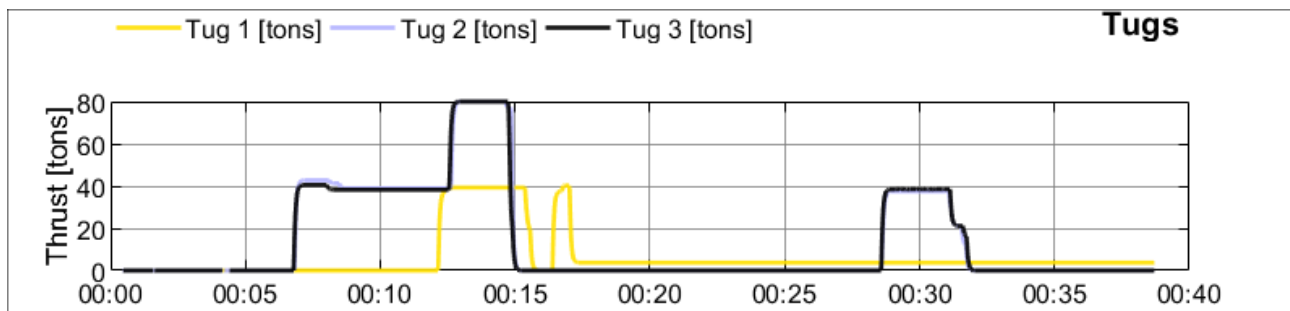
De simulatiecondities werden herhaald in run 2 en run 3, maar in run 2 raakte het schip bij het binnenvaren van het tweede getijdedok de noordelijke wand (oranje contactlijn aan de noordelijke verticale wand op Figuur 9). In de opvaart met maximale vloedstroom kan de stroming gebruikt worden om het indraaien van het dok te maken. De giersnelheid (ROT) en de (voorwaartse) snelheid moeten echter in evenwicht zijn, zodat het schip meer in de middellijn van het dok komt. In Figuur 9 is te zien dat de snelheid over de grond (SOG) afnam tot bijna nul knopen terwijl de ROT meer dan 15 graden per minuut was. Boegschroef en sleepboten helpen het indraaimanoeuvre naar het dok met voldoende reserve. Een wervel in de stroming in de riviermonding van het Deurganckdok brengt de boeg naar het noorden bij het binnenvaren van het tweede getijdedok, zodat een goede balans tussen ROT en SOG helpt bij het vermijden van een moeilijke positie in de ingang. De loodsen adviseerden om de hoeken van de noordelijke dokmuur te ronden en fenders te voorzien. De gedetailleerde trackplot in Figuur 9 duurde bijna 25 minuten (van ten noorden boei 86 tot voorbij de noordelijke muur).

Dezelfde condities werden herhaald in run 3. Een grotere afstand tot de current deflecting wall (CDW_SPER op Figuur 10) werd gerealiseerd met een draaimanoeuvre op de rivier in volle vloedstroom, zodat het schip naar het zuidelijke deel van de riviermonding van het Deurganckdok werd verplaatst. De ROT nam toe tot bijna 20 graden en de SOG nam af tot 1 knoop. De boegschroef (meer dan 10 minuten vol) en de voorste sleepboot op maximale kracht werden gebruikt om de boeg terug te brengen naar de centrale lichtenlijn van het Deurganckdok. Er was dus geen reserve. De loodsen besloten dat in verdere runs geadviseerd zou moeten worden om de boeg tussen de westelijke en middelste lichtlijnen van het Deurganckdok te houden tijdens het draaien naar de ingang van het tweede getijdedok. Het opvaartmanoeuvre in de gedetailleerde trackplot in Figuur 10 nam minder tijd in beslag (niet meer dan 20 minuten) dan in run 2.



Figuur 9 - Opvaart vloedstream (head in, 430 m): run 2 bij SW 5 Bft (overzicht en detail)

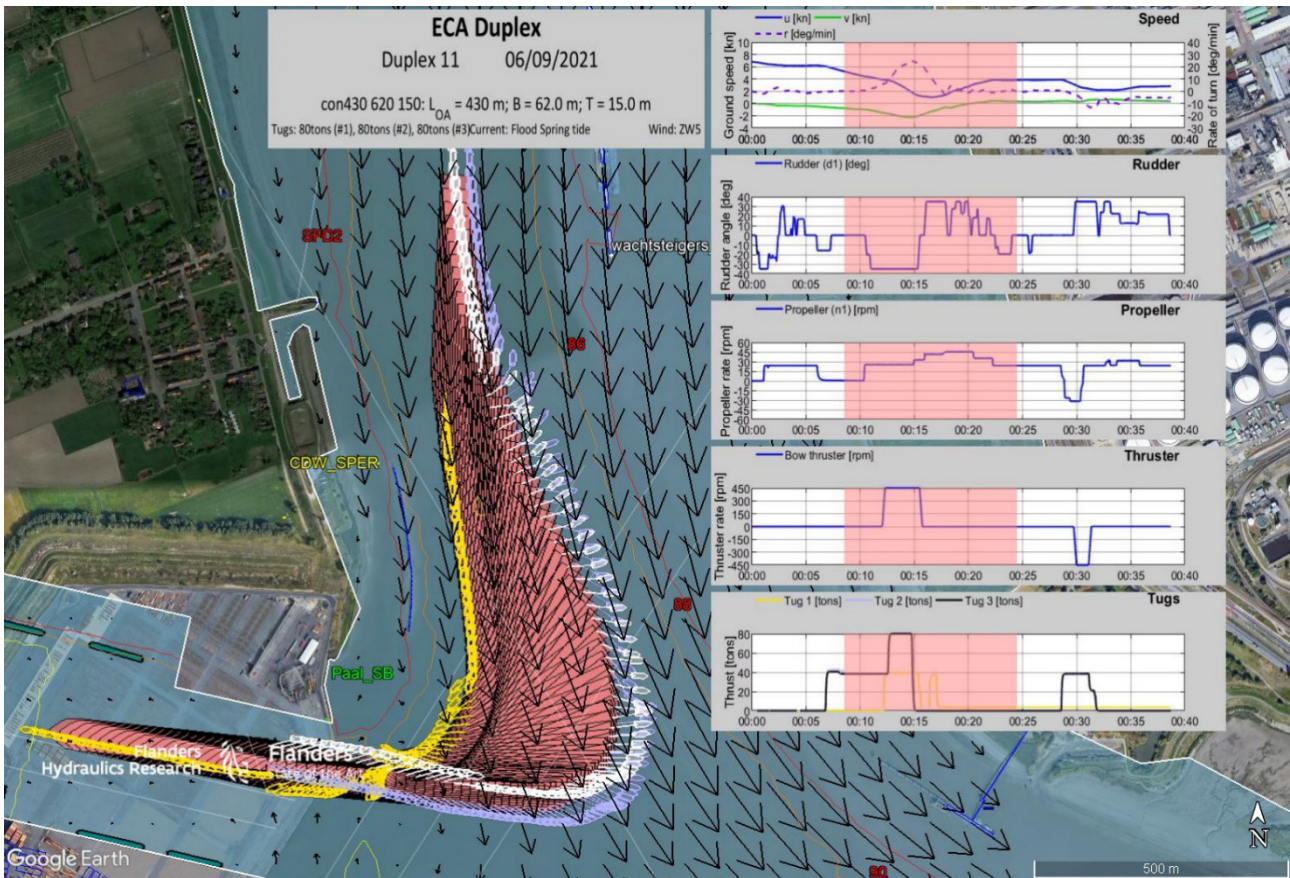
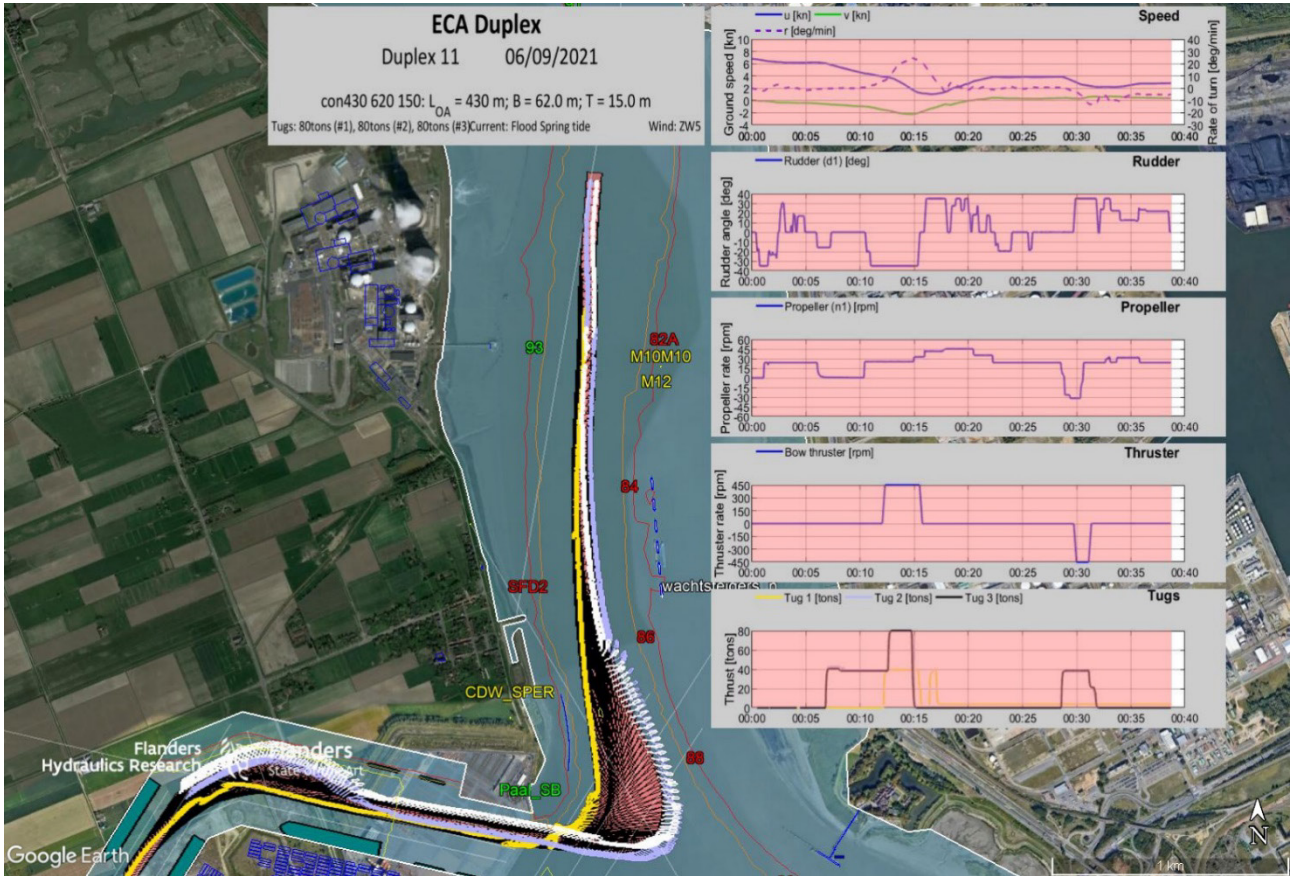
Dit advies om de boeg tussen de westelijke en de middelste lichtlijn te houden wordt in run 11 met identieke condities als in run 2 en 3 uitgevoerd. Hoewel in de vorige runs 1 tot 3 slechts twee sleepboten werden gebruikt (één voor en één achter), zijn er in run 11 twee sleepboten achter en één sleepboot voor (Figuur 11). Slechts gedurende minder dan 3 minuten wordt de volle kracht van de twee achterste sleepboten gebruikt om de ROT te verhogen tot een waarde boven 20 graden met als gevolg dat de snelheid ook afneemt van 4 tot 1 knoop (Figuur 12). De voorste sleepboot houdt de boeg tussen de lichtenlijnen met halve kracht. Het indraaimanoeuvre naar het tweede getijdedok verloopt veilig en vlot met reserve aan de noordelijke muur en de afgemeerde binnenschepen aan de zuidelijke muur. Dit indraaimanoeuvre duurt iets meer dan 15 minuten (zie de gedetailleerde trackplot in Figuur 12).



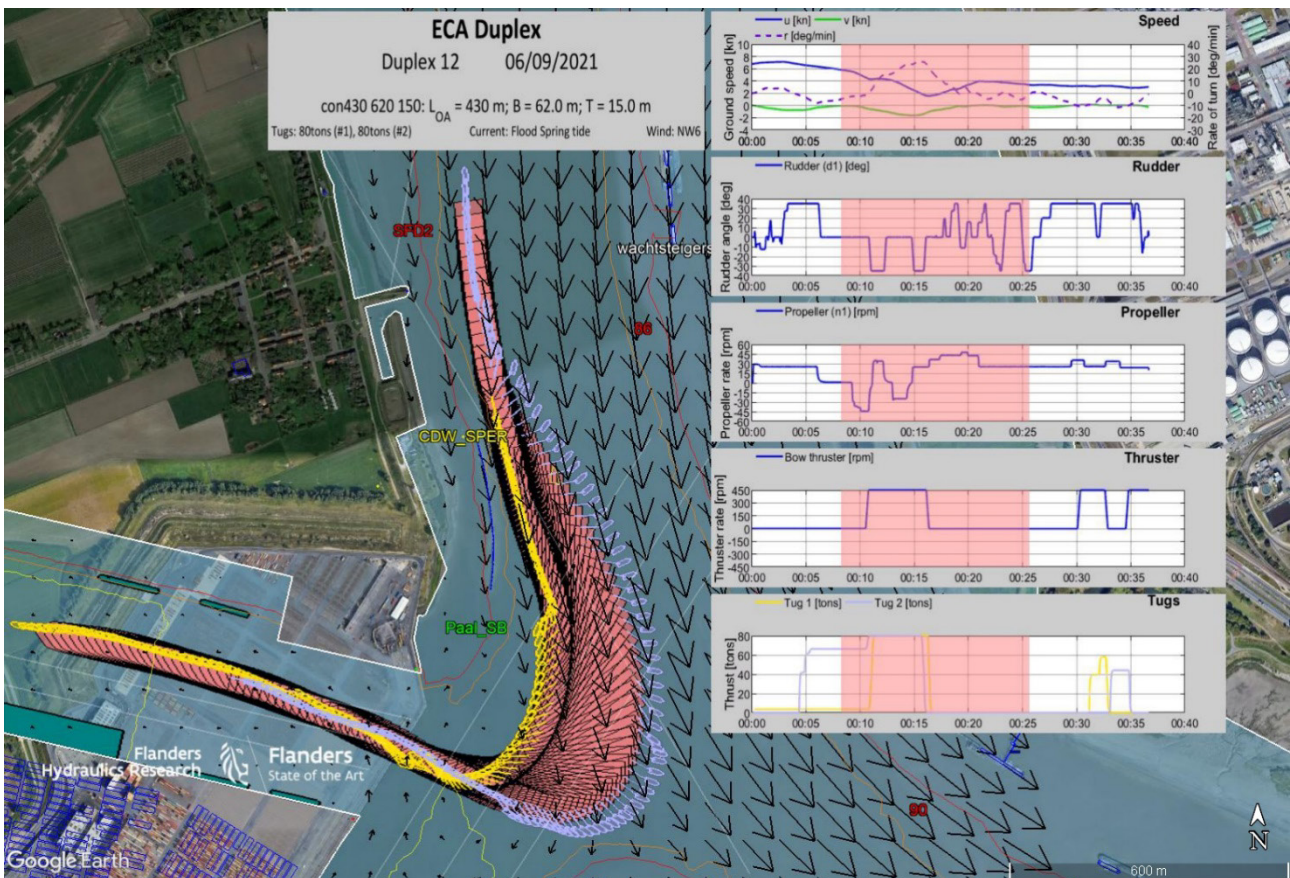
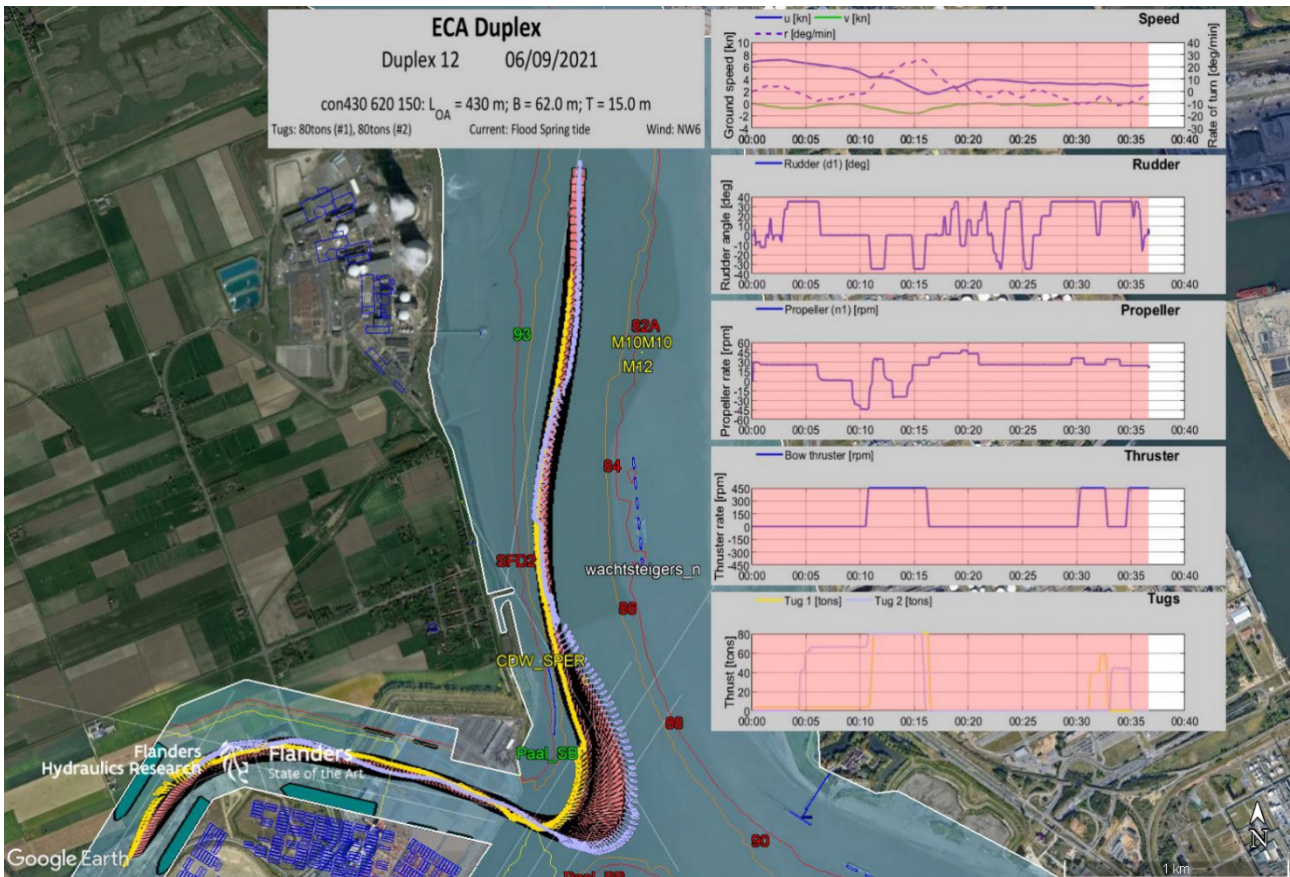
Figuur 11 - Run 11: sleepbootassistentie

In run 12 was de windrichting veranderd naar noordwest en 6 Bft kracht en assisteerden alleen een voor- en een achtersleepboot (Figuur 13). Het schip komt dicht bij de current deflecting wall omdat de loodsen verwachtten dat het schip door de wind naar bakboord zou worden verzet. De dwarse windkracht en het giermoment zijn belangrijk. Tijdens het draaien kan de boeg op de center lichtlijn van het Deurganckdok gehouden worden, maar alleen door volle kracht voor beide sleepboten gedurende bijna 5 minuten samen met maximale boegschroef. Er is dus geen reserve. Er werd geconcludeerd dat ten minste drie sleepboten (waarvan twee van 80 ton) moeten worden ingezet bij windkrachten van 6 Bft en hoger voor ULCS vanaf 400 m lengte. De duur van het indraaimanoeuvre is vergelijkbaar met run 11.

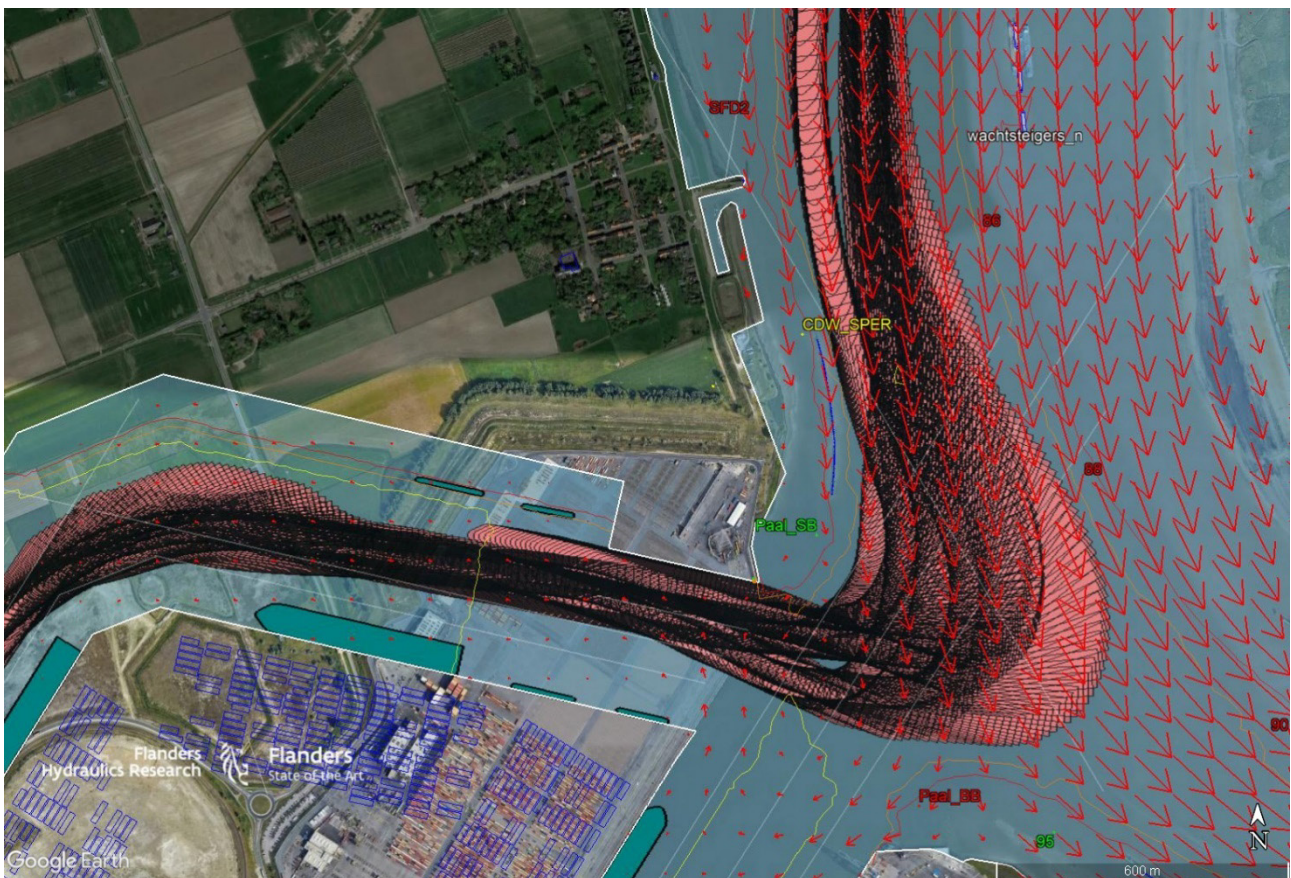
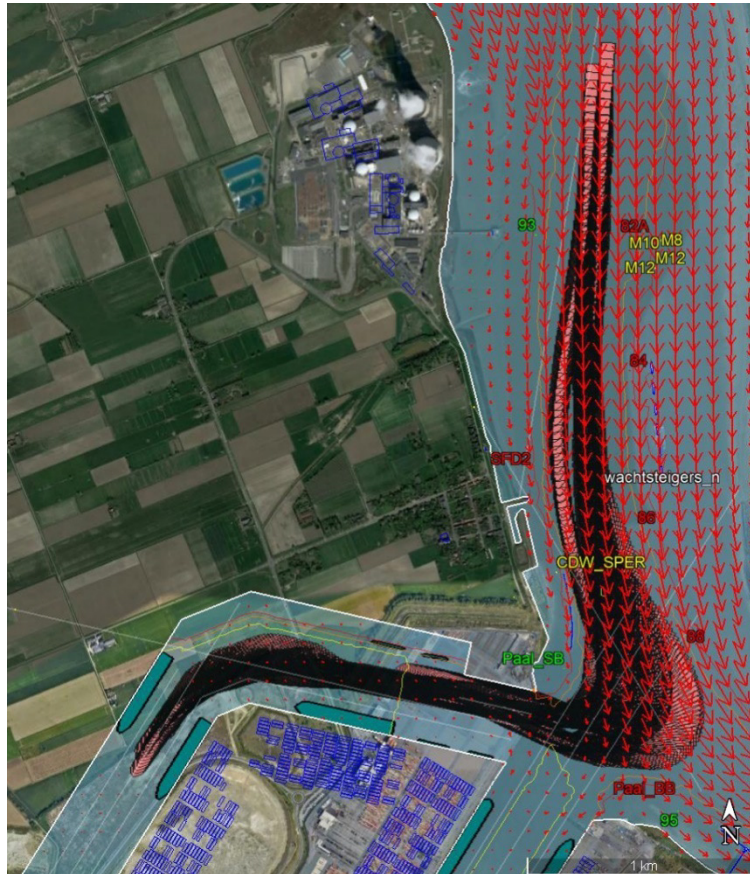
Alle runs met deze getijdecondities en stroming worden getoond in Figuur 14. De zwarte zones tonen het pad op de rivier en in het dok van de meeste runs. De zone in de monding van het Deurganckdok, van de westelijke lichtlijn tot halverwege tussen de oostelijke lichtlijn en de rode PAAL_BB, is voornamelijk bezet tijdens het draaien. Vervolgens varen de schepen het tweede getijdedok binnen ten noorden van de 100 m buiten de kade gelegen navigatielijn. Een goede balans tussen ROT en SOG is nodig om een pad dicht bij de noordelijke muur te vermijden. In het dok zelf kan de bocht worden genomen met voldoende afstand tot de afgemeerde schepen en met een beperkte sleepboot- en boegschroefassistentie. De voorwaartse snelheid ligt in het dok tussen 2 (bocht) en 4 (rechte stukken) knopen. In Tabel 3 wordt de feedback van de loodsen samengevat als voldoende (2) en geen reserve (4 - contact zonder schade) terwijl de moeilijkheidsgraad van het manoeuvre voor alle loodsen normaal is. Minder reserve in run 12 is te wijten aan het ontbreken van een derde sleepboot voor het manoeuvre bij 6 Bft wind en hoger. Tot 5 Bft zouden twee 80 ton sleepboten voldoende moeten zijn voor de ULCS.



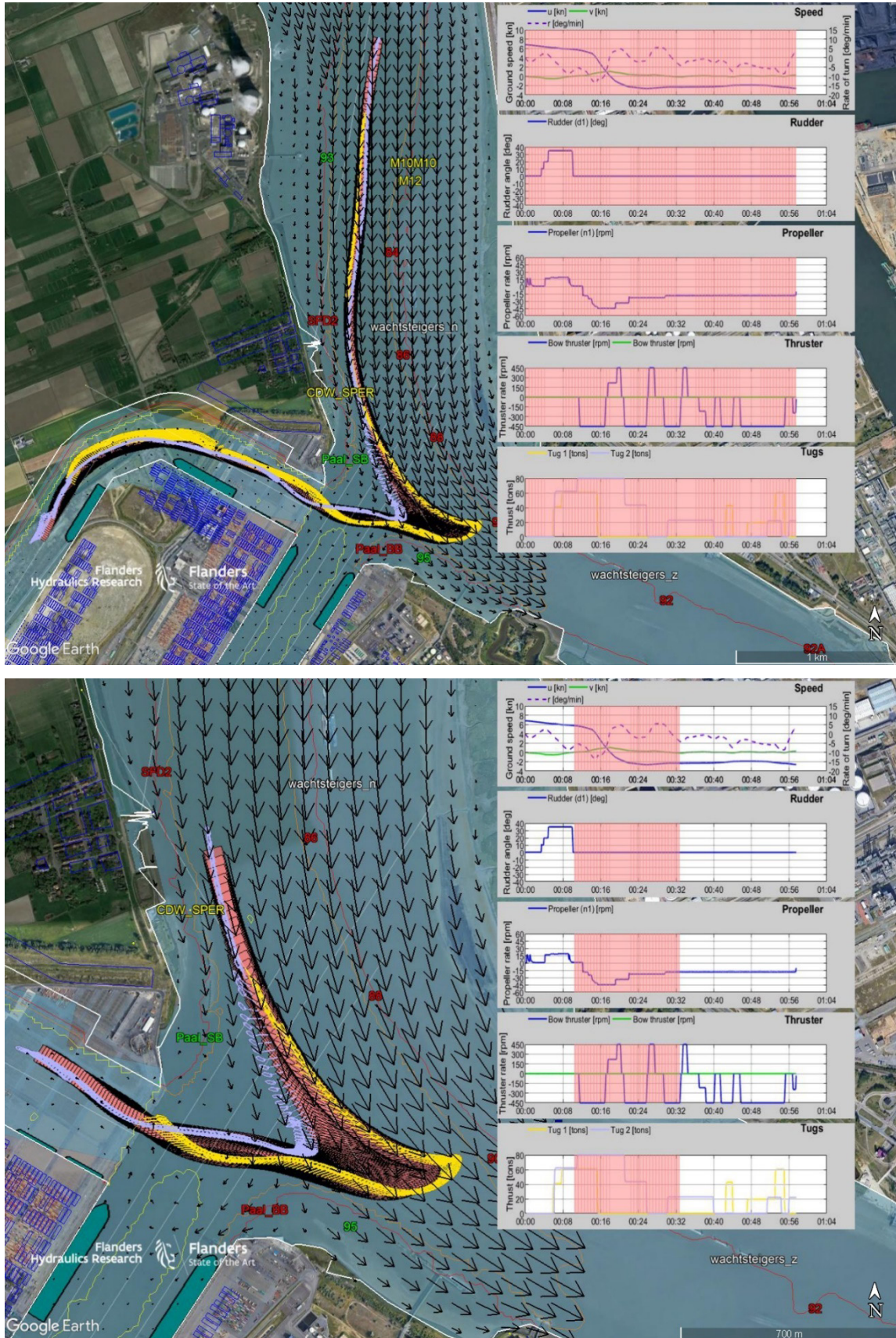
Figuur 12 - Opvaart vloed (head in, 430 m): run 11 bij SW 5 Bft (overzicht en detail)



Figuur 13 - Opvaart vloed (head in, 430 m): run 12 bij NW 6 Bft (overzicht en detail)

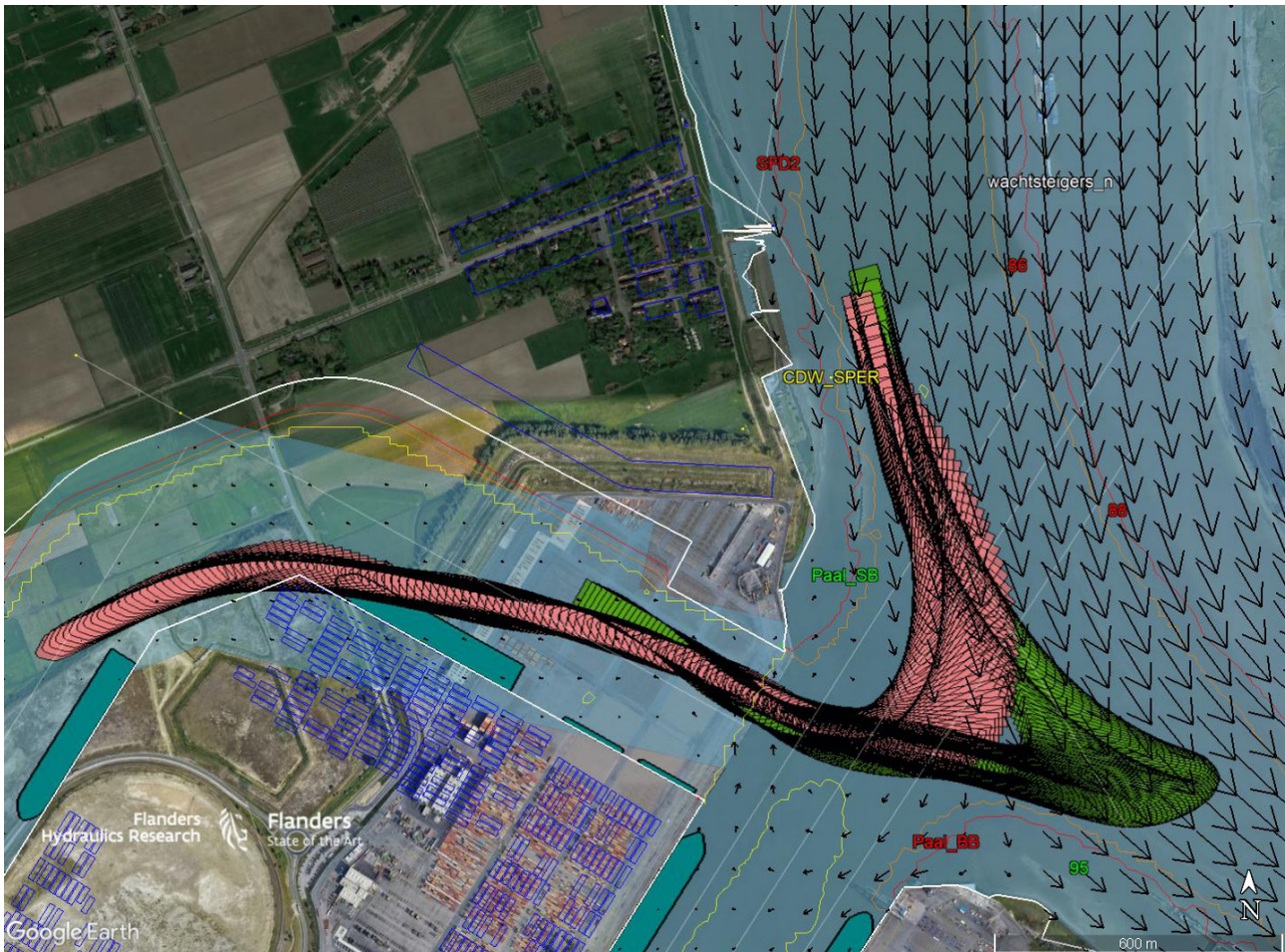


Figuur 14 - Opvaart vloed (head in, 430 m): alle runs (overzicht en detail)



Figuur 15 - Opvaart vloed (head out, 400 m): run 025021 (overzicht en detail)

Alle simulaties in augustus-september 2021 voor Duplex, opvaart en vloed, waren head in manoeuvres. Om een head in met een head out manoeuvre te kunnen vergelijken, is een head out manoeuvre in het Winkelhaakdok uitgevoerd door het Vlaamse Loodswezen in mei 2021 opgenomen in dit rapport. In Figuur 15 wordt een head out manoeuvre uitgevoerd bij vloed en NW 5 Bft met een 80 ton voor- en achtersleepboot. Het stroomprofiel en het wateroppervlak in blauw op Figuur 15 zijn van het Duplex-alternatief. Het verschil tussen het Winkelhaakdok en het Duplexdok kan dus worden herkend. In Figuur 16 zijn de head in run 12 in rood en de head out run in groen beide weergegeven van minuut 10 tot 33, zodat de positie van het schip bij de start bijna gelijk is, terwijl bij minuut 33 het opvarende schip al voorbij de bocht in het Duplexalternatief is, terwijl het head out schip nog langs de noordelijke wand van het dok ligt².



Figuur 16 - Opvaart vloed: vergelijking van head in (run 12, rood) en head out (run 2 052021, groen), min 10 tot 33

3.1.2 Ebstroom

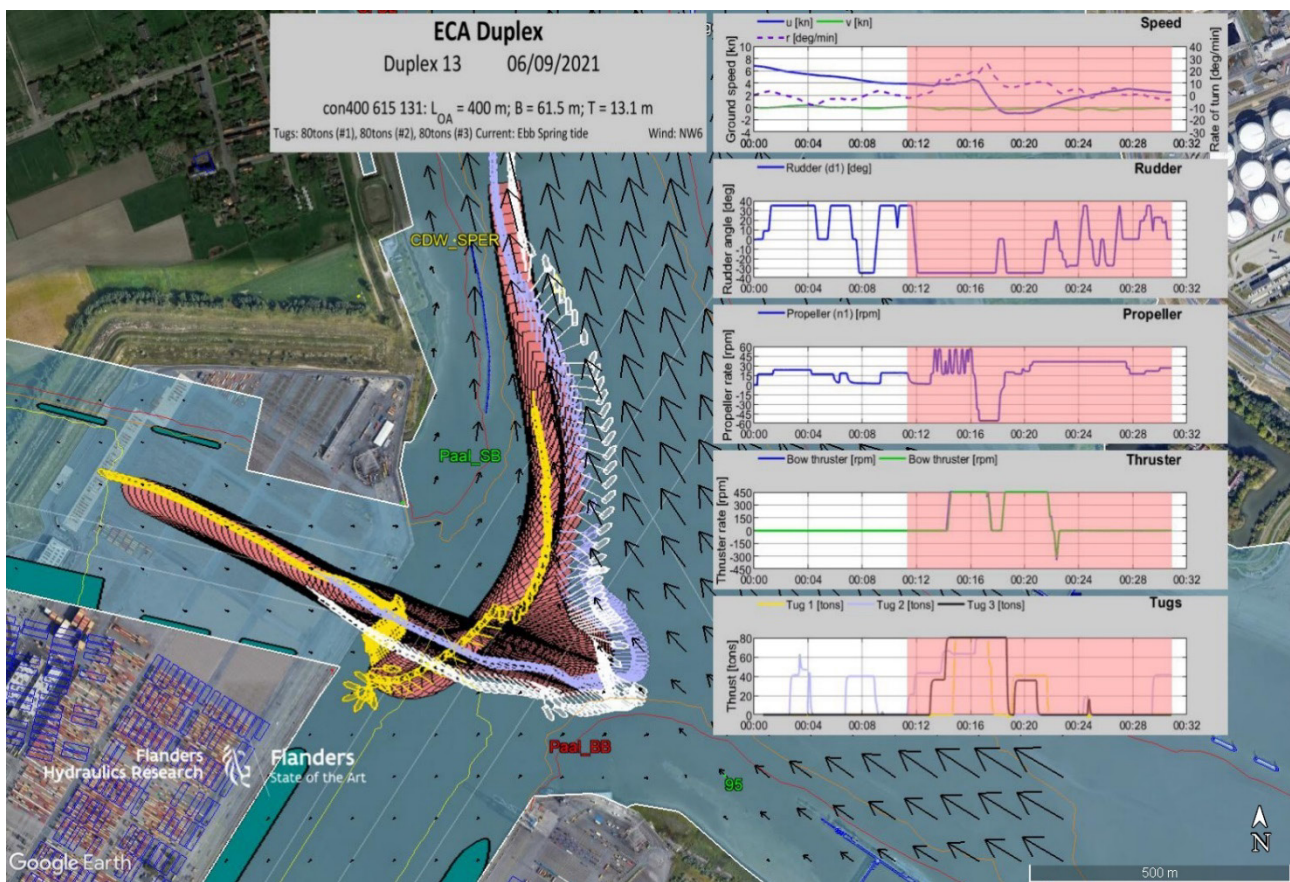
Twee simulaties (4 en 13) zijn uitgevoerd met de 400 m ULCS en twee (14 en 15) met het 430 m schip. Run 13 wordt verder niet besproken omdat de simulatie plaatsvond terwijl er een filmploeg op de brug was om video's te maken voor een promotiefilm en zij het manoeuvre beïnvloedden (met verschillende telegraafcommando's vol vooruit tussen minuut 13 en 16, Figuur 17).

² Run 2 werd uitgevoerd met een 400 m ULCS met 15 m diepgang en hoewel het verschil in tijd-plaats relatie voor beide runs significant is, kunnen de twee runs niet precies vergeleken worden. In run 2 is bijvoorbeeld een vertraging van twee minuten opgetreden door een misverstand over een toegepaste minimale toerentalsnelheid in achteruit, terwijl de door de loods waargenomen telegraafpositie op de brug hoger was.

Alle simulaties bij maximale ebstroom zijn uitgevoerd met drie 80-ton sleepboten, één voor en twee achter aan stuurboord en bakboord. Deze sleepbootconfiguratie is gerelateerd aan het head in draaimanoeuvre naar het dok met een sterke stroming die tegen de draaiende beweging van het achterschip in gaat.

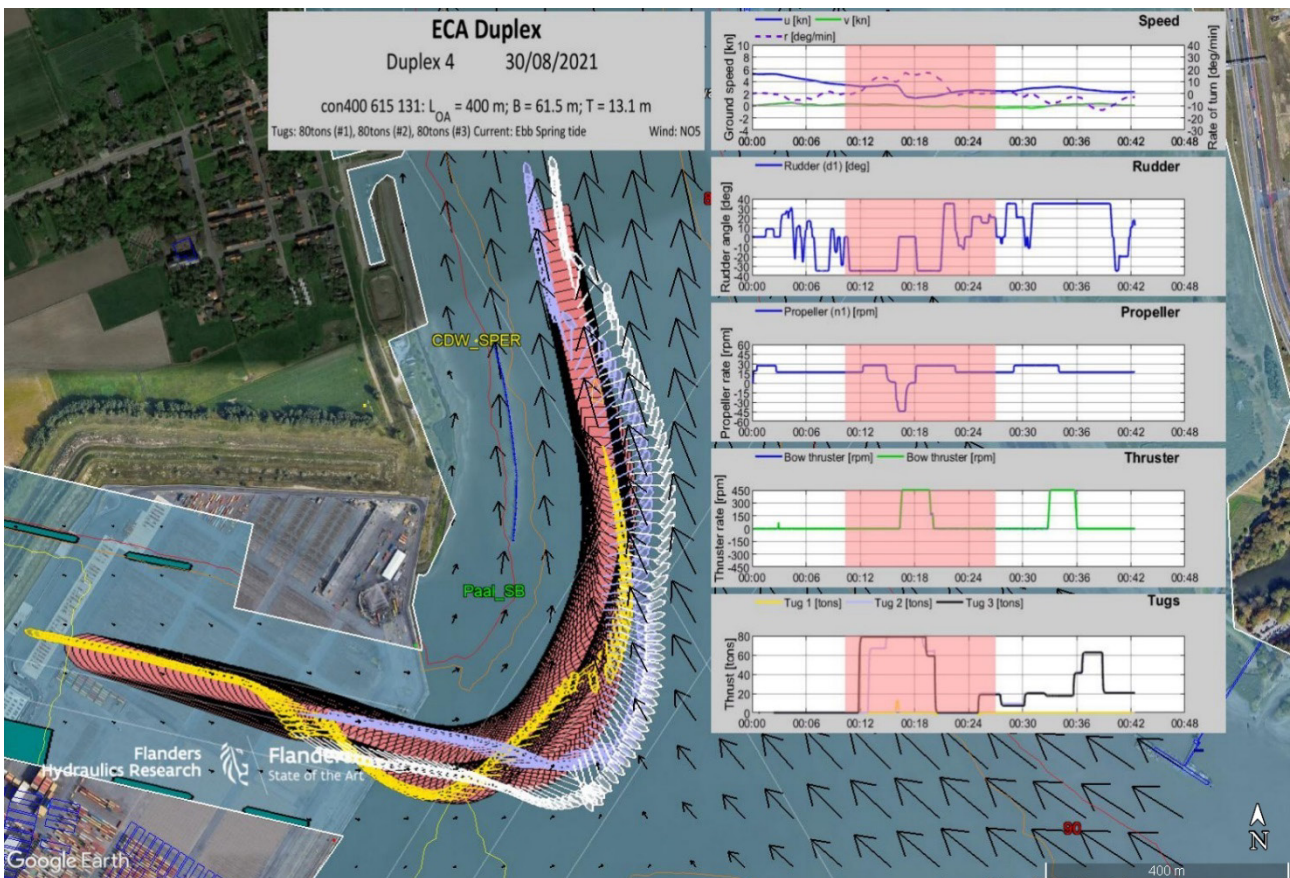
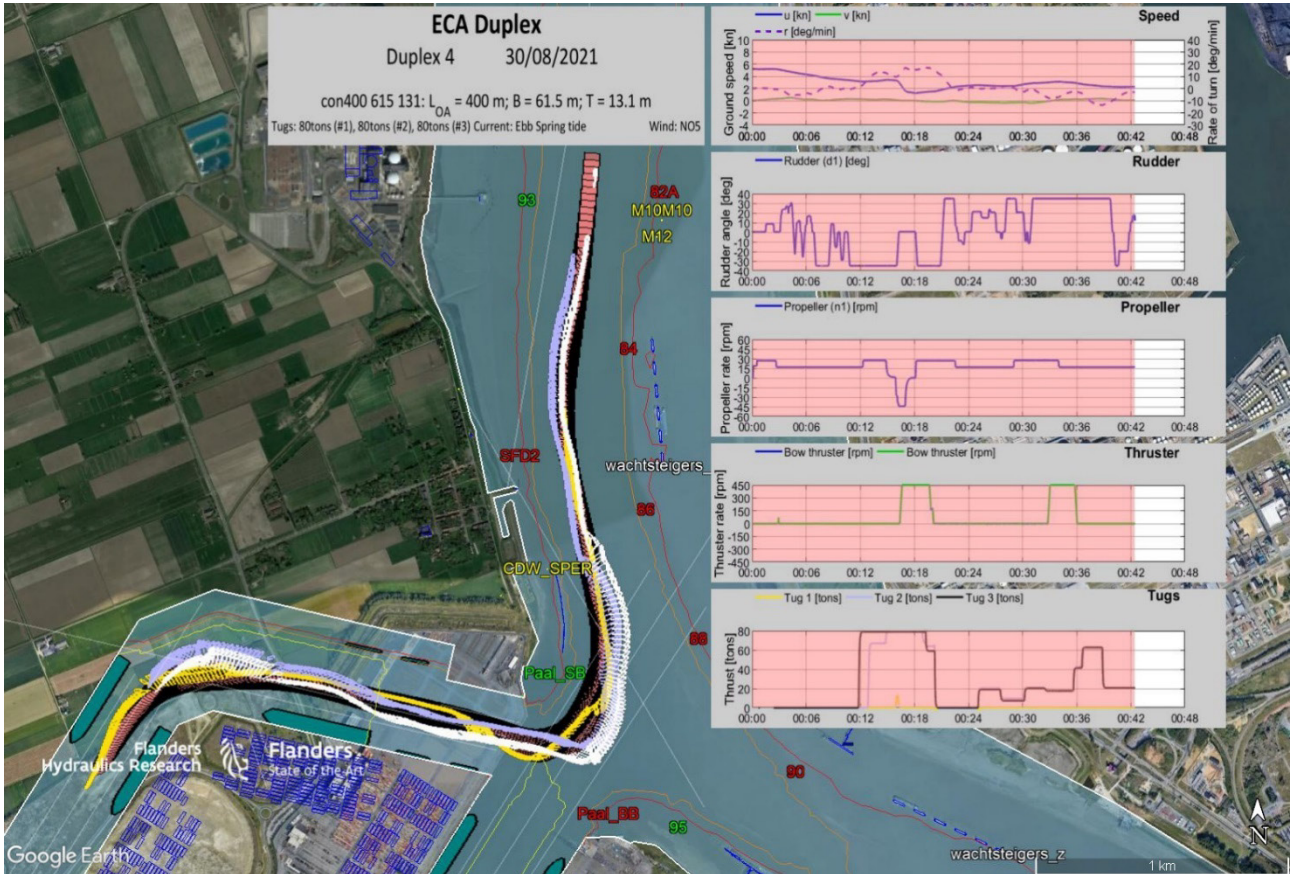
Tabel 4 - Simulaties in opvaart met ebstroom en gestandaardiseerde feedback

Ren	Schip (L/T)	Wind	Sleepboten	Reserve	Moeilijkheid
Duplex_4	400 m/ 13.1 m	NE5	F A-SS / A-PS	2	2
Duplex_13	400 m/ 13.1 m	NW6	F A-SS / A-PS	-	-
Duplex_14	430 m/ 15 m	NW6	F A-SS / A-PS	2	2
Duplex_15	430 m/ 15 m	NW6	F A-SS / A-PS	4	3



Figuur 17 - Opvaart eb (head in, 400 m): run 13 bij NW 6 Bft (detail)

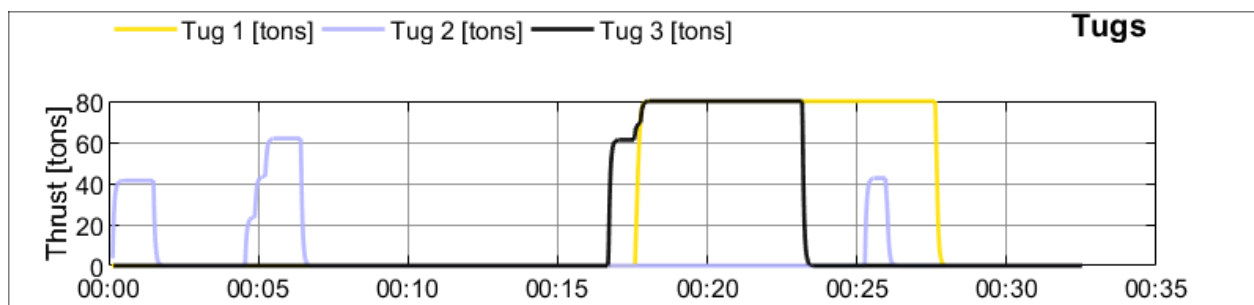
In run 4 wordt het head in manoeuvre uitgevoerd met een noordoostenwind van 5 Bft (Figuur 18) met een ULCS van 400 m. Langs de current deflecting wall wordt de indraai beweging gestart, maar beide achterste sleepboten moeten ongeveer 7 minuten aan 80 ton trekken om de ebstroom tegen te werken. De voorste sleepboot wordt niet gebruikt tijdens het volledige manoeuvre terwijl de boegschroeven ongeveer 3 minuten werken tijdens het draaien in het dok of het nemen van de bocht in het dok. Met de twee achterste sleepboten kan een ROT van ongeveer 15 graden worden bereikt terwijl de snelheid tussen 4 en 1 knoop ligt. De duur van het draaien van boei 86 tot boven de noordelijke muur in het dok is maximaal 18 minuten.



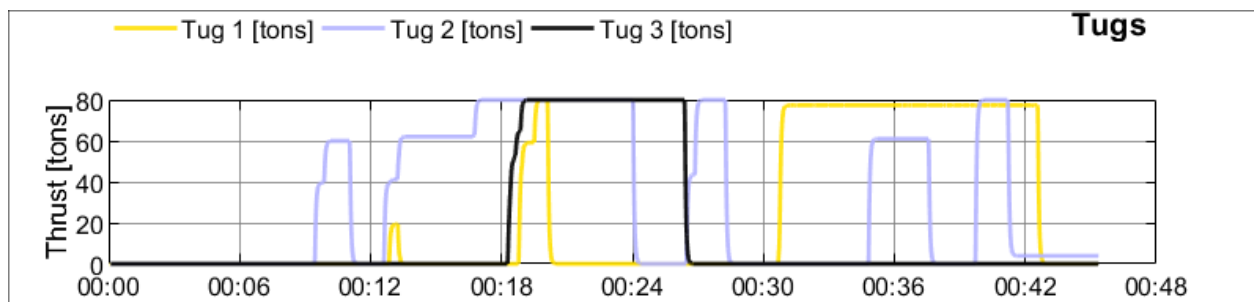
Figuur 18 - Opvaart eb (head in, 400 m): run 4 op NE 5 Bft (overzicht en detail)

Run 14 en 15 worden uitgevoerd met een 30 m langere ULCS dan in run 4 en er wordt een noordwestenwind van 6 Bft toegepast. In Figuur 20 is de draibeweging naar het dok te zien voor run 14. De telegraaf blijft tijdens het draaien in vooruit zodat de snelheid rond de 3 knopen ligt en de ROT kan slechts langzaam opgebouwd worden. De voorste sleepboot en de achterste sleepboot aan bakboord worden gebruikt bij maximale kracht als ook de boegschroef en de zuidelijke hoek van het dok kan vlot worden ontweken hoewel de afstand erg klein is. De tweede achterste sleepboot had gebruikt kunnen worden om de snelheid sneller te verminderen. Het verschil tussen een ULCS van 400 m en 430 m wordt duidelijk wanneer ook rekening wordt gehouden met de verminderde breedte van de ingang, die verlaagd is tot 325 m in plaats van 350 m in de andere alternatieven. De draibeweging van boei 86 tot opwaarts de noordelijke muur duurt 20 minuten, wat vergelijkbaar is met run 4.

In run 15 (Figuur 21) werd een ander manoeuvre gekozen om het schip met head in het tweede getijdedok te draaien met behulp van een 270 graden zwaaimanoeuvre. Eerst werd een klassiek zwaaimanoeuvre naar het Deurganckdok bij eb uitgevoerd, gevolgd door een manoeuvre met de boeg naar het tweede getijdedok. Het schip met een diepgang van 15 m liep aan de boeg aan de grond (-10 m LAT rode dieptelijn op Figuur 21) tijdens het draaien op de rivier. Met een diepgang van 15 m zal een opvarend schip uit Vlissingen echter niet aankomen bij de monding van het Deurganckdok bij maximale eb. Een kleinere, getij-onafhankelijke diepgang is meer gebruikelijk. Het totale manoeuvre duurt meer dan 30 minuten (veel langer dan run 14) en alle drie de sleepboten zijn regelmatig op maximaal vermogen gebruikt (Figuur 19).



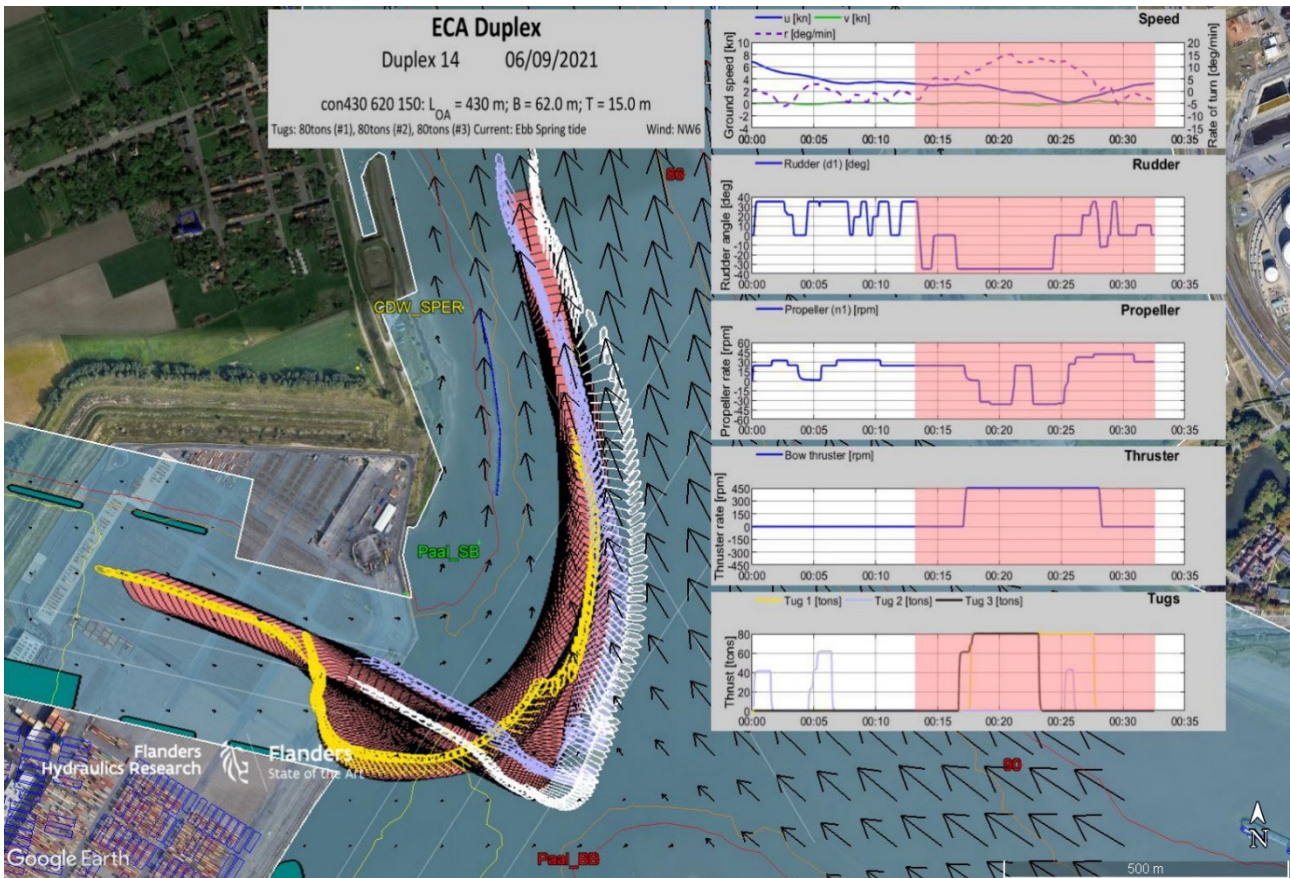
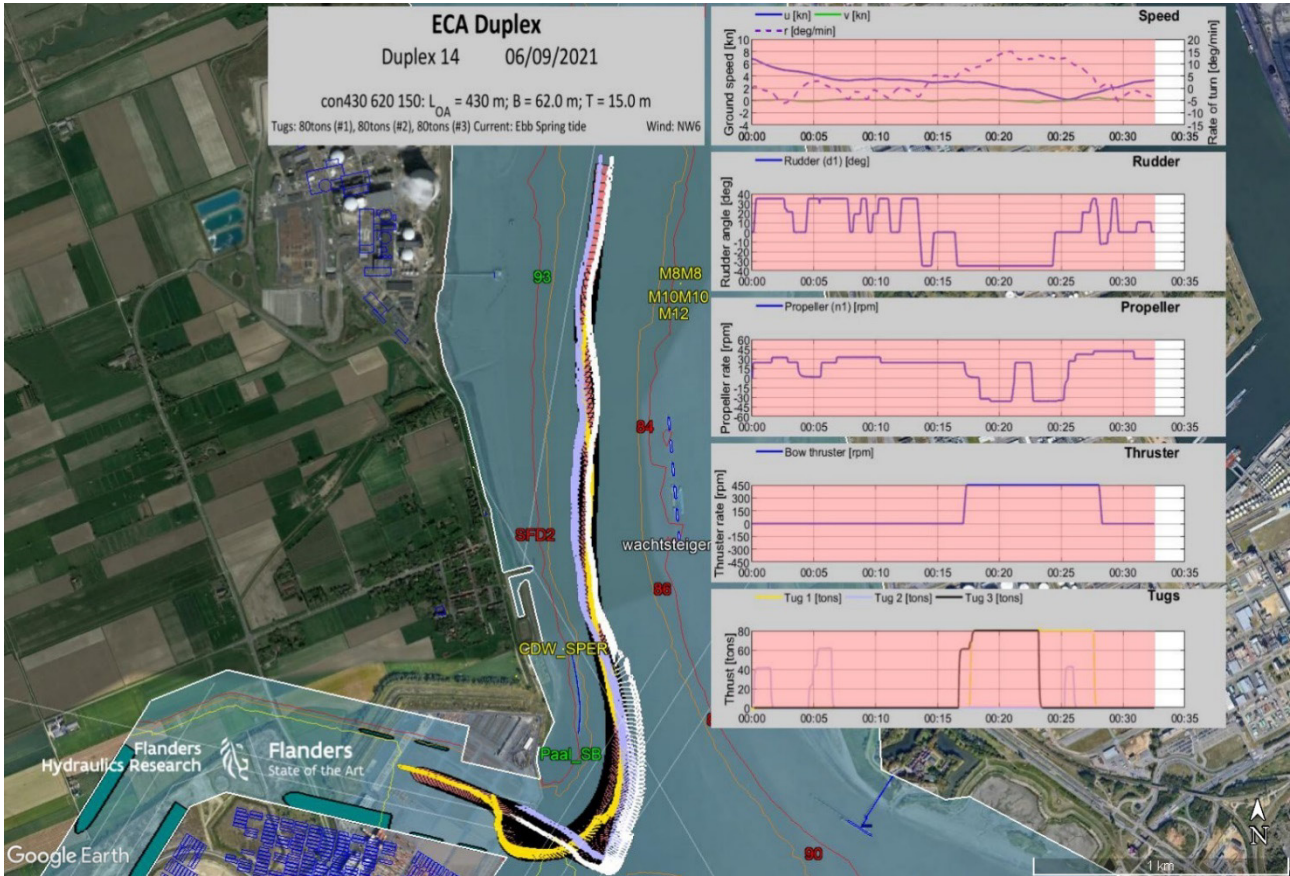
(a) Run 14



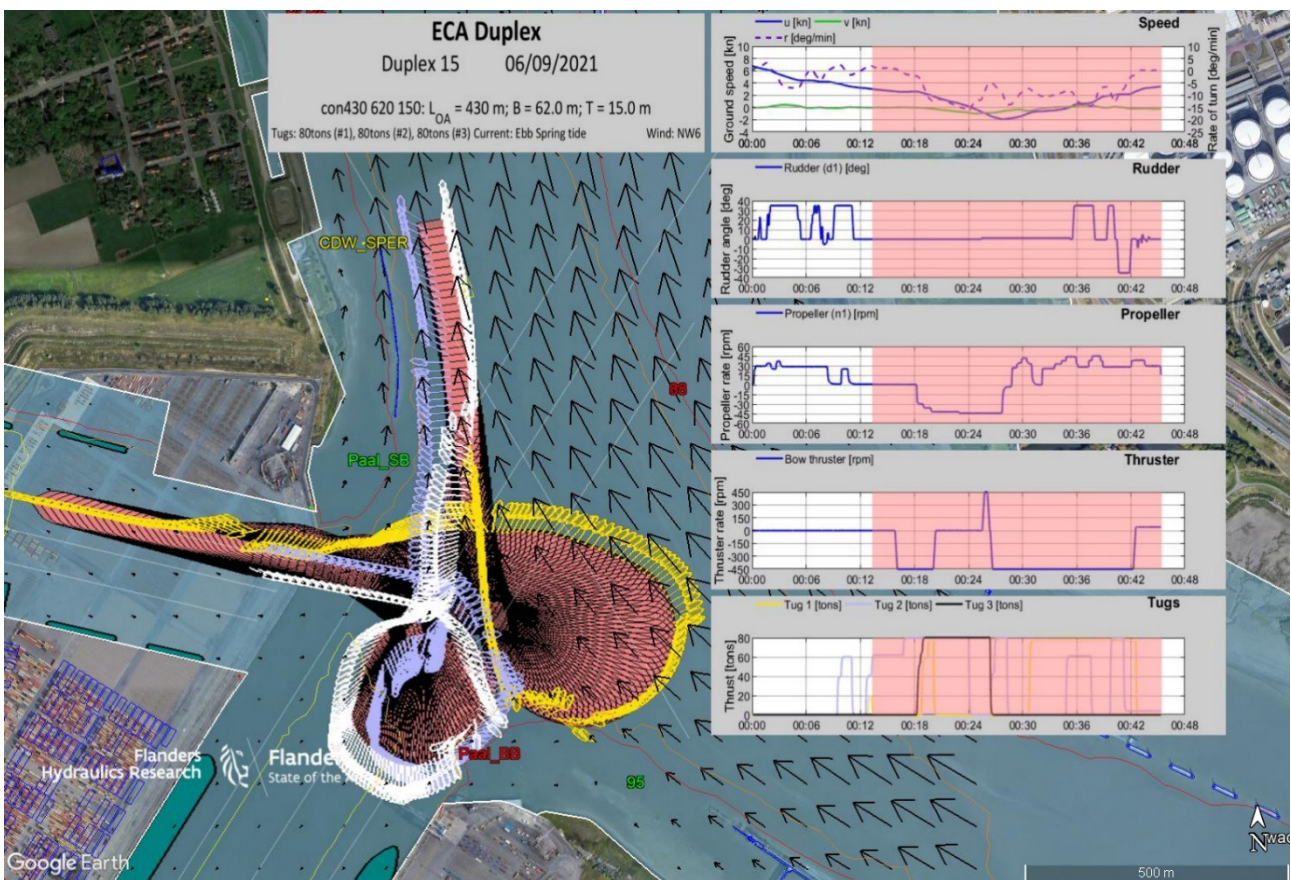
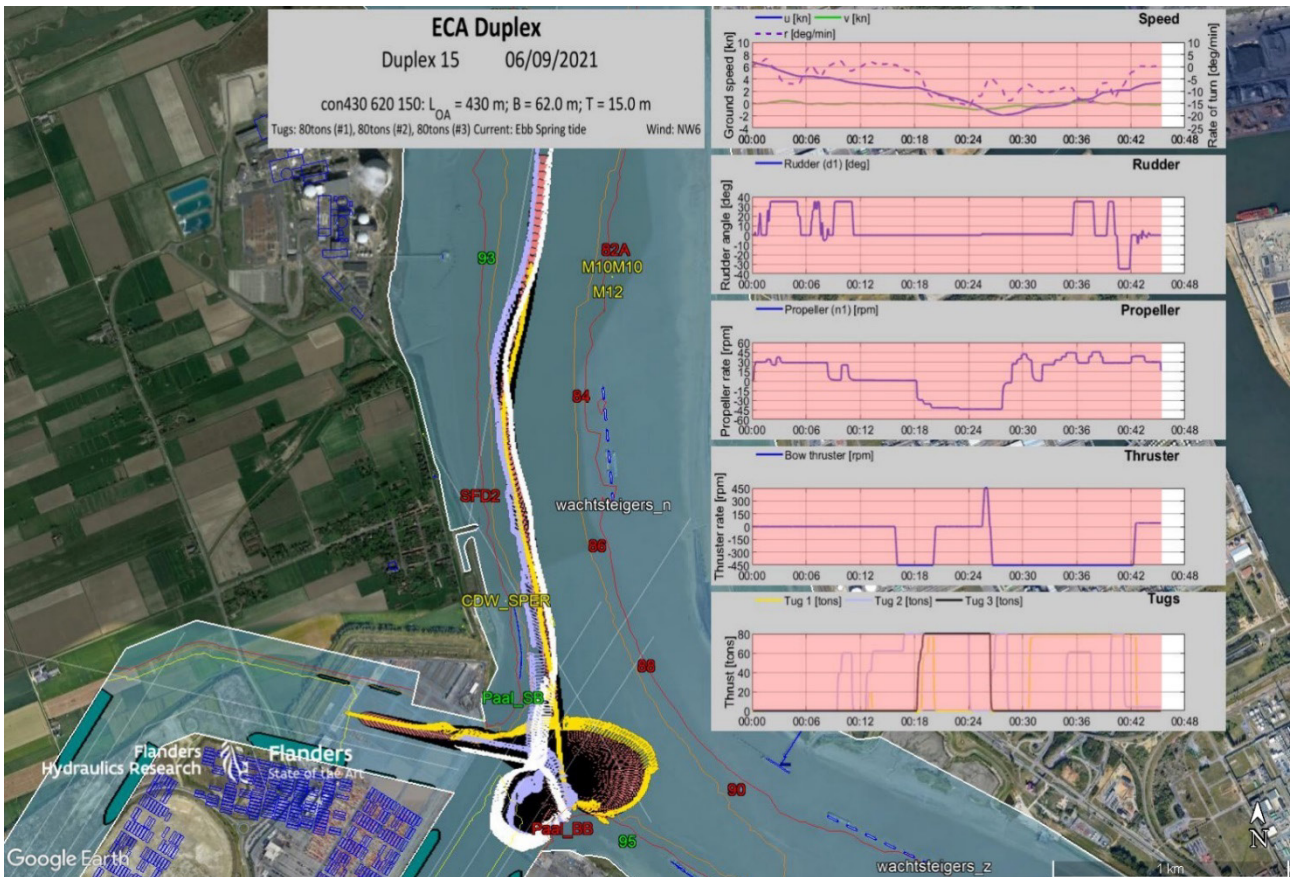
(b) Run 15

Figuur 19 - Opvaart eb (head in, 430 m): sleepoperatie voor run 14 en 15 bij NW 6 Bft

De evaluatie door de pilots in Tabel 4 geeft een reserve tussen voldoende (2) en geen reserve (4 - contact zonder schade) terwijl de moeilijkheidsgraad tussen normaal en meer dan normaal ligt. Het is duidelijk dat het manoeuvre head in binnenvaren bij eb moeilijker is dan het manoeuvre head in binnenvaren bij vloed. Het is ook moeilijker voor een schip met een lengte van 430 m in vergelijking met een schip met een lengte van 400 m. Het veranderen van het directe indraaimanoeuvre naar een klassiek zwaaimanoeuvre gevolgd door een head in beweging van het ene dok naar het andere lost de situatie niet noodzakelijk op, behalve in verkeerssituaties waar tussenposities tijdens de zwaaimanoeuvres kunnen helpen bij de passage van andere schepen of wanneer er minder sleepboten beschikbaar zijn (vlottere manoeuvres met minder sleepboten - bijvoorbeeld twee - en met minder risico op het breken van sleeplijnen).

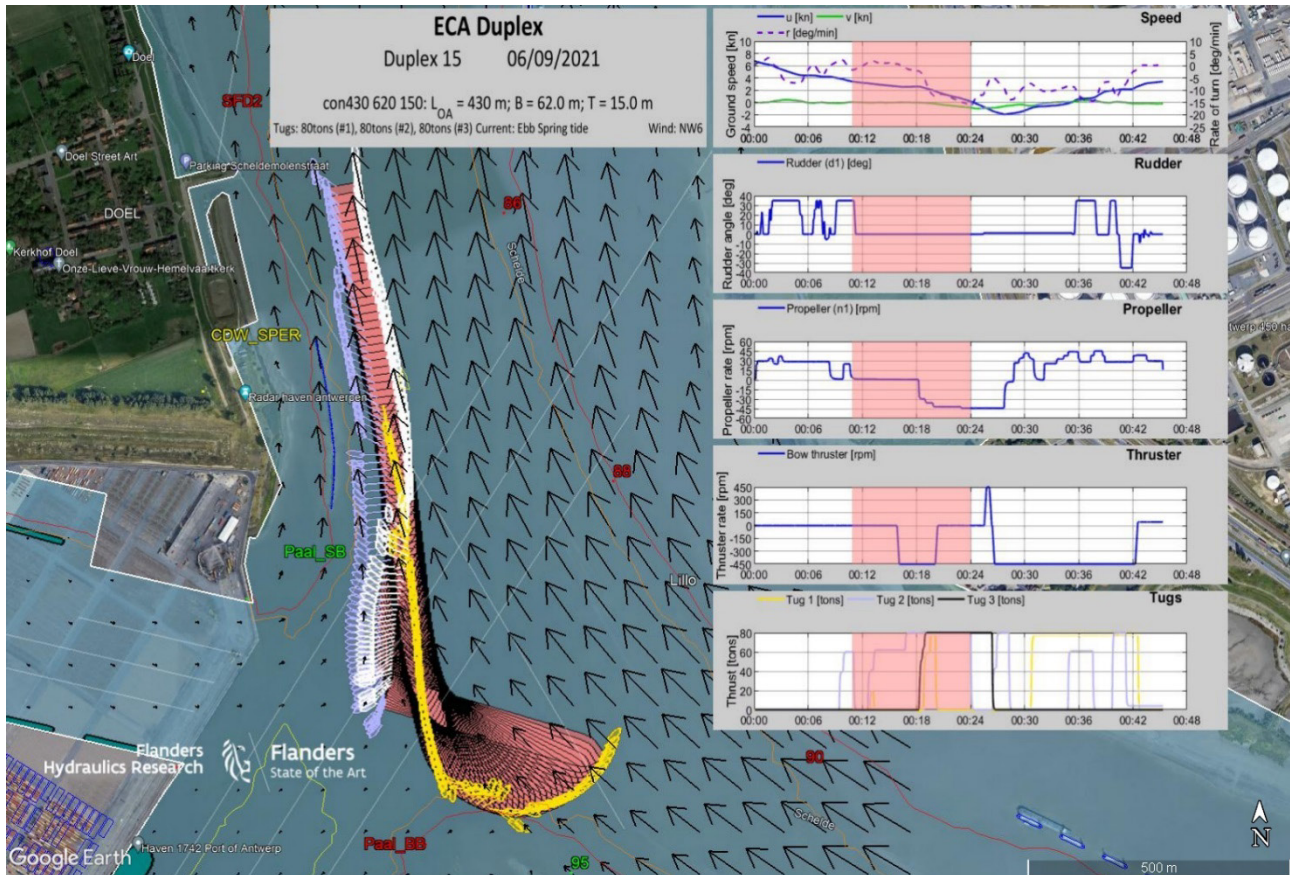


Figuur 20 - Opvaart eb (head in, 430 m): run 14 bij NW 6 Bft (overzicht en detail)



Figuur 21 - Opvaart eb (head in, 430 m): run 15 bij NW 6 Bft (overzicht en detail)

Er is geen head out opvaartmanoeuvre uitgevoerd, maar om te focussen op het eerste deel van het manoeuvre is een deel van run 15 geplot in Figuur 22 met de tracks van minuut 11 tot 24 (13 minuten). Het schip is gedraaid en vaart in de richting van de lichtenlijn van het tweede getijdedok. Een head out opvaartmanoeuvre is dus mogelijk. De duur zou vergelijkbaar met of iets langer kunnen zijn dan het head in manoeuvre dat 18 tot 20 minuten duurt.



Figuur 22 - Opvaart eb (head in, 430 m): run 15 bij NW 6 Bft: min 11 tot 24

3.2 Afvaart

Er zijn elf simulaties uitgevoerd voor een afvaartmanoeuvre vanaf het tweede getijdedok, het Duplexalternatief, waarvan zeven (waarvan er drie voortijdig werden gestopt) met maximale vloedstroom (Tabel 5) en vier met maximale ebstroom (Tabel 6).

3.2.1 Vloedstroom

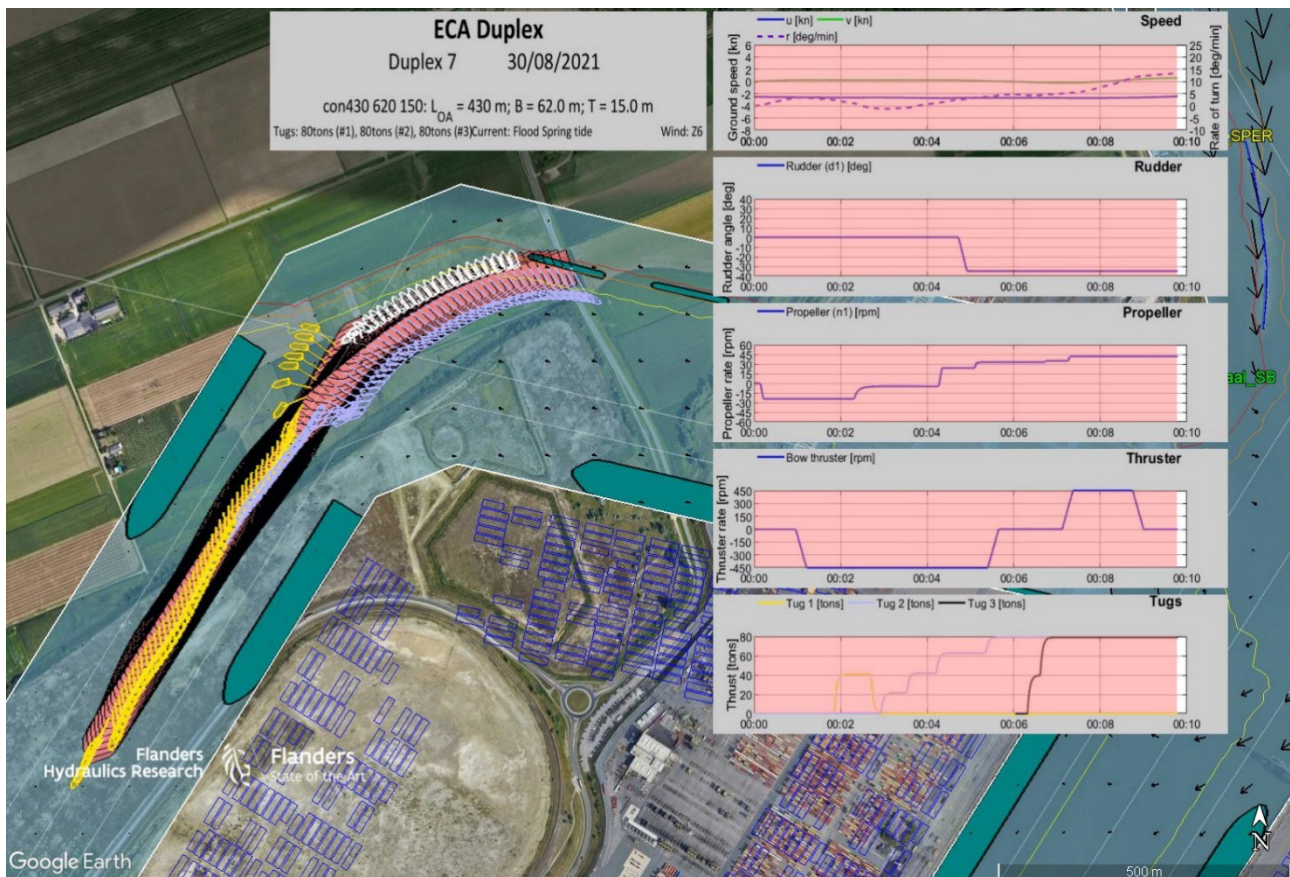
Er zijn vier simulaties uitgevoerd met de 430 m ULCS op 15 m diepgang (wind S 5 of 6 Bft en NW 6 Bft) en drie met de 400 m ULCS op 13.1 m diepgang, allemaal bij NW 5 Bft. Run 7 tot en met 18 waren head in afvaartmanoeuvres, terwijl in run 19 en 20 een head out afvaartmanoeuvre werd uitgetoetst met twee voorste sleepboten en één achterste sleepboot (aan stuurboordzijde) om de sterke vloedstroom tegen te werken tijdens het draaien op de rivier.

Run 7 (Figuur 23) werd uitgevoerd met een sterke zuidelijke wind van 6 Bft en eindigde met het achterschip in het talud van de bocht (en bij een afgemeerd binnenschip) omdat het schip niet snel genoeg in de bocht gedraaid kon worden. De reden is niet duidelijk, maar zou kunnen worden toegeschreven aan een sterke tegenwind en de traagheid van het schip.

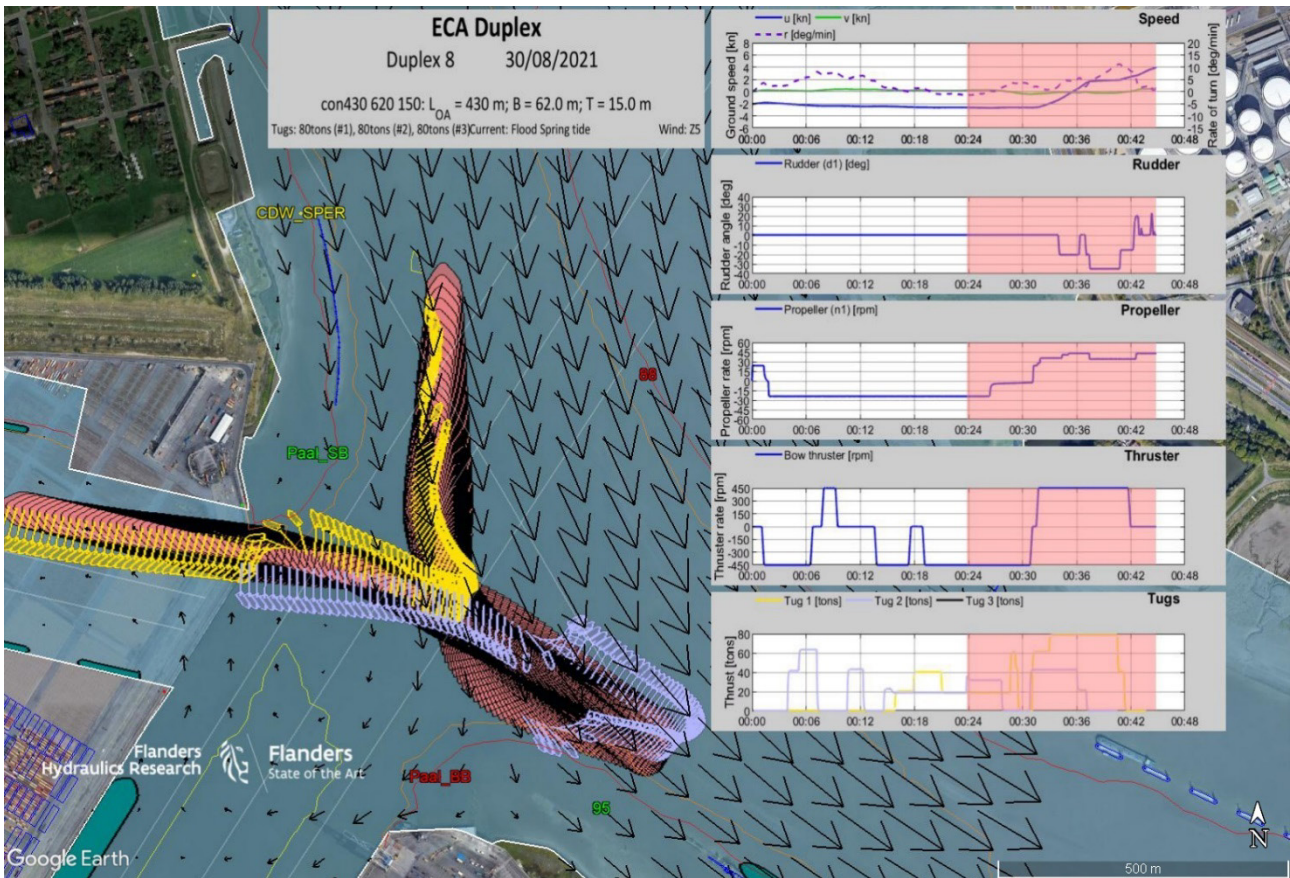
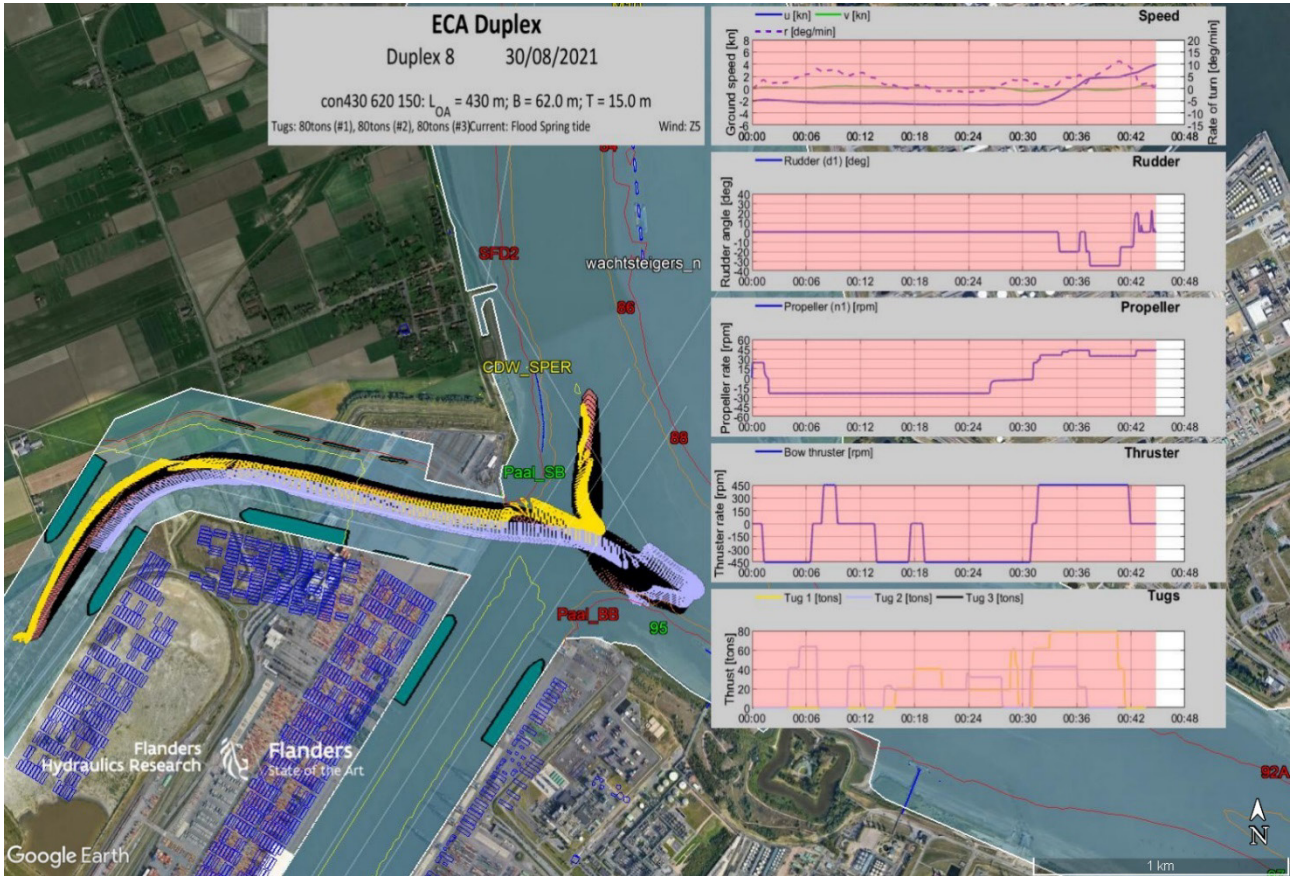
Tijdens het achteruitvaren in het rechte stuk van het dok met afgemeerde schepen aan beide zijden van het dok is een evenwichtig draaimanoeuvre, vrij van de afgemeerde schepen, moeilijker dan het draaien tussen ingang en bocht door de grotere ruimte tussen talud en afgemeerd schip aan de enkelzijdige kade. Run 7 werd herhaald in run 8 en 9 met een zuidelijke tegenwind van 5 Bft.

Tabel 5 - Simulaties in afvaart met vloedstroom en gestandaardiseerde feedback

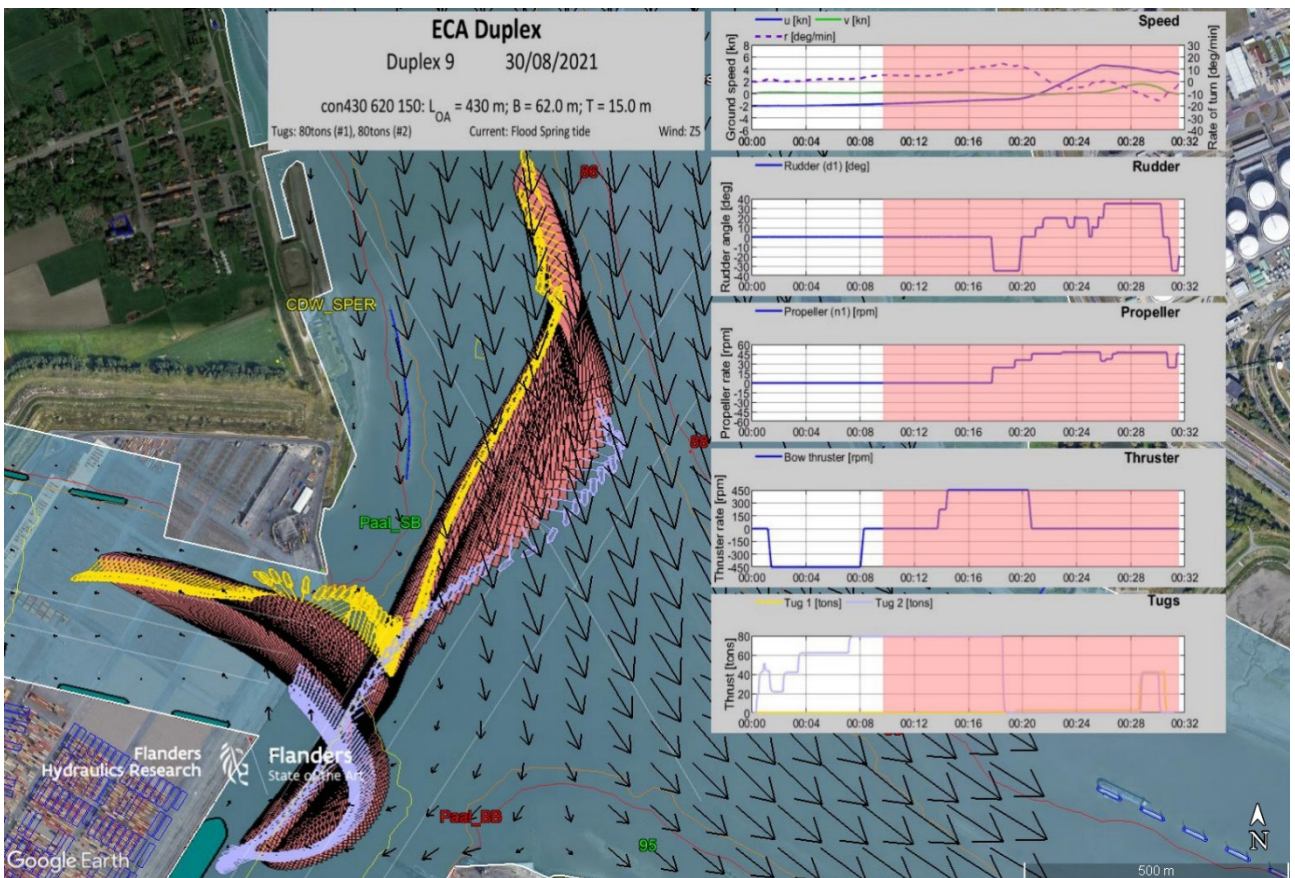
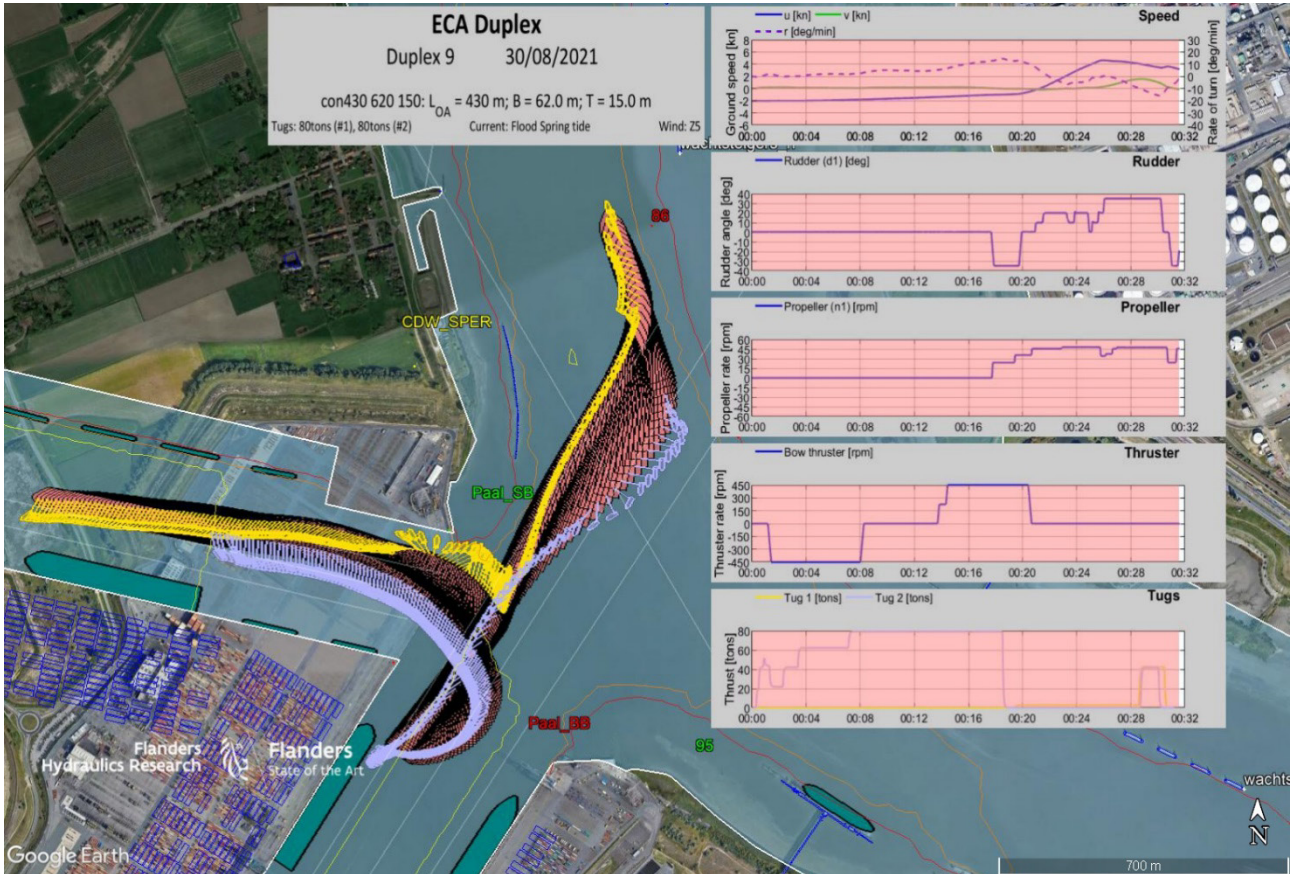
Run	Schip (L/T)	Wind	Sleepboten		Reserve	Moeilijkheid
Duplex_7	430 m/ 15 m	S6	F	A / P-PS	6	-
Duplex_8	430 m/ 15 m	S5	F	A	2	2
Duplex_9	430 m/ 15 m	S5	F	A	2	2
Duplex_17	430 m/ 15 m	NW6	F	A	6	3
Duplex_18	400 m/ 13.1 m	NW5	F	A	2	2
Duplex_19	400 m/ 13.1 m	NW5	F-PS / F	A-SS	6	-
Duplex_20	400 m/ 13.1 m	NW5	F-PS / F	A-SS	1	2



Figuur 23 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 7 op S 6 Bft: overzicht



Figuur 24 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 8 bij S 5 Bft: overzicht en detail van min 24 tot 45

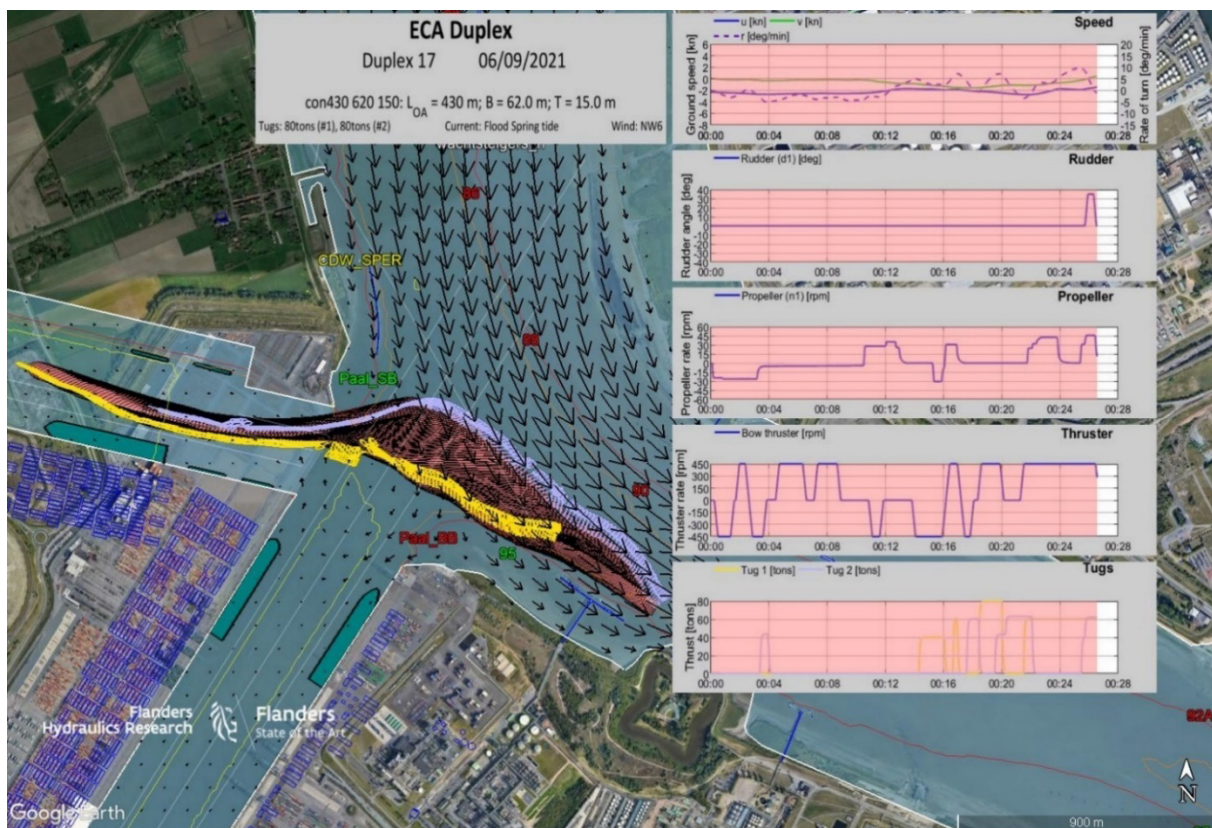


Figuur 25 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 9 bij S 5 Bft: overzicht en detail van min 10 tot 31

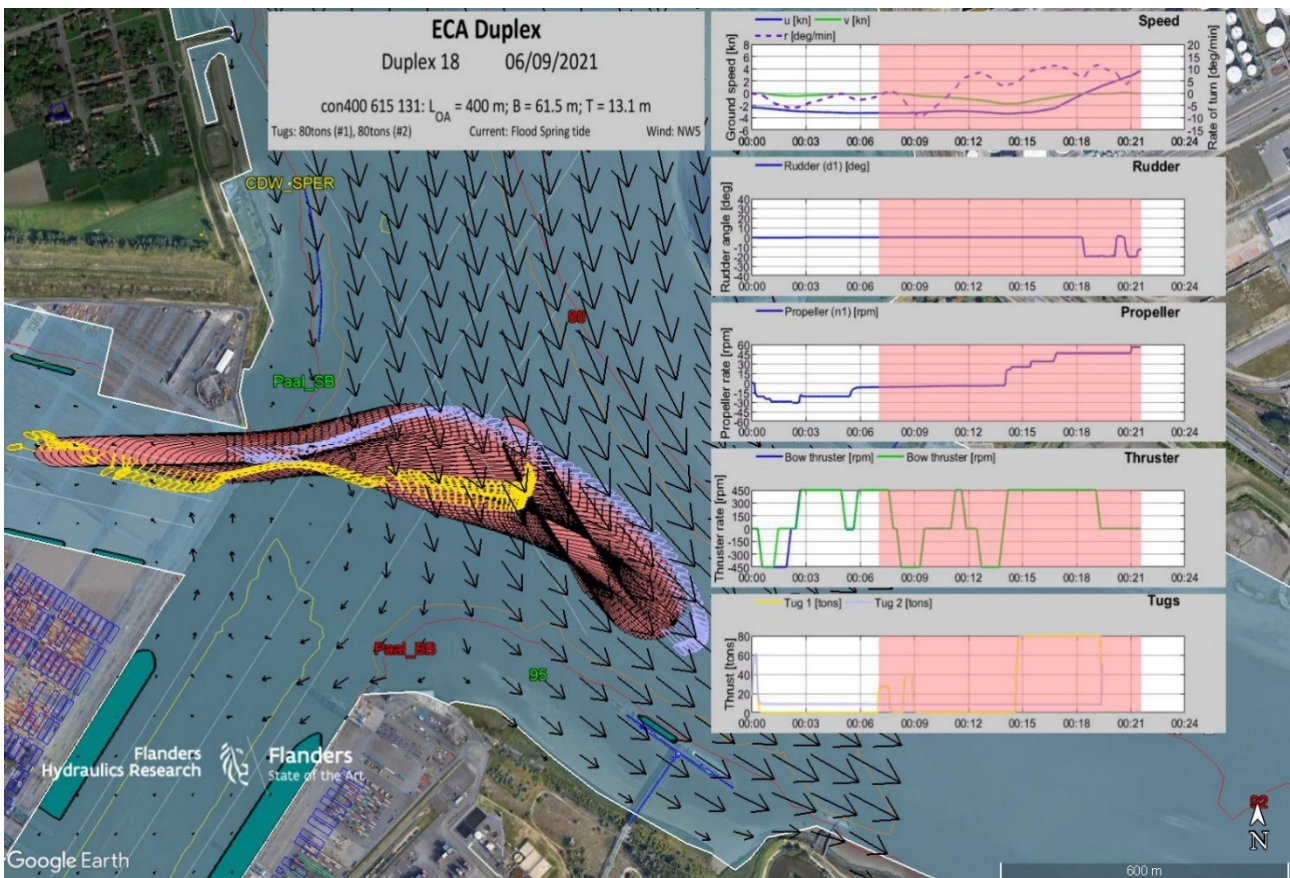
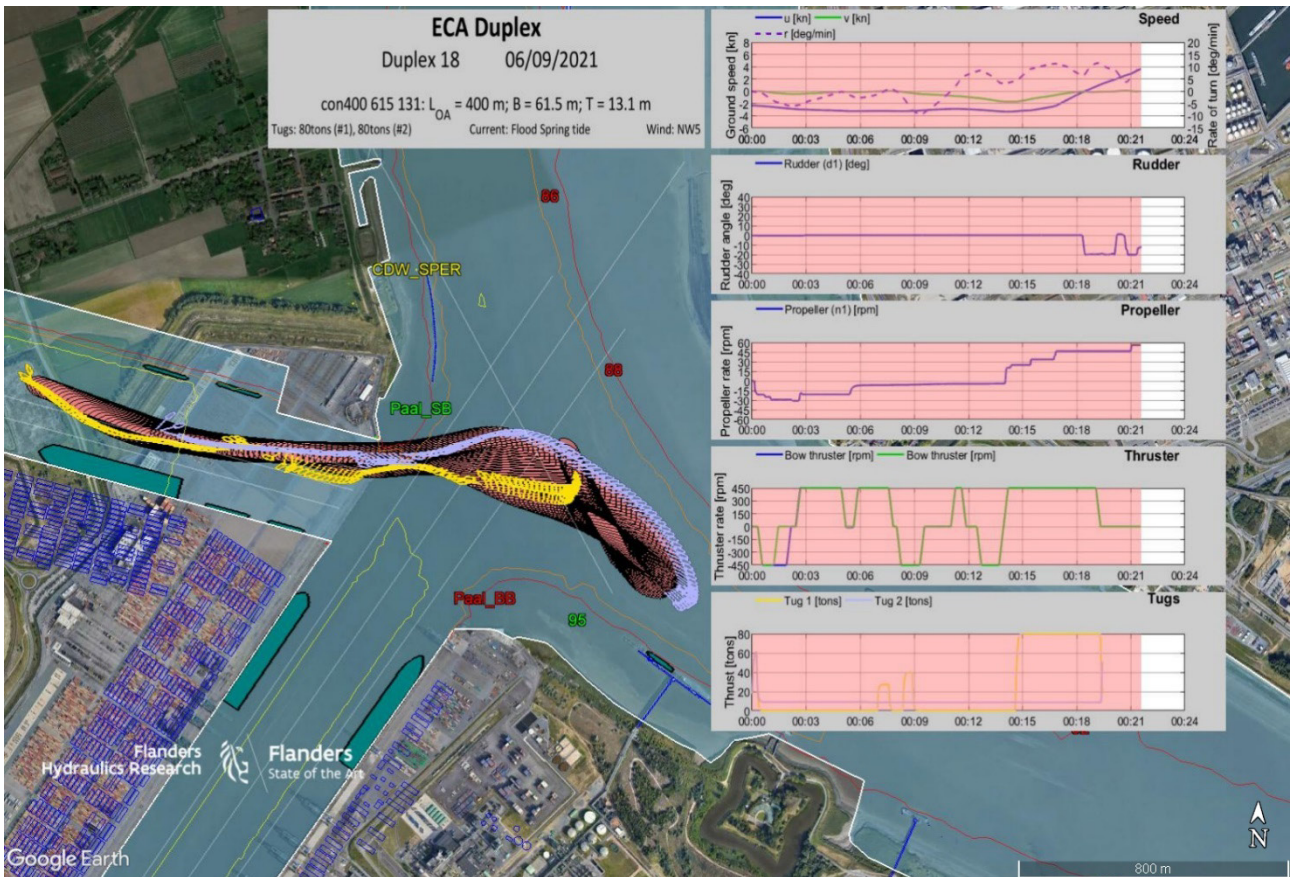
Run 8 is een head in manoeuvre in afvaart, waarbij het schip van 430 m achteruit de rivier op vaart en de koers wordt gewijzigd in de vloedstroom (Figuur 24). Het kost tijd om de ULCS met een diepgang van 15 m te stoppen bij het achteruitvaren, zodat het schip bijna aan de grond loopt in de ondiepe zone nabij boei 95. Tijdens dit draaimanoeuvre op de rivier werken de voorste sleepboot en de boegschroef op maximaal vermogen, terwijl de achterste sleepboot tot de helft van de kracht werkt. Er is tijdelijk geen reserve bij de boeg. De duur van het manoeuvre vanaf het verlaten van het tweede getijdedok tot het einde van de simulatie (positie aan de groene kant van de rivier langs de current deflecting wall) is 21 minuten (detail in Figuur 24). Verplaatsen naar de rode kant van de rivier duurt enkele minuten langer.

In run 9 worden dezelfde condities aangenomen als in run 8, maar wordt een ander manoeuvre uitgevoerd. Het schip draait eerst achteruit het Deurganckdok in en verlaat dan het dok in een voorwaartse beweging de rivier op (Figuur 25). De bocht in het dok werd in deze run niet beschouwd om de simulatietijd te beperken. Het schip komt met het achterschip dicht bij het afgemeerde schip in het Deurganckdok en moet uit de buurt blijven van de zone tussen de kade en de westelijke lichtenlijn. De achterste sleepboot heeft de belangrijke taak om de bocht naar het Deurganckdok te maken. Bij het verlaten van de monding van het Deurganckdok werd een ROT van 5 graden naar bakboord opgebouwd om de stroming tegen te gaan. Het verminderen van deze ROT om niet in de buurt te komen van de current deflecting wall, was niet nodig. De voorste sleepboot wordt alleen gebruikt aan het einde van de simulatie om de boeg te helpen draaien in de richting van de rode boeienlijn van de rivier. De duur van het manoeuvre vanaf het verlaten van het tweede getijdedok tot het einde van de simulatie is ook 21 minuten zoals in run 8, maar het schip is nu al aan de rode boeienlijn in de buurt van boei 86 (detail in Figuur 25).

In run 17 waren alleen de windrichting en -sterkte veranderd ten opzichte van runs 8 en 9 naar een noordwestelijke wind van 6 Bft (Figuur 26). Op de rivier zal het schip te maken krijgen met vloedstroom en wind die in dezelfde richting werken. Met slechts twee sleepboten (één voor en één achter) en door de grote hoek (eerder 90 graden) met de stroming bij het naderen van de rivier, slaagde het schip er niet in de bocht te maken en werd het naar de Ineos-steiger gedreven. Een aanvaring kon worden vermeden, maar de simulatie werd gestopt. De combinatie van een schip van 430 m met een diepgang van 15 m, maximale vloedstroom en een zeer sterke wind is een uitzonderlijke situatie omdat op dat moment van het getij alleen een shift naar bijvoorbeeld de rivierterminals realistisch is. Voor deze situatie zijn drie sleepboten nodig.



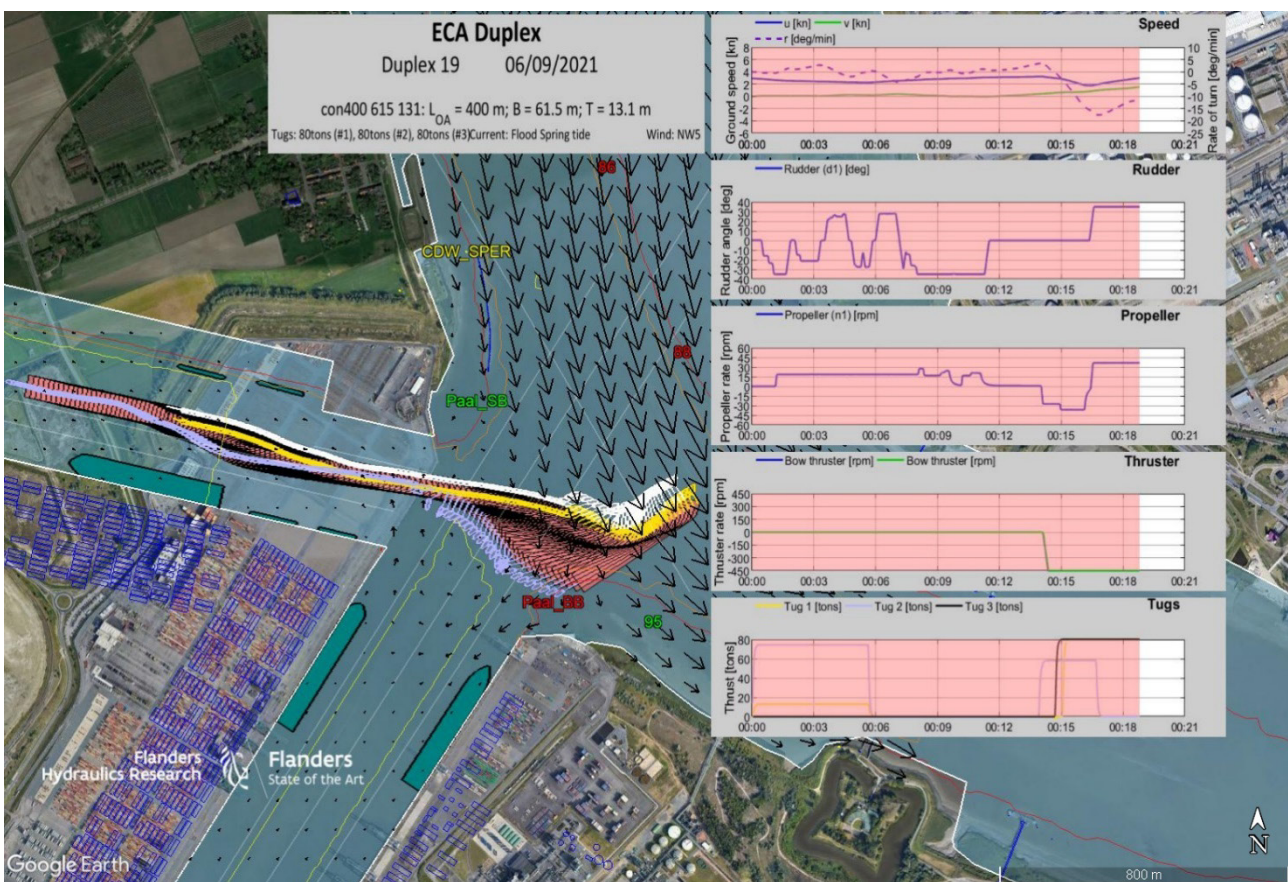
Figuur 26 - Afvaart vloed (head in, 430 m): run 17 bij NW 6 Bftoverzicht



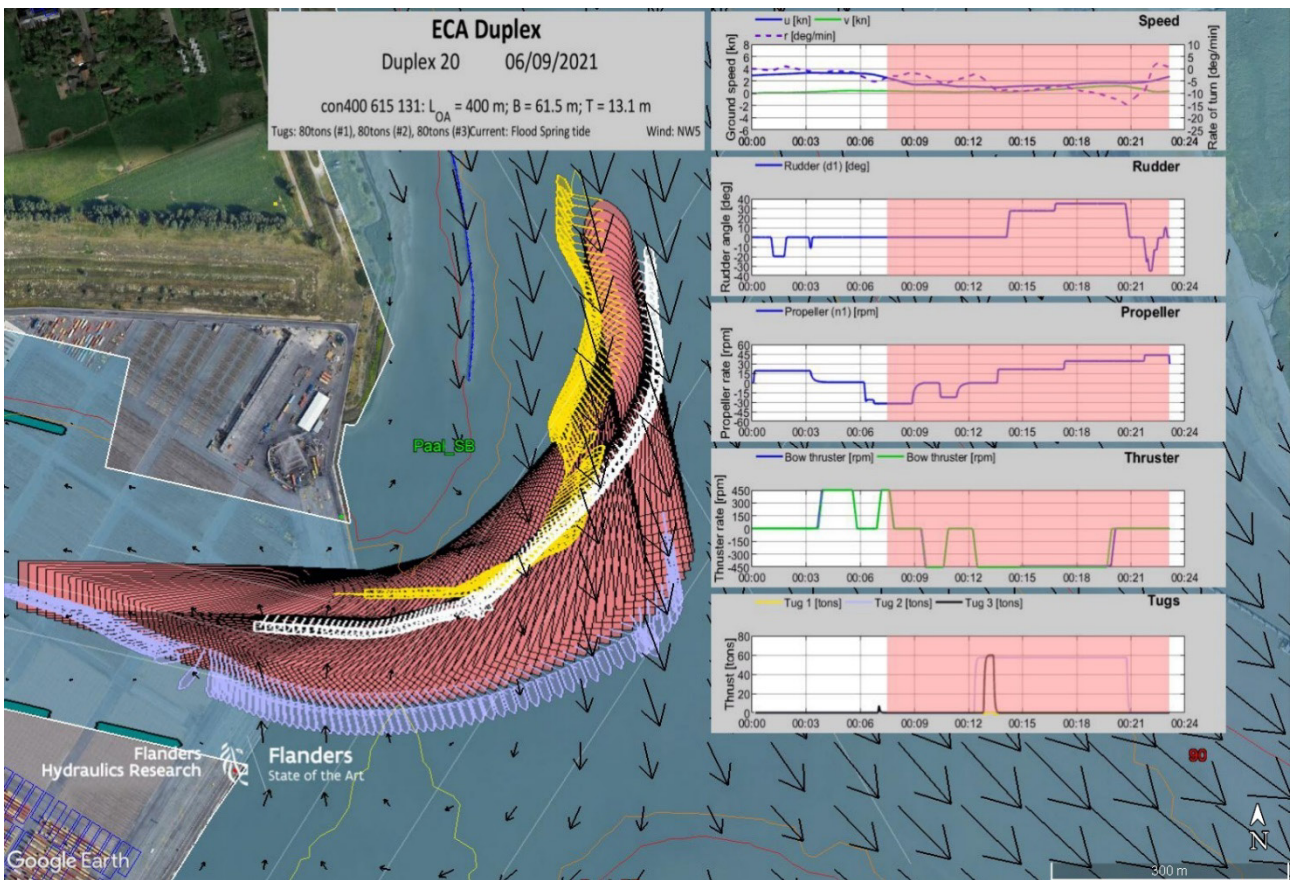
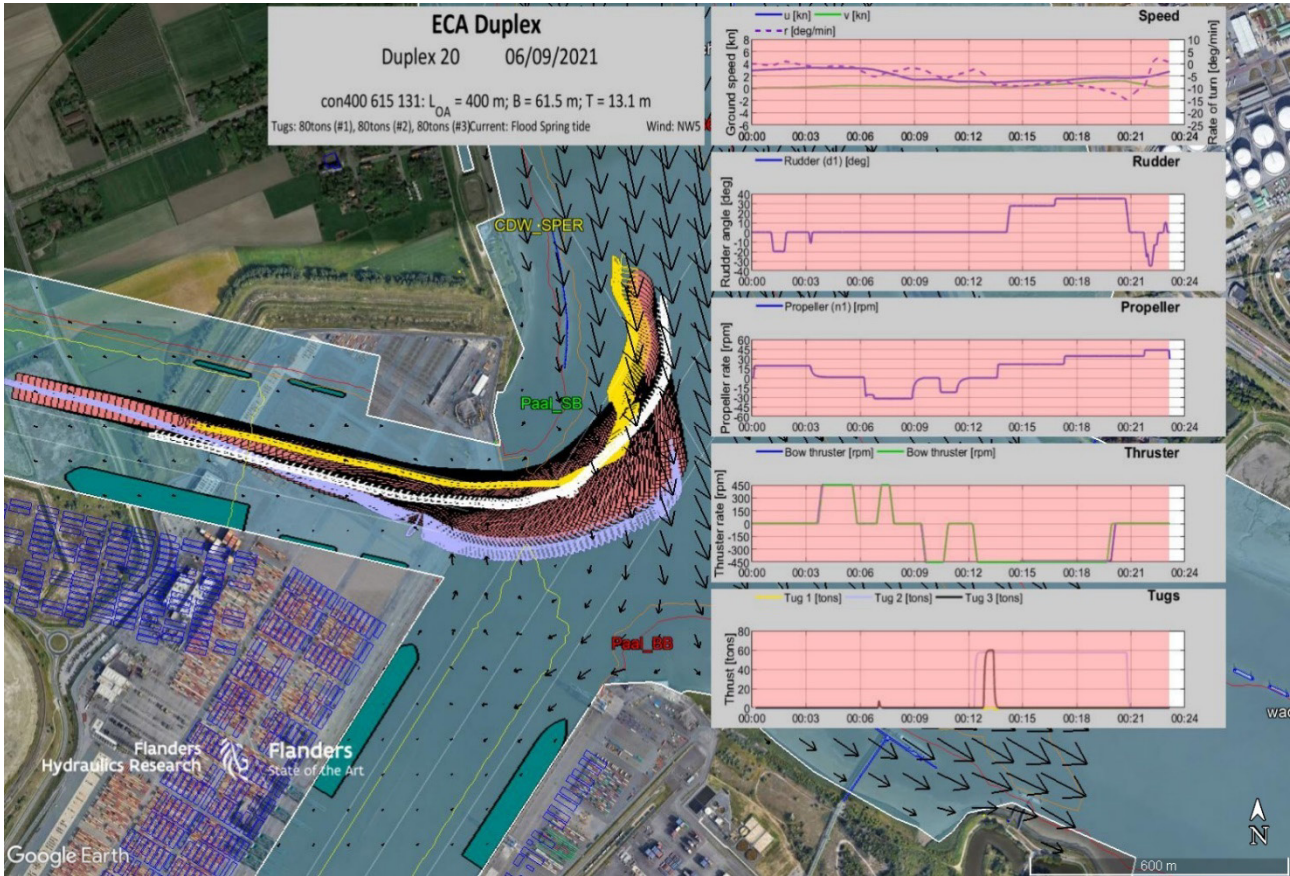
Figuur 27 - Afvaart vloed (head in, 400 m): run 18 bij NW 5 Bftoverzicht en detail

De condities van run 17 werden realistischer ingesteld door de wind te verminderen tot NW 5 Bft en door het 400 m ULCS te nemen bij een getij-onafhankelijke diepgang van 13.1 m voor run 18 (Figuur 27). De loods nadert de rivier dicht bij de noordelijke muur (stabiel door de windrichting en nul tot negatieve dwarse snelheid) om reserve te hebben voor de vloedstroom (opnieuw met een hoek). De snelheid achteruit is hoger vergeleken met de snelheid in run 17. De achterste sleepboot wordt bijna niet gebruikt, terwijl de voorste sleepboot en de boegschroeven beide op maximaal vermogen werken tijdens het zwaaimanoeuvre op de rivier. De reserve naar de Ineos steiger is groot. De duur is ongeveer 15 minuten tussen het verlaten van het tweede getijdedok en het einde van de simulatierun.

In run 19 en 20 werd een head out afvaartmanoeuvre uitgevoerd met hetzelfde schip en dezelfde diepgang als in run 18 en dezelfde wind. Run 19 (Figuur 28) werd gestopt voor de voltooiing omdat het draaien van het schip in de intersectie tussen dok en rivier zonder de koers aan te passen in een meer beschermt gebied, niet lukte met twee sleepboten vooraan. Met een voorwaartse snelheid van 2 tot 3 knopen dreef het schip naar de ondiepe zone en kwam aan de grond tussen PAAL_BB en boei 95.



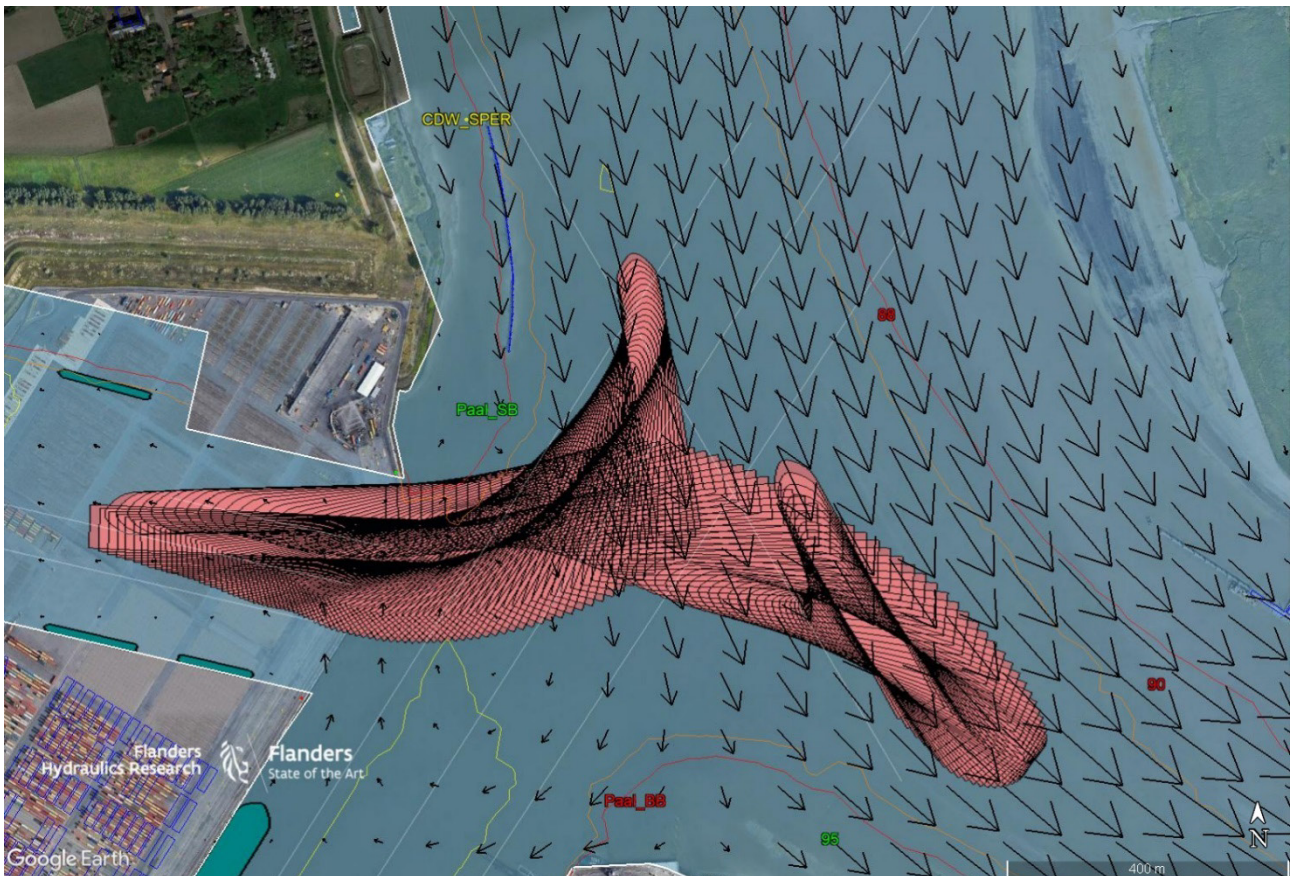
Figuur 28 - Afvaart vloed (head out, 400 m): run 19 bij NW 5 Bftoverzicht



Figuur 29 - Afvaart vloed (head out, 400 m): run 20 bij NW 5 Bftoverzicht en detail

Om dit te voorkomen wordt de snelheid verlaagd tot een lage waarde bij het verlaten van het tweede getijdedok in run 20 (Figuur 29). De boegschroeven worden op maximaal vermogen gebruikt terwijl de achterste sleepboot op 75% werkt tijdens het draaien van het schip. De voorste sleepboten worden zelden gebruikt zodat er nog reserve is op dit manoeuvre. De opgebouwde ROT begint met 5 graden (naar bakboord) bij het opvaren van de rivier, maar kan na afname door de stroming weer worden verhoogd tot -10 graden. Hoge roerhoeken in combinatie met schroefstuwkracht vooruit kunnen ook worden gebruikt om het achterschip te sturen en de stroming tegen te gaan. Het is een langzaam manoeuvre met een duur van meer dan 15 minuten tussen het verlaten van het tweede getijdedok en het einde van de simulatie aan de groene kant van de rivier.

In Figuur 30 worden een head in (run 18) en head out (run 20) manoeuvre met identieke omstandigheden gecombineerd in één plot voor minuten 7 tot 21. Bij een manoeuvre head in achteruit naar de rivier kan het schip, terwijl de snelheid in evenwicht wordt gehouden, onmiddellijk naar de rode boei worden gebracht, terwijl bij het manoeuvre met head out het schip aan de groene kant moet worden gedraaid, zodat andere opvarende schepen worden gehinderd zolang het schip niet naar de rode kant is gedraaid.



Figuur 30 - Afvaart vloedstroom (400 m): vergelijking van head in (run 18) en head out (run 20), min 7 tot 21

De evaluatie van de loodsen in Tabel 5 geeft voor alle voltooide runs een reserve van veel (1) tot voldoende (2) en een normale (2) moeilijkheidsgraad. Het verschil tussen een schip van 430 m met een diepgang van 15 m of een schip van 400 m met een diepgang van 13.1 m is ook zichtbaar. Het verschil in traagheid van het schip (door de verschillende waterverplaatsingen) beïnvloedt de achterwaartse beweging in het head in afvaartmanoeuvre wat moet opgelost worden met een goede balans tussen snelheid en hoek met de stroming. Hoewel bij head in afvaartmanoeuvre slechts twee sleepboten (één voor en één achter) werden gebruikt in deze sterke condities, moet een derde sleepboot die stand-by is (bijvoorbeeld om te duwen), worden geadviseerd.

De achterwaartse beweging voor het nemen van de bocht in het tweede getijdedok werd slechts eenmaal gesimuleerd, maar kan worden vergeleken met de andere runs van de opvaartmanoeuvres met ebstroom besproken in 3.2.2.

Een head out afvaartmanoeuvre bij maximale vloed zal, gebaseerd op de simulaties, langer duren dan een head in manoeuvre, zodat een lichte voorkeur wordt gegeven aan dit laatste manoeuvre voor het Duplexalternatief. In verkeerssituaties met andere opvarende en afvarende schepen kan dit belangrijk worden.

3.2.2 Ebstroom

Er zijn drie simulaties uitgevoerd met de 400 m ULCS op 13.1 m diepgang met head in (run 5 en 6 en NW 6 Bft) en head out (run 10 met W 5 Bft) manoeuvre en één met de 430 m ULCS op 15 m diepgang (run 16 op SW 6 Bft).

Run 5 was niet succesvol omdat de loods, die bekend was met de Boemerang- en Winkelhaakalternatieven, dacht dat hij een soort achteruit zigzagmanoeuvre nodig had vanaf de tweede ingang van het getijdedok naar de rivier (Figuur 31). Het schip voer dus de rivier op aan de afwaartse kant en met een hoek die op de rivier niet kon worden gecompenseerd. De ebstroom verplaatste het schip naar het noorden en de enige oplossing was om het schip met de stroom mee te draaien en te proberen de situatie te verhelpen met een draai van 270 graden naar bakboord. Desondanks liep het schip aan de grond in de ondiepe zone tussen PAAL_BB en boei 95.

Tabel 6 - Simulaties in afvaart met ebstroom en gestandaardiseerde feedback

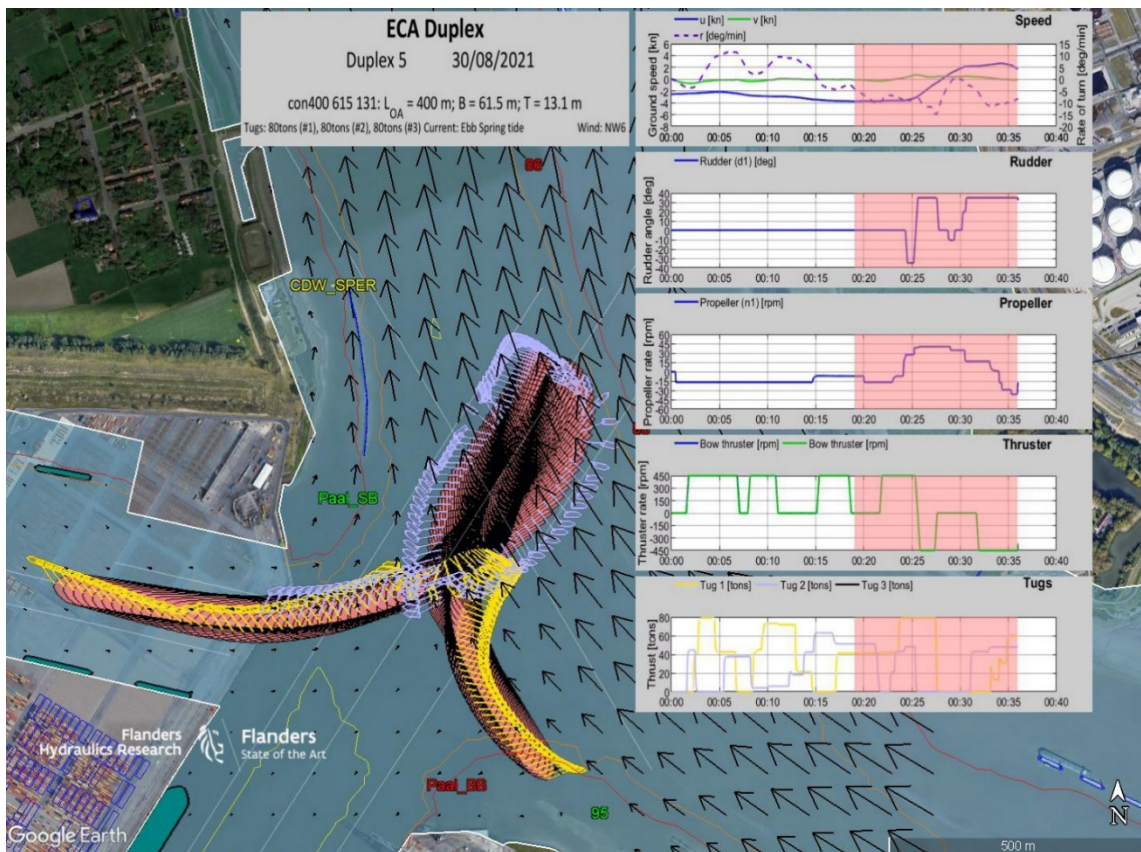
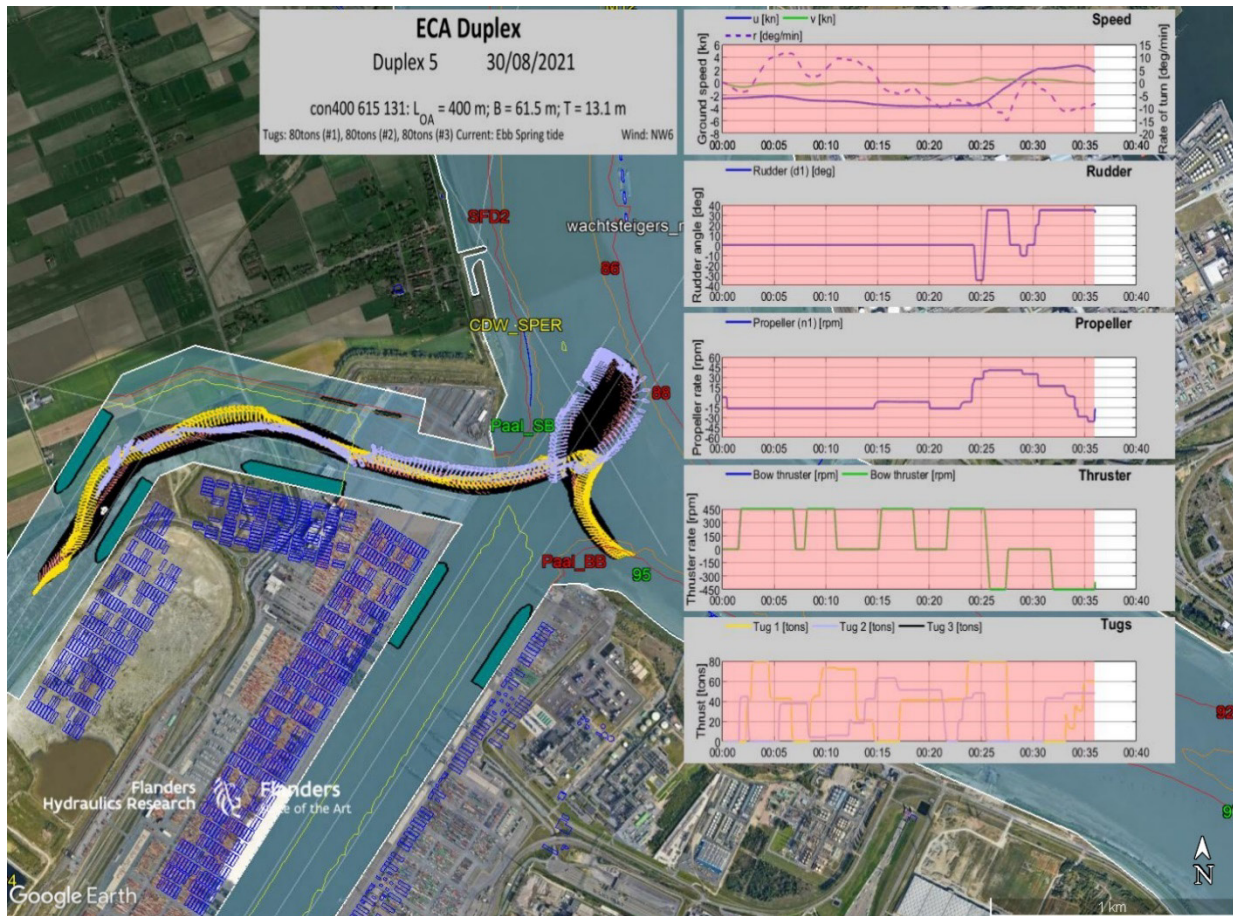
Ren	Schip (L/T)	Wind	Sleepboten		Reserve	Moeilijkheid
Duplex_5	400 m/ 13.1 m	NW6	F	A	6	2
Duplex_6	400 m/ 13.1 m	NW6	F	A	4	2
Duplex_10	400 m/ 13.1 m	W5	F	A	1	2
Duplex_16	430 m/ 15 m	SW6	F	A	1	2

De condities van run 5 zijn herhaald in run 6 (Figuur 32). Het head in afvaartmanoeuvre bij eb is moeilijker dan bij vloed omdat, wanneer het achterschip de stroming bereikt, het schip naar bakboord is gedraaid in plaats van de noodzakelijke koerswijziging naar stuurboord. De snelheid achteruit was hoger dan in run 5 met -4 knopen terwijl ook de hoek met de stroming kleiner was. Twee sleepboten (maximaal vermogen op de rivier) samen met de boegschroeven (beide meer dan 10 minuten vol) worden gebruikt om het schip te draaien. Het manoeuvre is succesvol, maar er is geen reserve op de sleepboten en boegschroeven. Er moet minstens een extra derde sleepboot beschikbaar zijn om te assisteren. Het achterschip bereikte de ondiepe zone bij de rode boeienlijn ten zuiden van boei 88 zodat een incident zonder schade plaatsvond. De ROT tijdens het naderen van de stroming was negatief (draai naar bakboord) en nam onmiddellijk toe toen het achterschip de ebstroom bereikte (detail in Figuur 32). Een oplossing die niet werd gesimuleerd, is een afvaart met draaien van het tweede getijdedok naar het Deurganckdok, waarbij ook gebruik wordt gemaakt van de noordwestelijke wind van 6 Bft, en dan versnellen om de ebstroom in een voorwaartse beweging tegen te gaan.

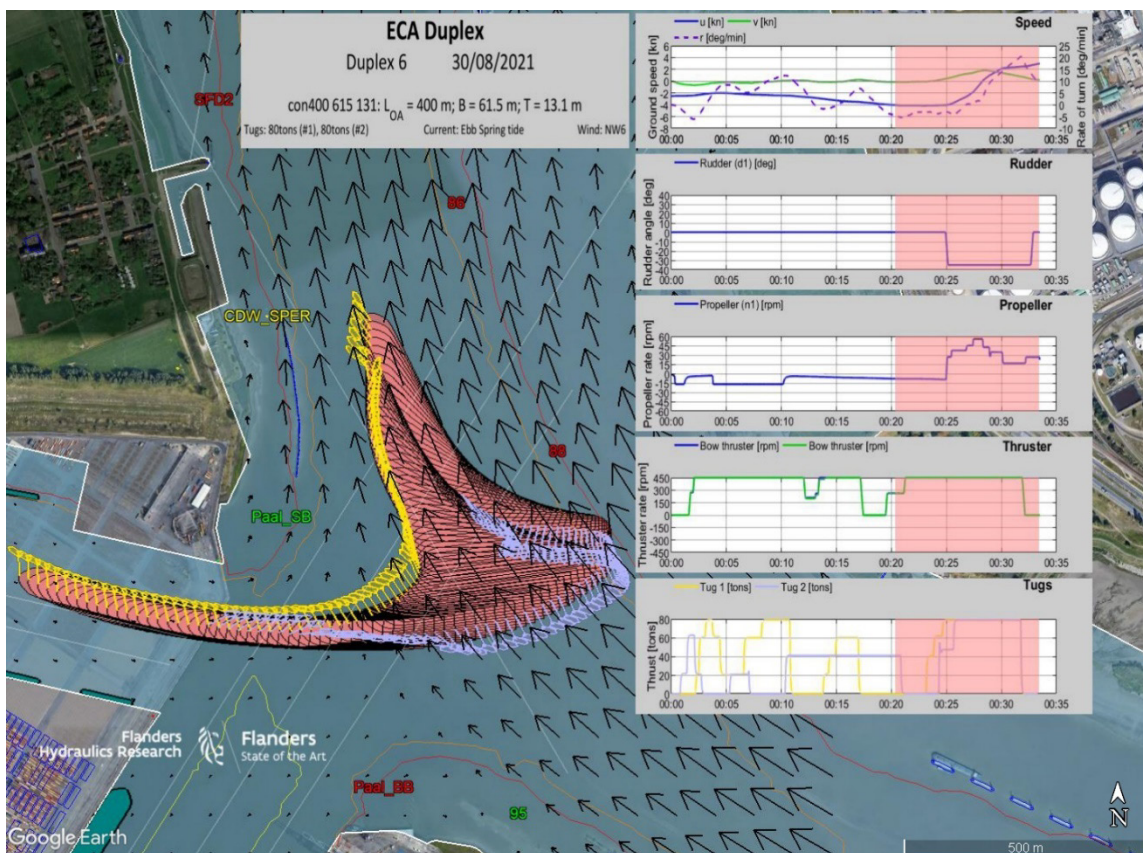
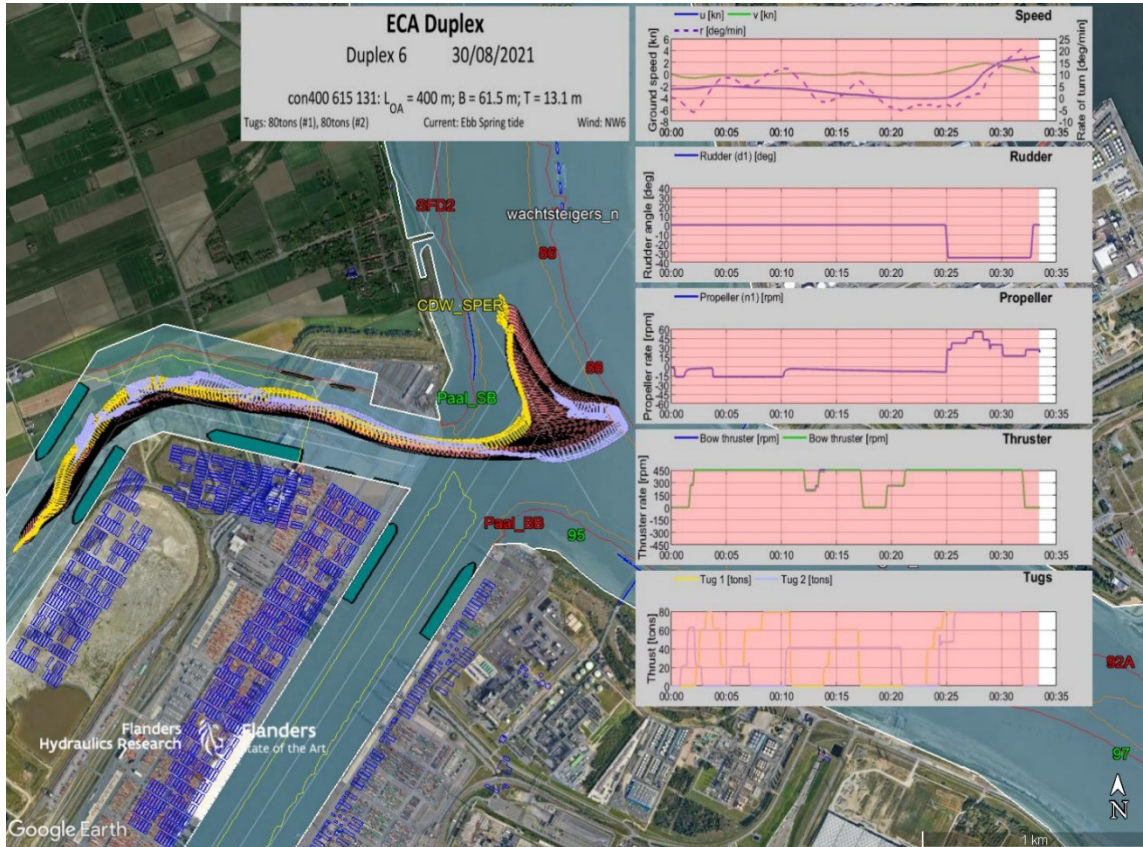
Run 16 (Figuur 33) met een ULCS van 430 m en een zuidwestenwind van 6 Bft gaf een zeer vlot manoeuvre tijdens het achteruitvaren naar de rivier met een snelheid van -4 knopen met beperkt sleepbootvermogen maar intensiever gebruik van de boegschroef (10 minuten maximaal vermogen) in het rechte stuk van het tweede getijdedok om het windeffect tegen te gaan. De bakboord ROT was altijd kleiner dan -2.5 graden en hielp samen met het windeffect om de boeg naar de rivier te draaien. Bij een vergelijking van run 6 en run 16 heeft niet alleen de stroming invloed, maar helpt of verslechtert ook het extra windeffect het manoeuvre. De duur van het manoeuvre vanaf het verlaten van het tweede getijdedok tot het einde van de simulatie is maximaal 22 minuten met het schip op de rode boeilijn.

In Figuur 34 wordt een afvaart bij eb uitgevoerd in run 10 vanaf het rechte stuk na de knik naar de rivier. De wind is westelijk 5 Bft loodrecht op de oriëntatie van het dok bij de start en in lijn na de bocht. De voorwaartse beweging in het dok is vlot met snelheden van 2 knopen bij de start tot bijna 4 knopen na de bocht. Het gebruik van de sleepboten en de boegschroeven is beperkt binnen het dok dankzij de westelijke dokoriëntatie in het tweede stuk. De boegschroeven (maximale stuwkracht gedurende 8 minuten) en de achterste sleepboot (75% kracht gedurende 15 minuten) worden intensief gebruikt voor de draaibeweging naar de rivier. De ebstream wordt het eerst gebruikt op de boeg, maar een goede balans tussen snelheid en ROT is weer nodig om succesvol de rivier op te draaien. De voorsleepboot wordt bijna niet gebruikt en geeft dus reserve in deze omstandigheden. De duur van het manoeuvre vanaf het verlaten van het dok tot het einde van de simulatie (ten noorden van boei 88) is 20 minuten. Een head out manoeuvre kan daarom worden geëvalueerd als iets minder tijdrovend dan het head in manoeuvre. Het windeffect beïnvloedt ook het verschil tussen manoeuvreren head in of head out.

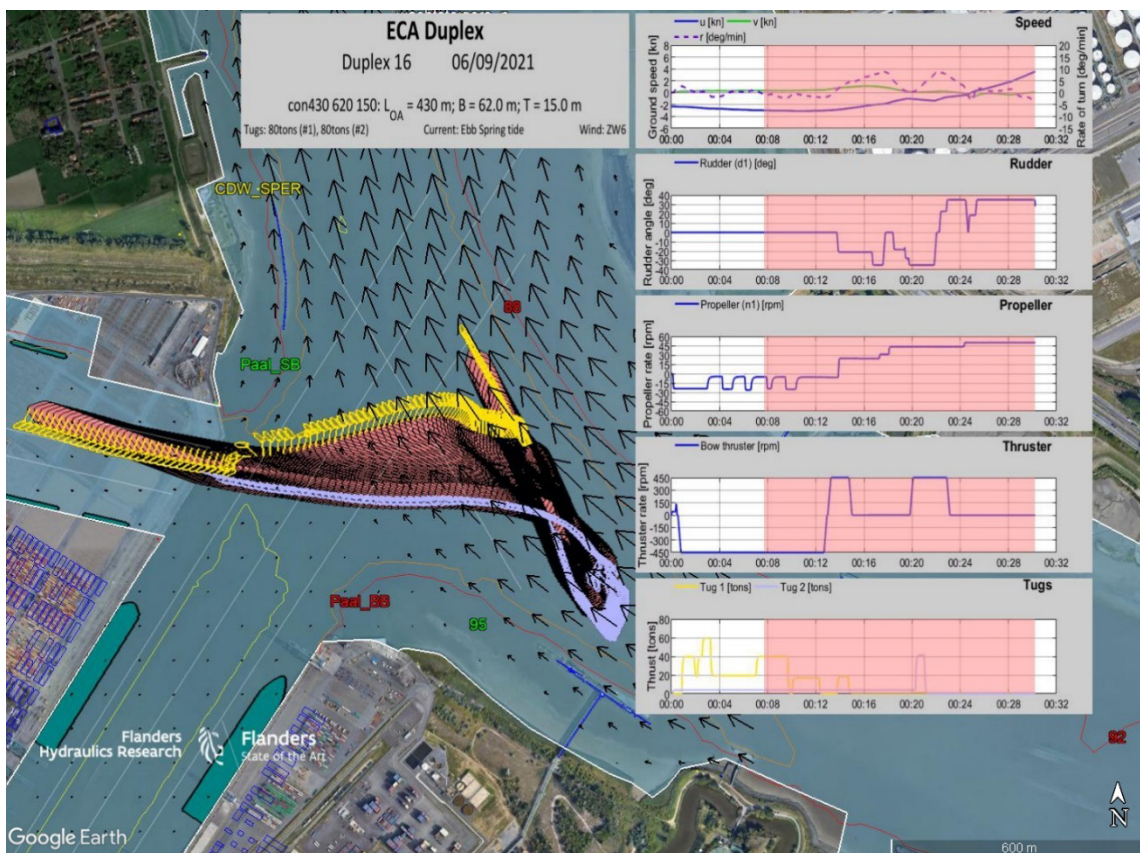
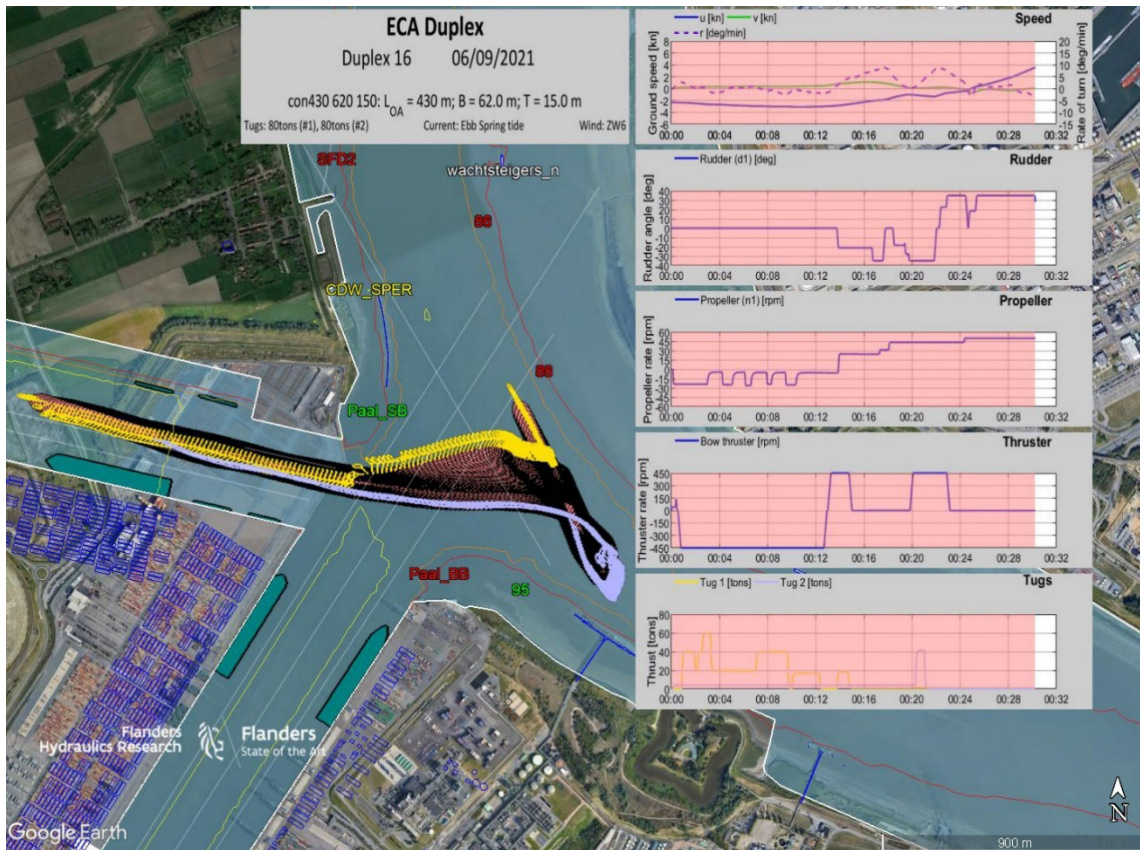
Als de vooruit (head out) of achteruit (head in) beweging in het dok worden vergeleken, geven de tracks van run 6 en 10 met andere windcondities vergelijkbare posities binnen hetzelfde tijdsbestek (Figuur 35). Er is dus geen significant voordeel van vooruit varen ten opzichte van achteruit varen met betrekking tot de tijd. Ook het gebruik van sleepboten laat geen echt verschil zien.



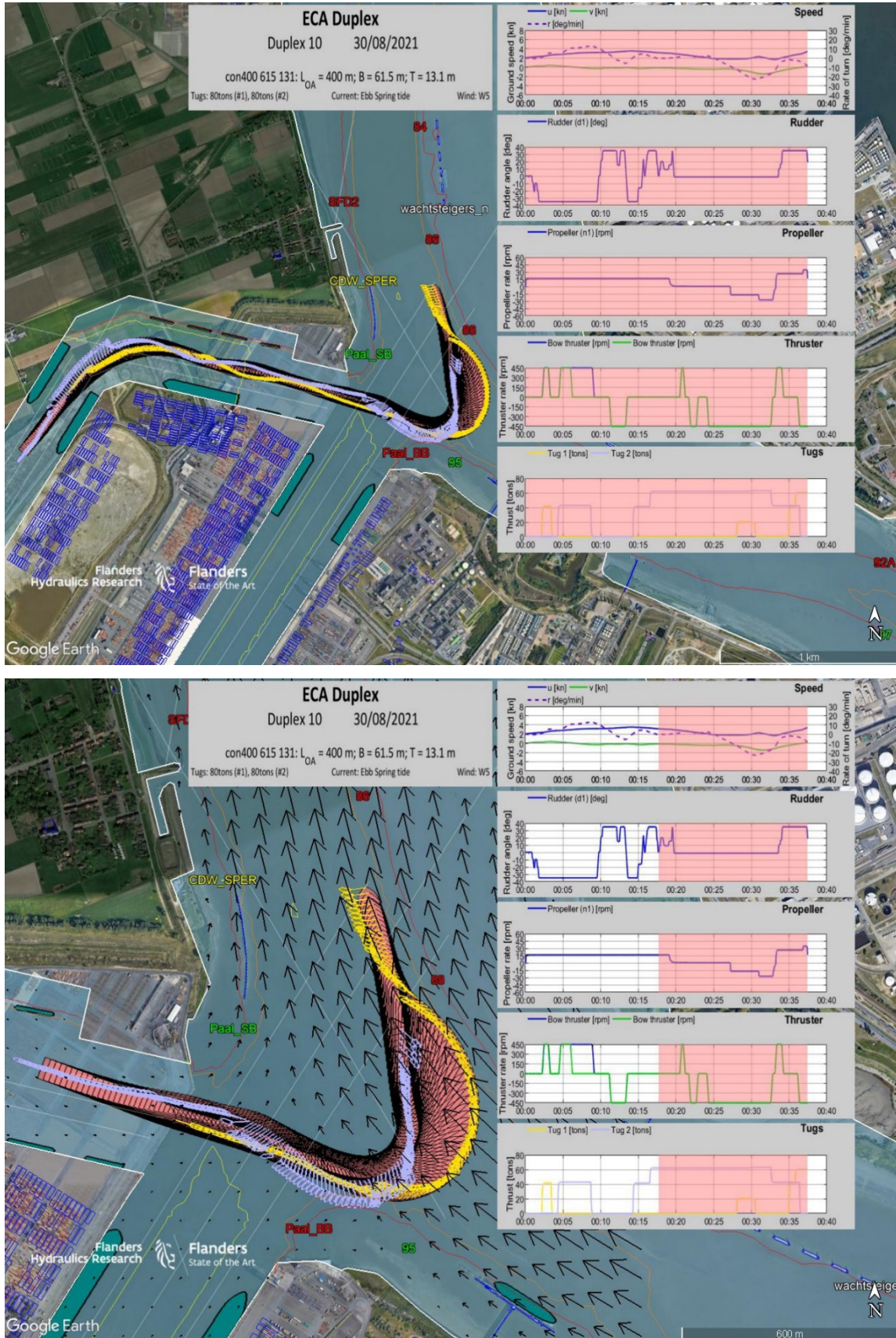
Figuur 31 - Afvaart eb (head in, 400 m): run 5 bij NW 6 Bftoverzicht en detail



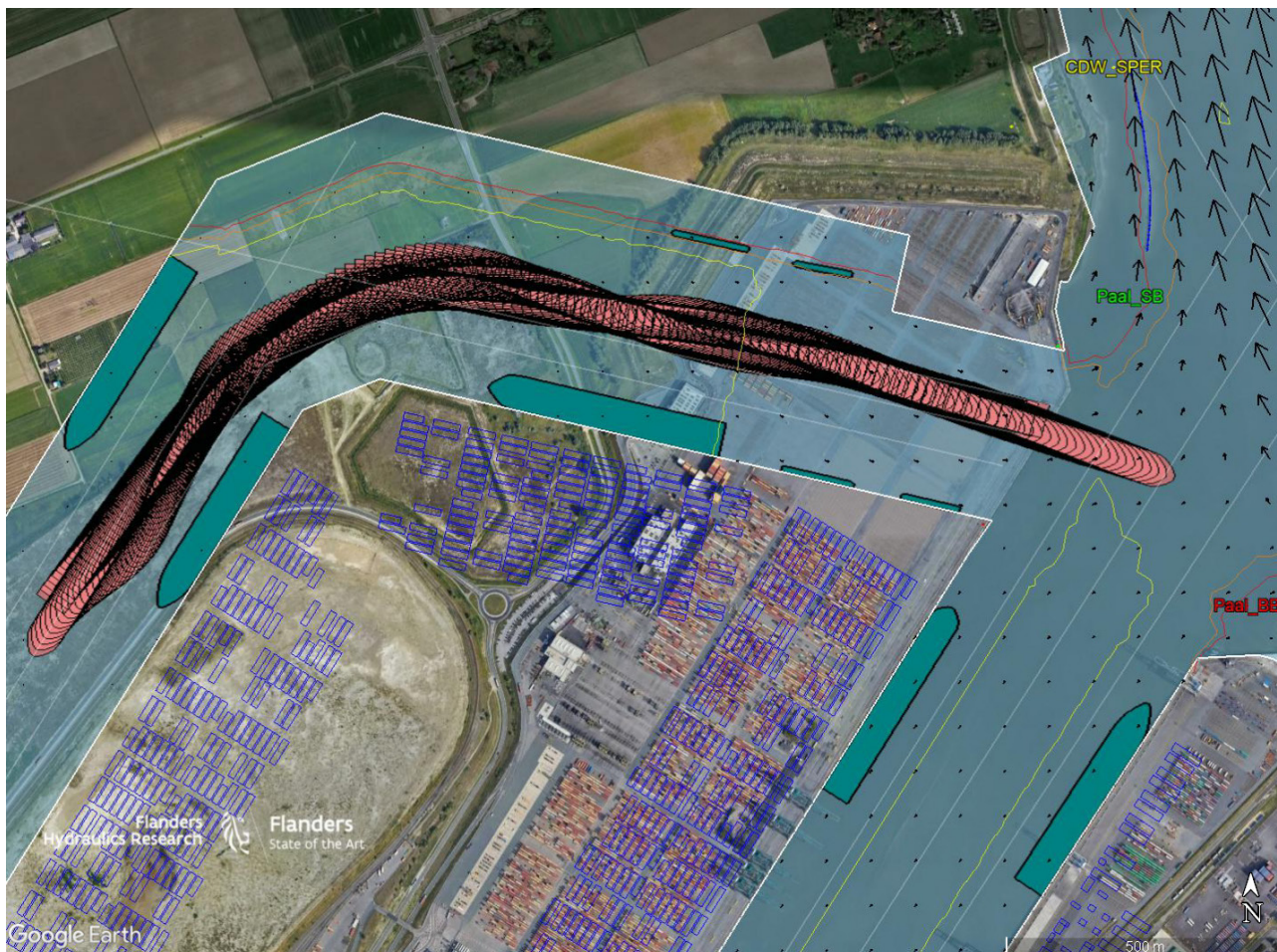
Figuur 32 - Afvaart eb (head in, 400 m): run 6 bij NW 6 Bftoverzicht en detail



Figuur 33 - Afvaart eb (head in, 430 m): run 16 bij SW 6 Bftoverzicht en detail



Figuur 34 - Afvaart eb (head out, 400 m): run 10 bij W 5 Bft: overzicht en detail



Figuur 35 - Afvaart eb (400 m): vergelijking van head in (run 6) en head out (run 10)

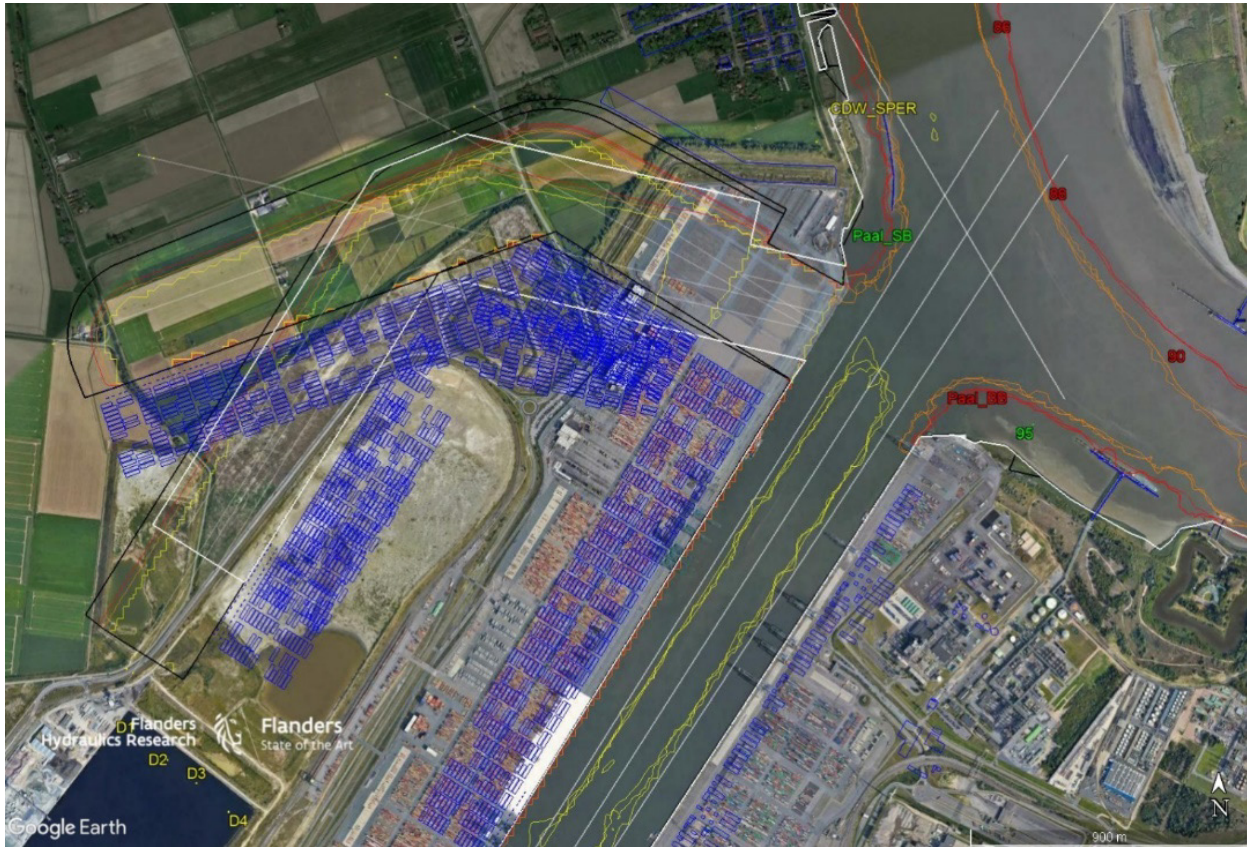
De evaluatie van de loodsen in Tabel 6 geeft voor run 10 en 16 een evaluatie van veel reserve (1) en normale (2) moeilijkheid. Zoals gezegd eindigden runs 5 en 6 met sterke NW 6 Bft wind met moeilijkheden maar hadden de loodsen nog enige gewenning aan de situatie nodig. De moeilijkheidsgraad van het manoeuvre bleef normaal. Het verschil tussen 400 m en 430 m is niet echt te zien, noch in de ingang van het tweede getijdedok, noch in de monding van het Deurganckdok. In alle runs zijn slechts twee sleepboten gebruikt (een voor en een achter) met voor de meeste runs bij 5 en 6 Bft wind voldoende reserve. Voor ongunstige windrichtingen bij 6 Bft kan een derde stand-by sleepboot worden geadviseerd.

4 Conclusies en toekomstig werk

In dit rapport wordt het Duplexalternatief voor het eerst onderzocht in realtime manoeuvreersimulaties tijdens twee simulatiedagen bij het Waterbouwkundig Laboratorium in samenwerking met het Vlaamse en Nederlandse Loodswezen en de sleepbootbedrijven Antwerp Towage en Boluda. Er werd een simulatieomgeving ontwikkeld met de grenzen van het Duplexalternatief, extra digitale navigatielijnen voor gebruik in de portable pilot unit (PPU) en de ontwerpschepen van 430 m en 400 m met een breedte van respectievelijk 62 en 61.5 m en een variërende diepgang van 15 m³ voor de 430 m ULCS en de getij-onafhankelijke diepgang van 13.1 m voor de 400 m ULCS. Het stroomprofiel voor het Duplexalternatief voor een gemiddelde springtijcyclus werd berekend en gerapporteerd binnen project 20_091 en de maximale vloed- en ebstroom bij de monding van het Deurganckdok werden geselecteerd om de op- en afvaartmanoeuvres te testen. Door Duplex te vergelijken met Boemerang en Winkelhaak kunnen enkele algemene opmerkingen worden gemaakt:

- Het Duplexalternatief wordt gedraaid naar een inkomende koers van 283 graden, terwijl het Winkelhaakdok een inkomende koers heeft van 299 en het Boemerangdok van 302 graden (Figuur 36). Van een koers parallel aan de current deflecting wall van 175 graden moet een draai van 108 (Duplex) tot 127 (Boemerang) graden worden gerealiseerd in een voorwaartse beweging. De afname van bijna 20 graden noodzakelijke draai helpt de algemene toegankelijkheid.
- De ingangsbreedte van het tweede getijdendok in Duplex is kleiner dan in de andere twee alternatieven met 325 m vergeleken met 350 m. Dit is een nadeel, maar in alle alternatieven moeten korte afstanden tot de muren aan de ingang vermeden worden door te trainen op het specifieke manoeuvre in de ingang.
- Het tweede rechte stuk van Duplex na de knik is gerealiseerd als een tweezijdig dok, terwijl Boemerang en Winkelhaak alleen kademuren hebben aan de zuidelijke grens en taluds aan de noordelijke. Dit beperkt de ruimte voor het draaiende schip in de bocht van het Duplexdok (zie run 7 en herhaald in run 8 en 9).
- Een stromingswervel in de monding van Deurganckdok en het tweede getijdendok lijkt meer uitgesproken te zijn in het Duplexalternatief dan in de andere twee alternatieven. Over het algemeen is de afstand tussen de ingang van het tweede getijdendok en de rivier korter in het Duplexalternatief dan in de andere alternatieven (korter is minder tijd om te handelen).

³ Er is geen lagere diepgang beschikbaar in de simulatordatabase.



Figuur 36 - Vergelijking van de grenzen van het Duplexalternatief (wit) met de Boemerang- en Winkelhaakalternatieven (zwart)

Tijdens de twee dagen zijn 20 simulaties uitgevoerd met voornamelijk head in manoeuvres. De simulaties werden gelivestreamed en de video's zijn beschikbaar. De simulaties zijn alleen uitgevoerd onder zware condities van maximale vloed of eb en sterke wind om de limieten te bepalen. Deze zware condities geven daardoor geen algemeen beeld van de werkelijke condities gedurende een jaar van verkeersafwikkeling.

De volledige evaluatie van head in en head out manoeuvres voor de Boemerang- en Winkelhaakalternatieven is samengevat in Figuur 37 en gebaseerd op eerdere rapporten Eloot *et al.* (2019a) voor het Boemerangdok en Eloot *et al.* (2019b) voor het Winkelhaakdok. Figuur 37 is gebaseerd op simulaties met het 430 m ontwerpschip, terwijl in de simulaties met Duplex voor sommige condities een verschil te zien is tussen een 430 m en 400 m ULCS (Figuur 38). Gebaseerd op de evaluatie in Figuur 37 werd een voorkeur gegeven aan een head in afmeren, maar in het Duplexalternatief, vooral voor schepen van 430 m, is deze voorkeur niet noodzakelijkerwijs duidelijk. Head out en head in afmeren scores vergelijkbaar, waarbij head out op basis van de beperkte simulaties (geen statistische analyse) een iets langere duur van de manoeuvres geeft, wat de verkeersafwikkeling zal beïnvloeden als meer ULCS de twee getijdedokken willen naderen en verlaten.

Head out	Flood	Ebb
Inbound	☹️	☹️
Outbound	☹️	😊
Head in	Flood	Ebb
Inbound	😊	☹️
Outbound	😊	😊

Figuur 37 - Overzicht voor head in en head out manoeuvres voor Boemerang- en Winkelhaakalternatieven (430 m ULCS)

In Figuur 38 is de evaluatie van de head out opvaartmanoeuvres (geen simulaties uitgevoerd) gebaseerd op de kennis van zwaaimanoeuvres naar het Deurganckdok, omdat deze gedeeltelijk nodig zijn voor het head out achteruit binnenvaren van het tweede getijdedok. Voor deze gevallen wordt geen echt verschil verwacht tussen Duplex en Boemerang of Winkelhaak. De meer oranje evaluatie van manoeuvres met head in afvaart bij Duplex dan bij de andere alternatieven heeft te maken met de kortere afstand tussen de ingang van het tweede getijdedok en de rivier.

Head out	Flood	Ebb
Inbound	☹️	☹️
Outbound	☹️	😊 (400 m)
Head in	Flood	Ebb
Inbound	😊	😊 (400 m) ☹️ (430 m)
Outbound	😊 (400 m) ☹️ (430 m)	☹️

Figuur 38 - Overzicht voor head in en head out manoeuvres voor Duplexalternatief (430 m en 400 m ULCS)

De duur van de voorwaartse of achterwaartse bewegingen in het tweede getijdedok zelf is voor het Duplexalternatief bijna gelijk, zodat er in dit deel van de totale op- en afvaartmanoeuvres geen voorkeur is voor head in of head out afmeren. In het dok zijn sleepboten nodig om het windeffect tegen te gaan en het schip op veilige afstand te houden van de afgemeerde schepen en de werkende kranen. De snelheid wordt dus ook aangepast aan deze door sleepboten ondersteunde manoeuvres van schepen met waarden tussen 2 en maximaal 4 knopen in het dok.

Voor windomstandigheden van gemiddeld 5 Bft zijn ten minste twee 80-ton sleepboten nodig, terwijl vanaf 6 Bft drie 80-ton sleepboten nodig zijn, waarvan er één als duwboot kan fungeren (in stand-by). Over het algemeen worden ten minste één voor- en één achtersleepboot ingezet. Voor sommige specifieke manoeuvres wordt een extra derde sleepboot voorgesteld, onafhankelijk van de wind (Tabel 7):

- Opvaart head in met maximale ebstroom: twee sleepboten achteraan
- Afvaart head out met maximale stroming: twee sleepboten vooraan

De sleepbedrijven vestigen de aandacht op twee punten:

- In het tweede getijdedok moet rekening worden gehouden met de manoeuvreerruimte voor de sleepboten (zie oevers en wachtruimte).
- De tijd dat sleepboten assisteren is groter dan voor de huidige operaties in het havengebied Antwerpen. Hiermee moet rekening gehouden worden.

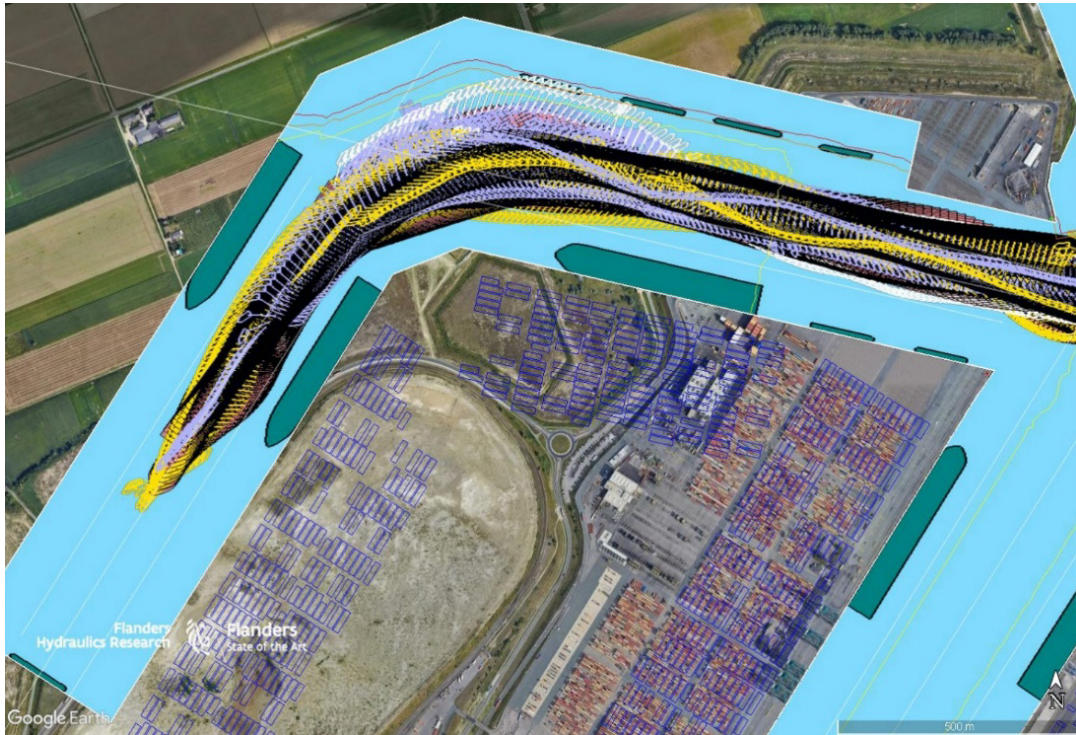
Tabel 7 - Voorgestelde sleepbootconfiguratie als functie van head in/out afmeren, op/afvaart en vloed of eb

	Configuratie sleepboot ⁴	
Head in	Vloed	Eb
Opvaart	F-sleepboot en A-sleepboot	F sleepboot en A(-SS) ⁵ + A(-PS) sleepboten
Afvaart	F-sleepboot en A-sleepboot	F-sleepboot en A-sleepboot
Head out	Vloed	Eb
Opvaart	F-sleepboot en A-sleepboot	F-sleepboot en A-sleepboot
Afvaart	F(-PS) + F sleepboten en A(-SS) sleepboot	F-sleepboot en A-sleepboot

Wachtplaatsen voor binnenschepen werden beschouwd over de eerste 480 m van de kade vanaf de ingang van het tweede getijdedok, boven het talud aan de noordelijke grens en aan het einde van het dok. Op basis van de simulaties in het dok (Figuur 39) kunnen binnenschepen aanmeren over een lengte van 550 m vanaf de noordelijke verticale wand boven het talud aan de noordelijke grens en wordt de 480 m aan de zuidelijke kade behouden. Er zijn geen simulaties uitgevoerd om het afmeergebied aan het einde van het dok te evalueren.

⁴ Voor de condities met slechts twee geadviseerde sleepboten moet een derde (duw)sleepboot beschikbaar zijn voor windcondities met kracht 6 Bft.

⁵ () betekent dat deze positie wordt voorgesteld op basis van de simulaties, maar door de loods moet worden bepaald.



Figuur 39 - Bepaling van wachruimtes voor binnenschepen

Gebaseerd op Figuur 39 is ook te zien dat een veilige afstand tot de afgemeerde ULCS in het tweede stuk na de knik wordt aangehouden en dat in het eerste stuk ten minste meer dan 100 m tot de kademuur (zie navigatielijn) wordt gerespecteerd. In de knik zelf is het totale pad breder, maar veroorzaakt het geen beperkingen, behalve voor het aanmeren van binnenschepen tot op een bepaalde afstand van de opwaartse hoek van de verticale muur om ruimte te laten voor de assisterende sleepboten in de knik.

Er worden enkele aandachtspunten of verbeterpunten genoemd:

- Beide hoeken van de noordelijke verticale muur van het tweede getijdedok moeten worden afgerond met teflon.
- De bathymetrie moet op volledige diepte zijn in de buurt van en ten minste in lijn met de hoeken van de noordelijke verticale muur die tijdens de simulaties op volledige diepte was. Sedimentatie op de hoeken van de ingang van 325 m moet vermeden worden zodat de volle breedte geen beperkingen geeft.
- Sedimentatie in de monding van het Deurganckdok nabij de zuidkaai van dit dok (kant van de monding tegenover de ingang van het tweede getijdedok) moet ook worden gecontroleerd en verwijderd.
- De werveling van de stroming in de monding van het Deurganckdok zal ook de manoeuvres naar het Deurganckdok beïnvloeden.

Voor de evaluatie van het Duplexalternatief zijn ook realtime verkeerssimulaties nodig, zodat de impact van de specifieke lay-out van dit dok kan worden gemeten voor interacties tussen op en afvaartmanoeuvres naar de twee getijdedokken. Voor dit toekomstige onderzoek kunnen de individuele manoeuvres die in dit rapport worden besproken, kort worden beschreven als in Tabel 8 en als uitgangspunt worden genomen voor de verkeerssimulaties.



Figuur 40 - Sedimentatie op de hoeken van het Deurganckdok en het tweede getijdedok (oranje -14,5 m LAT, rood -10 m LAT)

Tabel 8 - Algemene beschrijving van tijdbesparende manoeuvres afhankelijk van afmeerrichting, stroming en op- of afvaren

Head in	Vloed	Eb
Opvaart	Direct indraaien van de rivier naar de dokingang met een goede balans tussen snelheid en ROT. Vermijd draaien op de rivier in volle stroming, dus zoek naar de verminderde stroming in de Deurganckdokmonding. Houd de boeg tussen de westelijke en de middelste lichtenlijn van het Deurganckdok.	Rechtstreeks draaien van de rivier naar de ingang van het dok is mogelijk, maar er zijn twee sleepboten achter nodig om het achterschip tegen de stroom in te helpen draaien. Vermijd een daling van de ROT terwijl de boeg door de monding met verminderde stroming van het Deurganckdok vaart.
Afvaart	Ga achteruit vanaf de ingang van het dok naar de rivier, maar breng de hoek tussen de koers van het schip, de stroomrichting en de snelheid achteruit in evenwicht, zodat de draai op de rivier kan worden voltooid voordat je naar de zuidelijke (rode) kant van het Deurganckdok wordt verzet. Het balanceren van de koers en de snelheid is noodzakelijk om te vermijden dat het schip aan de grond loopt aan de huidige zuidkant (nabijgelegen Ineossteiger of rode boeilijn). Een alternatief manoeuvre is een draai van het tweede getijdedok achteruit naar het Deurganckdok gevolgd door een voorwaartse beweging van het Deurganckdok naar de rivier (negatieve ROT ook noodzakelijk, zie head out afvaart bij vloed).	Ga achteruit van de dokingang naar de rivier, maar houd de hoek tussen de koers van het schip en de stroomrichting klein en geef een positieve ROT (naar stuurboord) aan het schip voordat het achterschip de tegenwerkende ebstroom bereikt. Bereik de rivier aan de zuidoostkant zodat het achterschip nog kan verzetten om het schip naar het noorden te draaien terwijl je met voldoende snelheid achteruit vaart op de rivier. Een alternatief manoeuvre is een draai van het tweede getijdedok achteruit naar het Deurganckdok gevolgd door een voorwaartse beweging van het Deurganckdok naar de rivier (zie head out afvaart bij eb).
Head out	Vloed	Eb
Opvaart	Dit manoeuvre (niet gesimuleerd voor Duplex) is een gedeeltelijk klassiek manoeuvre naar de Deurganckdokmonding waar het schip bij west-oost heading achteruit het tweede getijdedok kan binnenvaren. Aangezien de breedte van het Deurganckdok beperkt is tot minimum 450 m moet de snelheid van het 400 m maar vooral van het 430 m schip zeer laag zijn om te vermijden dat het schip aan de grond loopt aan de rode kant van het dok.	Dit manoeuvre (niet gesimuleerd voor Duplex) is een gedeeltelijk klassiek manoeuvre naar de Deurganckdokmonding waar het schip bij west-oost heading achteruit het tweede getijdedok kan binnenvaren. Aangezien de breedte van het Deurganckdok beperkt is tot minimum 450 m moet de snelheid van het 400 m maar vooral van het 430 m schip zeer laag zijn om te vermijden dat het schip aan de grond loopt aan de rode kant van het dok.
Afvaart	Dit manoeuvre kan worden uitgevoerd als een directe draai van de ingang van het dok naar de rivier, maar alleen als de snelheid erg laag is (tot nul) om de draai te maken, vooral in het beschermde gebied met lage stroming in de monding van het Deurganckdok. Er moet ook een negatieve ROT (naar bakboord) worden gegeven aan het schip voordat de boeg het tegenwerkende stromingsveld van de rivier bereikt.	Dit manoeuvre kan uitgevoerd worden als een directe draai van het dok naar de rivier, maar beter aan de oostelijke lichtenlijn van de Deurganckdokmonding om rekening te houden met de ebstroom die het draaien van de boeg vergemakkelijkt, maar het schip ook naar het noorden doet zwaaien. De voorwaartse snelheid moet goed uitgebalanceerd zijn en laag blijven zodat de noodzakelijke draai gemaakt kan worden op de beschikbare waterwegbreedte.

	(Een alternatief manoeuvre dat niet werd gesimuleerd, is een draaiing head in van het tweede getijdedok naar het Deurganckdok gevolgd door een zwaaimanoeuvre achteruit naar de rivier en de vloedstroom het achterschip laten verzetten - boomstammanoeuvre)	
--	---	--

Het aantal head out manoeuvres was beperkt in deze tweedaagse simulaties, maar zal verder onderzocht worden aan de hand van de verkeerssimulaties. Ook andere periodes van de getijdencyclus zullen als input worden genomen voor de verkeerssimulaties, terwijl het Waterbouwkundig Laboratorium werkt aan getijdenvariërende parameters zodat de getijdenperiode wordt gekozen aan het begin van de verkeerssimulatie en verder verandert naargelang de tijd die tijdens de simulatie passeert.

Noodsimulaties zijn ook nodig bij falen van boegschroeven of sleepboten. Dit kan verder helpen bij het vergelijken van head in en head out afmeren en de bijbehorende op- en afvaartmanoeuvres. De keuze voor head in of head out afmeren kan worden gebaseerd op de totale blokkeertijd van de monding van het Deurganckdok tijdens de op- en afvarende manoeuvres, aangezien beide de hinder bepalen die door één schip wordt veroorzaakt tijdens de verblijftijd in de haven.

Referenties

Eloot, K.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2019a). Complex project: extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen: achtergronddocumentatie - Deelrapport 7. Geïntegreerd onderzoek – deel nautica: simulatiestudie voor de bouwsteen tweede getijdendok van alternatief 9. Versie 4.0. *WL Rapporten, 16_117_7*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=312180>

Eloot, K.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2019b). Complex project: extra containerbehandelingscapaciteit in het havengebied Antwerpen: Achtergronddocumentatie - Deelrapport 8. Geïntegreerd onderzoek – deel nautica: simulatiestudie voor een variant tweede getijdendok binnen Alternatief 9. Versie 3.1. *WL Rapporten, 16_117_8*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Eloot, K.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2020). Haven van Antwerpen: alternatievenonderzoek voor de Europaterminal: deelrapport 2. Simulatiestudie: ontmoetingen. Versie 3.0. *WL Rapporten, 19_046_2*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Integraal Plan Bovenzeeschedde: Subreport 1 – 3D Hydrodynamisch model Zeeschedde en Westerschedde: Antwerp, Belgium

Vanlede, J.; Chu, K.; Smolders, S.; Decrop, B.; Mostaert, F. (2020). Update SCALDIS 2019: a 3D hydrodynamic model of the Scheldt Estuary: calibration report. Version 3.. *FHR reports, PA016_1*. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=334271>

Bijlage 1: Pilot kaart 430 m en 400 m ULCS

Pilot card 430 m op 62.0 m ULCS

CON430_620 PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast-time simulations

Name	Con430_620_160.SHI
Project	16_117 CP ECA

Main Dimensions

LOA	[m]	430
L _{PP}	[m]	409
B	[m]	62
T	[m]	16
M	[ton]	263734
A _{wind frontal}	[m ²]	2728
A _{wind lateral}	[m ²]	15932

Propeller

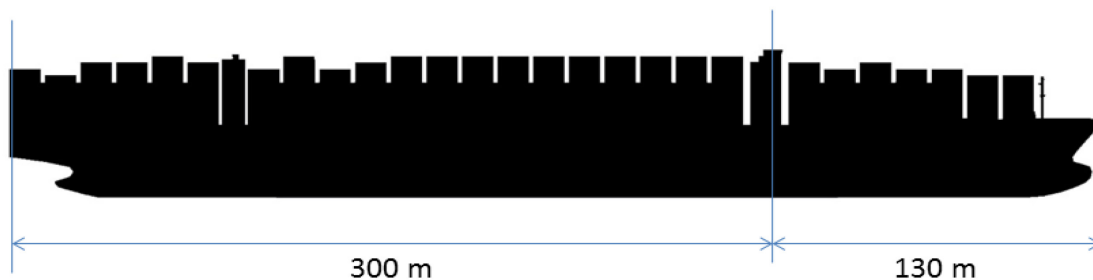
#	[-]	1
n _{max}	[1/s]	1.56
CPP		No

Thruster

Bow thruster	[-]	1
Total Power	[HP]	4250
Stern Thruster	[-]	-
Total Power	[HP]	-

Rudders

#	[-]	1
d _{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	23



Manoeuvring speeds				
	RPM	UKC=100%	UKC=20%	UKC=10%
	[-]	[kn]	[kn]	[kn]
Manoeuvring Full Ahead	60	16.4	14.0	12.6
Half Ahead	48	13.1	11.2	10.1
Slow Ahead	36	9.8	8.4	7.6
Dead Slow Ahead	24	6.4	5.6	5.0

Stopping specifications			
	Time		Distance
	[s]	[min]	[m]
From Man. Full Ahead to Full Astern	604	10.07	2380
From Slow Ahead to Slow Astern	915	15.25	2027

Turning specifications			
	Advance	Transfer	Tact Diam
	[m]	[m]	[m]
UKC = 100%			
Full Ahead	1380	872	1879
Slow Ahead	1375	874	1874
UKC=20%			
Full Ahead	1614	1252	2489
Slow Ahead	1494	1139	2296
UKC=10%			
Full Ahead	2156	1838	3640
Slow Ahead	1966	1635	3266

Pilot card 400 m op 61.5 m ULCS

Con400_615 PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast time simulations

Name	Con400_615_160.shi
Project	00_107

Main Dimensions

LOA	[m]	400
L _{PP}	[m]	383
B	[m]	61.5
T	[m]	16.0
m	[ton]	266,699
A _{wind frontal}	[m ²]	2,885
A _{wind lateral}	[m ²]	16,304

Propeller

#	[-]	1
n _{max}	[1/s]	1.24
n _{min}	[1/s]	0.28
CPP		No

Thruster

Bow thruster	[-]	2
Total Power	[kW]	2 x 3000
Stern Thruster	[-]	-
Total Power	[kW]	-

Rudders

#	[-]	1
d _{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	26



Manoeuvring speeds					
	RPM	UKC=150%	UKC=35%	UKC=20%	UKC=10%
	[-]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]
Sea Full Ahead	74.3	21.49	-	-	-
Manoeuvring Full Ahead	55.6	16.07	13.83	-	-
Half Ahead	45.4	13.09	11.29	10.59	9.15
Slow Ahead	35.8	10.23	8.89	8.32	7.22
Dead Slow Ahead	26.6	7.39	6.55	6.10	5.34
Minimum	17.0	4.20		3.60	3.30

Stopping specifications			
	Time		Distance
	[s]	[min]	[m]
From Man. Full Ahead to Full Astern			
From Slow Ahead to Slow Astern			

Turning specifications Portside			
	Advance	Transfer	Tact Diam
	[m]	[m]	[m]
UKC = 150%			
Full Ahead	1176.3	-662.7	-1420.8
Slow Ahead	1139.7	-659.3	-1416.1
UKC = 35%			
Full Ahead	1224.6	-848.6	-1712.2
Slow Ahead	1201.0	-839.8	-1698.3
UKC=20%			
Half Ahead	1212.9	-923.0	-1805.9
Slow Ahead	1195.8	-911.1	-1781.4

Turning specifications Starboardside			
	Advance	Transfer	Tact Diam
	[m]	[m]	[m]
UKC = 150%			
Full Ahead	1176.0	678.9	1457.3
Slow Ahead	1149.8	673.2	1450.2
UKC = 35%			
Full Ahead	1105.2	753.3	1524.7
Slow Ahead	1079.0	739.8	1493.9
UKC=20%			
Half Ahead	1256.6	957.4	1829.5
Slow Ahead	1229.0	929.5	1785.5

Con400_615 PRINCIPLE CHARACTERISTICS

based on fast time simulations

Name	Con400_615_120.shi
Project	00_107

Main Dimensions

LOA	[m]	400
LPP	[m]	383
B	[m]	61.5
T	[m]	12.0
m	[ton]	194,920
A _{wind frontal}	[m ²]	2,987
A _{wind lateral}	[m ²]	17,030

Propeller

#	[-]	1
n_{max}	[1/s]	1.24
n_{min}	[1/s]	0.28
CPP		No

Thruster

Bow thruster	[-]	2
Total Power	[kW]	2 x 3000
Stern Thruster	[-]	-
Total Power	[kW]	-

Rudders

#	[-]	1
d_{max}	[°]	35
Time from +35 to -35	[s]	26



Manoeuvring speeds					
	RPM	UKC=150%	UKC=35%	UKC=20%	UKC=10%
	[-]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]
Sea Full Ahead	74.3	22.72	-	-	-
Manoeuvring Full Ahead	55.6	17.00	14.04	-	-
Half Ahead	45.4	13.88	11.46	11.07	9.93
Slow Ahead	35.8	10.92	9.03	8.72	7.83
Dead Slow Ahead	26.6	8.02	6.71	6.44	5.81
Minimum	17.0	4.74	4.21	3.91	3.60

Stopping specifications			
	Time		Distance
	[s]	[min]	[m]
From Man. Full Ahead to Full Astern			
From Slow Ahead to Slow Astern			

Turning specifications Portside			
	Advance	Transfer	Tact Diam
	[m]	[m]	[m]
UKC = 150%			
Full Ahead	1245.6	-681.6	-1430.0
Slow Ahead	1211.1	-680.8	-1420.1
UKC = 35%			
Full Ahead	1217.8	-874.0	-1807.5
Slow Ahead	1197.8	-869.7	-1797.2
UKC=20%			
Half Ahead	1298.2	-1012.5	-1969.9
Slow Ahead	1284.8	-1001.1	-1951.9

Turning specifications Starboardside			
	Advance	Transfer	Tact Diam
	[m]	[m]	[m]
UKC = 150%			
Full Ahead	1152.6	660.5	1383.9
Slow Ahead	1132.5	658.2	1382.2
UKC = 35%			
Full Ahead	1173.5	856.4	1758.8
Slow Ahead	1152.2	839.6	1730.7
UKC=20%			
Half Ahead	1241.2	953.1	1824.8
Slow Ahead	1219.0	931.7	1784.2

Bijlage 2: Handleiding voor KMZ-tracks

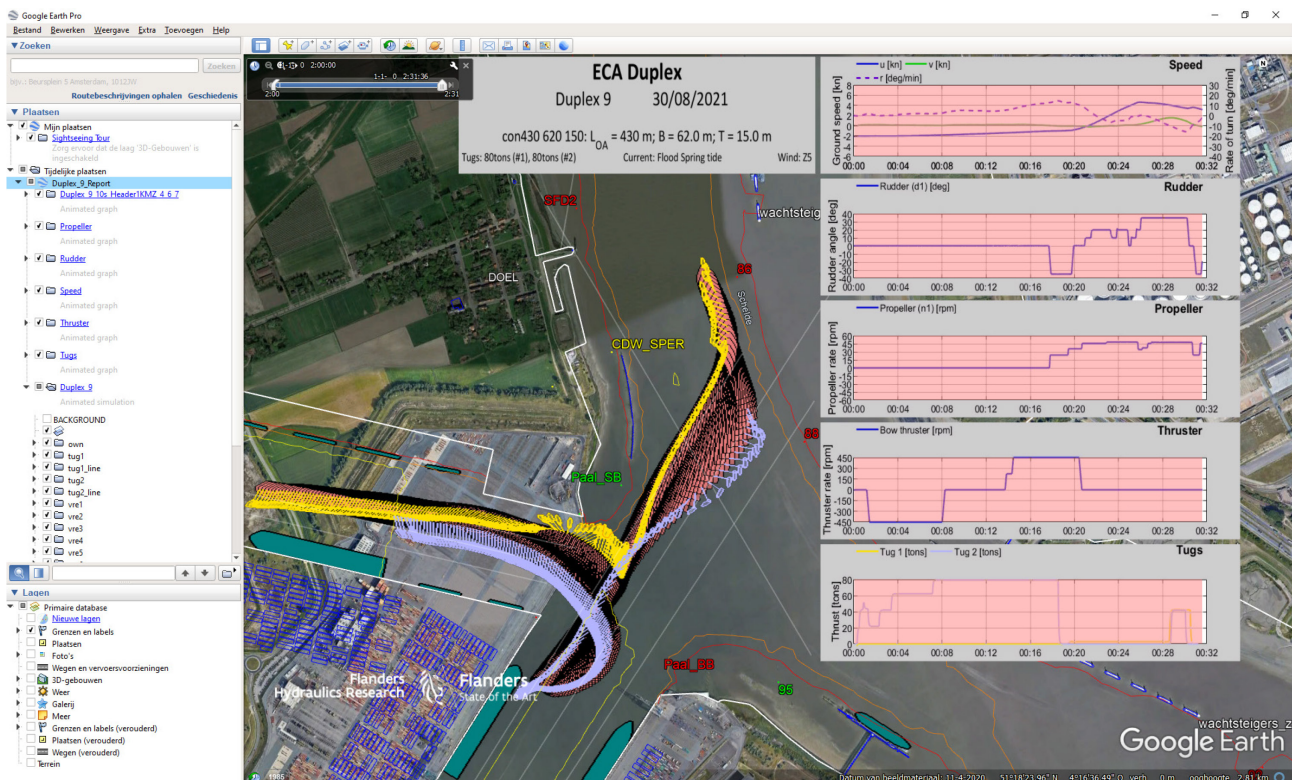
De simulaties kunnen worden afgespeeld met animatie in Google Earth op basis van de bijgevoegde KMZ-bestanden. Een korte handleiding beschrijft de acties en mogelijkheden.

Installeer Google Earth (de versie die wordt gebruikt voor de figuren in deze handleiding is een Nederlandse versie)

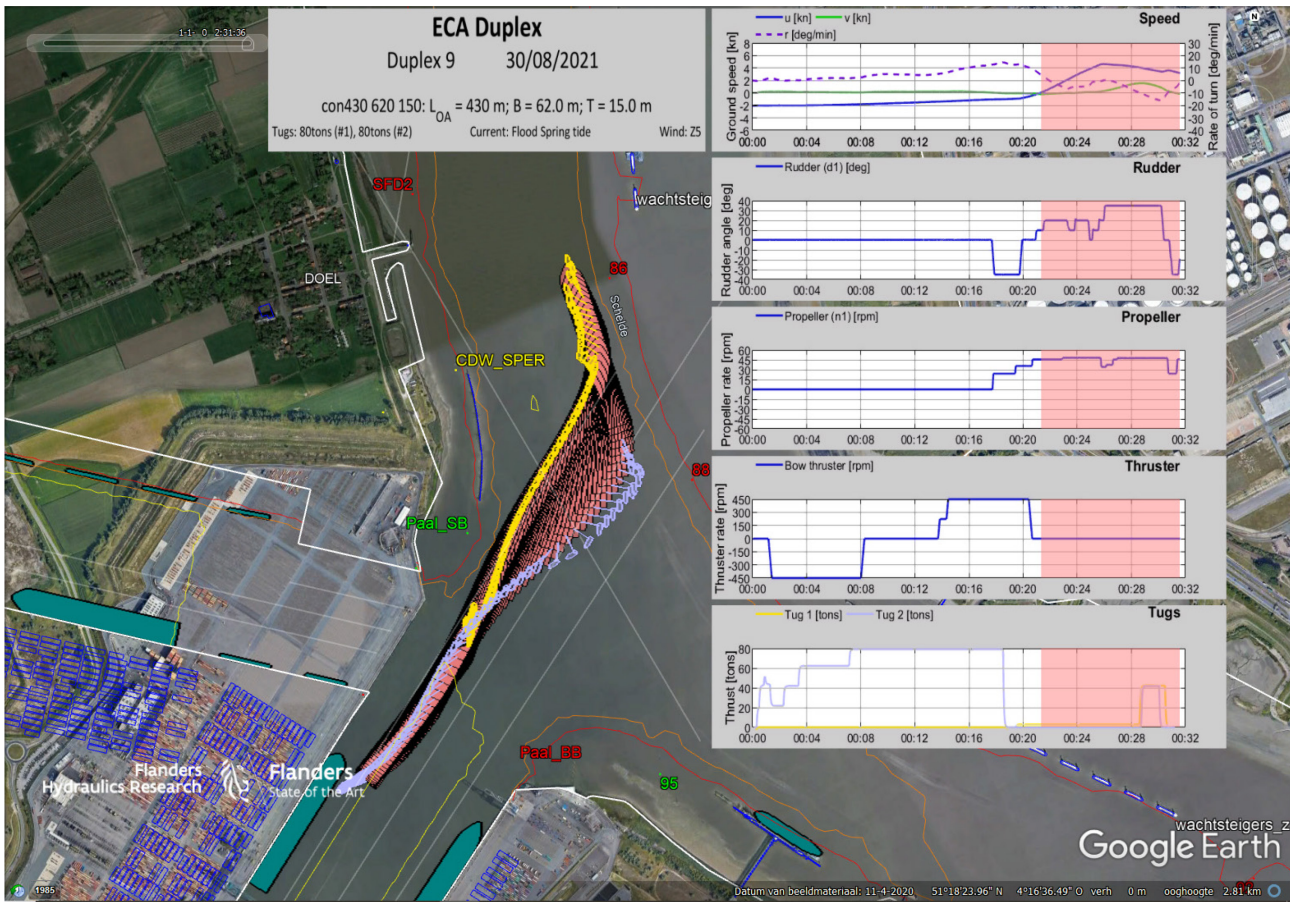
Ga naar Windows Verkenner of de KMZ-bestanden die bij het rapport zijn gevoegd en dubbelklik op een geselecteerd KMZ-bestand:

bijv. Duplex_9_Report.kmz

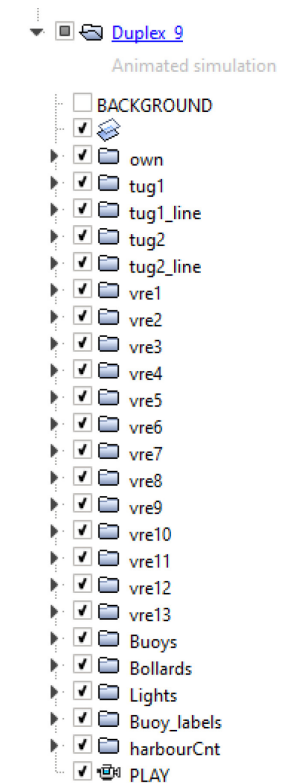
Het KMZ-bestand met de geanimeerde grafieken en de geanimeerde simulatie zijn te zien in de tijdelijke locaties in het linker uitklapmenu. Op het hoofdscherm is de locatie te zien met daarboven de simulatiegegevens en de overlay-grafieken (rechterkolom met tijdsgrafieken). Je kunt de verschillende overlay-grafieken aan- of uitvinken in het linker pull-downmenu.



De overlaygrafieken zijn lichtrood boven de verschillende reeksen in de grafieken omdat de animatie wordt gepresenteerd vanaf het begin tot het einde van de simulatie. Als je de schuifregelaar linksboven gebruikt, kun je terug en vooruit gaan op de grafieken en ook op de baan.

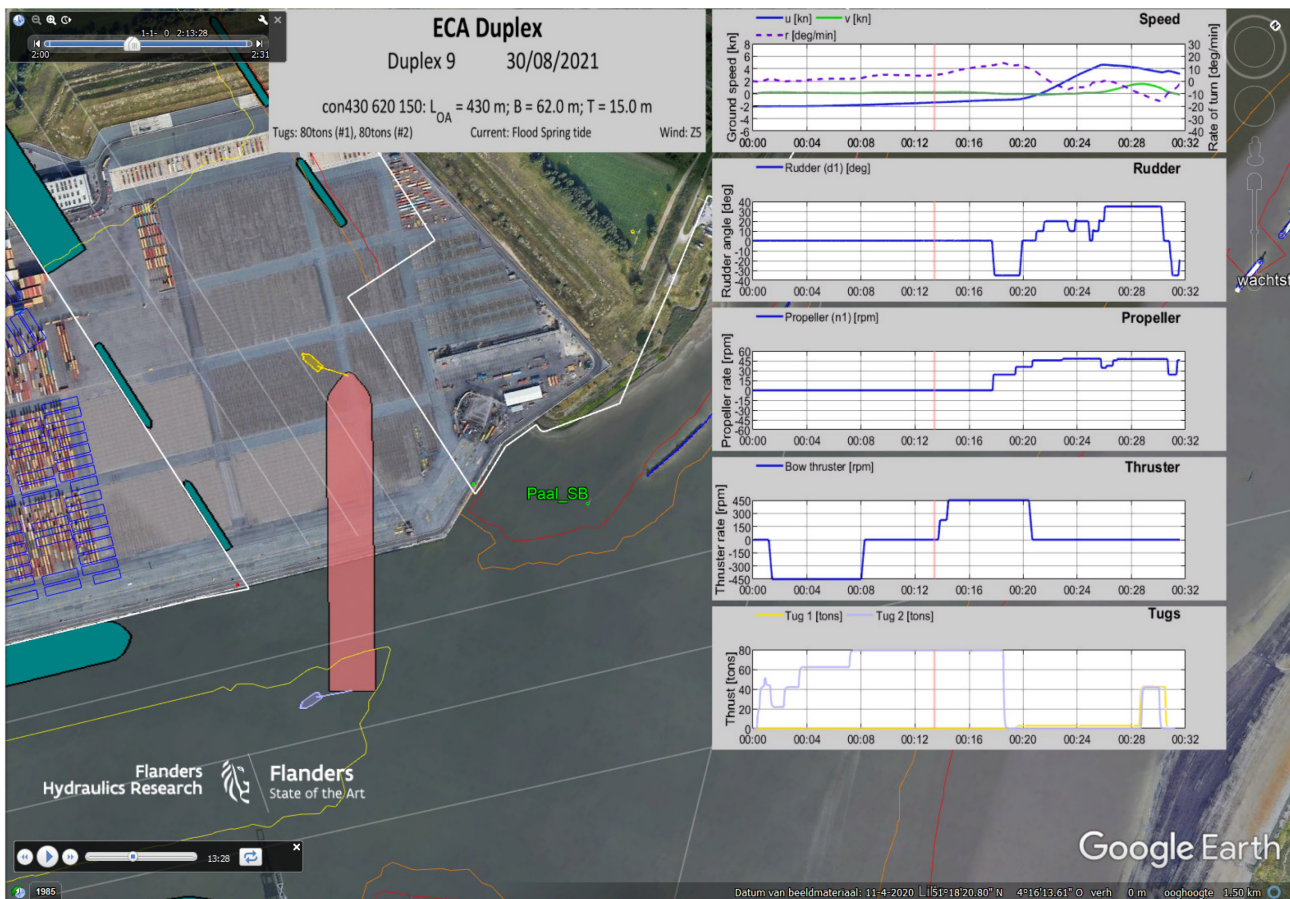


Om duidelijk te focussen op de baan van het eigen schip kun je de pull-down lijst van de geanimeerde simulatie selecteren



en dubbelklik op "own". Dan zoomt de Google Earth presentatie in op de baan van het eigen schip. Je kunt de schuifbalk weer gebruiken om terug en vooruit te gaan in de simulatie.

In de vervolgkeuzelijst van de geanimeerde simulatie is er ook een PLAY-knop. Als je dubbelklikt op deze knop wordt de simulatie herhaald met een verticale rode lijn op de overlappende grafieken om te laten zien waar je je bevindt in de grafieken voor het gepresenteerde eigen schip op de Google Earth-weergave. In de linkerhoek hieronder staat de afspeelknop, die kan worden gebruikt om de afspeelsnelheid te verhogen.



De volgende grafieken worden weergegeven op de Google Earth-presentatie:

De longitudinale snelheidscomponent (u), de laterale snelheidscomponent (v) en de draaisnelheid (r) van het schip.

De roerhoek (d1) met een minimum van -35 graden (naar stuurboord) en een maximum van 35 graden (naar bakboord).

De schroefsnelheid (rn1) met een minimum van -60 rpm (harbour full achteruit) en een maximum van 60 rpm (harbour full vooruit).

De boegschroeven (rn3 en rn4) met een minimale schroefsnelheid van -450 rpm (naar bakboord) en een maximale schroefsnelheid van 450 rpm (naar stuurboord).

De sleepboten (tug 1, tug 2, tug 3, tug 4) met de gegeven stuwkracht van de sleepboot in ton. Er zijn sleepboten met een bollard pull van 80 ton gebruikt.

Op het Google Earth overzicht zijn de rode lijnen de dieptelijnen op -10 m LAT, de oranje lijnen de dieptelijnen op -14.5 m LAT en de gele lijnen op -18.0 m LAT.

Bijlage 3: Feedback

[21_043] Duplex

Beoordeling 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 op de simulator

1. het werd vlot uitgevoerd
2. het werd normaal uitgevoerd
3. meer dan normale moeilijkheid
4. het was moeilijk
5. het was uiterst moeilijk, riskant
6. onuitvoerbaar

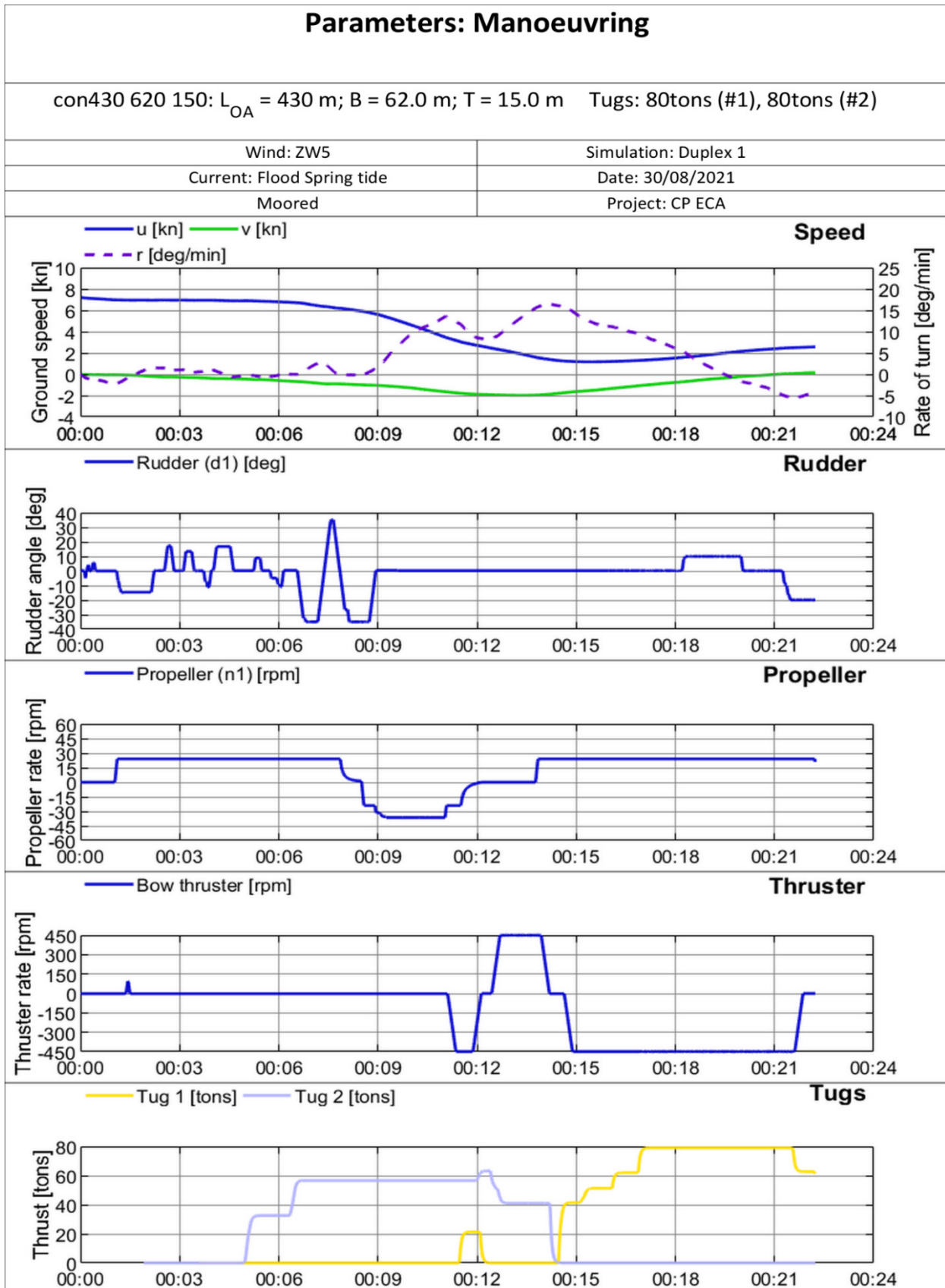
Uitvoerbaarheid

Is dit manoeuvre - zoals u het op de simulator uitvoerde - ook veilig uitvoerbaar op de rivier en in het dok? Ja/Nee

Ren	Feedback
Duplex_1	Gewenning
Duplex_2	Conditie eerste vaart worden herhaald. Startsnelheid iets lager 3.5 m/s. De snelheid was te laag gevallen (hoewel de sleepboot al gestopt was), minstens 2 knoop aanhouden. Doseren tussen snelheid en rate of turn. Twee fases: riviermanoeuvre en dok in gaan, beter in centerlijn dok komen door meer vaart vooruit te houden.
Duplex_3	Eerst 190° gestuurd, dan naar 185°, heeft er voor gezorgd dat er verder uit gekomen wordt (vgl. uitvaren van het DGD, x knopen snelheid, x° ROT). Om het dok in te varen zat het schip nu goed, maar wel de wind onder controle houden. Het schip op het voorschip laten zwaaien. Eventueel scenario onderzoeken waarbij het schip met boeg tussen noordelijke en midden lichtenlijn van DGD blijft bij draaien naar TGD.
Duplex_4	PPU (probleem tot in monding dok, verschuiving scheepspositie meer naar achter in vergelijking met werkelijke positie), draai over de eb viel mee, maar zeer veel sleepbootkracht achteraan nodig, breed aankomen was het plan en gelukt, vlotte beweging, boegschroef niet bakboord moeten zetten (tegen de stroom in). 20 graden minder bochten voor de eb bij deze Duplex een voordeel! Ook om de knik te nemen 20 graden minder bochten. Als het misloopt in de monding, kan je het DGD nog in gaan.
Duplex_5	Misverstand tussen sleepboot en loods, voorbij de knik moest de achterboot over stuurboord het achterschip ophouden, maar de sleepboot zat aan bakboord. Bij het uitgaan van het dok lag het schip nog goed maar in de monding werd de hoek met de stroom te groot. De loods dacht dat de wind voldoende het achterschip terug zou brengen. Boegschroeven wel regelmatig op vol in het dok. Het schip te snel gepakt door de stroom. Balans wind, stroom. Besloten om door bakboord zwaaien manoeuvre terug onder controle te brengen. Simulatie gestopt toen het voorschip aan de grond gelopen was. Stroom is veel sterker dan de wind. Later gaf de loods ook nog mee dat in voorgaande alternatieven er nog een belangrijke hoek moest gemaakt worden om op stroom te komen. Mogelijk heeft dit geleid tot de te grote hoek. Er zou ook in de monding van het DGD gezwaaid kunnen worden maar dan moet je wel zien dat je met een hoek tegen de stroom op stroom komt. De NW wind zou wel helpen voor het zwaaien van de boeg over bakboord in de monding.
Duplex_6	Tot nu toe ondervinden de loodsen geen hinder van de binnenschepen die boven het noordelijke talud zijn afgemeerd (wachtplaatsen). Eens het achterschip op de stroom gekomen (-4 kn achteruit was wel groot) is het achterschip weg. Met de achtersleepboot het achterschip ophouden. Onder een hoek van eerder 280° achteruit in het TGD naar de monding. Het schip is nu door de hogere snelheid op de overzijde in de ondiepte gegaan.
Duplex_7	De simulatie werd afgebroken in de knik want het schip liep in het talud aan de grond. Er werd, toen het achterschip niet voldoende meedraaide, een extra duwer ingezet. In de knik werd vooruit geslagen om de snelheid achteruit er uit te halen maar dat ging zeer traag (bijna geen vermindering) waardoor het schip aan de grond liep. Mogelijk is dit te wijten aan de sterke zuidelijke wind samen met de inertie van het schip.
Duplex_8	Vorige simulatie wordt herhaald met een kleinere wind Z5 en met een kleinere startsnelheid (kleiner dan -2 knopen). In het dok gaat het nu goed met twee sleepboten maar op de rivier komen is moeilijk, veel (en lang) sleepbootkracht en boegschroef nodig vooraan. Er lijkt toch een verschil met de voorgaande alternatieven waarbij er nu sneller op stroom wordt gekomen en hierdoor het effect van de stroom groter lijkt.
Duplex_9	De condities van de voorgaande simulatie worden gebruikt waarbij nu eerder in de monding zal gezwaaid worden. Alles meer onder controle in het dok. Wanneer boeg vrij, kan deze stuurboord over komen. Bij het op de stroom komen was er eerst 5 graden bakboord ROT

	maar dan gestut (want loods vond wat dicht bij de CDW) maar hierdoor stroom meer effect en weer moeilijk om tegen de stroom op te sturen (sleepboten worden dan nog even ingezet).
<i>Duplex_10</i>	Head out manoeuvre bij eb. Ook knik wordt gerond bij W 5 Bft. Alles onder controle, een plezierig manoeuvre. Eerst aan de rode pikkel blijven, en dan de stroom zijn werk laten doen.
Duplex_11	Gewenningsvaart met drie sleepboten. Manoeuvre werd uitgevoerd zoals gepland. Drie sleepboten geven comfort. Even vol gebruikt maar later opgelet om dit niet te doen.
Duplex_12	Nog strengere condities met NW 6 Bft, en starten met twee sleepboten. Tijdens het inzwaaimanoeuvre in het TGD staat alles op vol. Plan dicht bij CDW maar te dicht, te laat de bocht kunnen nemen. Oplijnen 175, machine te lang moeten laten draaien, daarna achteruitslaan. Meer effect van de wind verwacht. Met NW 6 in realiteit zou met drie boten uitgevoerd zijn. Niet verwacht bij het zwaaien en achteruit slaan dat het schip nog zo ver vooruit zou geraken.
Duplex_13	Camera opname voor Manifesto film DMOW, geeft tussenkomsten van de crew. Cameraman heeft het manoeuvre ook gestuurd, verschillende keren full ahead gevraagd om meer shots van het commando te kunnen nemen. De loodsen verwachten meer drijven van het schip bij 6 Bft. Deze simulatie wordt niet beschouwd in de analyse.
Duplex_14	Zelfde manoeuvre als voorgaande maar met 430 m schip, bij het inzwaaien op en voorbij de stroomnaad worden één achter- en één voorsleepboot gebruikt wel beiden op vol, met ook vol stuurboord boegschroef. Te rap terug vooruit geslagen (snelheid opbouwen). Na passage zuidkant dok NW wind counteren.
Duplex_15	Zelfde manoeuvre als voorgaande maar nu klassiek manoeuvre naar DGD bij eb om dan head in het dok in te draaien. Bij het afstoppen in de monding en het bakboord ROT opbouwen ging het niet snel genoeg waardoor met voorschip in ondiepte. Voor een 430 m schip is de monding krap, tijd winnen door achteruit door te zwaaien in de monding achteruit. Met dit zwaar schip is het zeer moeilijk om dit manoeuvre te doen. In monding 460 m tussen ondieptes noord en zuid, dus geen ruimte voor een 430 m schip.
Duplex_16	Hoek tussen stroom en voorligging schip klein, dan komt dit vlot. Opmerking dat het schip zeer log is en als de negatieve snelheid wordt afgebouwd dit zeer traag verloopt. Bij 400 m schepen is men gewoon dat dit sneller kan. Snelheid achteruit was tussen -2 en -3 knopen.
Duplex_17	Bij het op stroom komen is er een goede hoek met de stroom gemaakt, wel zeer dicht bij ondiepte voor de noordelijke muur van het nieuwe dok. Bij het achteruit op rivier lopen bijsturen met sleepboten zodat het achterschip niet te dicht bij de phenol komt. De wind en de stroming werken het achteruit bochtmanoeuvre van het schip tegen. Schip zeer veel inertie en daarom moeilijk om er mee te werken. Met deze diepgang 15 m wordt er niet bij maximale vloedstroom op rivier gekomen (tenzij shiften naar NZT).
Duplex_18	Het 400 m schip wordt gekozen met een kleinere windsterkte van 5 Bft, nog steeds NW dus zelfde richting als max. vloedstroom. Er wordt gestart met twee sleepboten maar indien noodzakelijk kan er een bijkomende sleepboot gevraagd worden. Bij het op rivier komen is de ROT bijna -10° over bakboord. Boegschroef en voorsleepboot beide vol op de rivier.
<i>Duplex_19</i>	Moeilijkste manoeuvre bij head out, op stroom komen bij max. vloed. De stroom komt diep in het dok (zie ook neer). Simulatie werd afgebroken.
<i>Duplex_20</i>	Zelfde condities, dit lijkt op deze manier geen problematisch manoeuvre, dus niet moeilijker dan head in achteruit op stroom komen. Traag manoeuvre om voldoende ROT over bakboord op te bouwen, dus snelheid ook laag houden.

Bijlage 4: Tijdsgrafieken



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW5

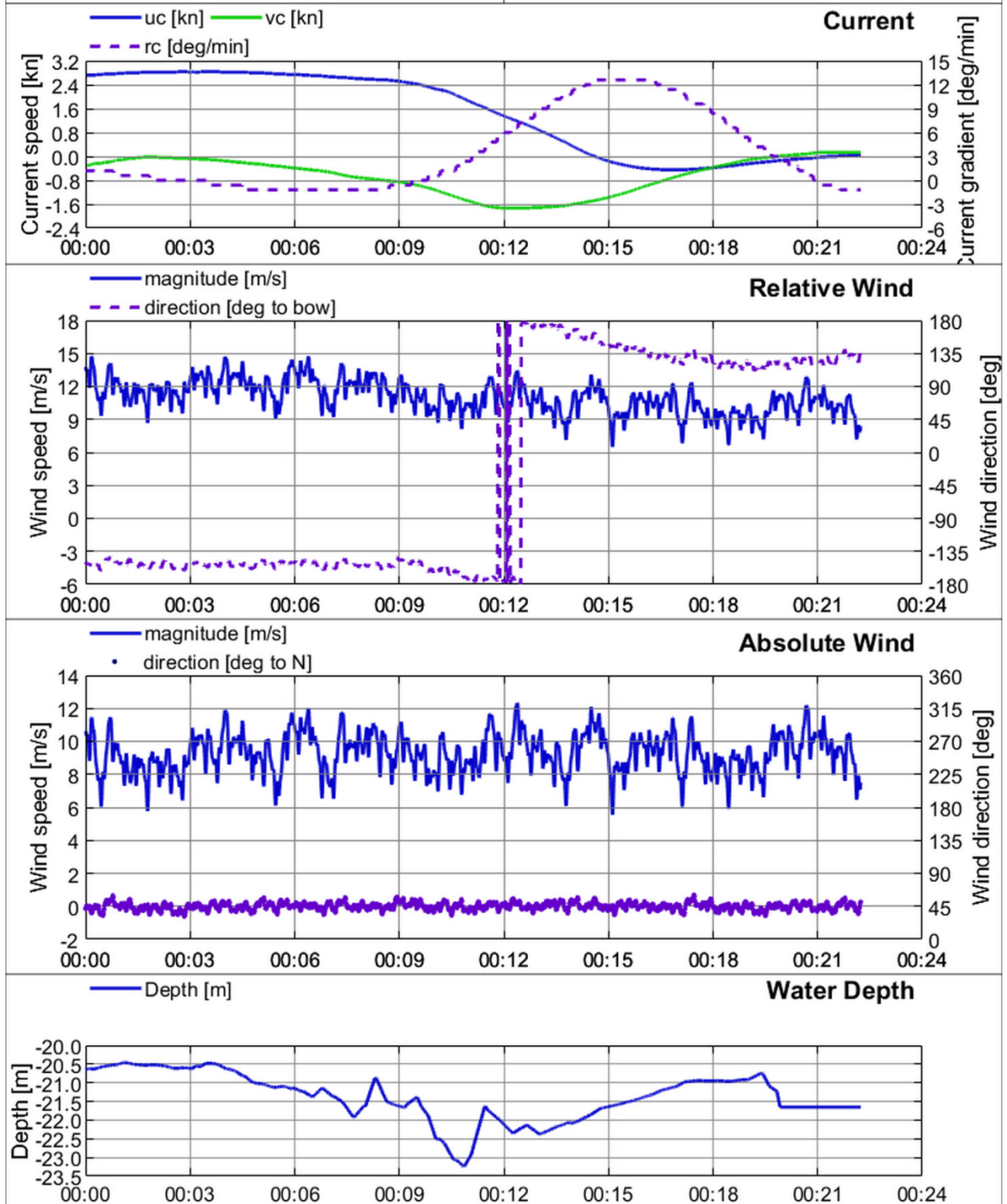
Simulation: Duplex 1

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW5

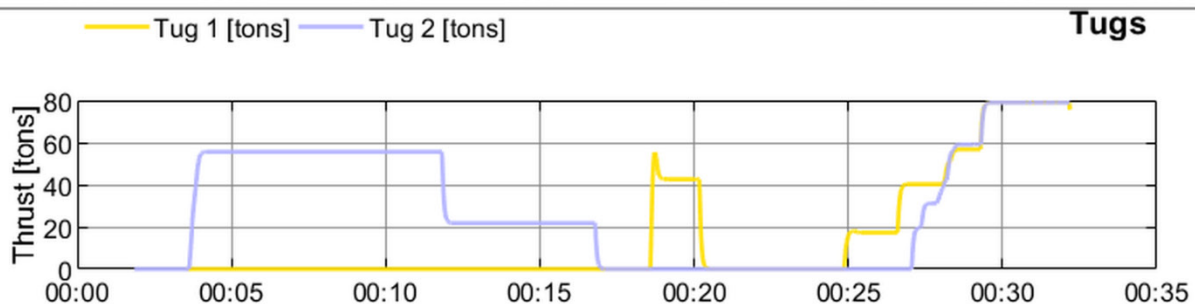
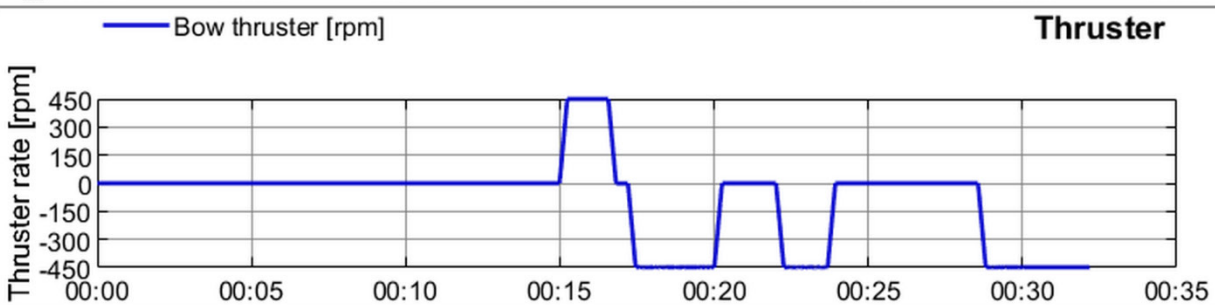
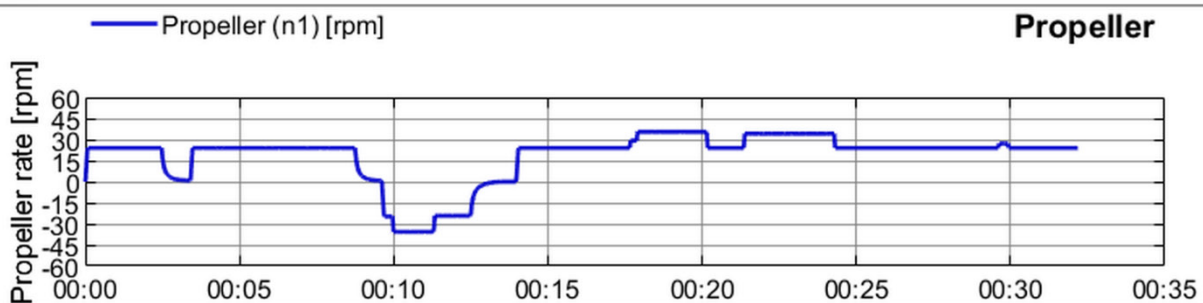
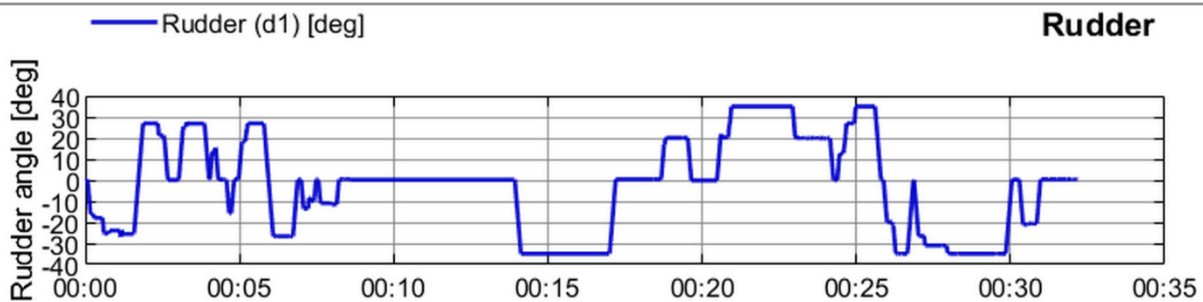
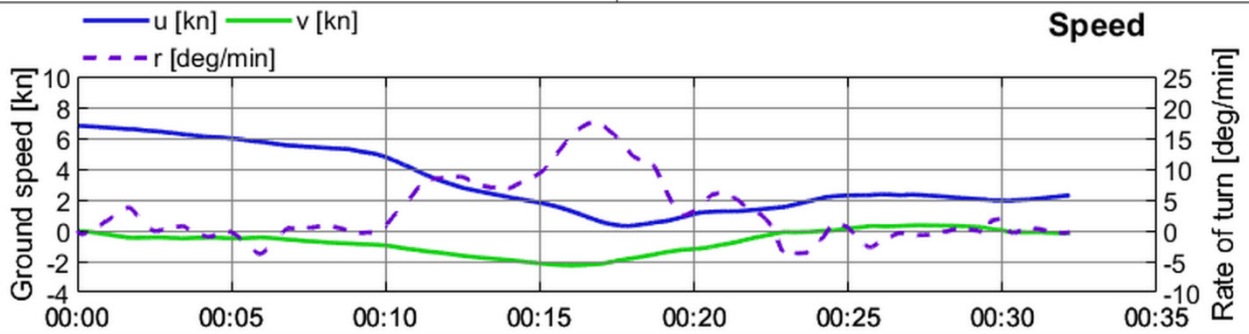
Simulation: Duplex 2

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW5

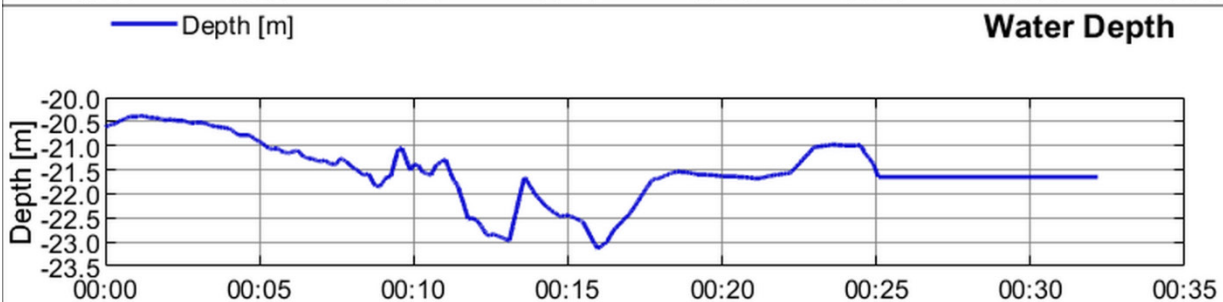
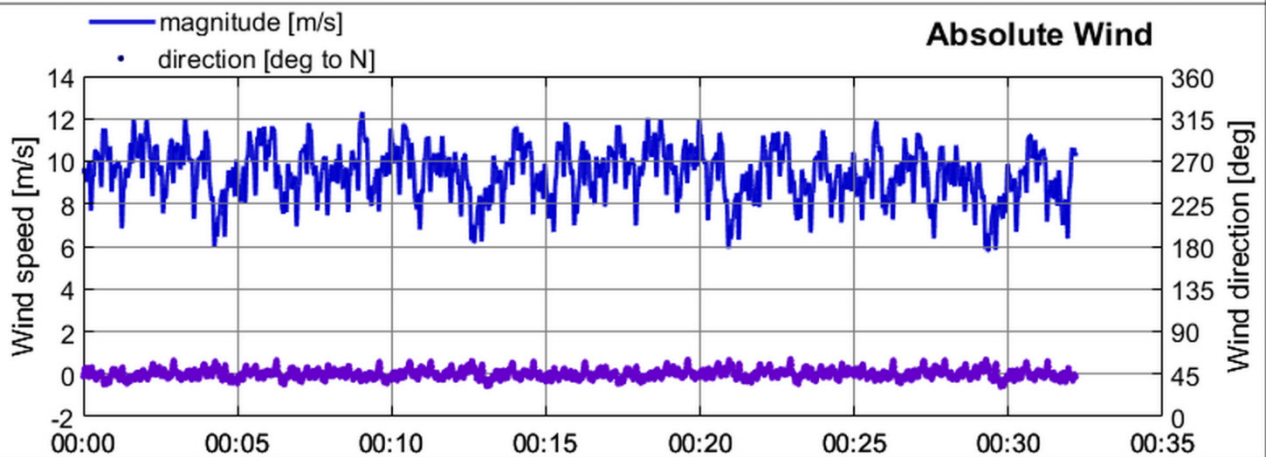
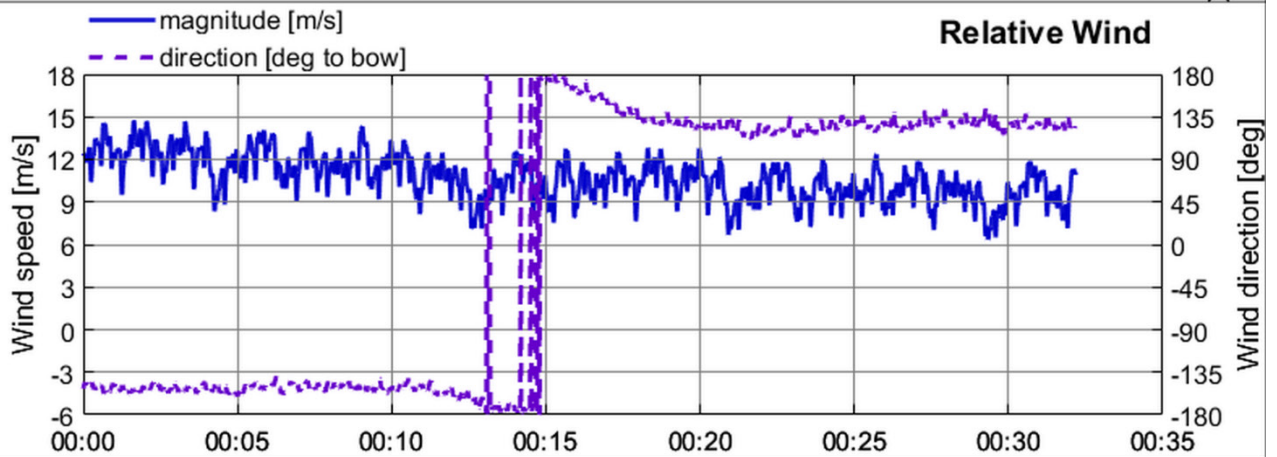
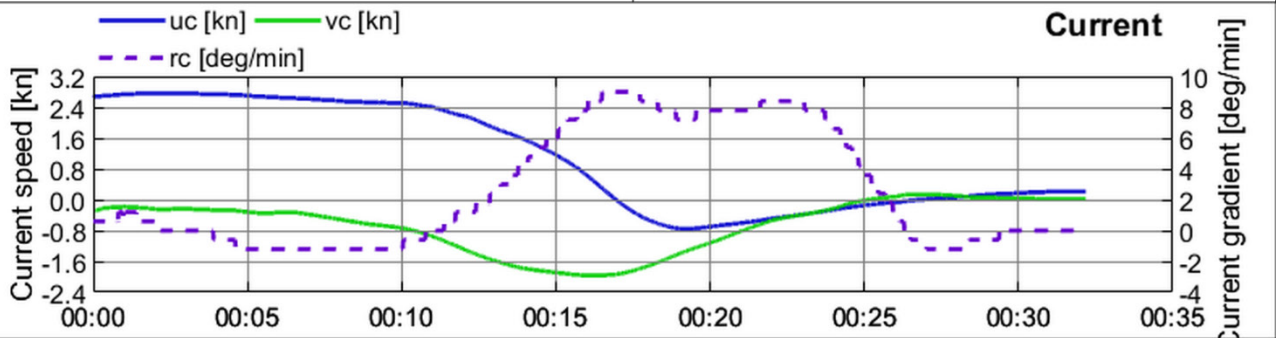
Simulation: Duplex 2

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW5

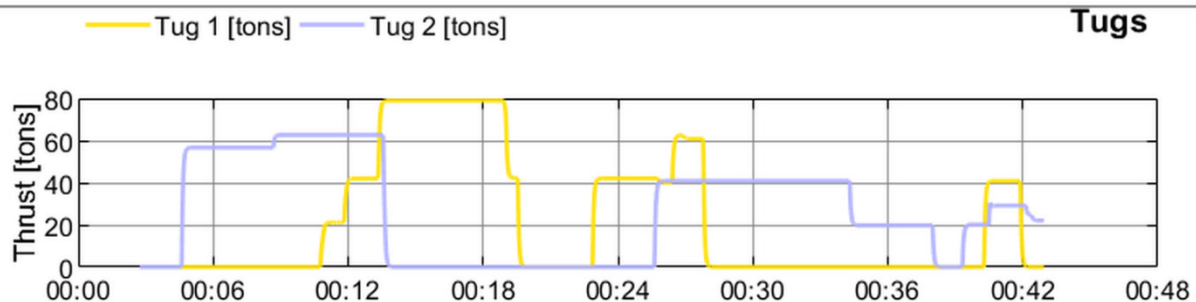
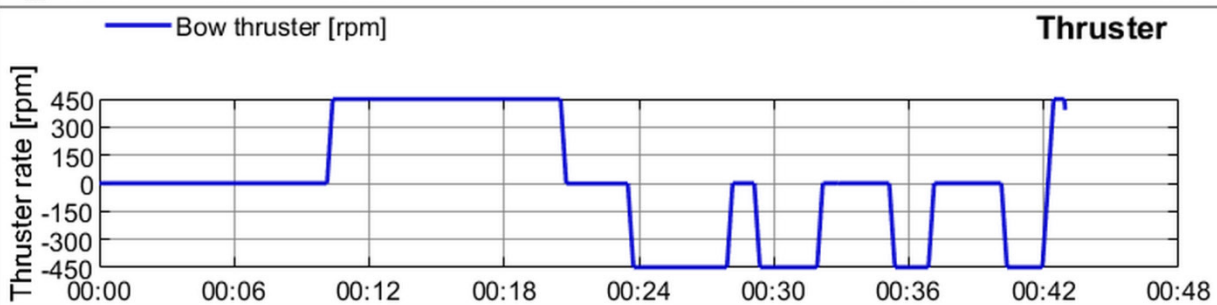
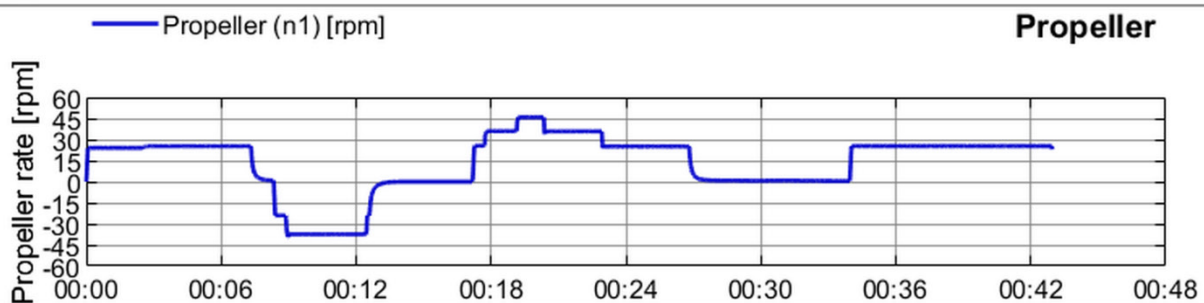
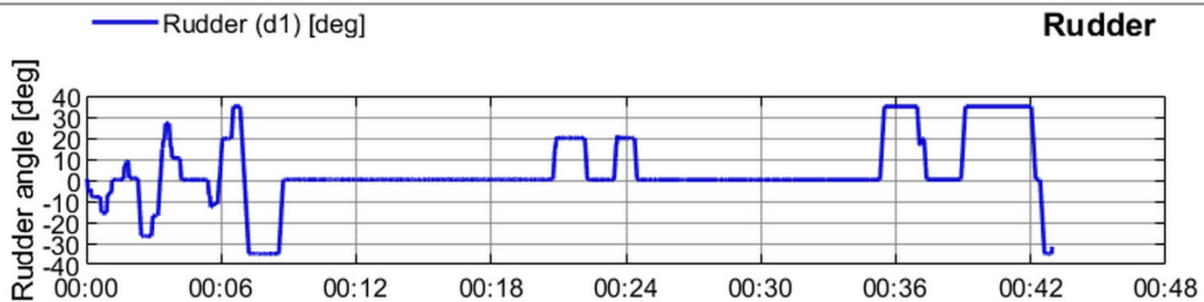
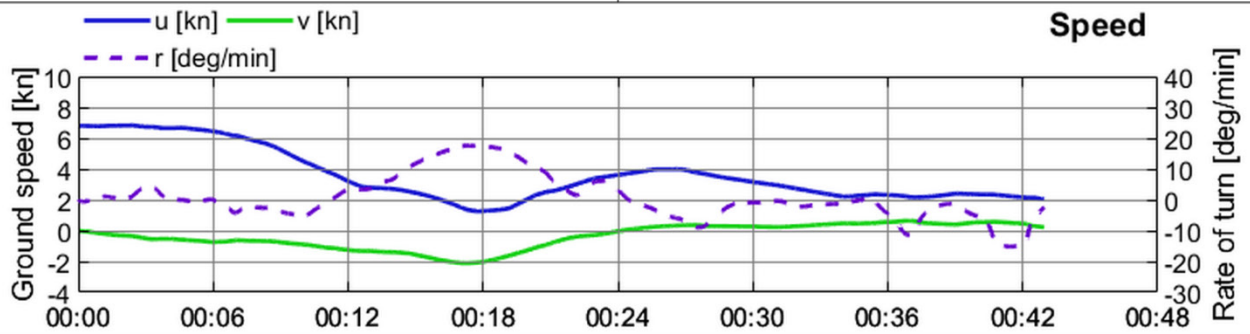
Simulation: Duplex 3

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW5

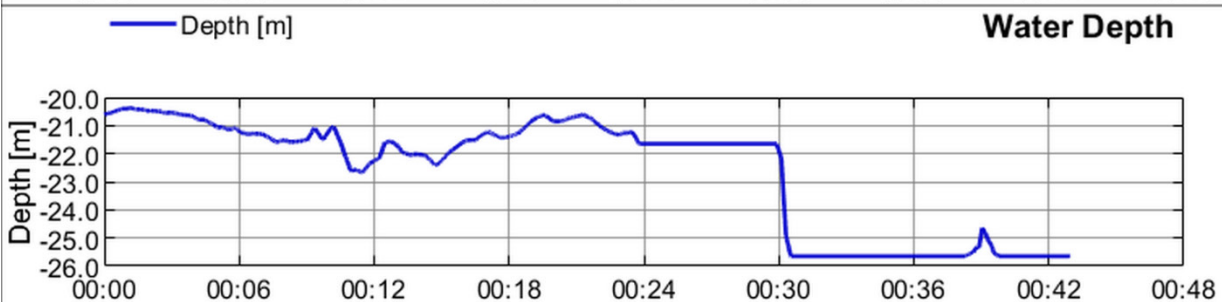
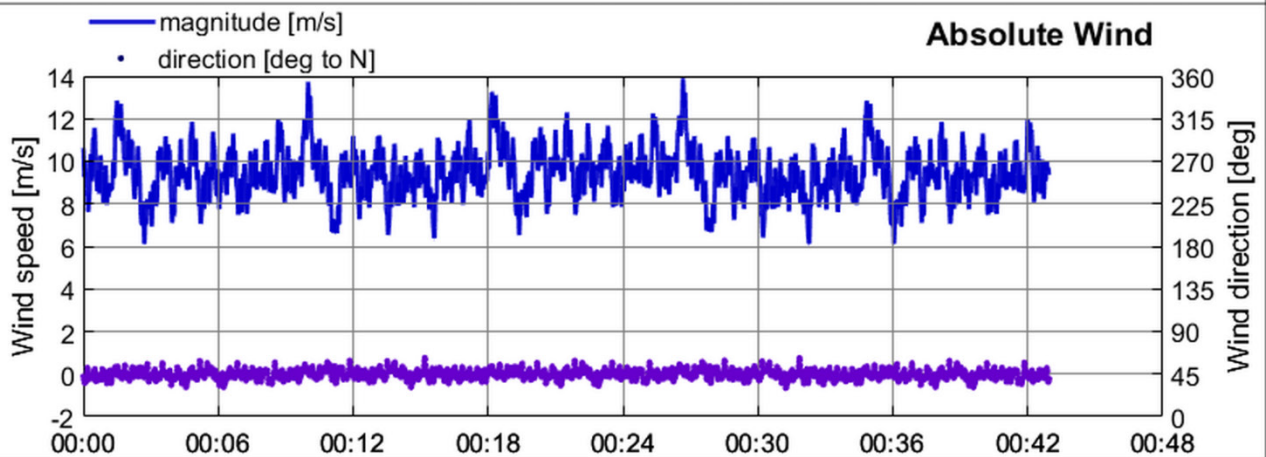
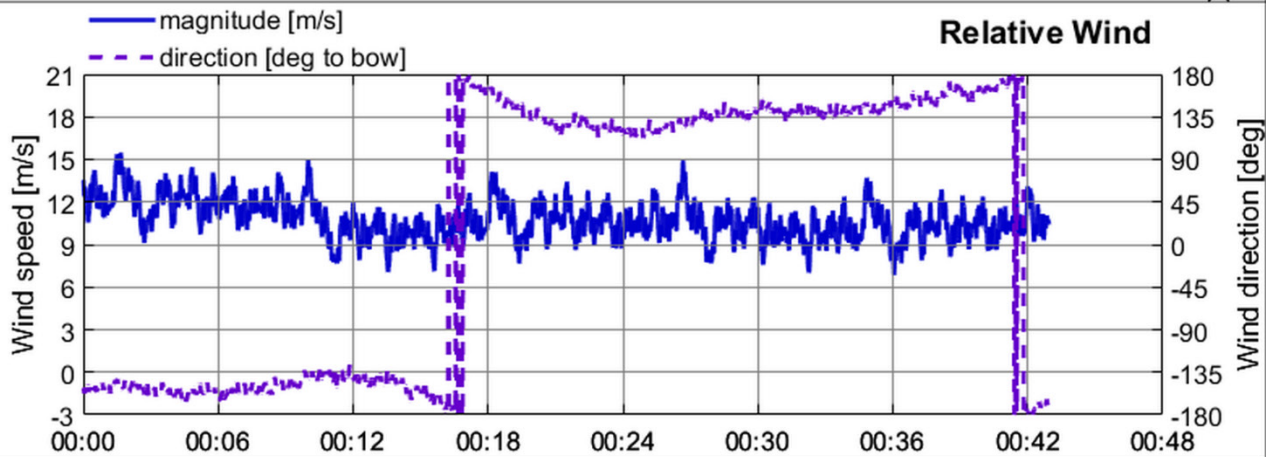
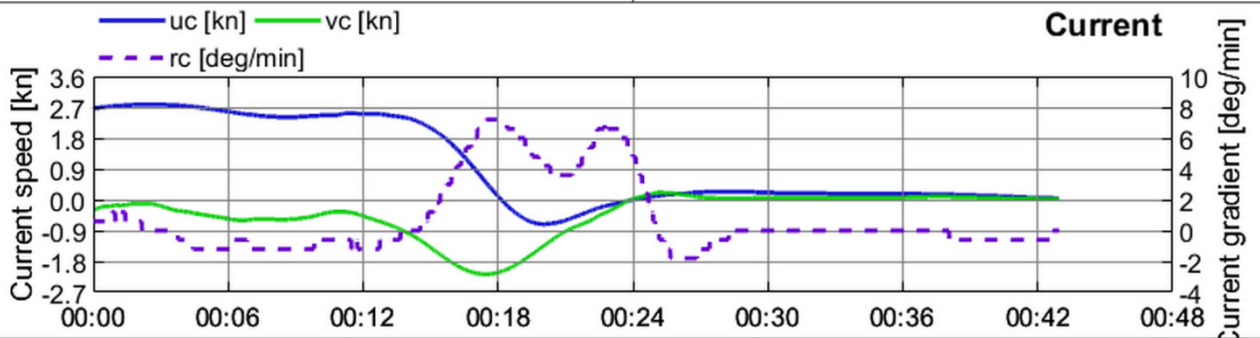
Simulation: Duplex 3

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: N05

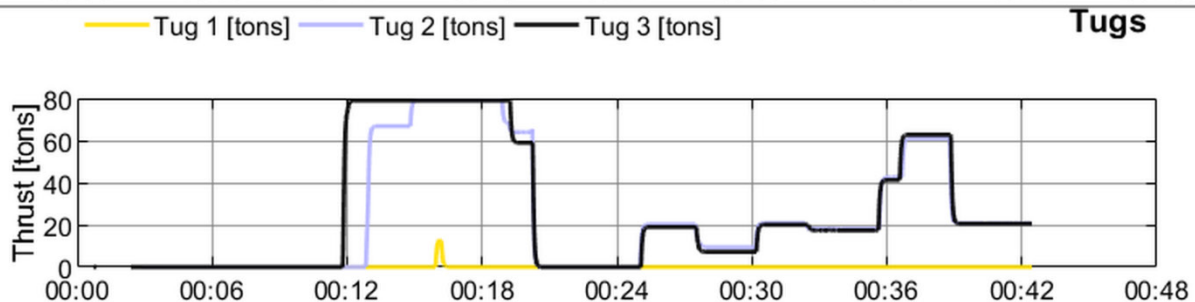
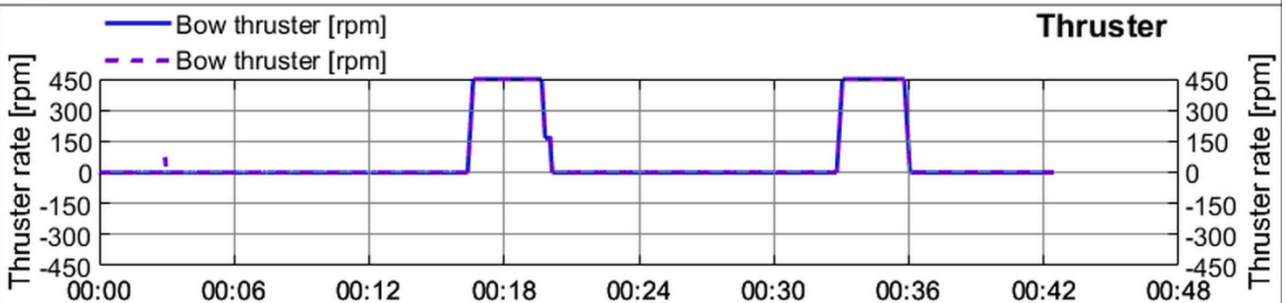
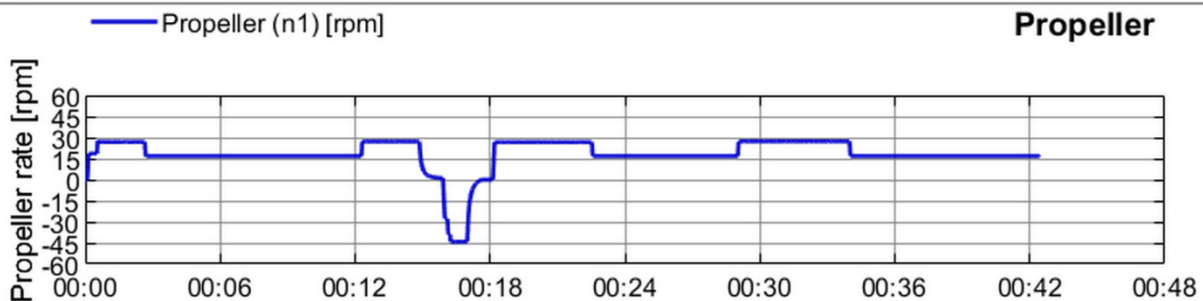
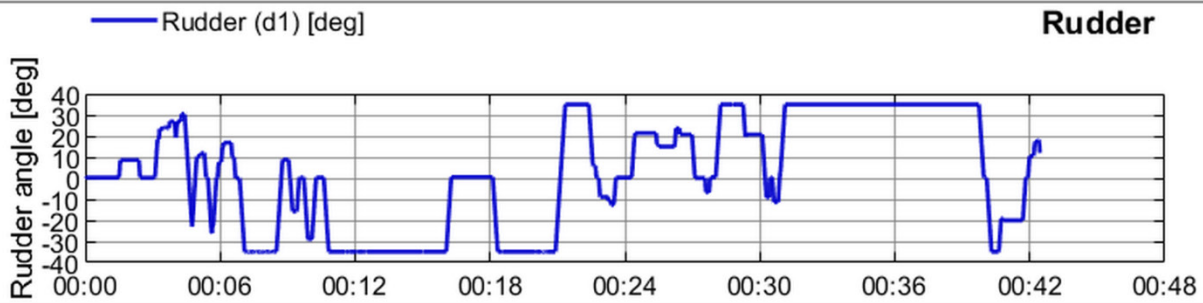
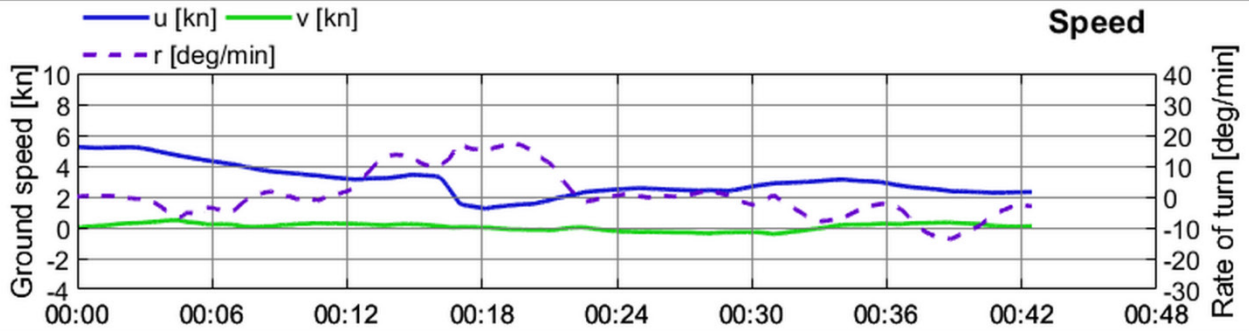
Simulation: Duplex 4

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: N05

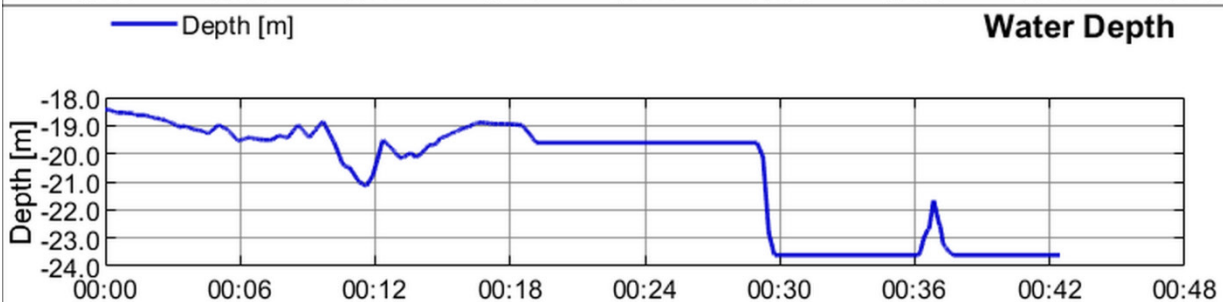
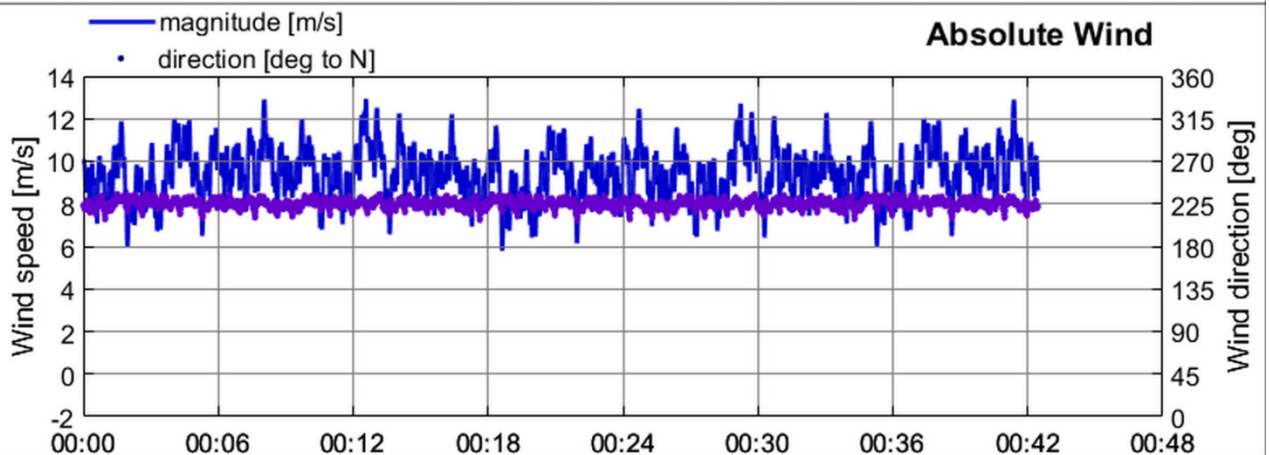
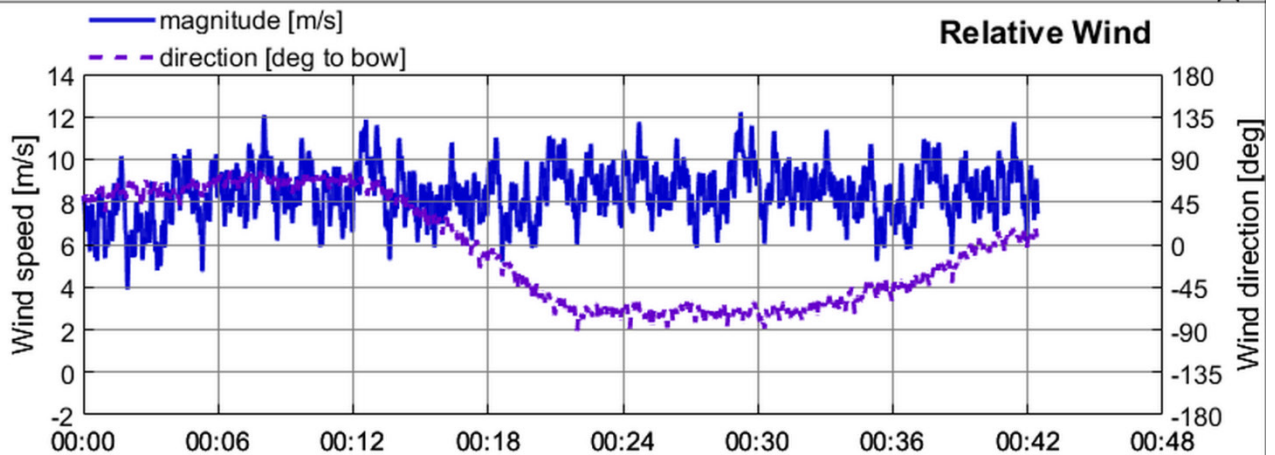
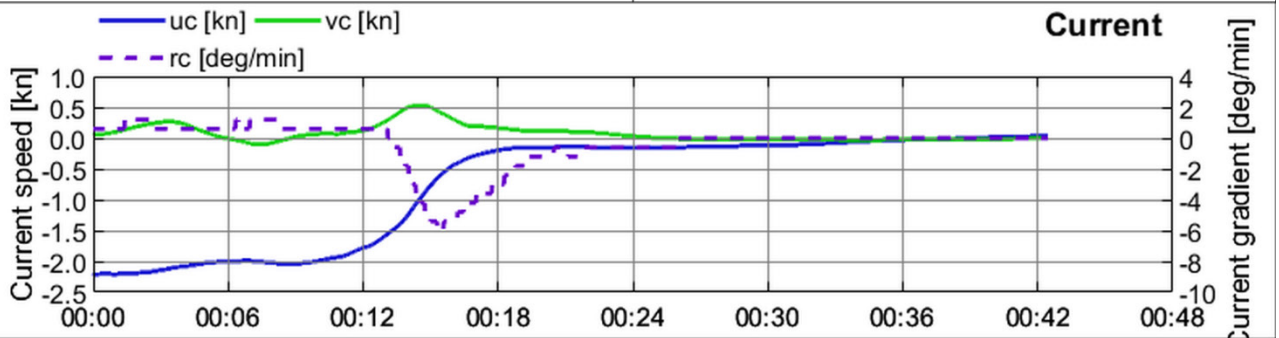
Simulation: Duplex 4

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

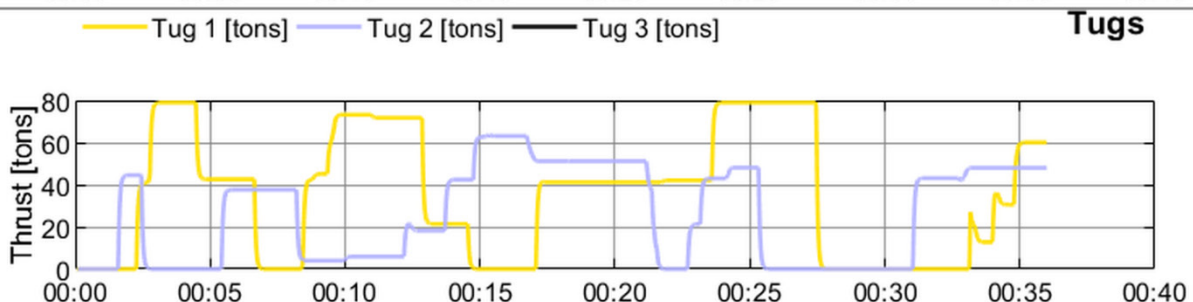
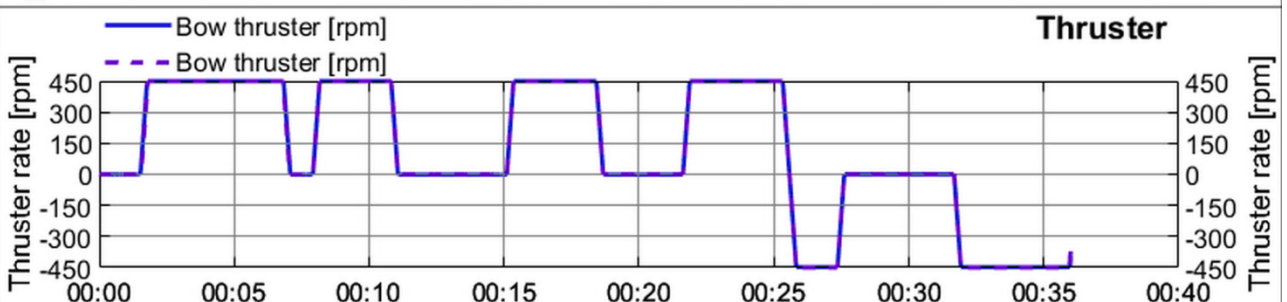
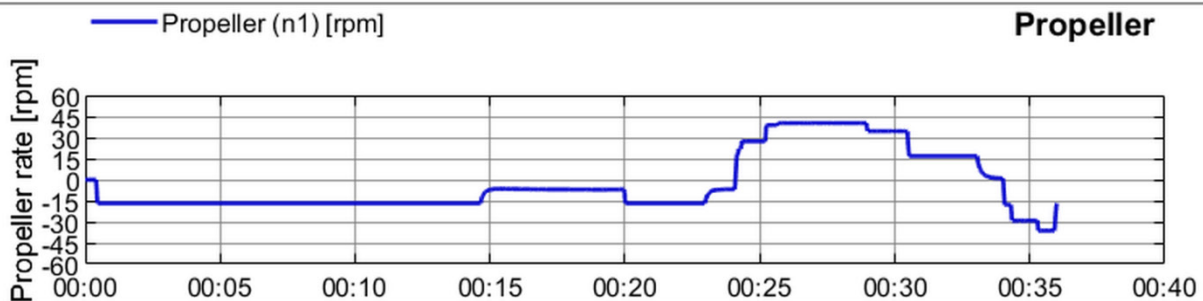
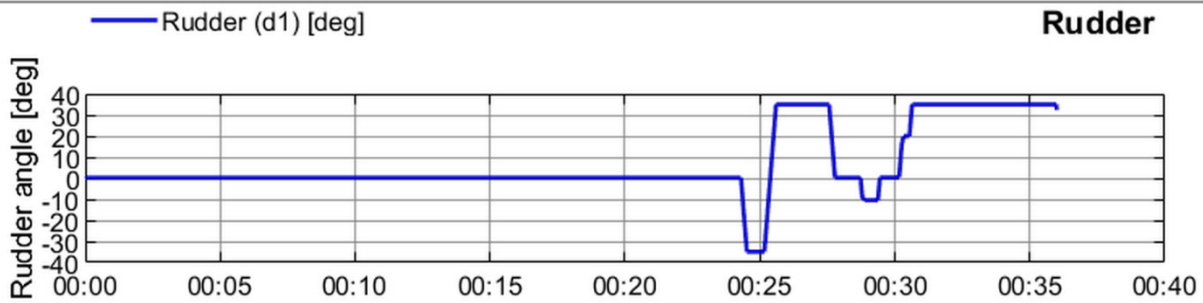
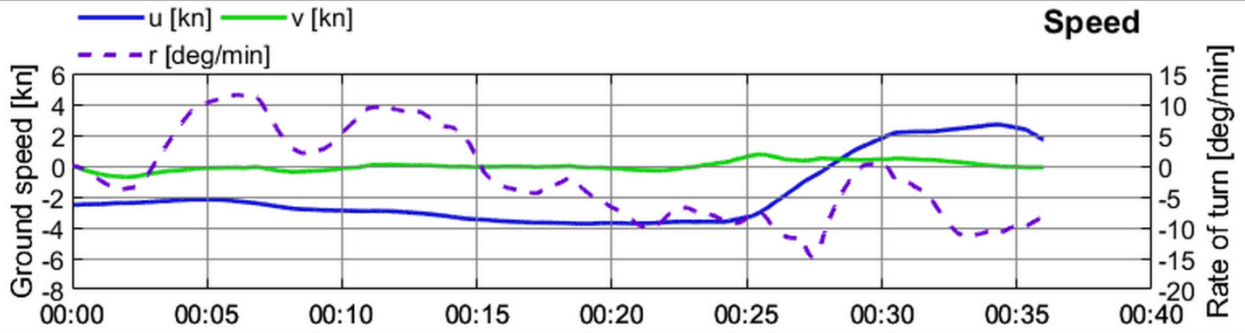
Simulation: Duplex 5

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

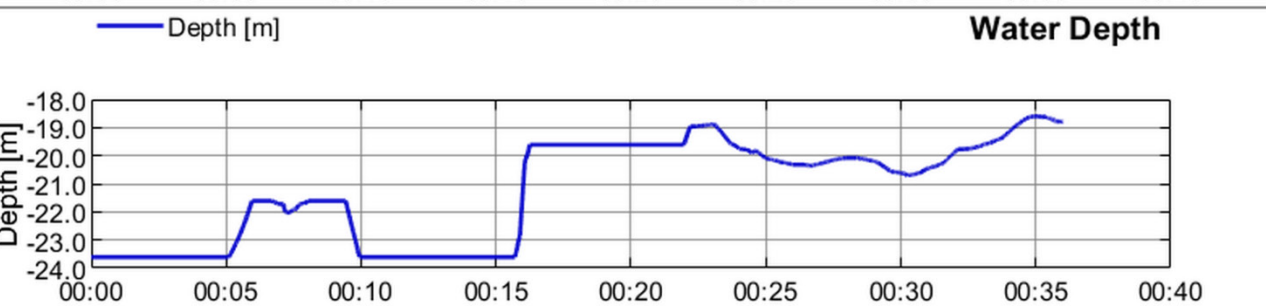
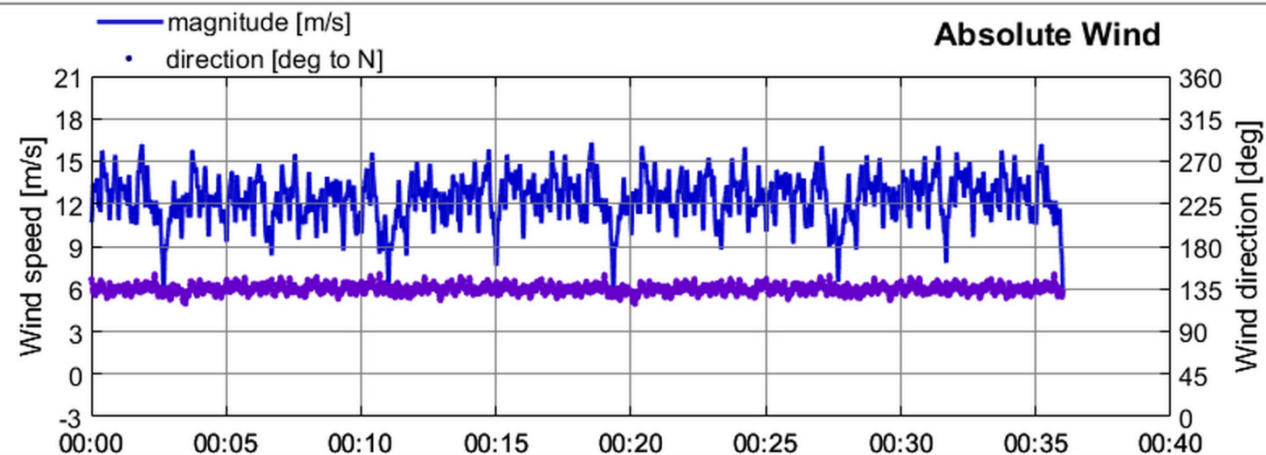
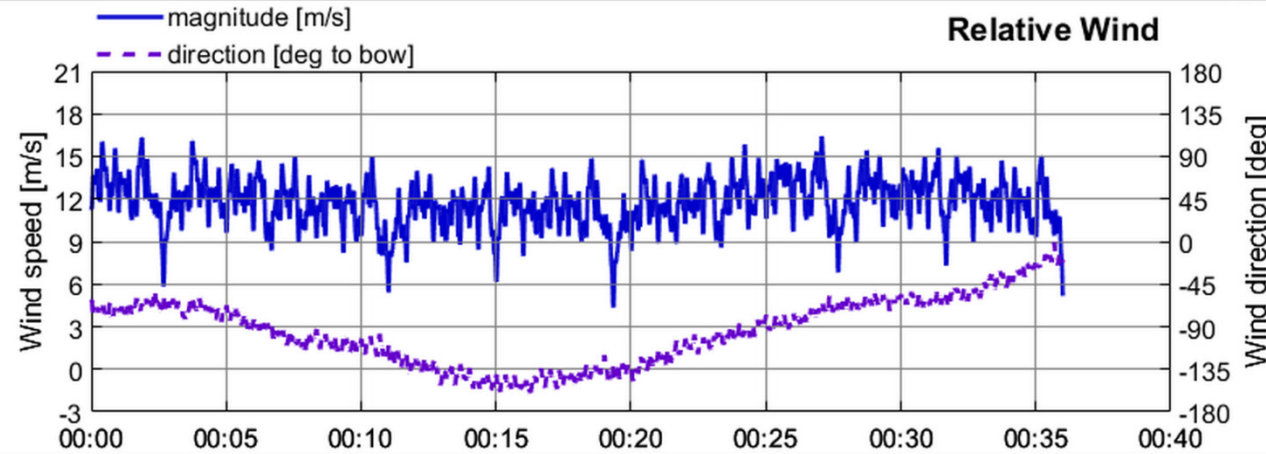
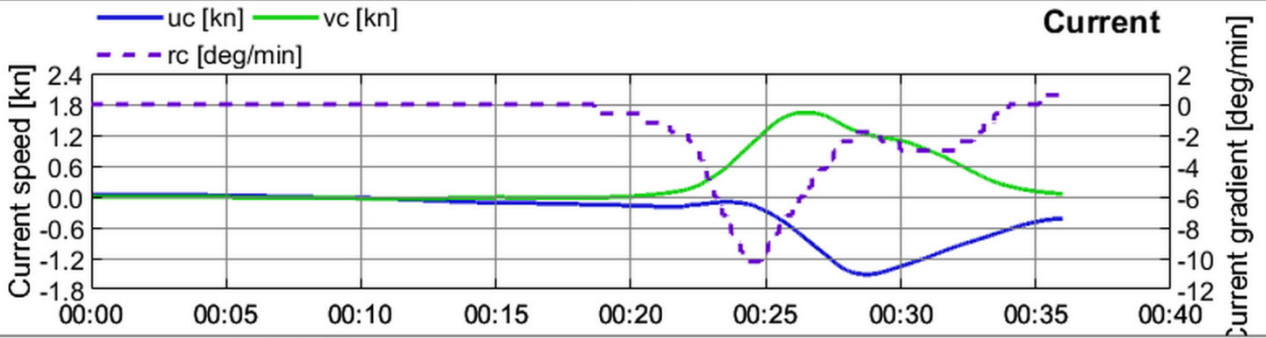
Simulation: Duplex 5

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW6

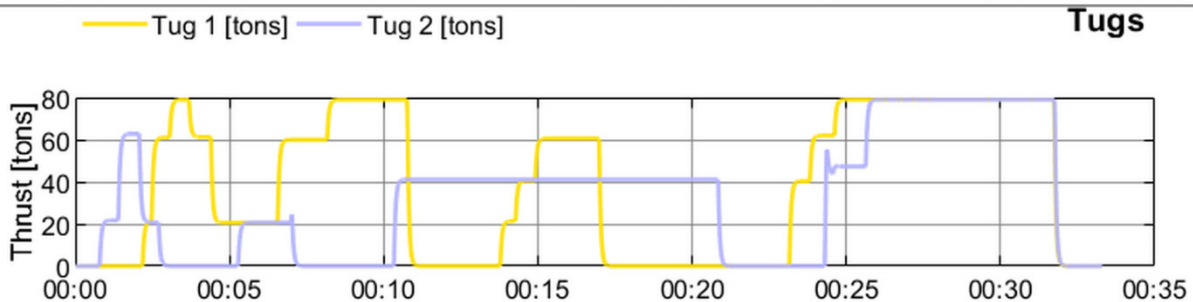
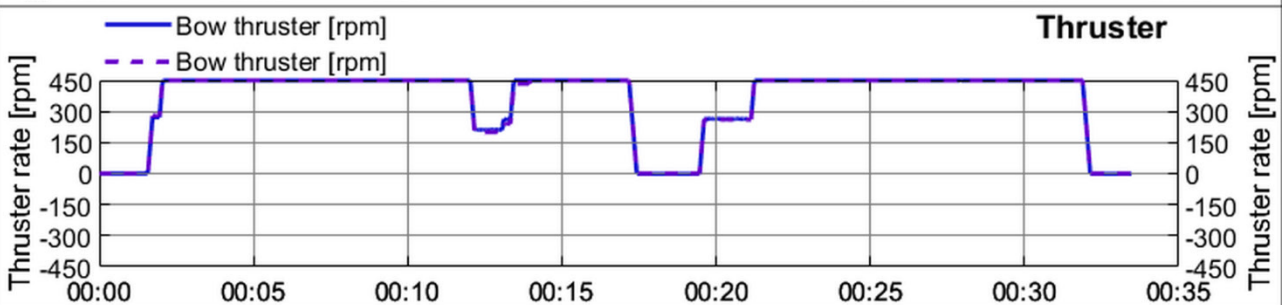
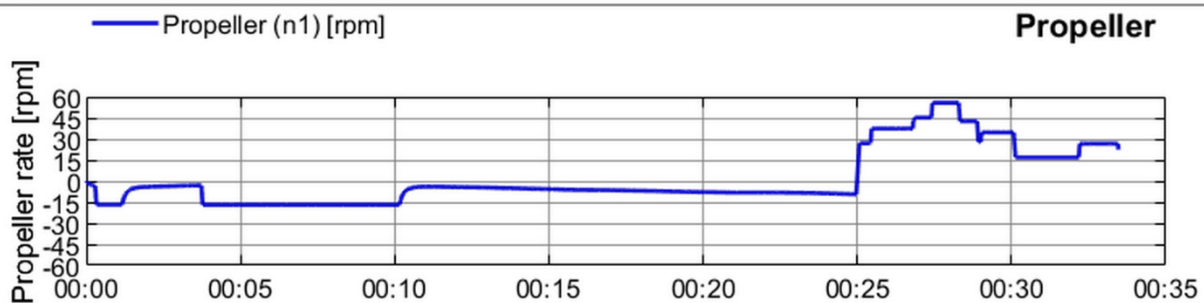
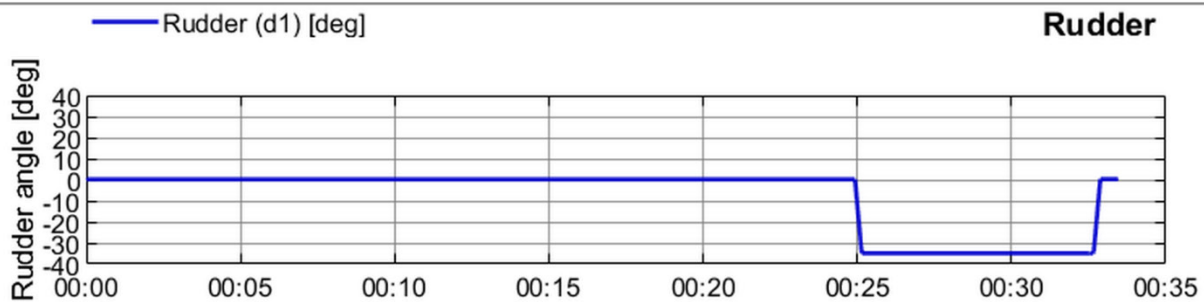
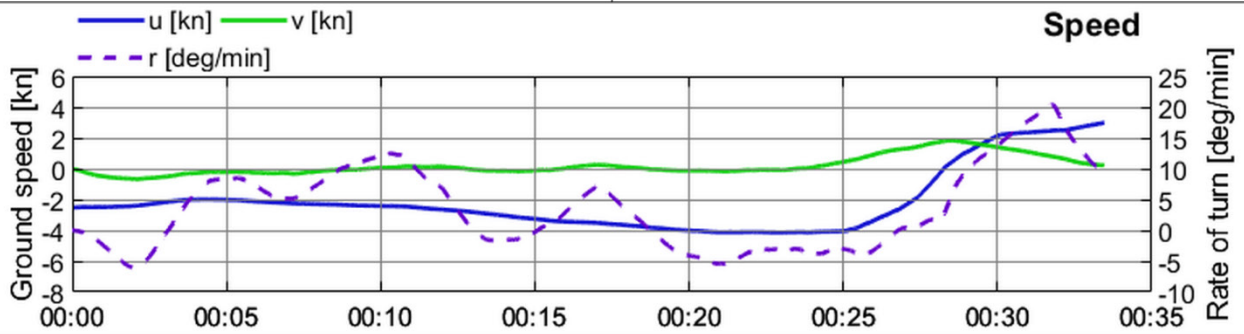
Simulation: Duplex 6

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW6

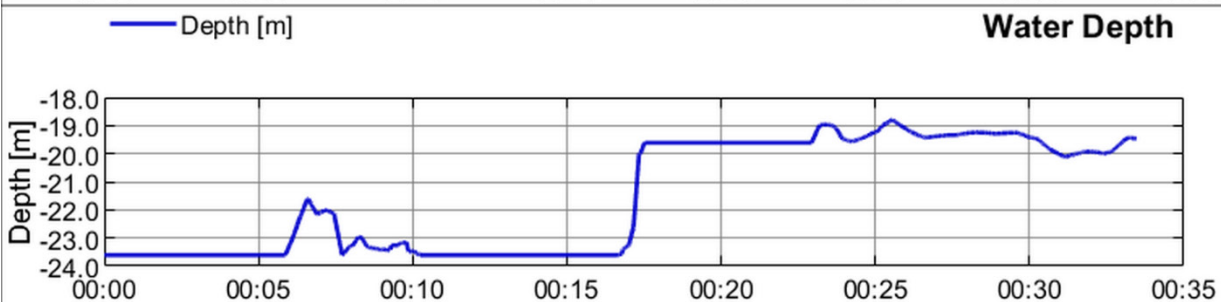
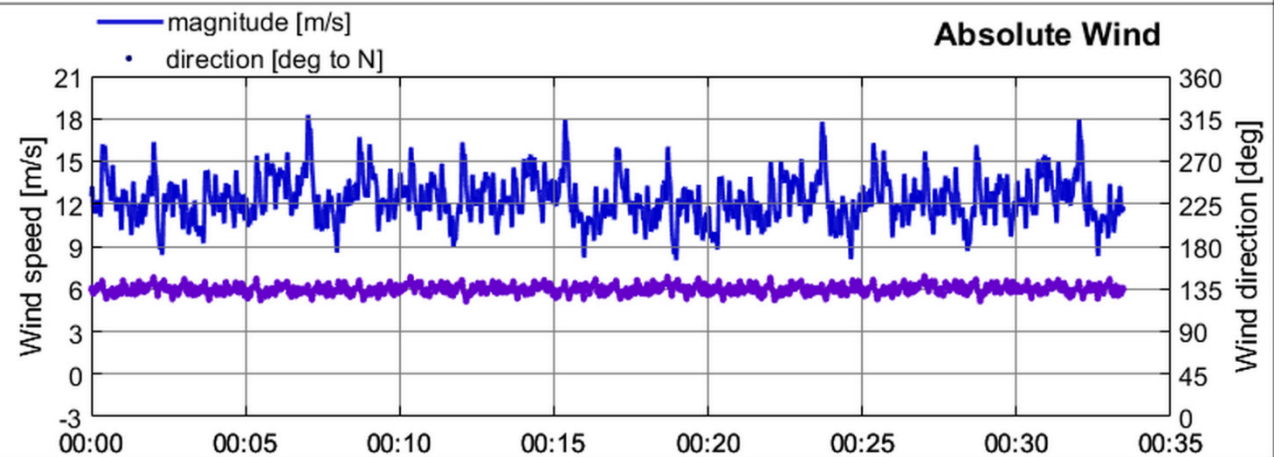
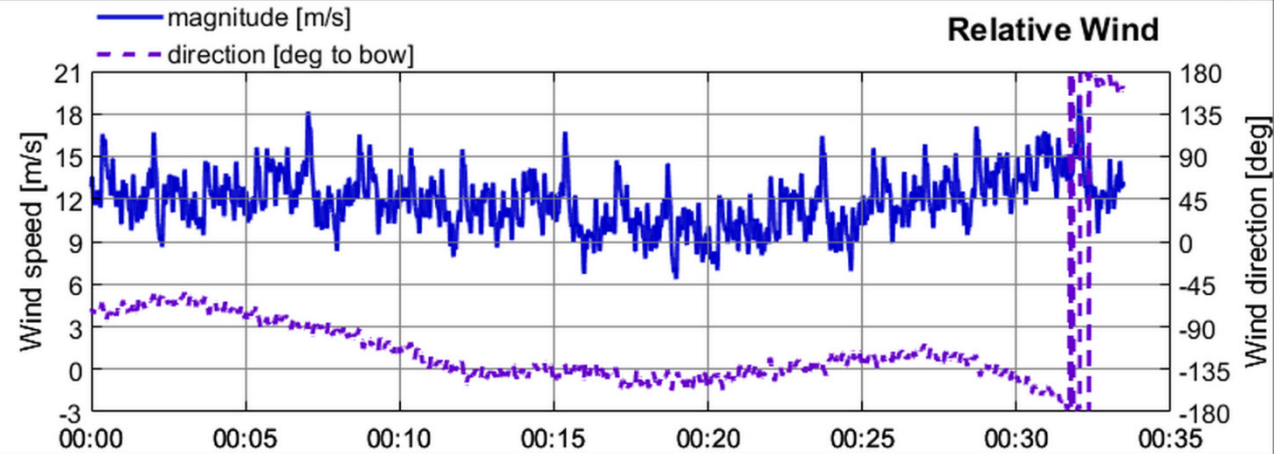
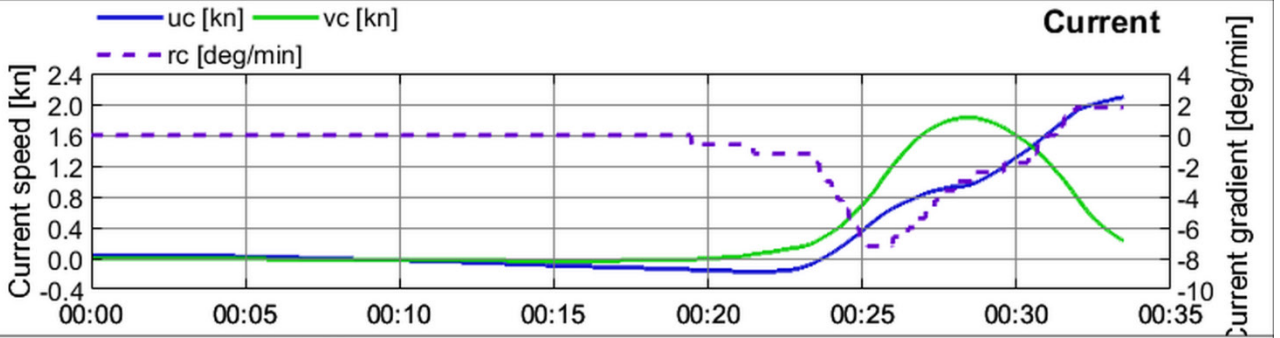
Simulation: Duplex 6

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: Z6

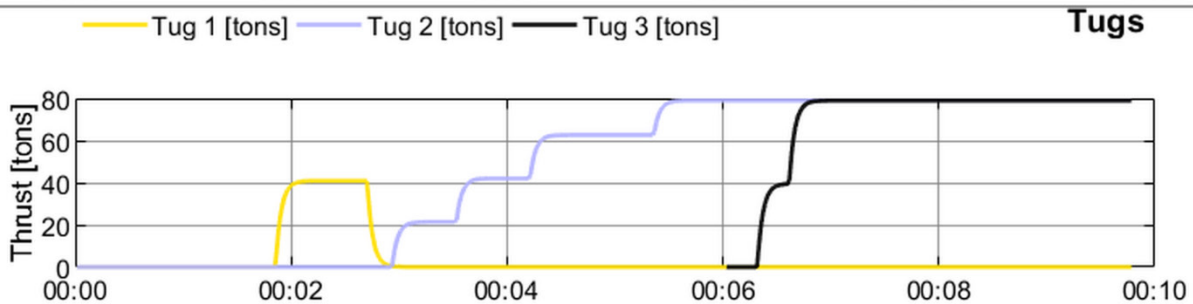
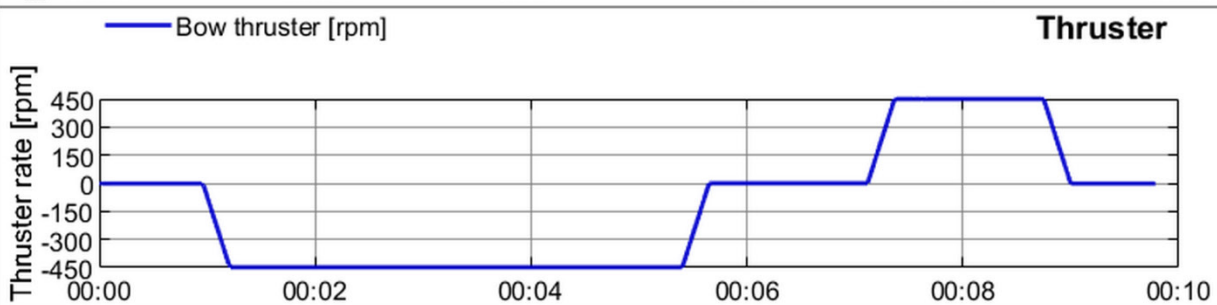
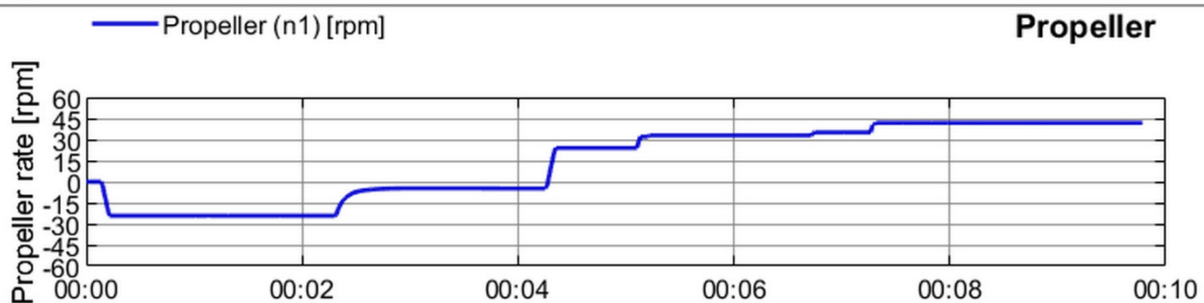
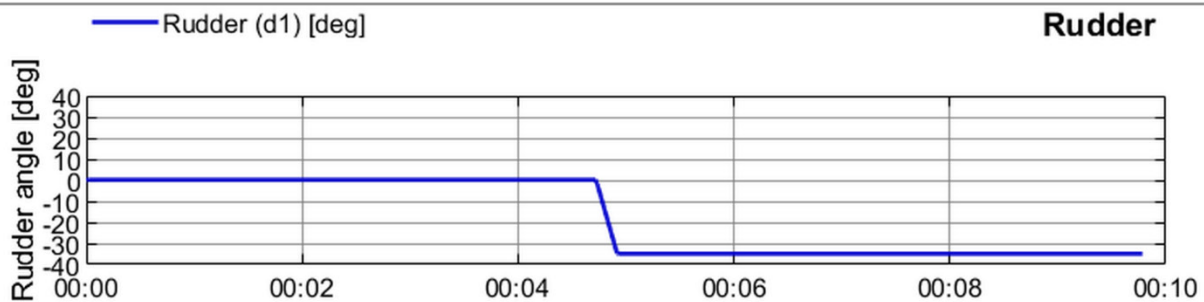
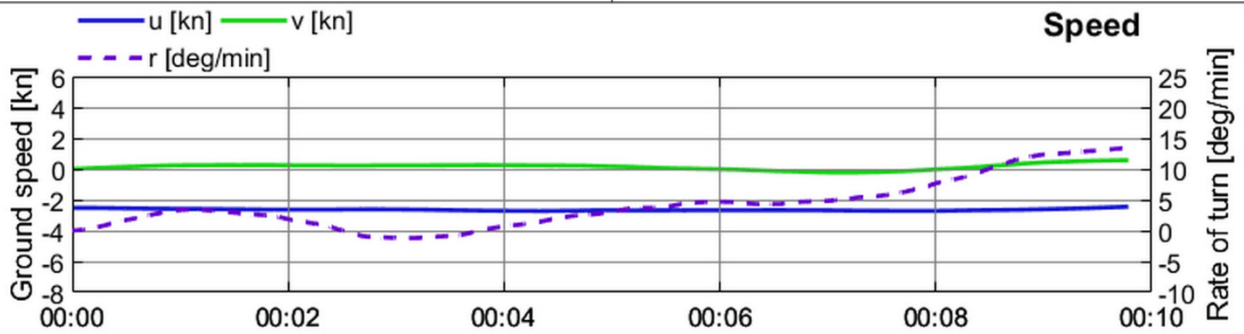
Simulation: Duplex 7

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: Z6

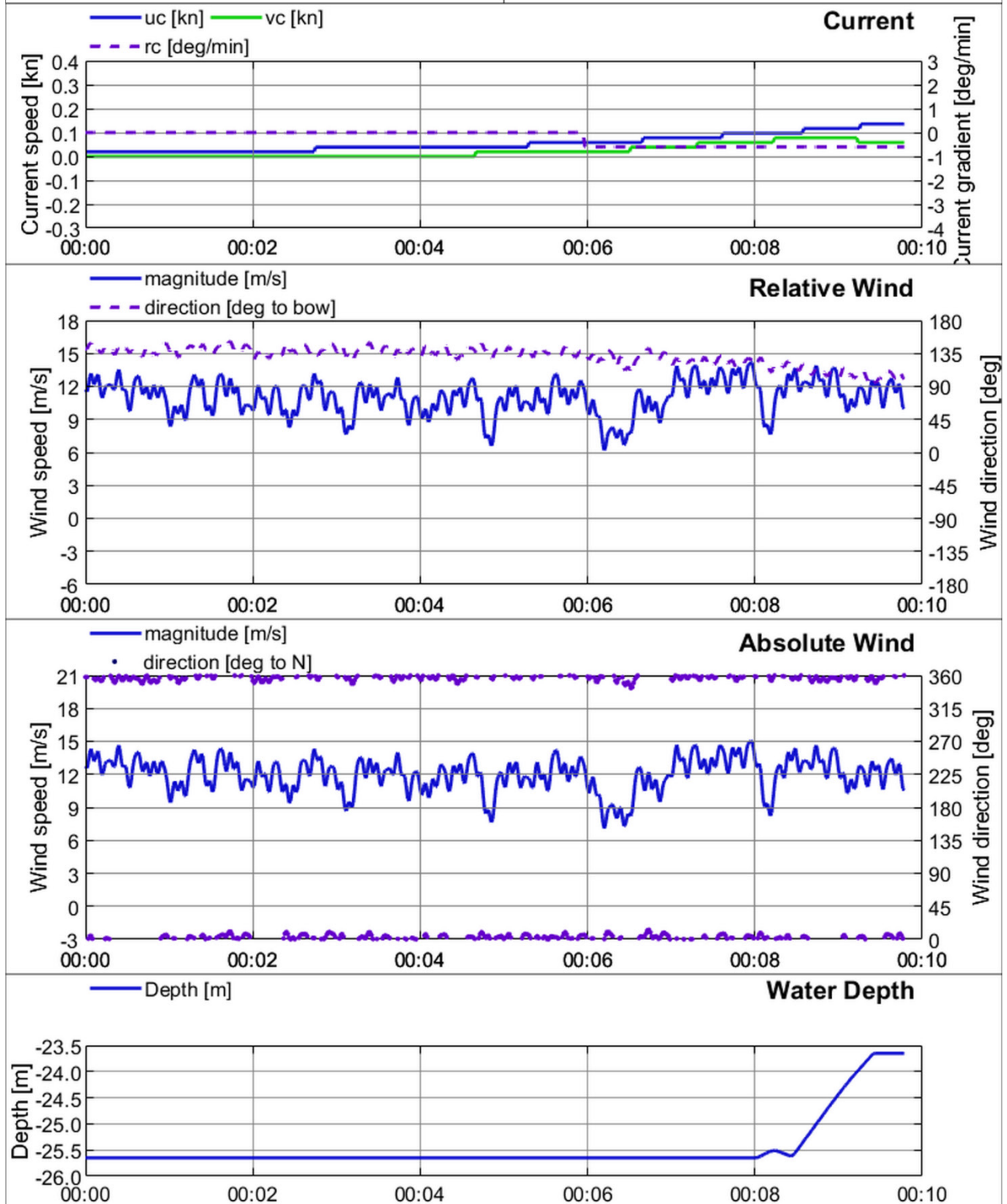
Simulation: Duplex 7

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: Z5

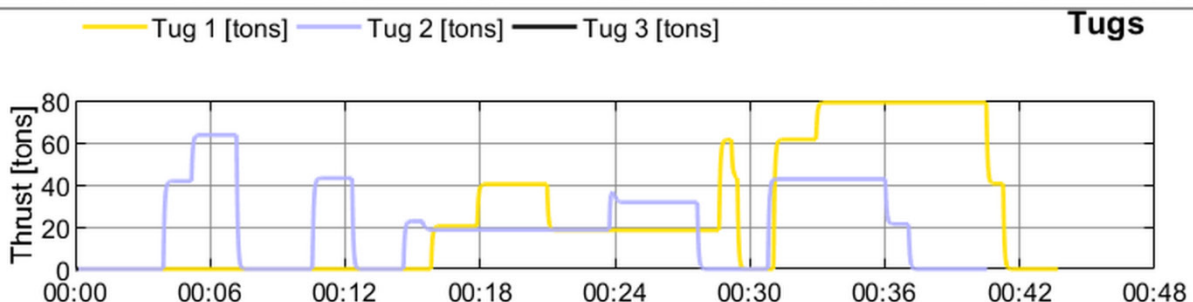
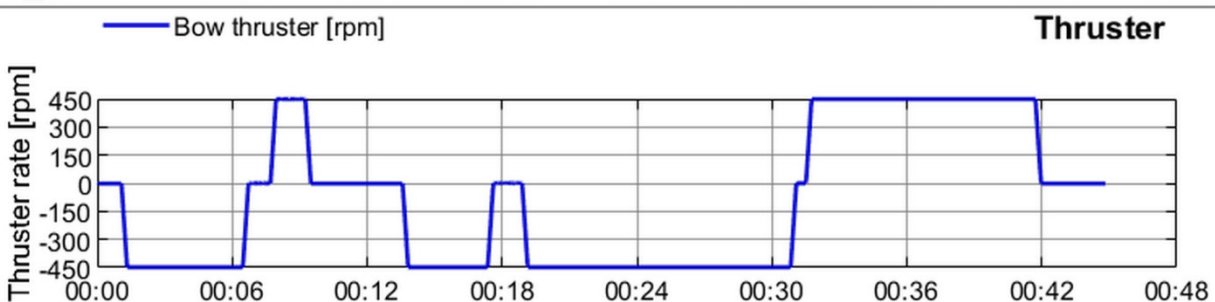
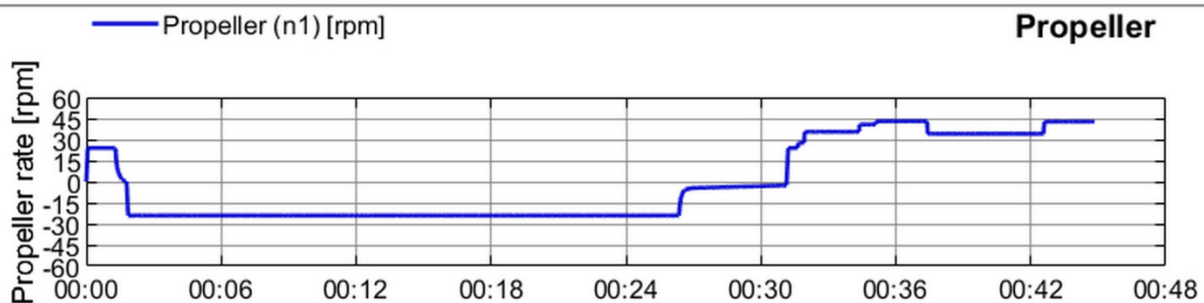
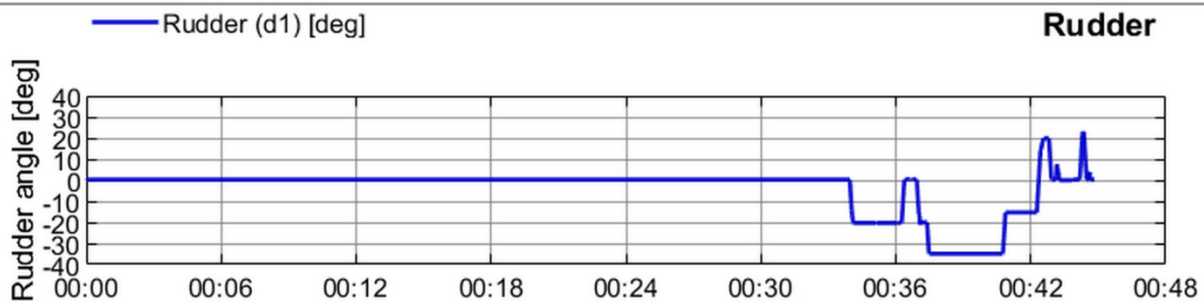
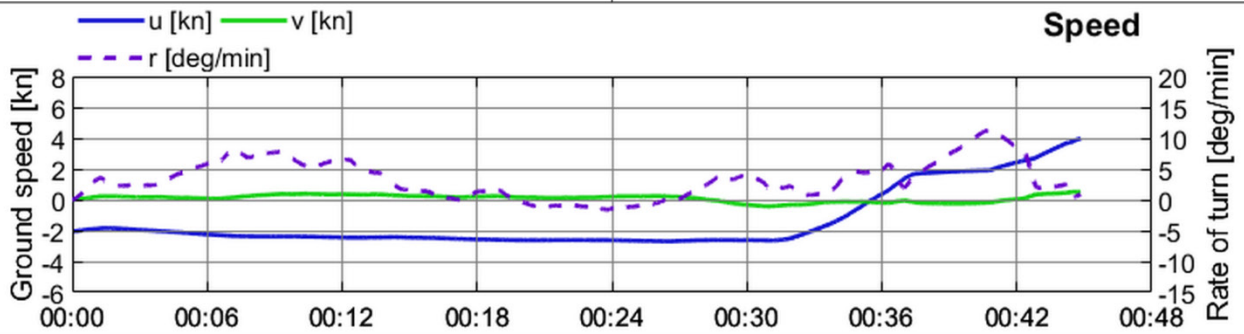
Simulation: Duplex 8

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: Z5

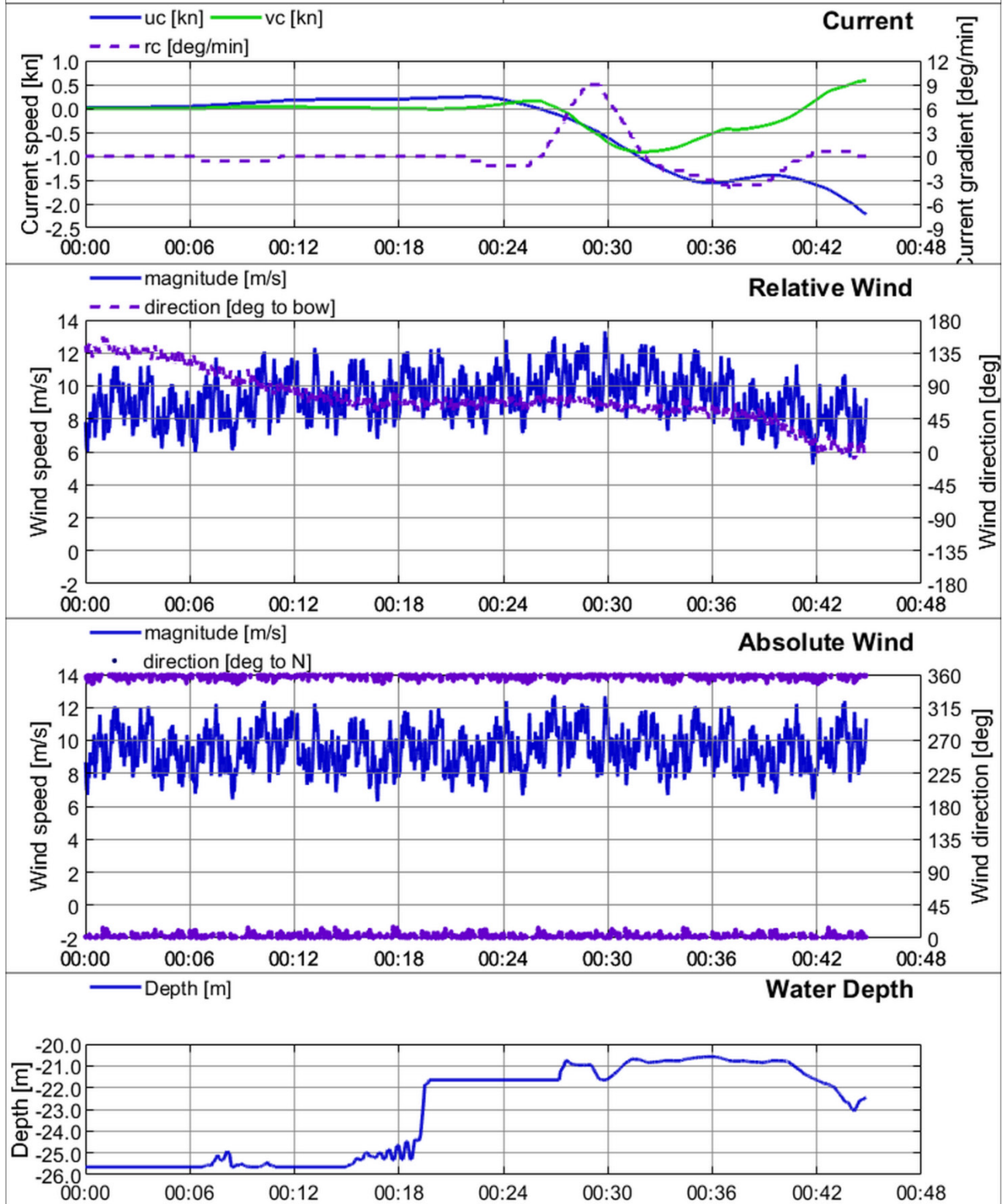
Simulation: Duplex 8

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: Z5

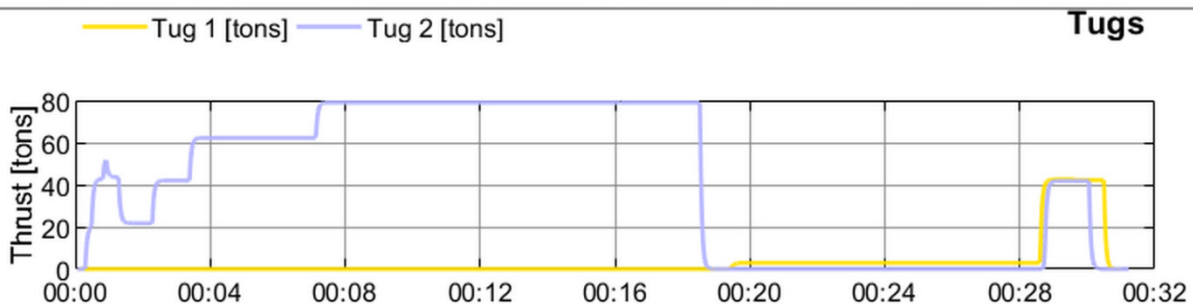
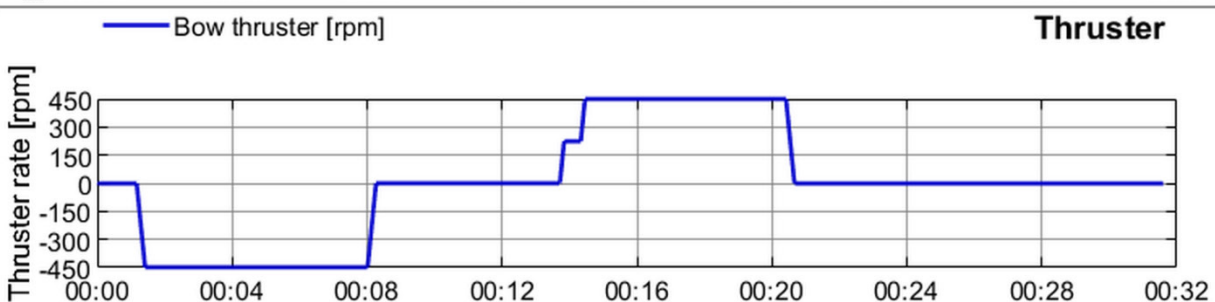
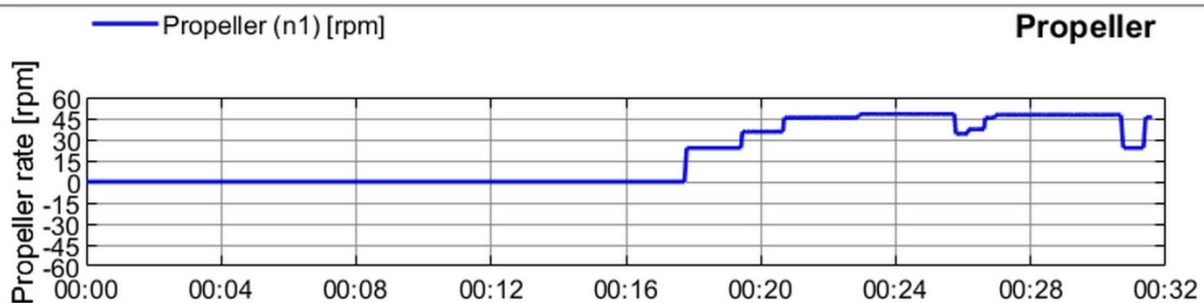
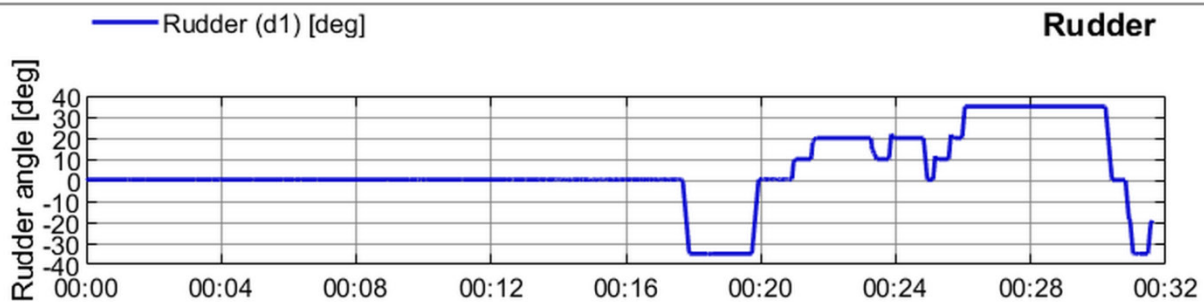
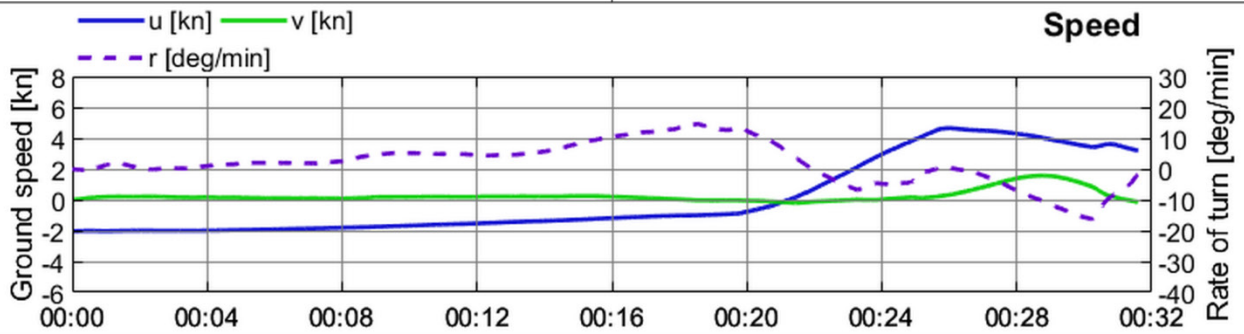
Simulation: Duplex 9

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: Z5

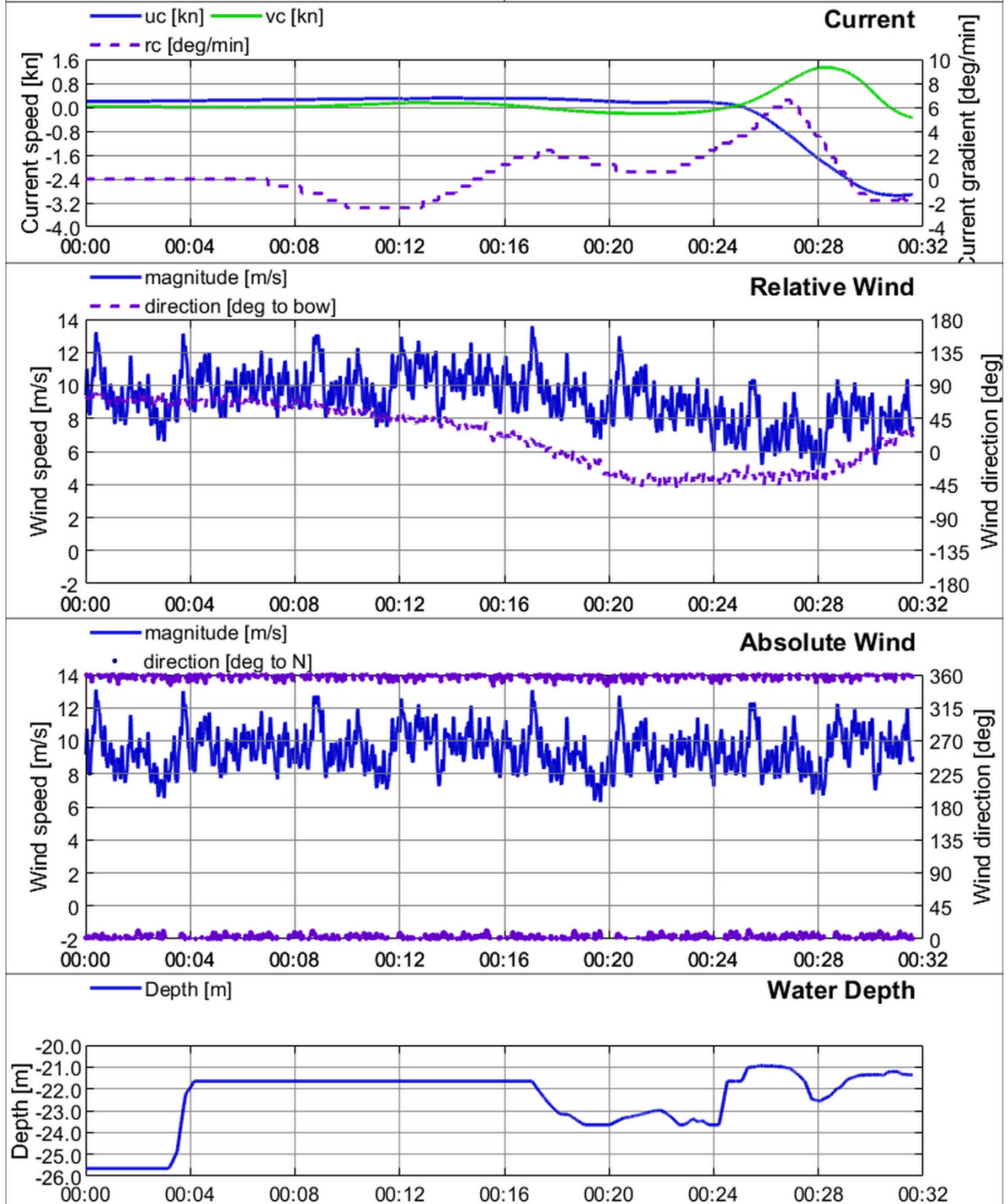
Simulation: Duplex 9

Current: Flood Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: W5

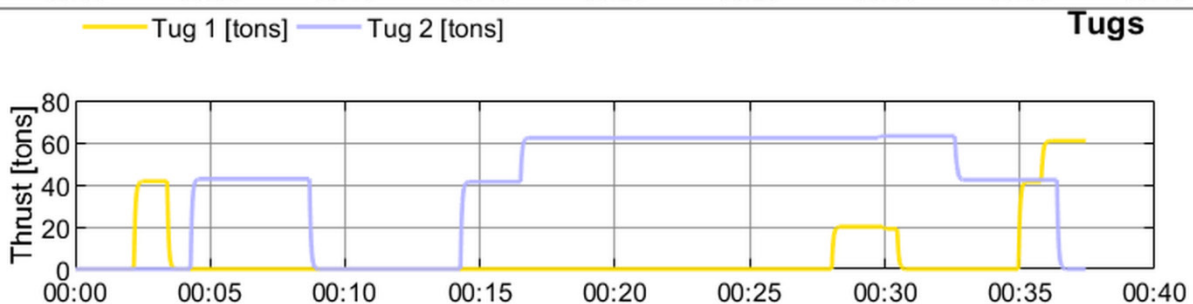
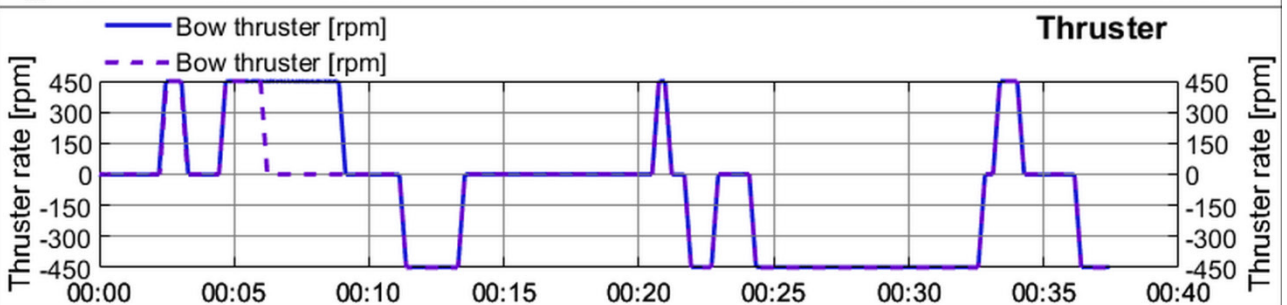
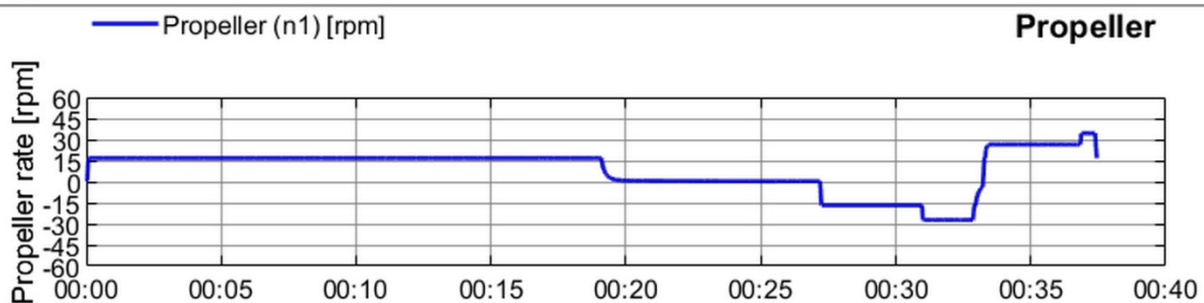
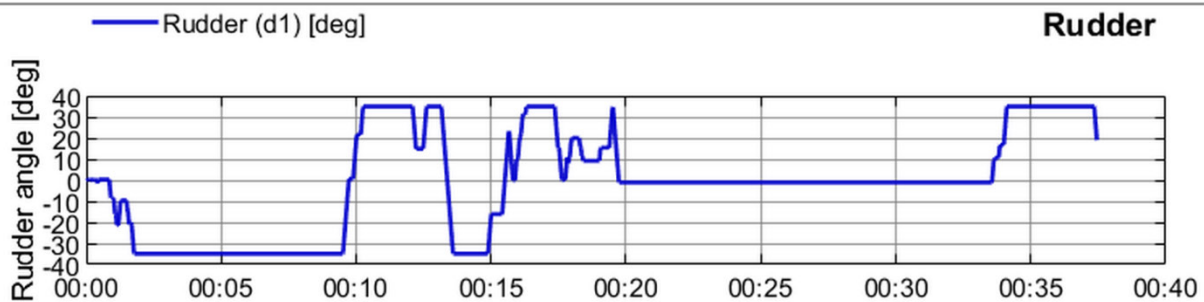
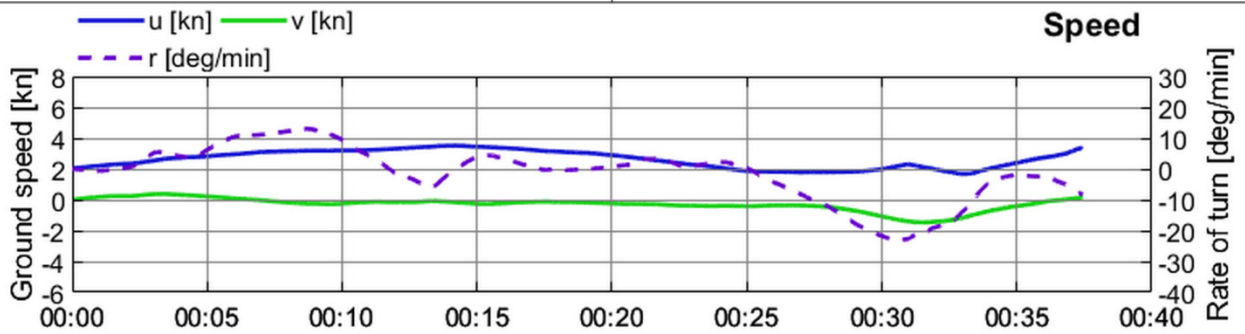
Simulation: Duplex 10

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: W5

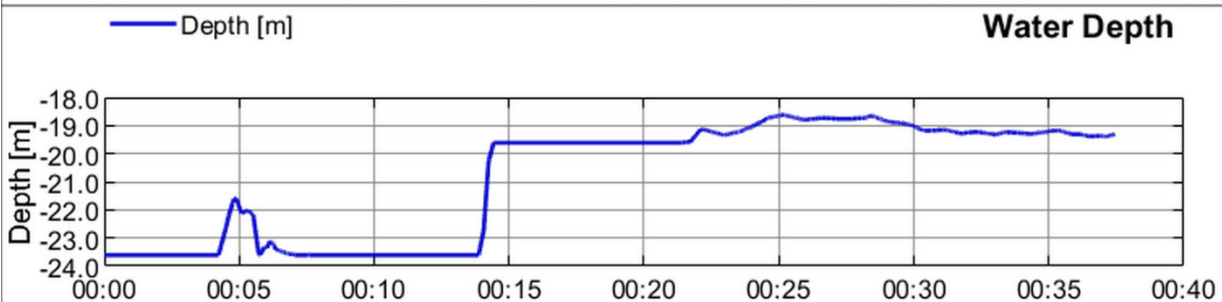
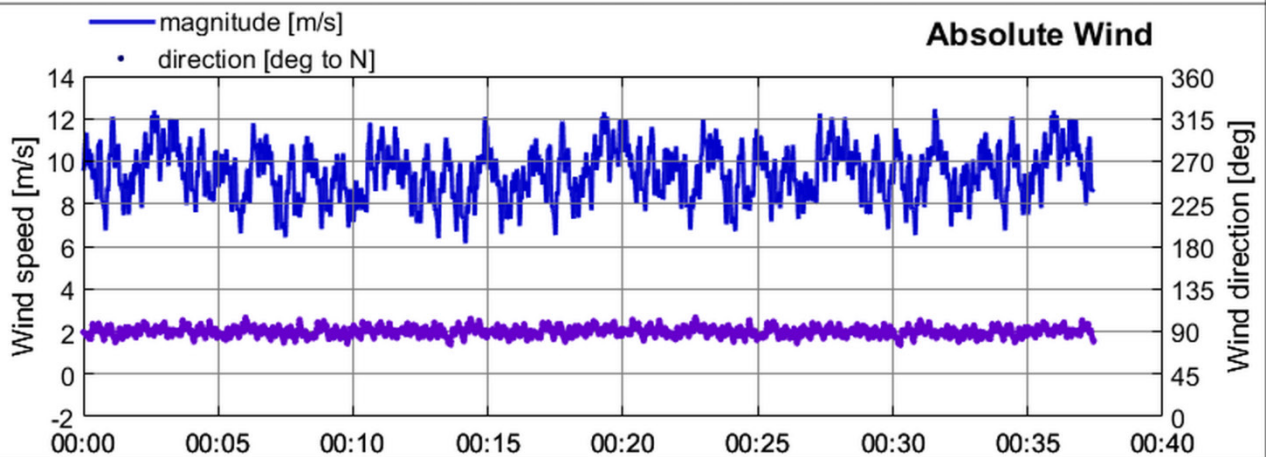
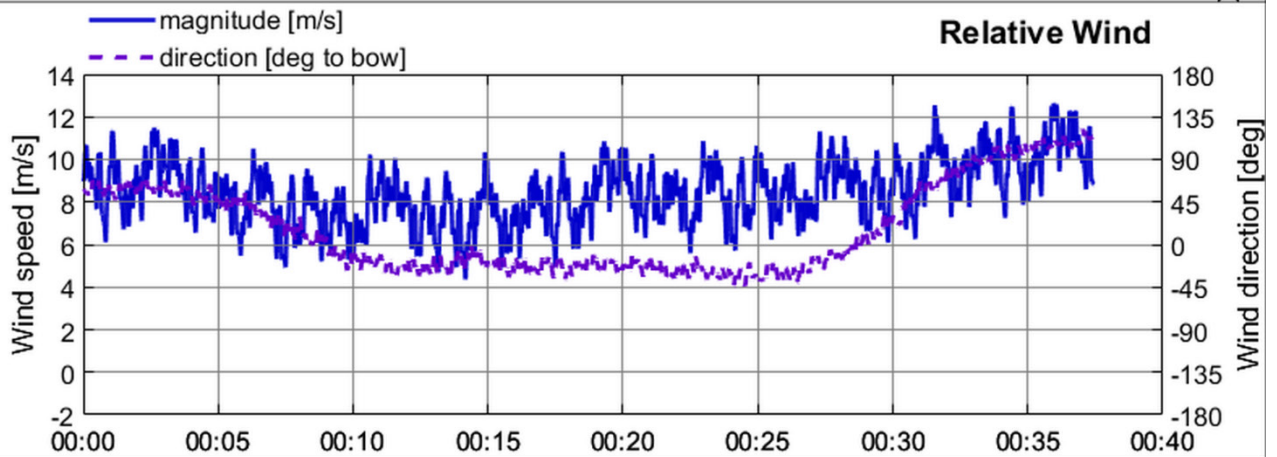
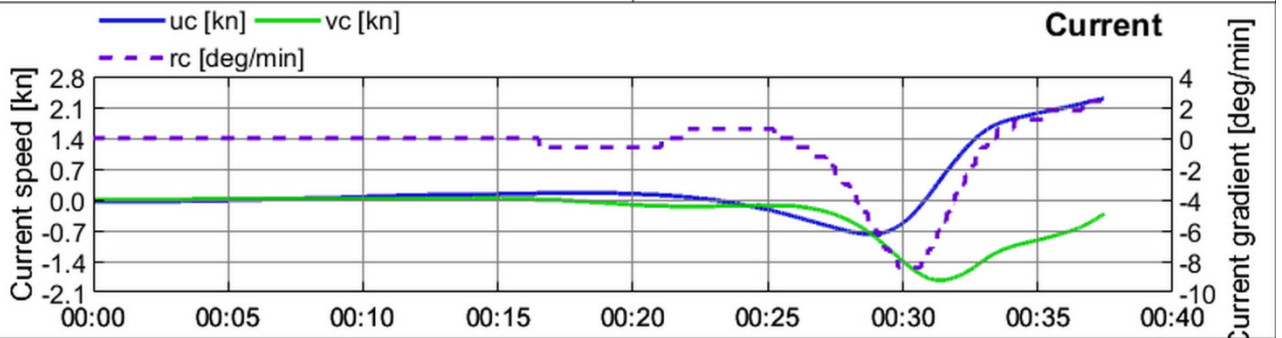
Simulation: Duplex 10

Current: Ebb Spring tide

Date: 30/08/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: ZW5

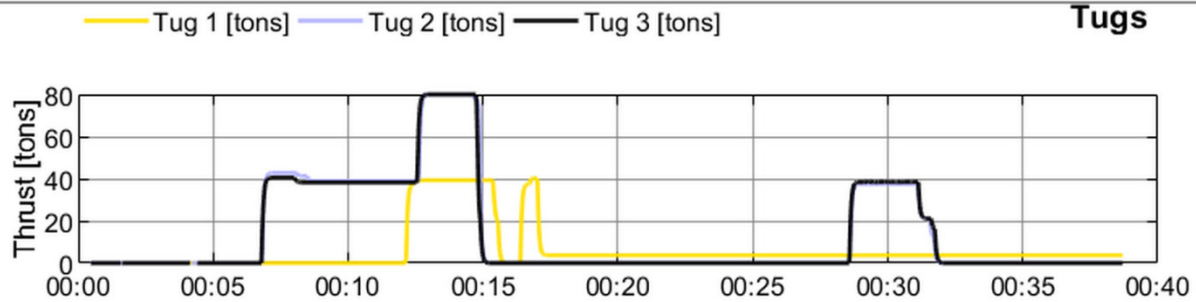
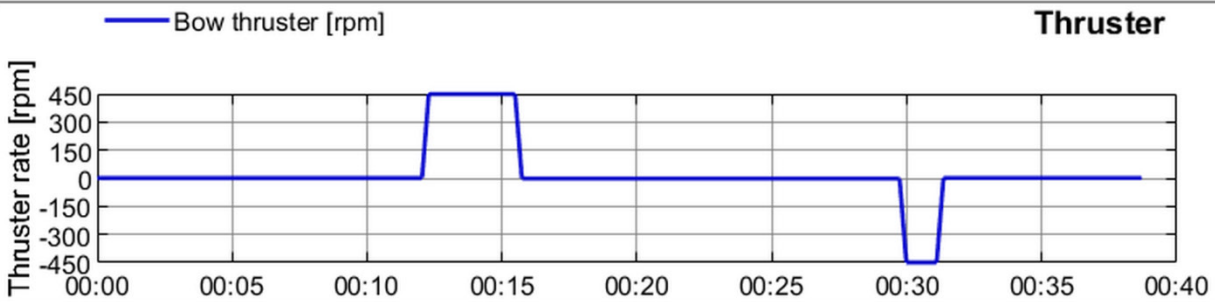
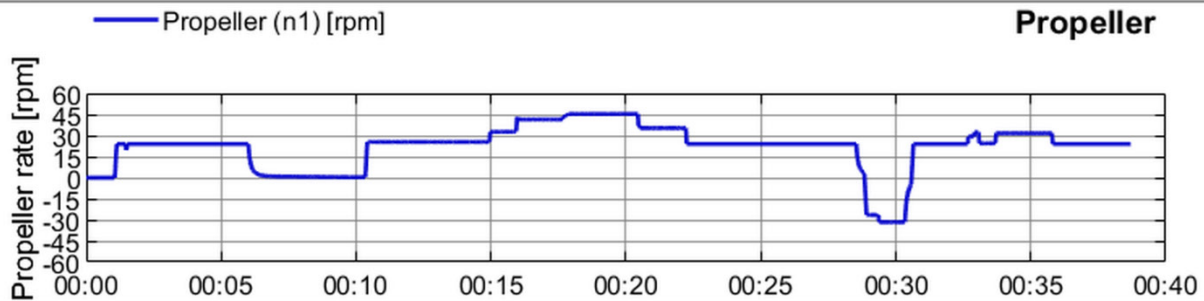
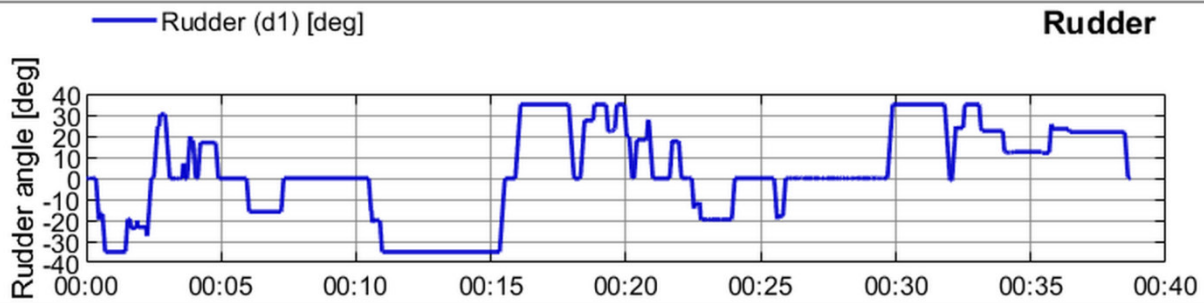
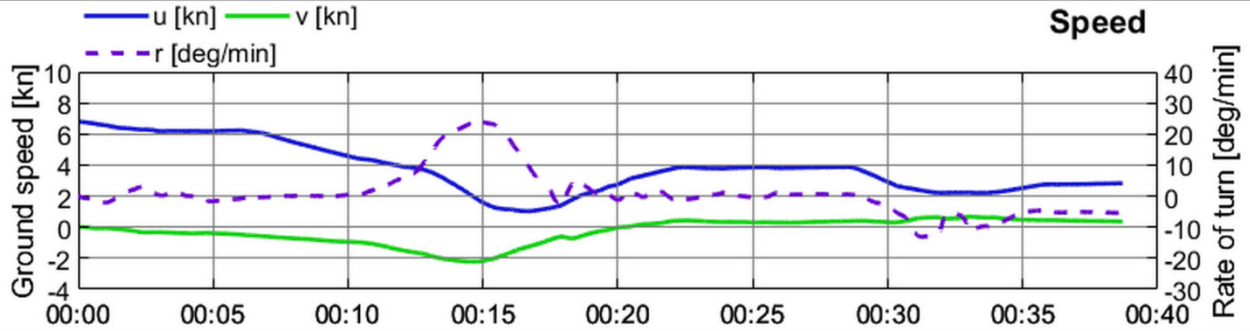
Simulation: Duplex 11

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: ZW5

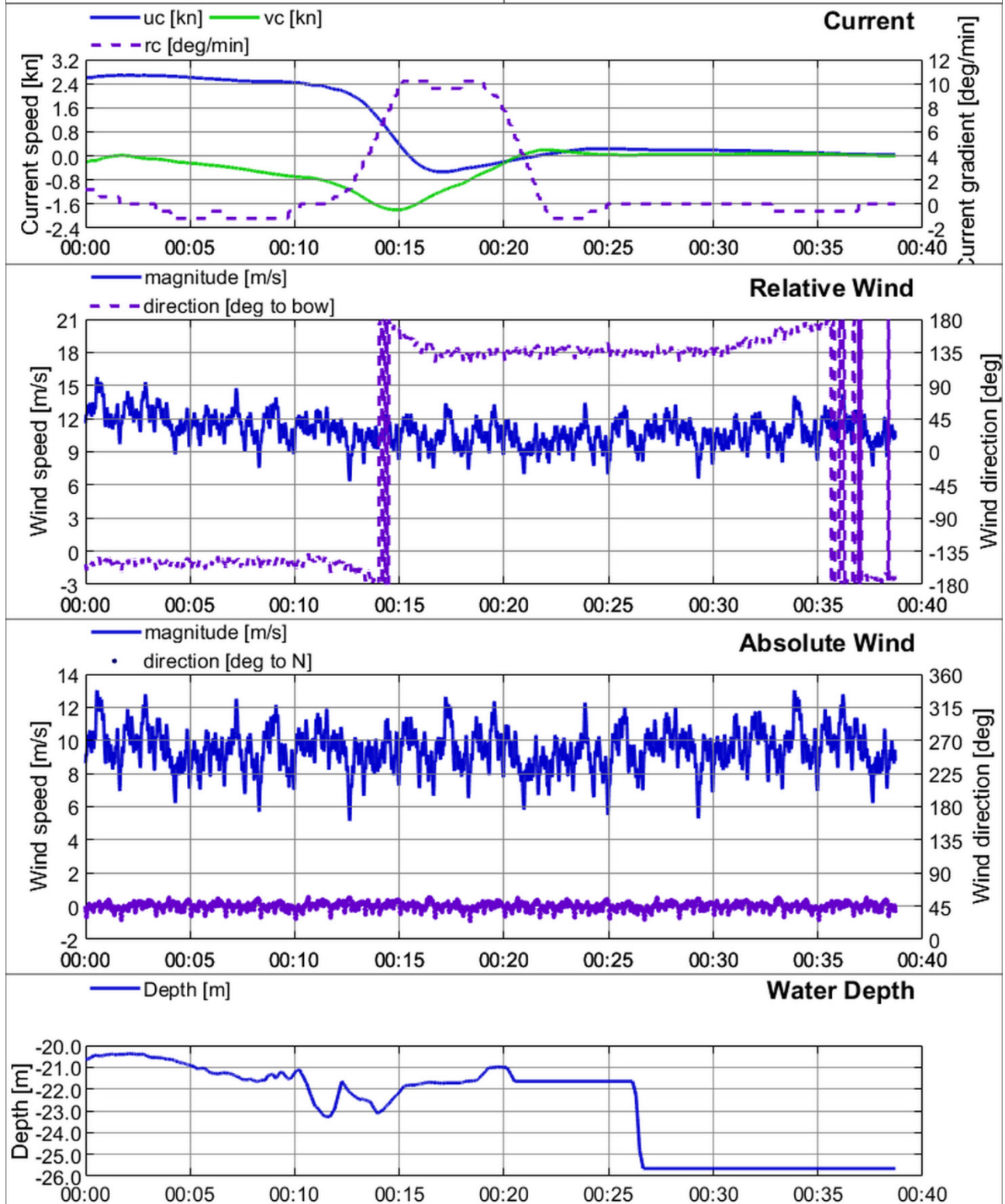
Simulation: Duplex 11

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW6

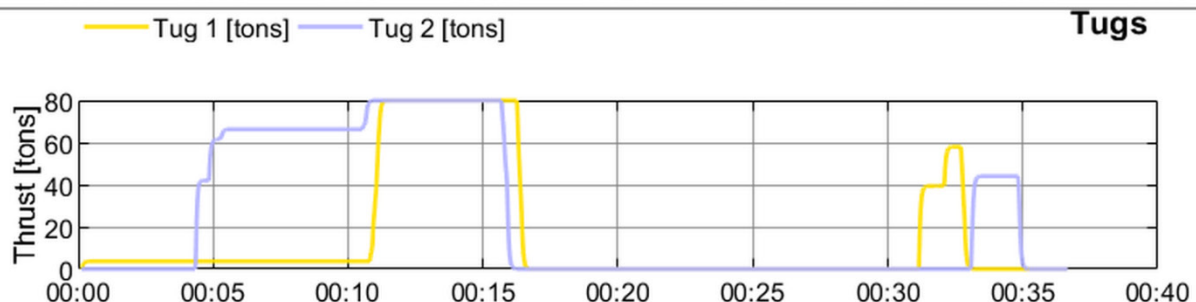
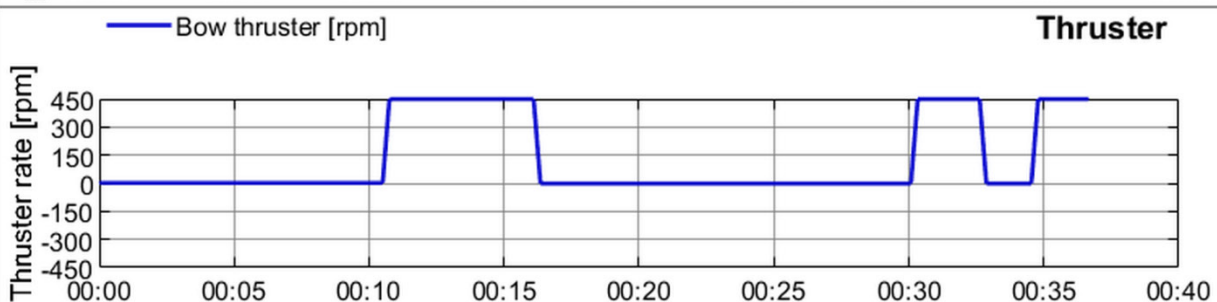
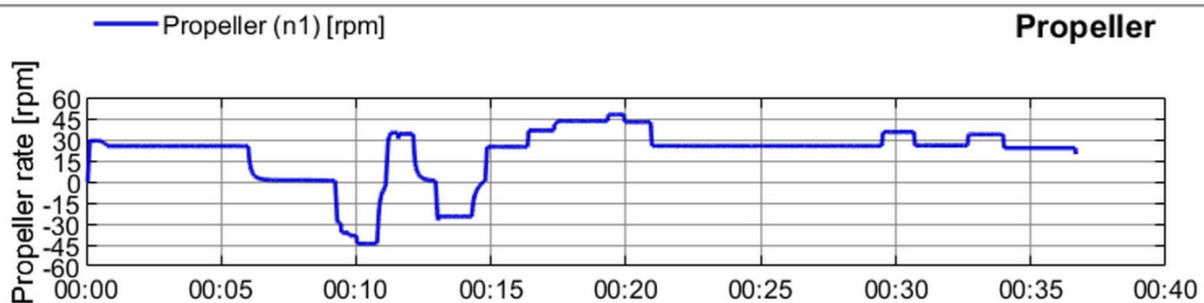
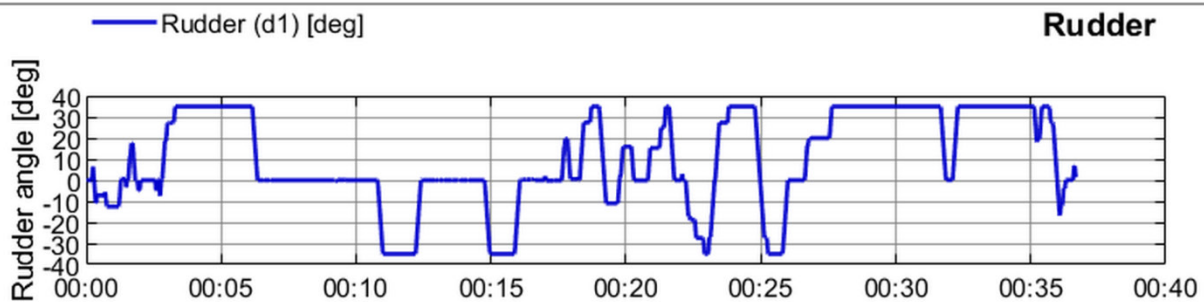
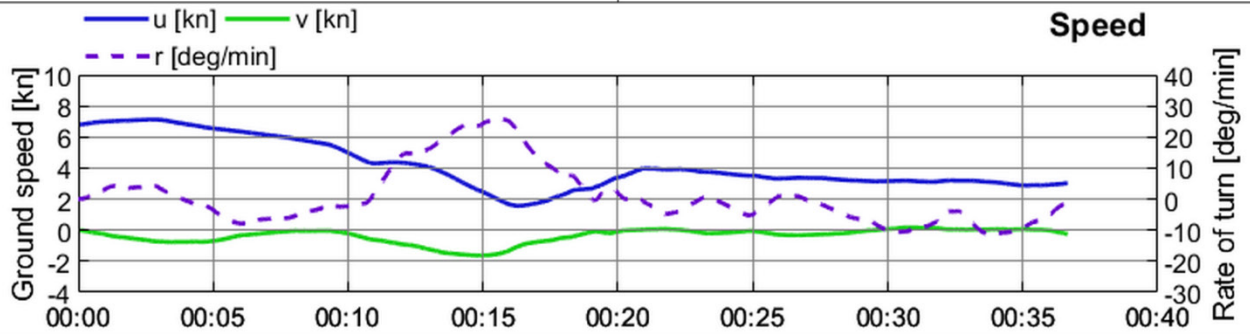
Simulation: Duplex 12

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW6

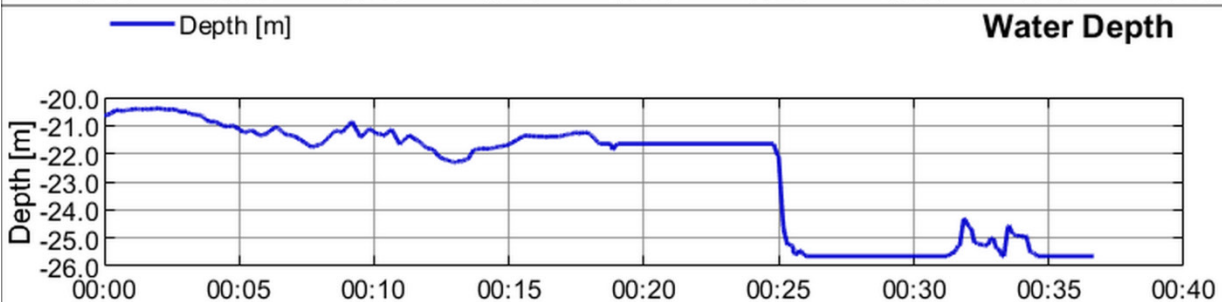
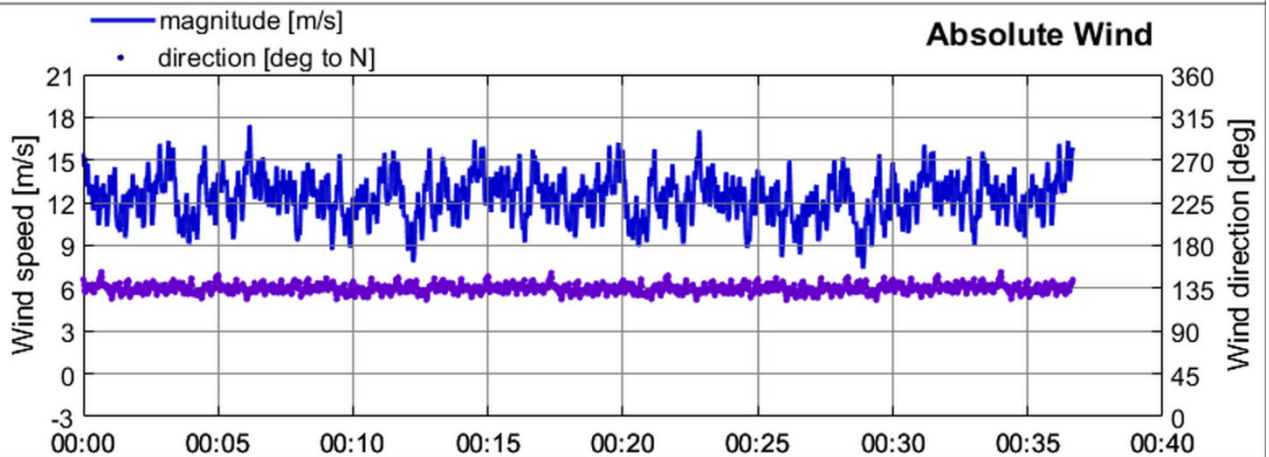
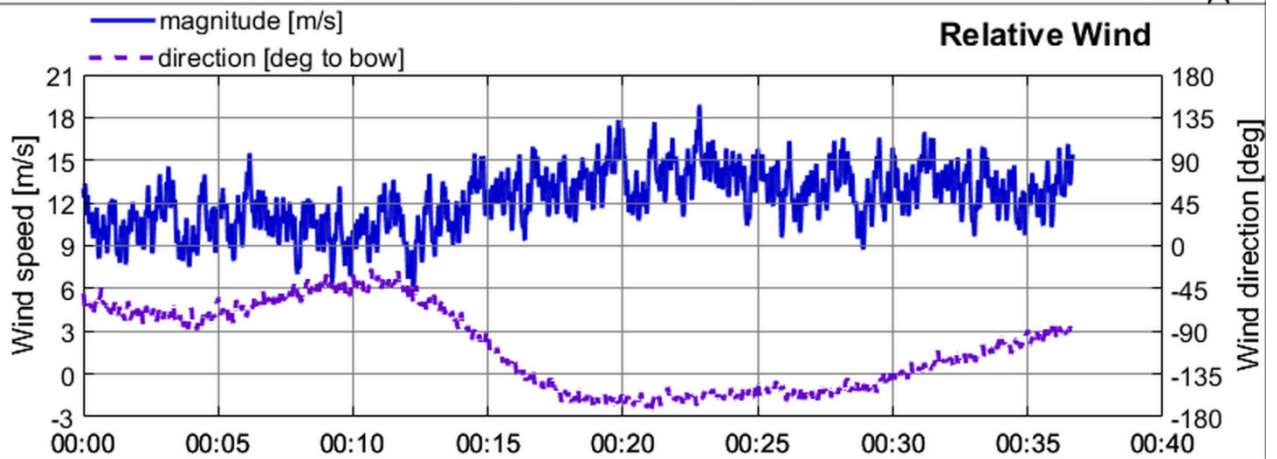
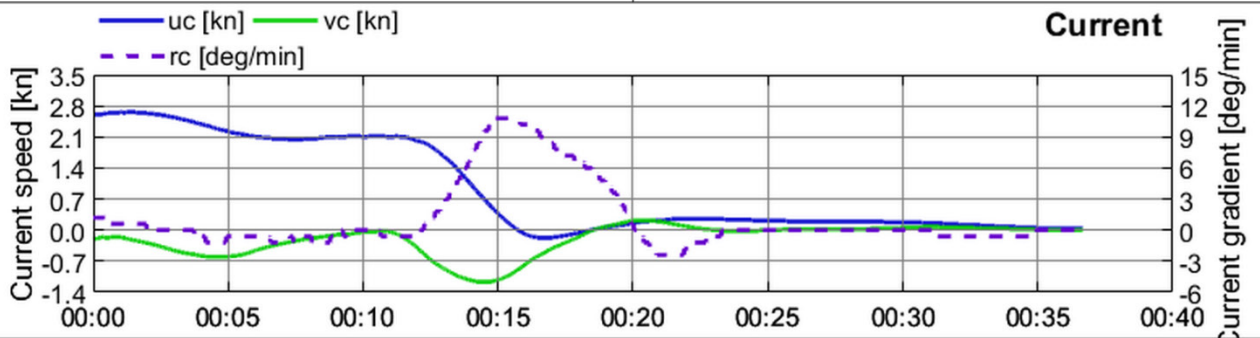
Simulation: Duplex 12

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

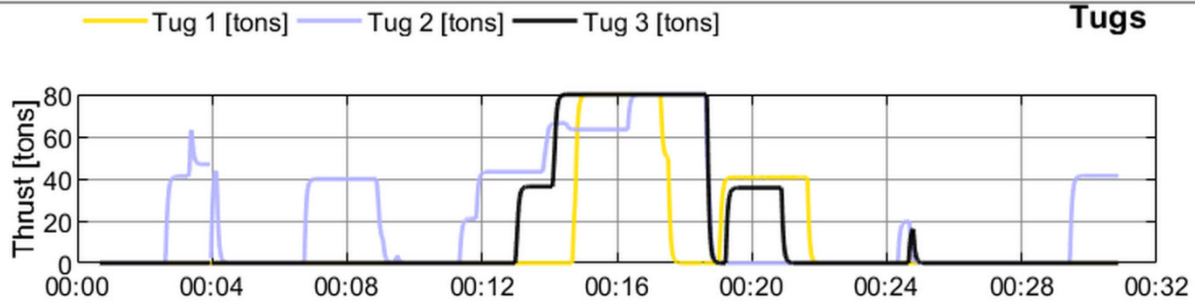
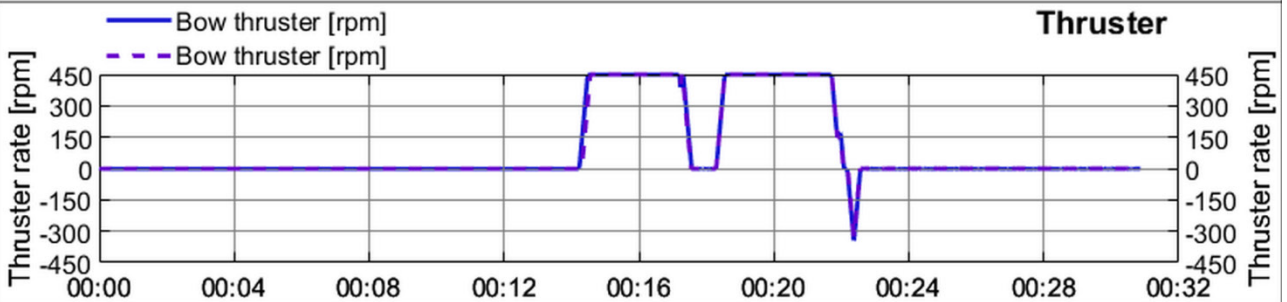
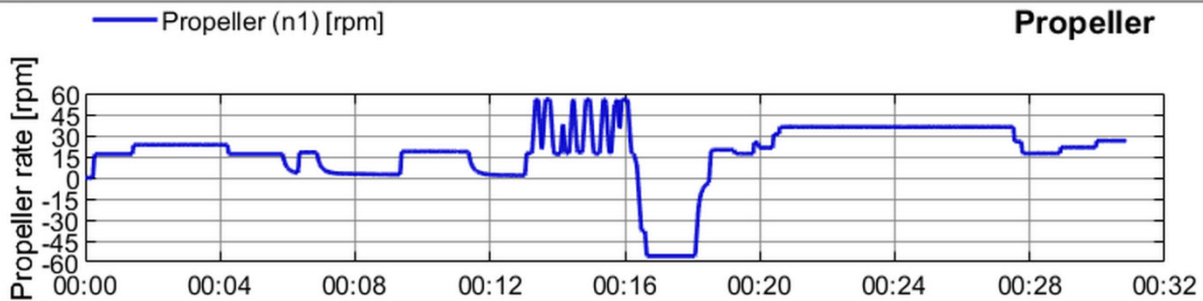
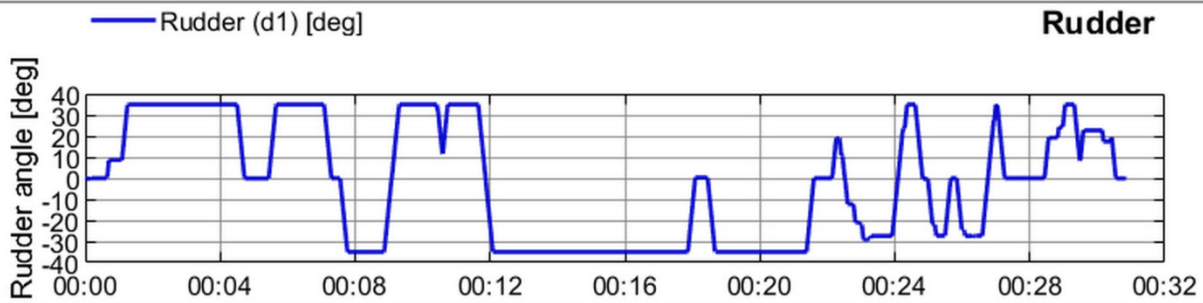
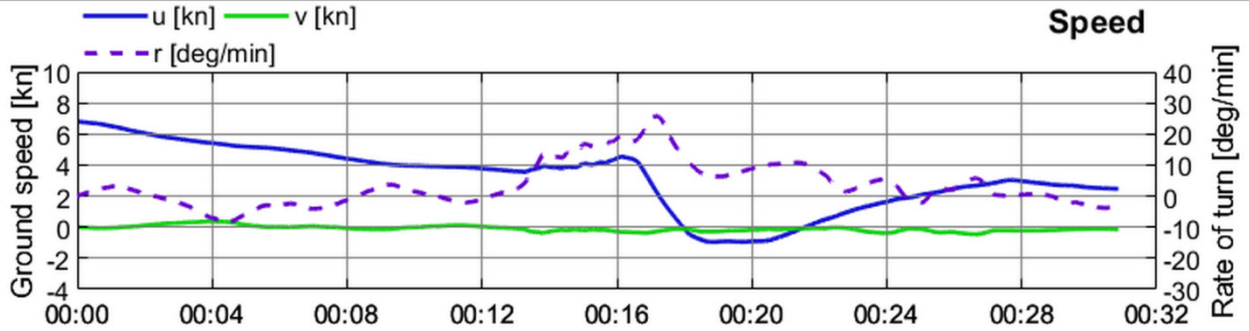
Simulation: Duplex 13

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

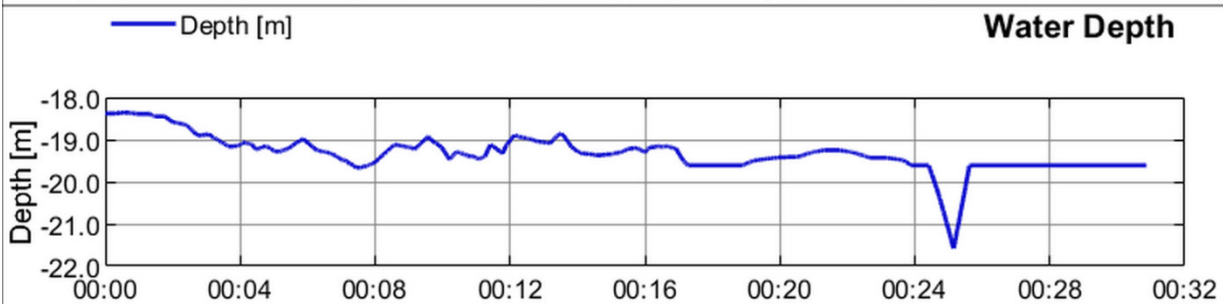
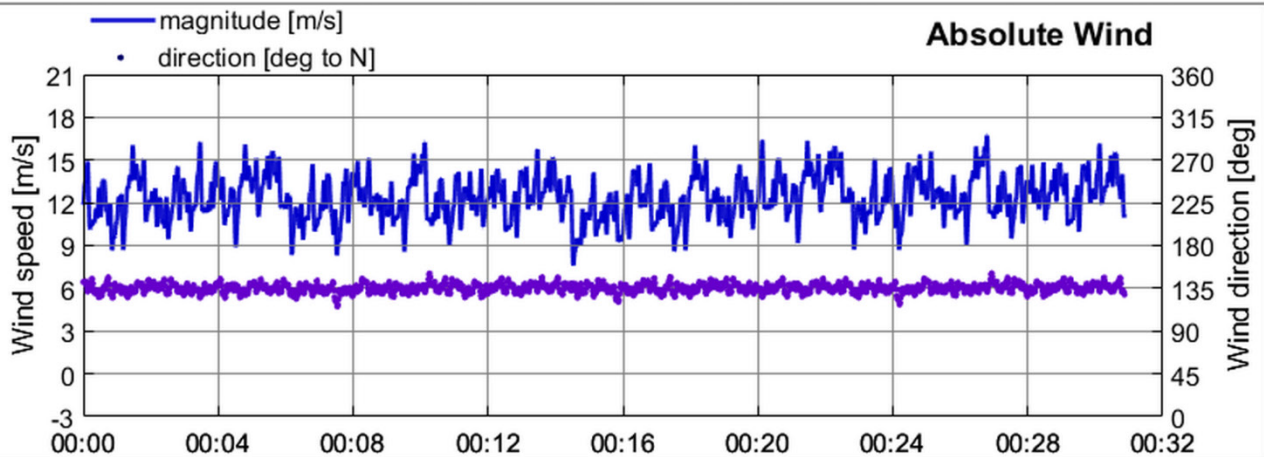
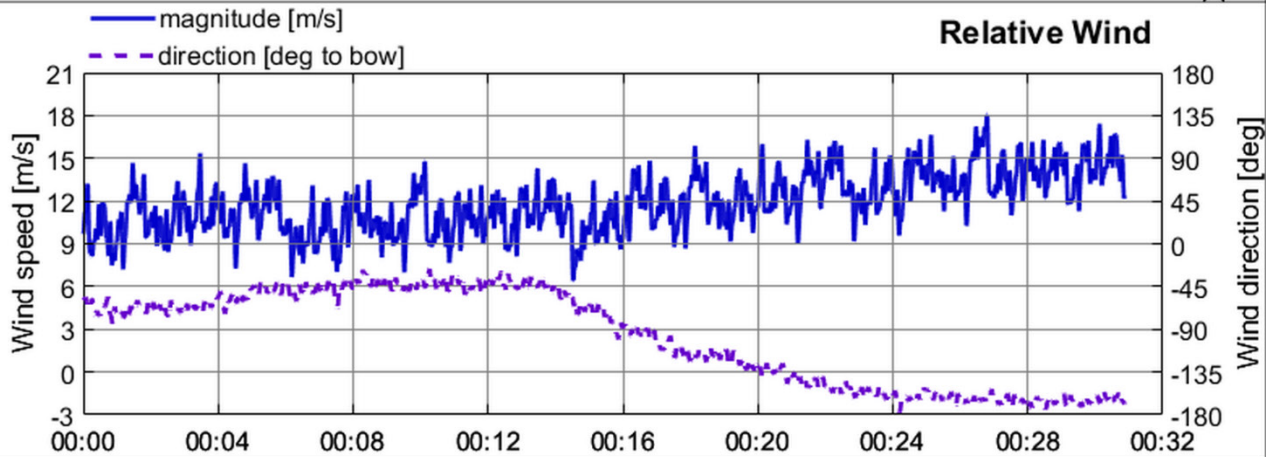
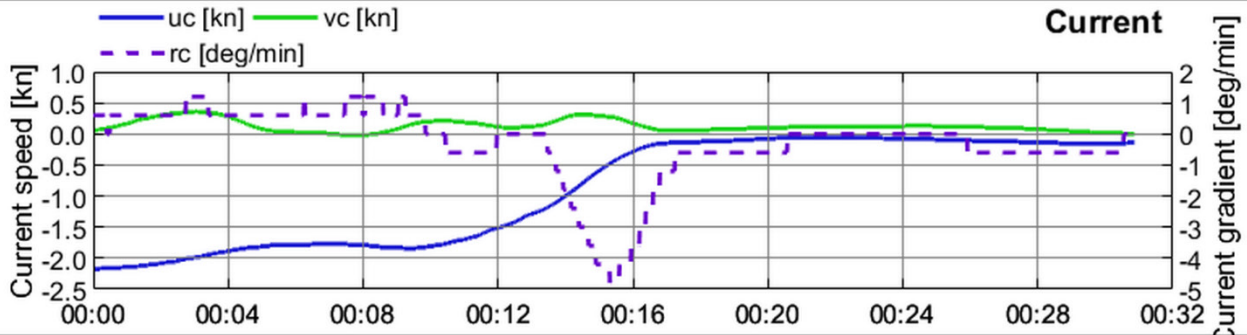
Simulation: Duplex 13

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

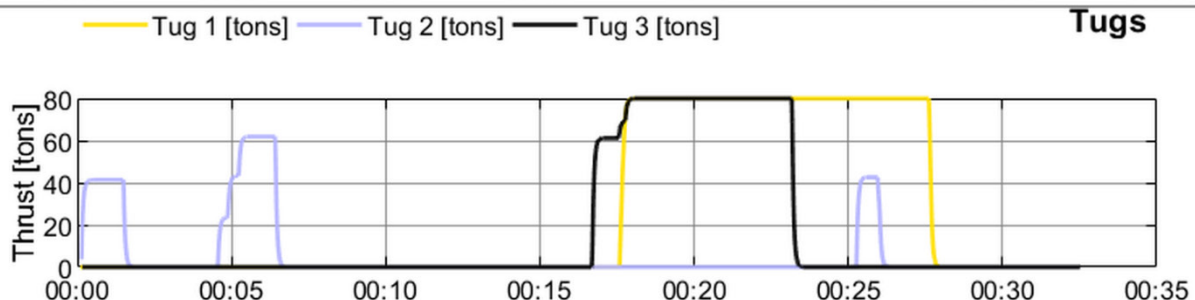
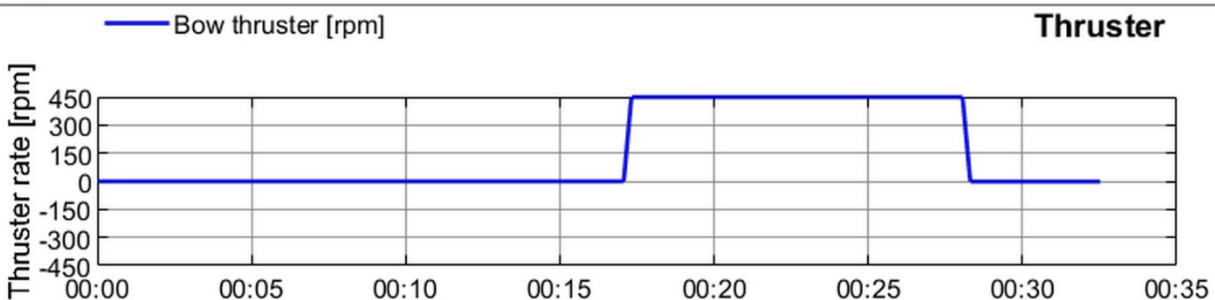
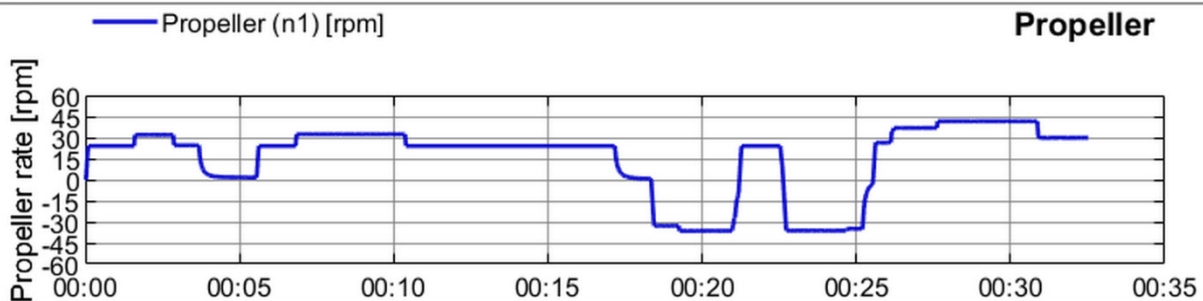
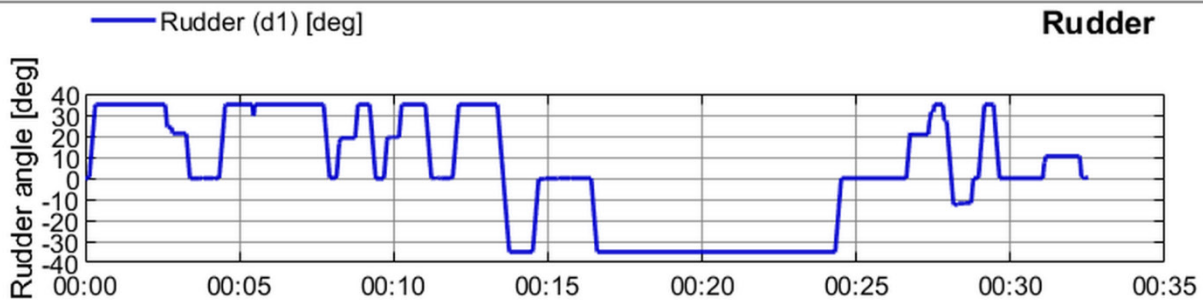
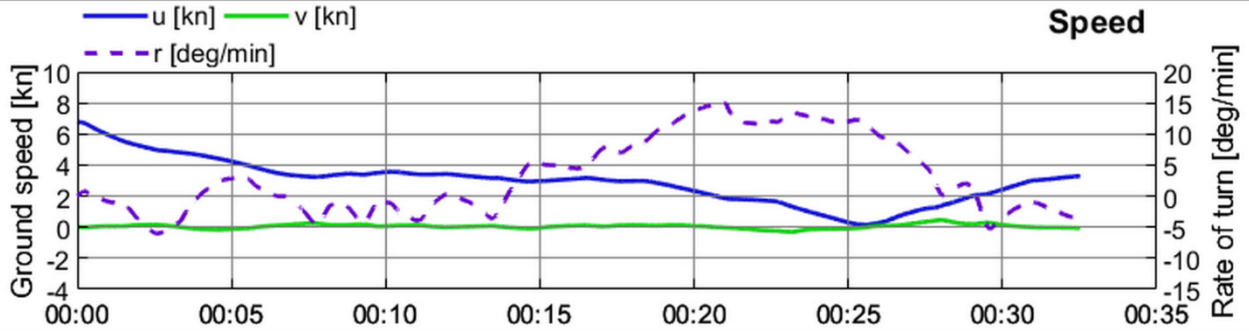
Simulation: Duplex 14

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

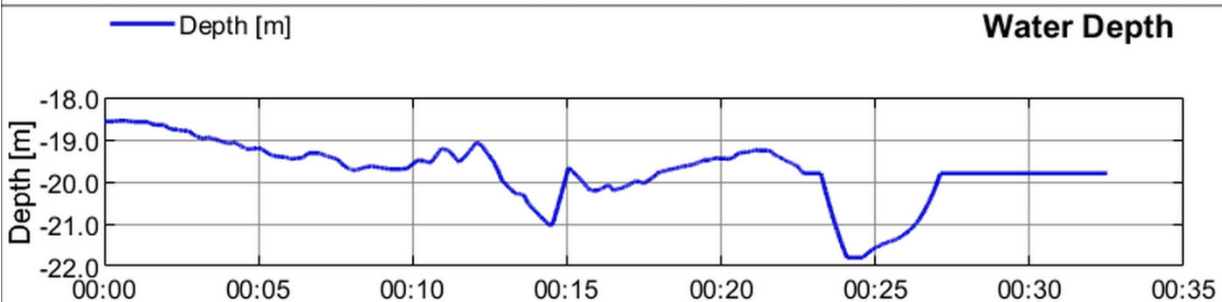
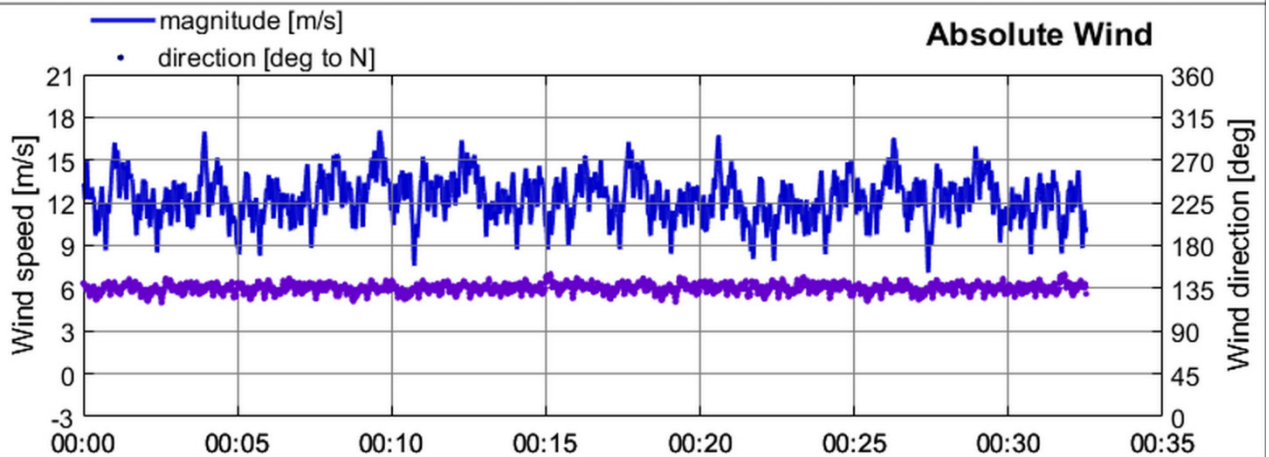
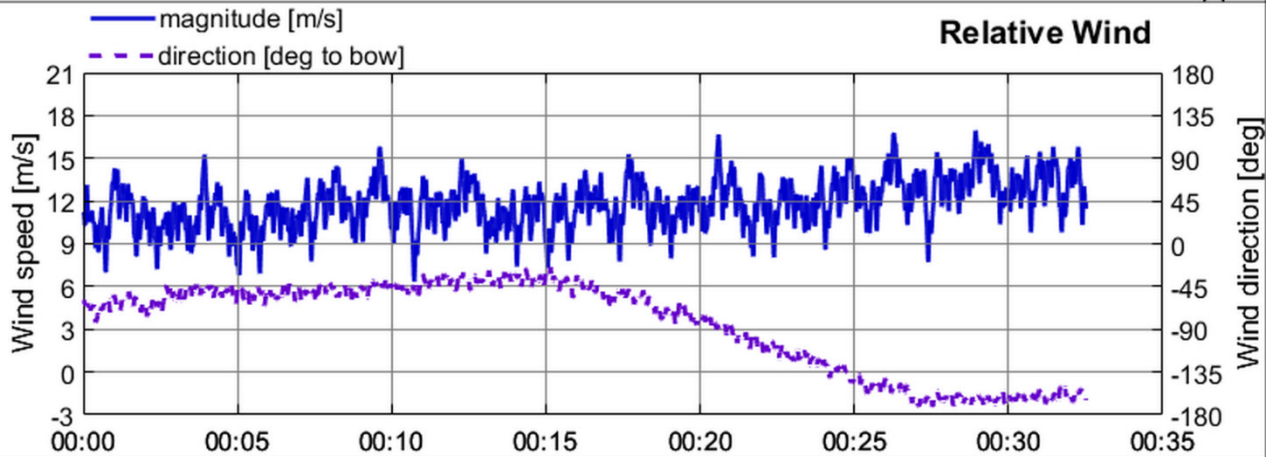
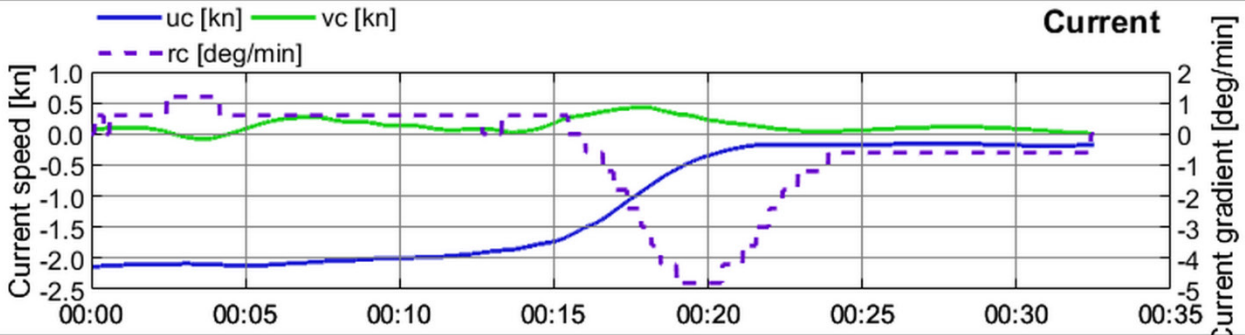
Simulation: Duplex 14

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

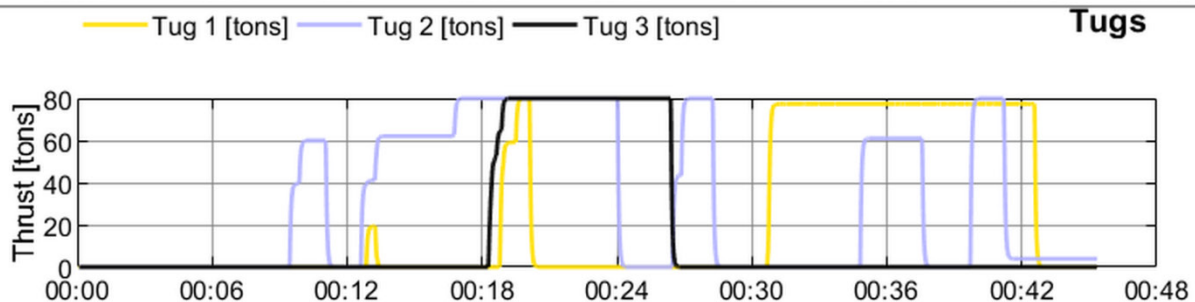
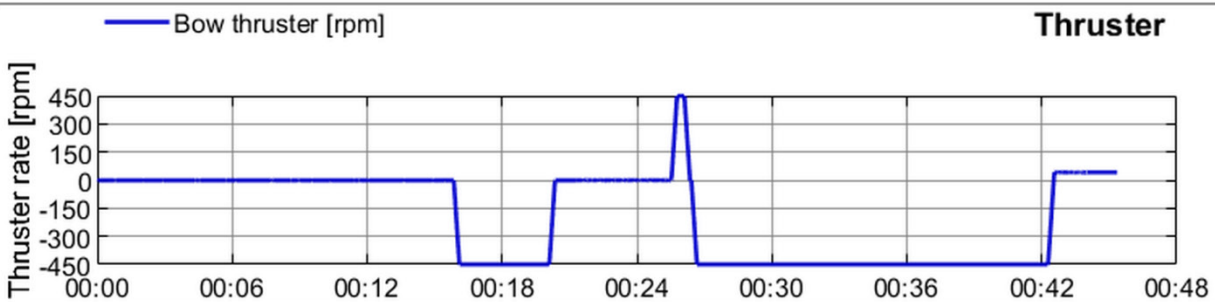
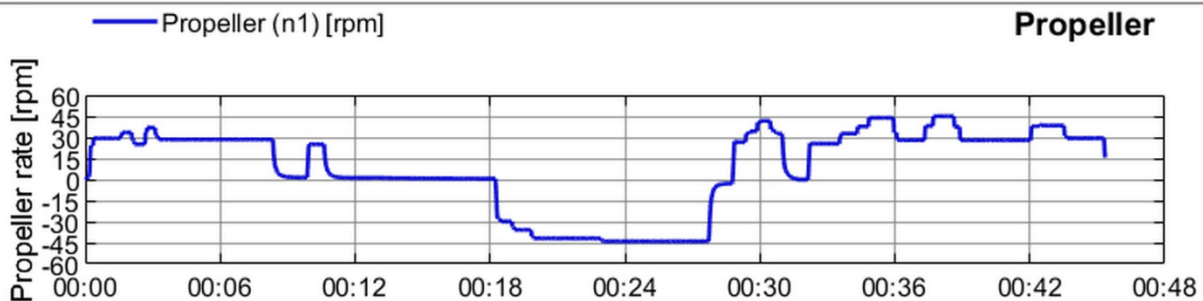
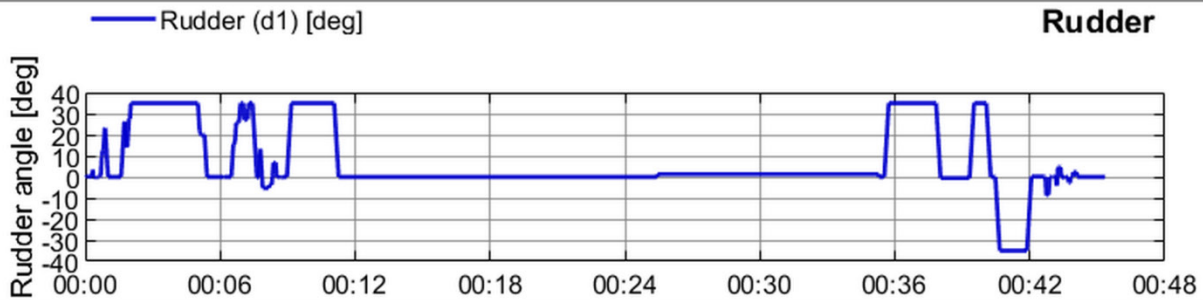
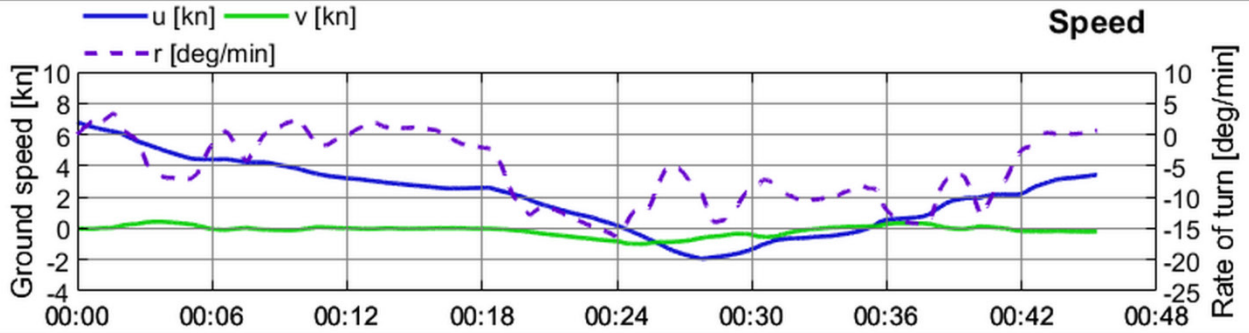
Simulation: Duplex 15

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW6

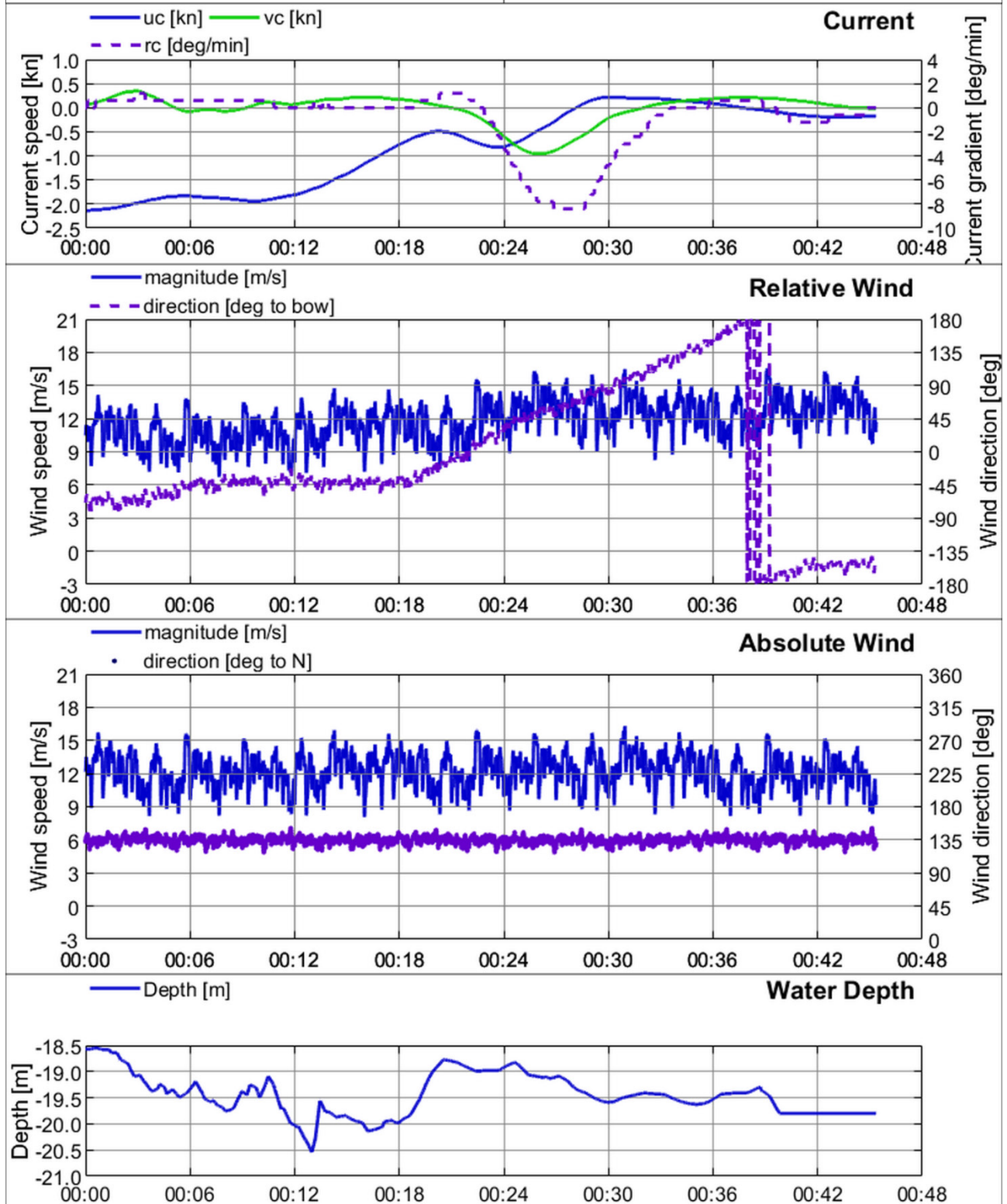
Simulation: Duplex 15

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW6

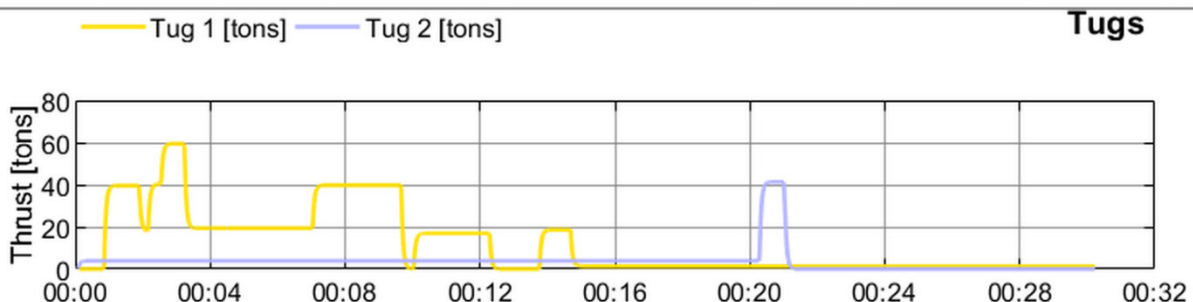
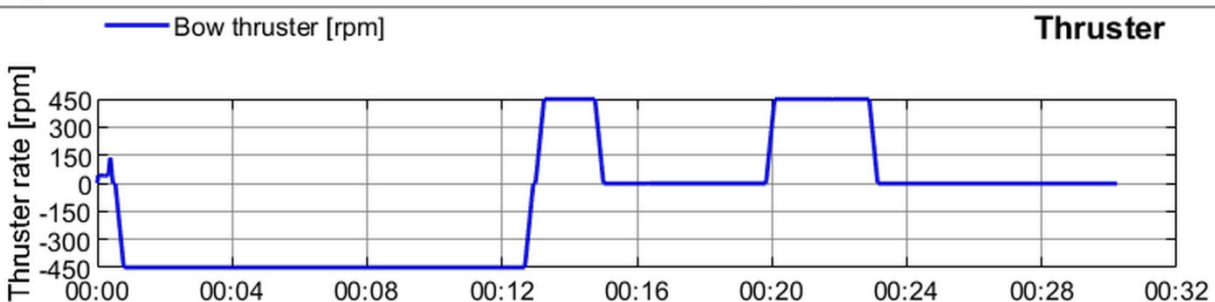
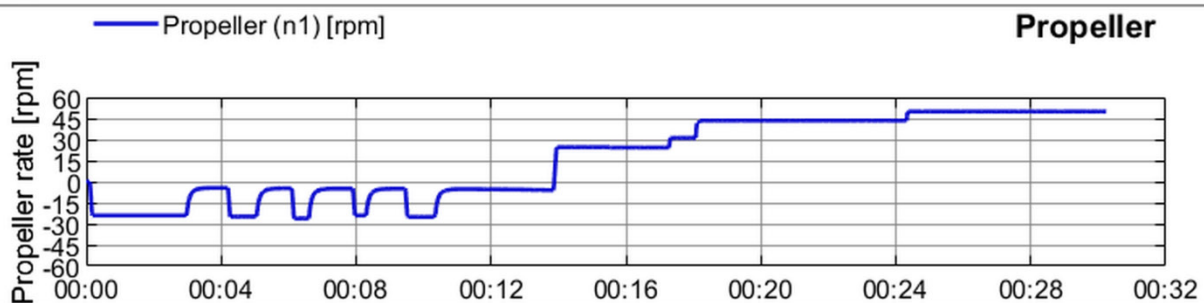
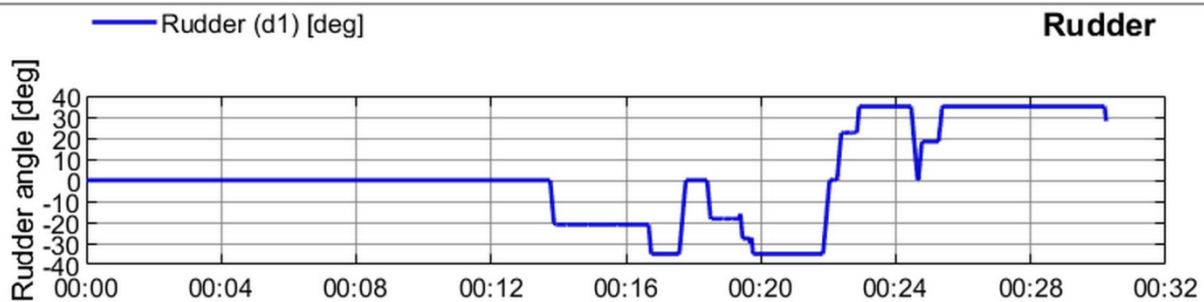
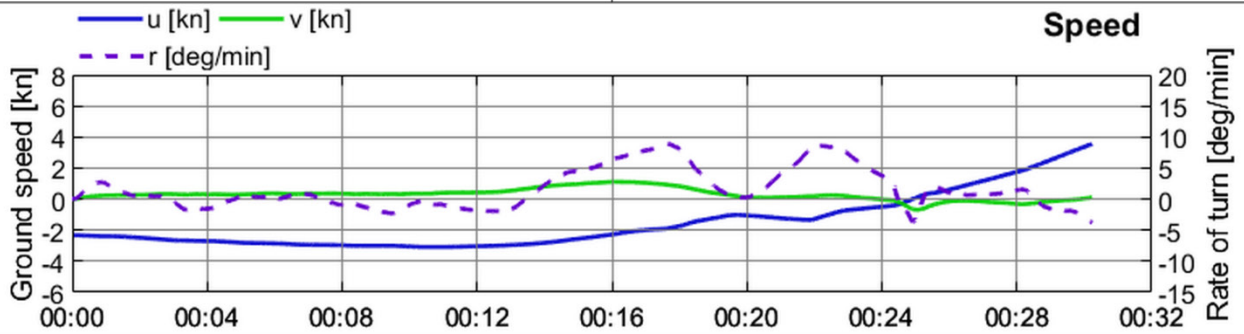
Simulation: Duplex 16

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: ZW6

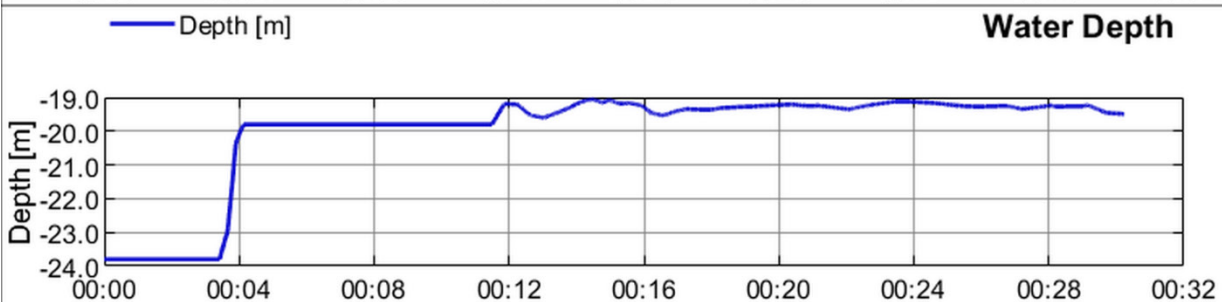
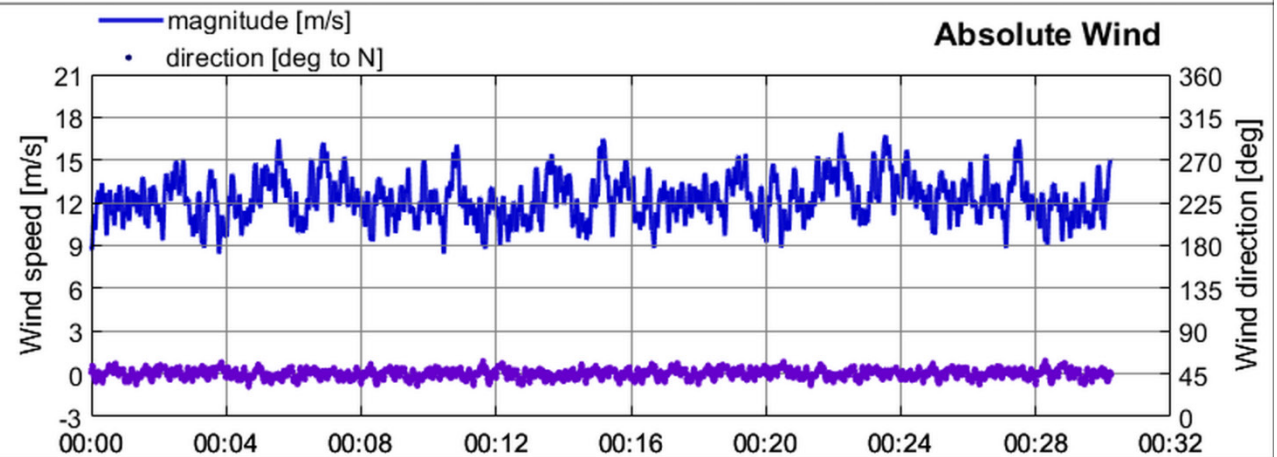
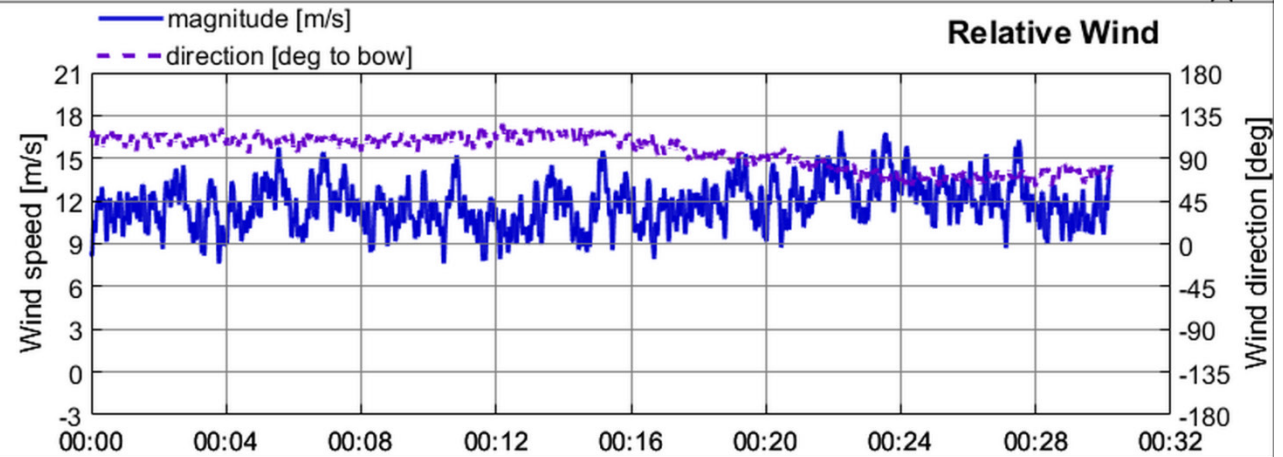
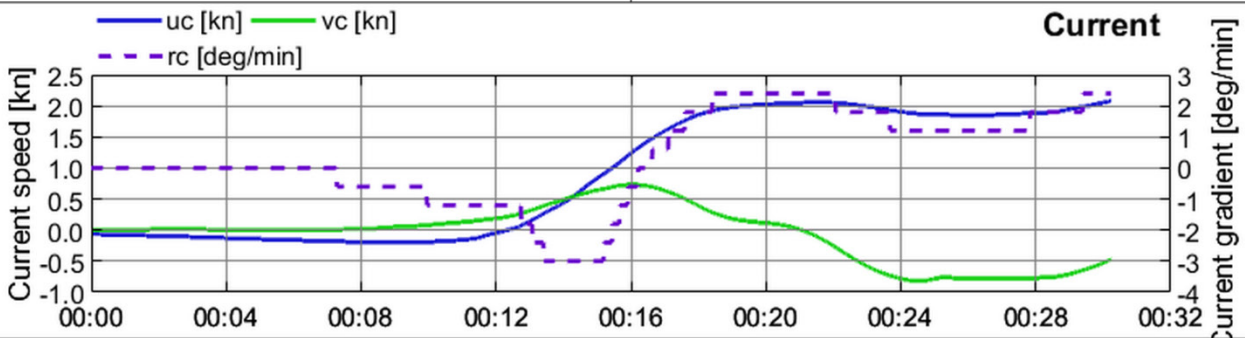
Simulation: Duplex 16

Current: Ebb Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW6

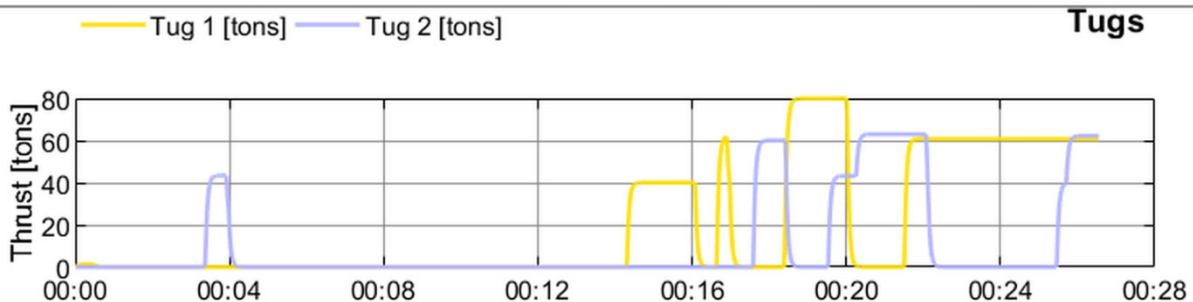
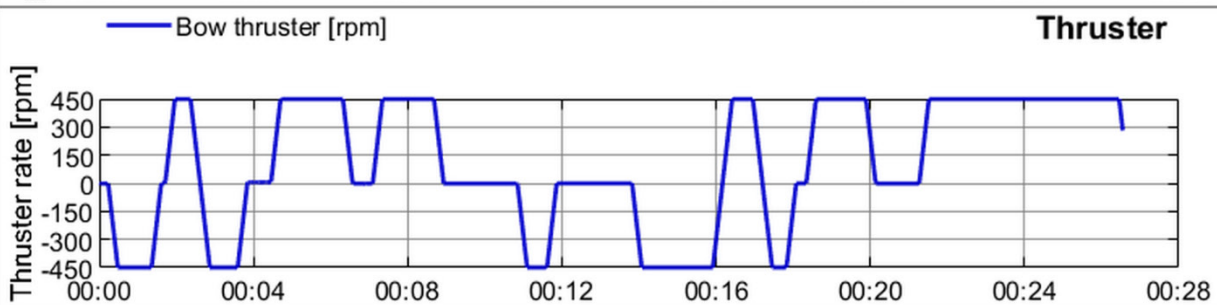
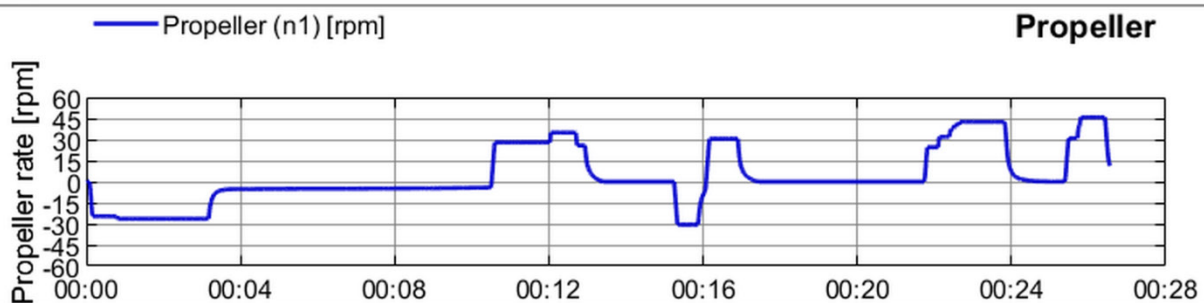
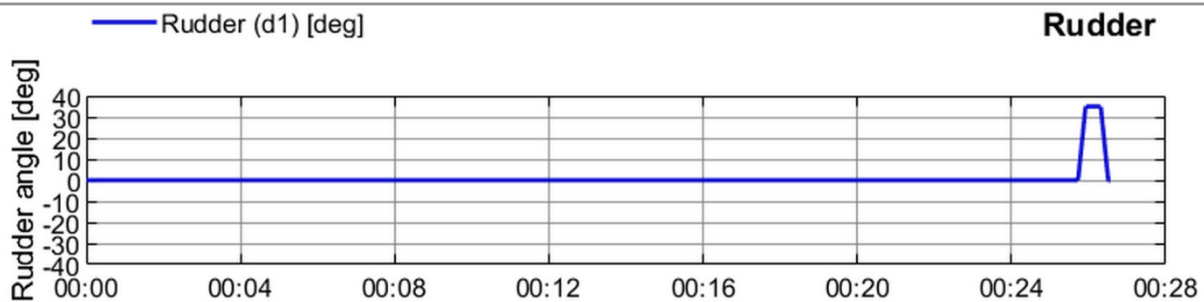
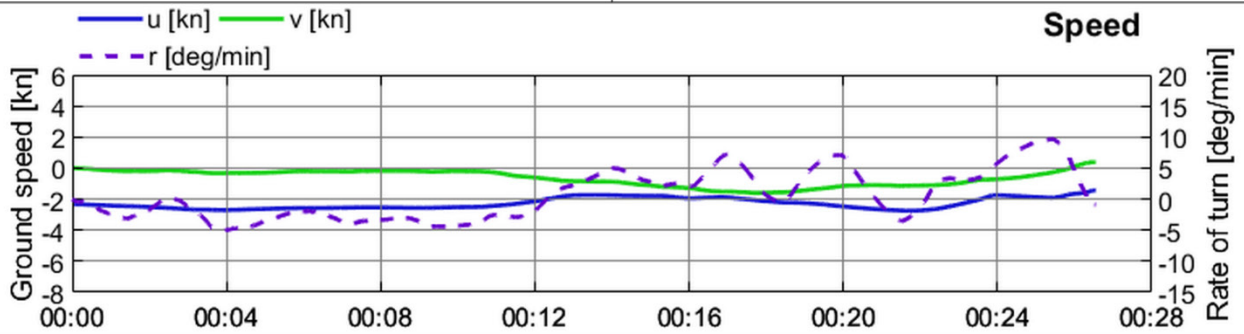
Simulation: Duplex 17

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con430 620 150: $L_{OA} = 430$ m; $B = 62.0$ m; $T = 15.0$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW6

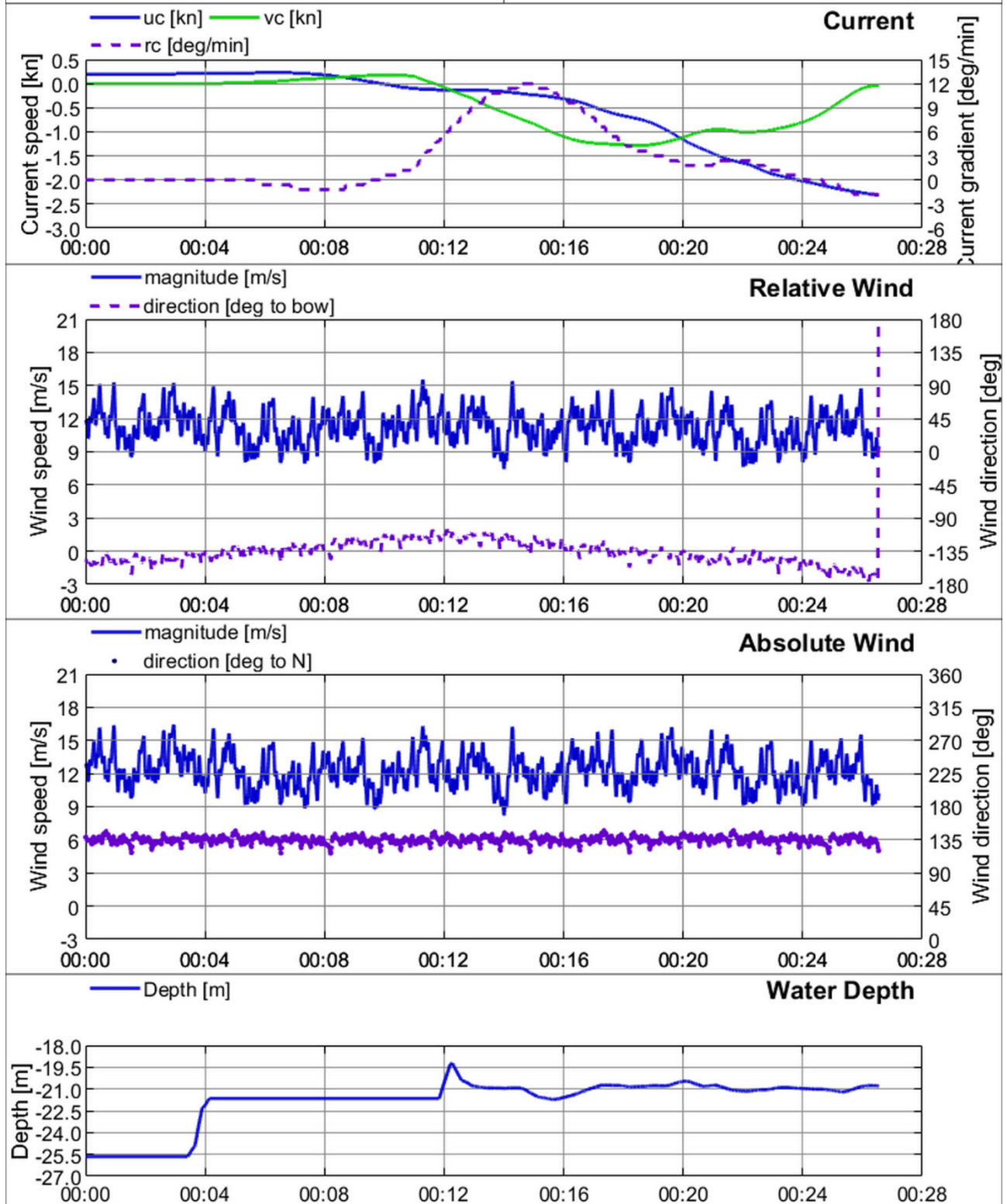
Simulation: Duplex 17

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW5

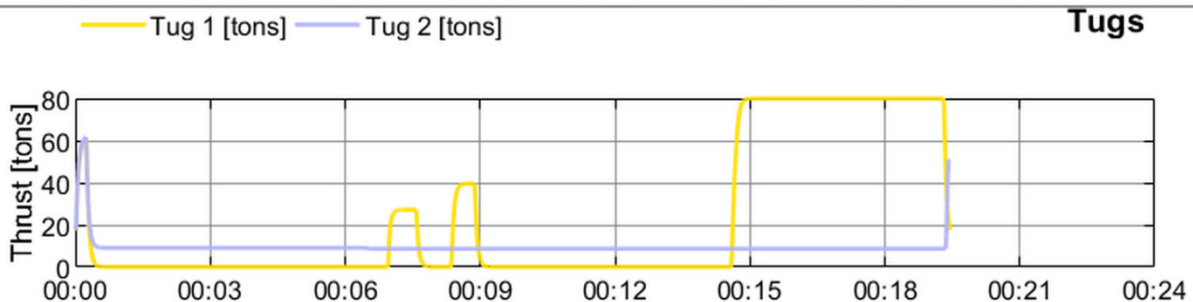
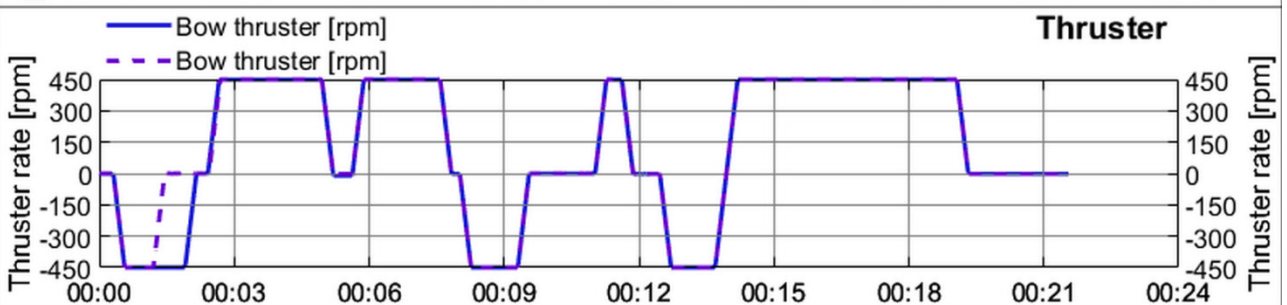
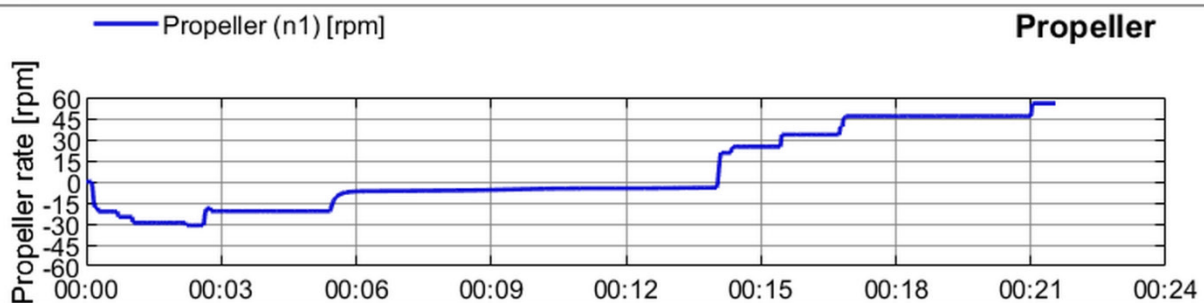
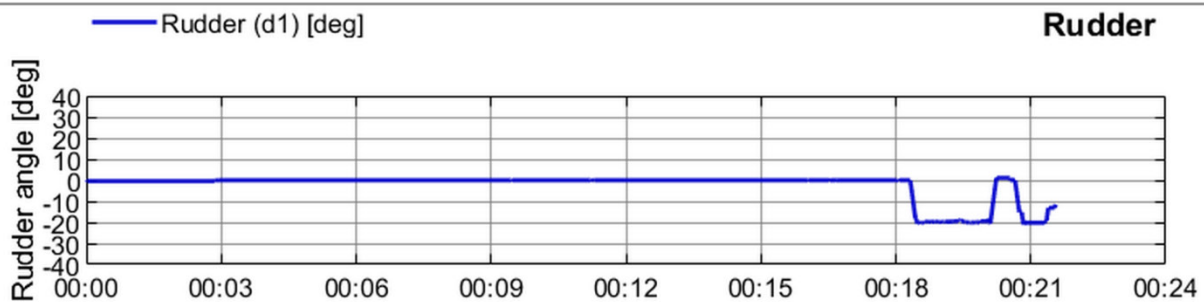
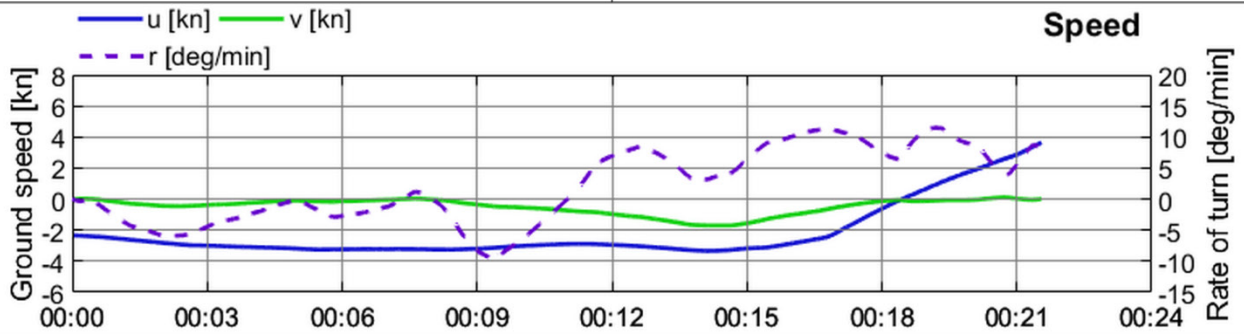
Simulation: Duplex 18

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2)

Wind: NW5

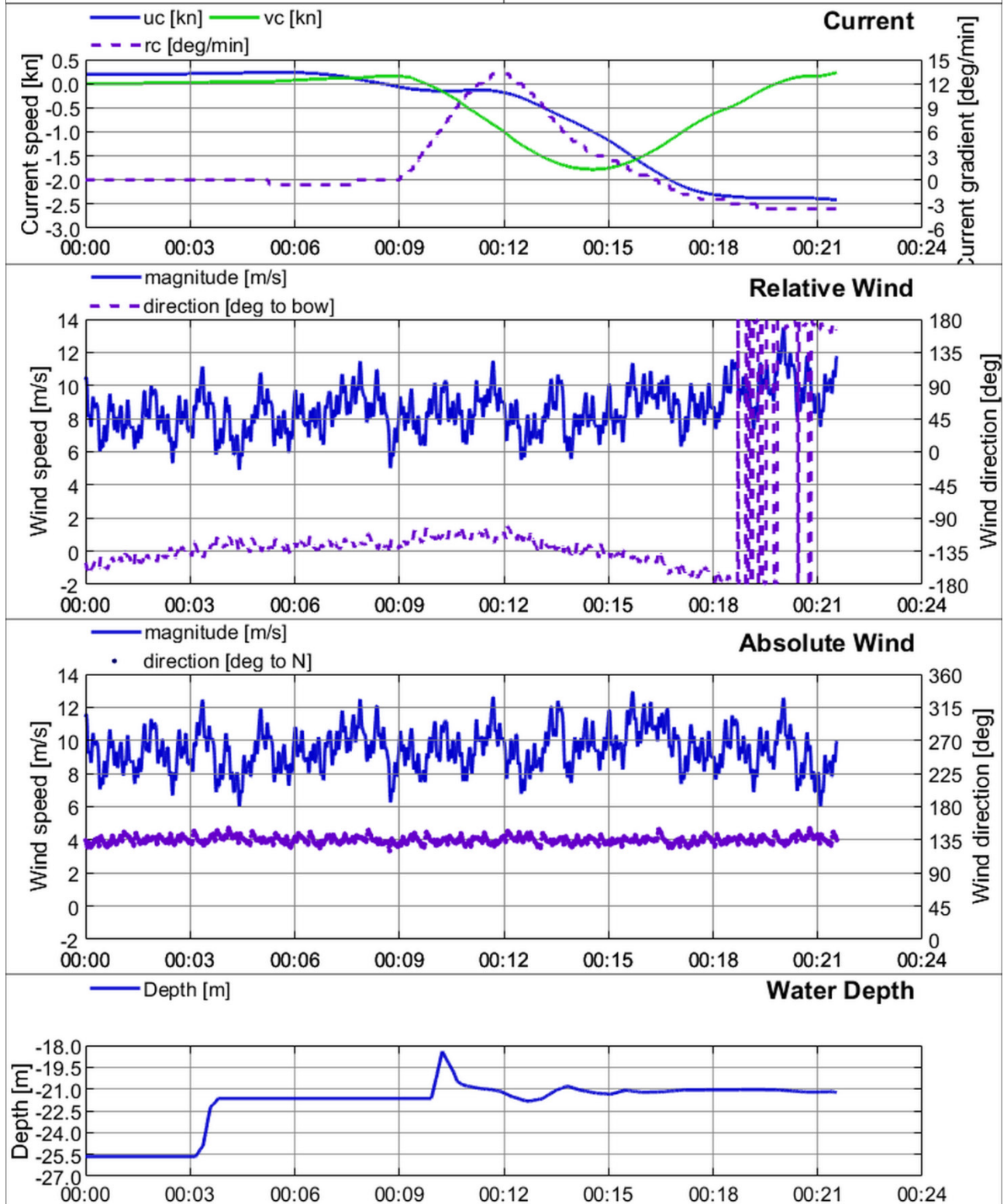
Simulation: Duplex 18

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW5

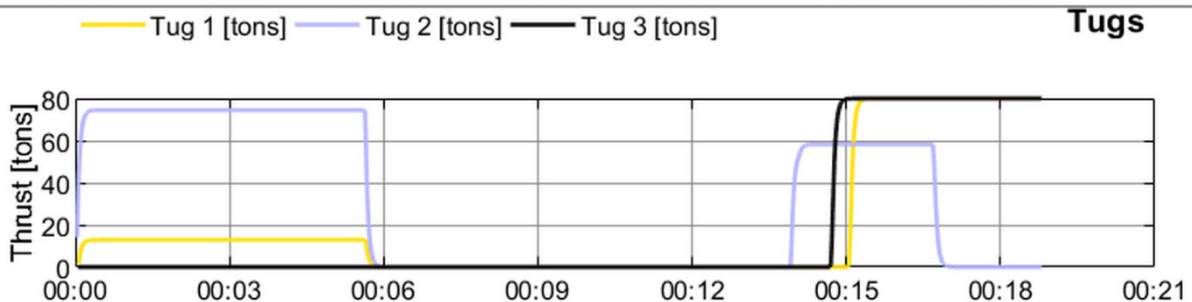
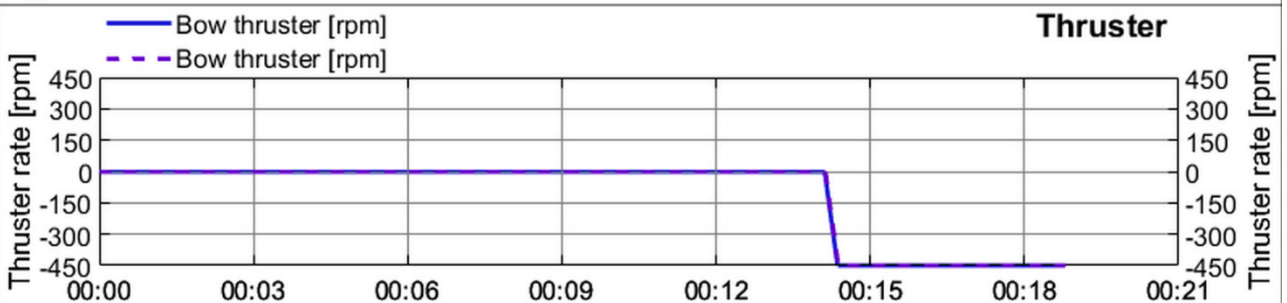
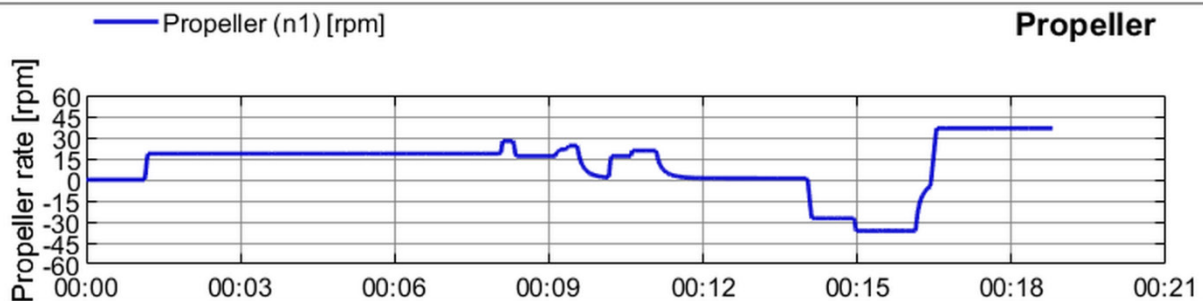
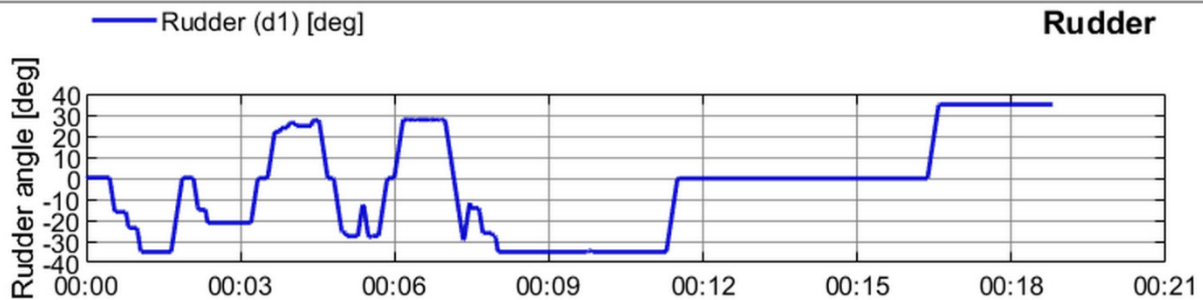
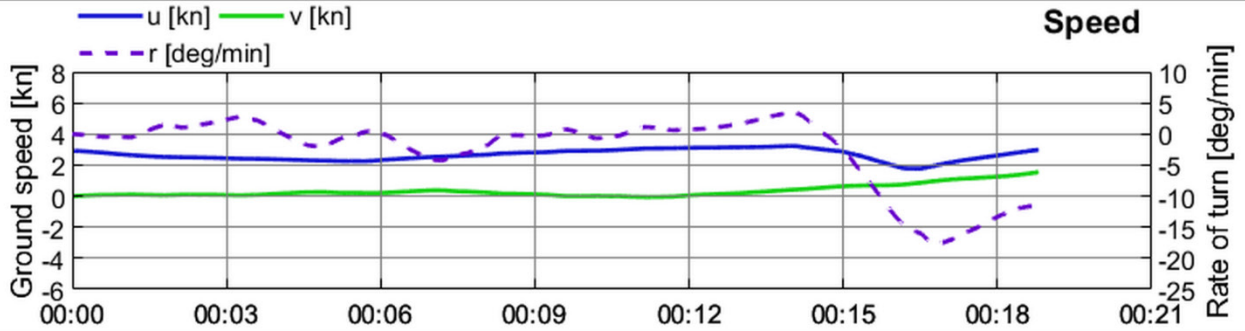
Simulation: Duplex 19

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW5

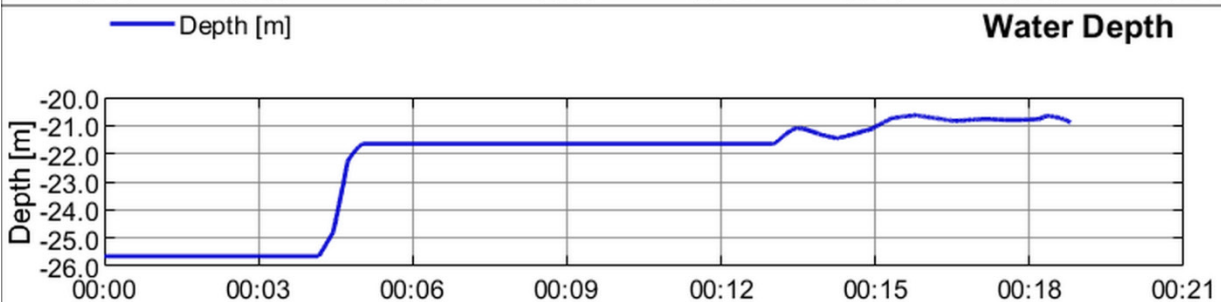
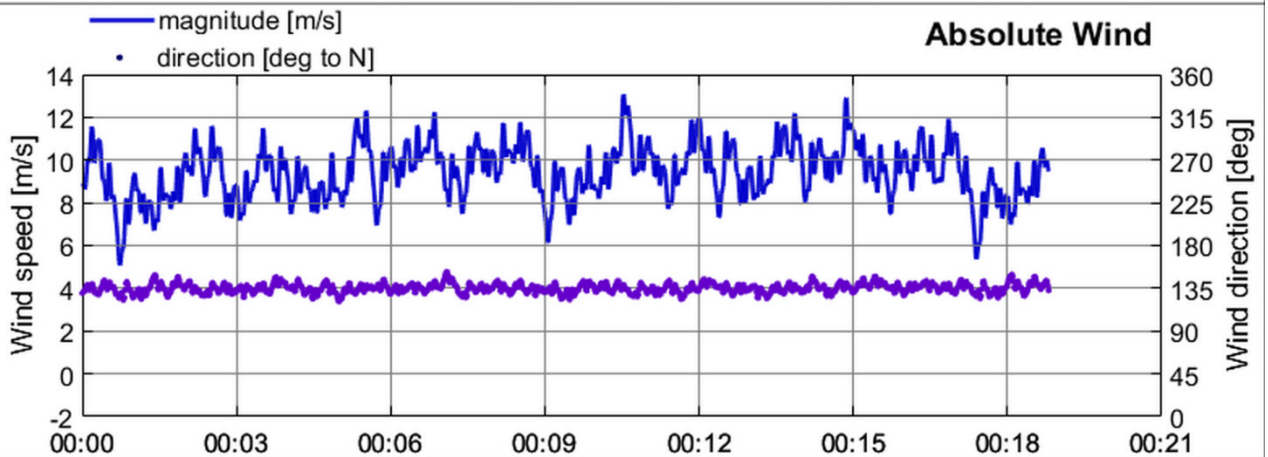
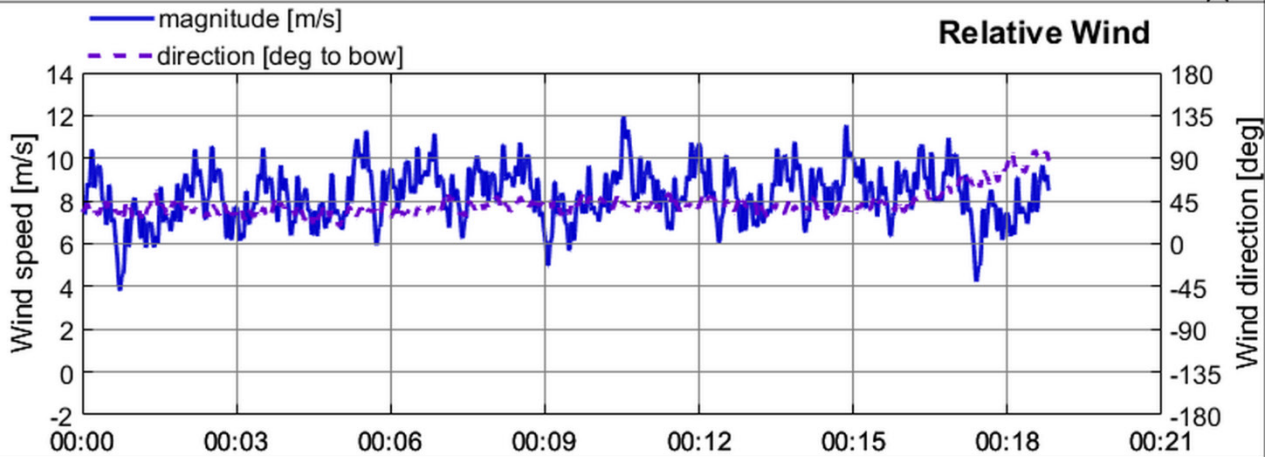
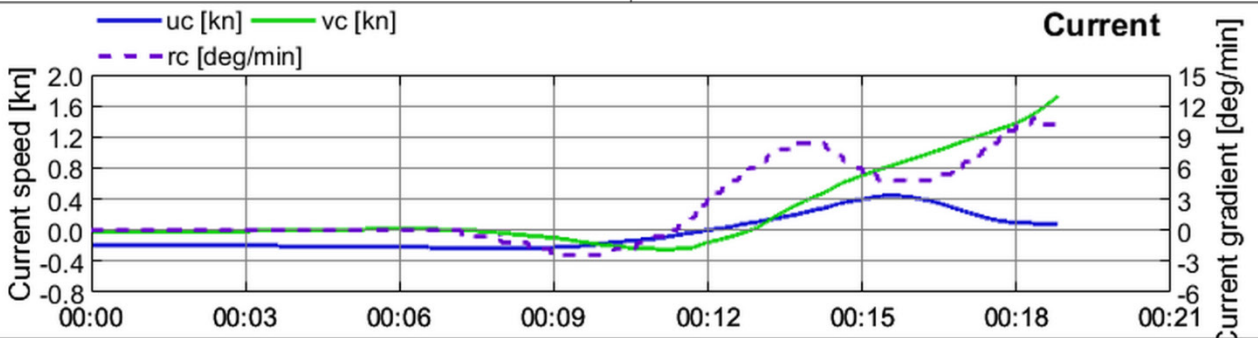
Simulation: Duplex 19

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Manoeuvring

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW5

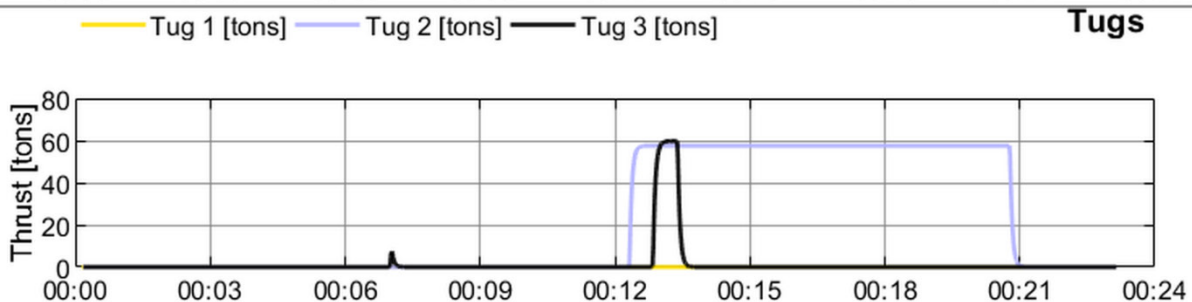
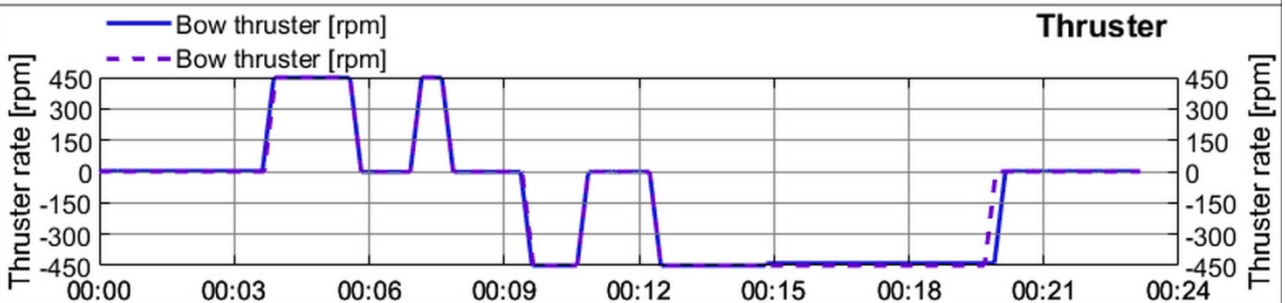
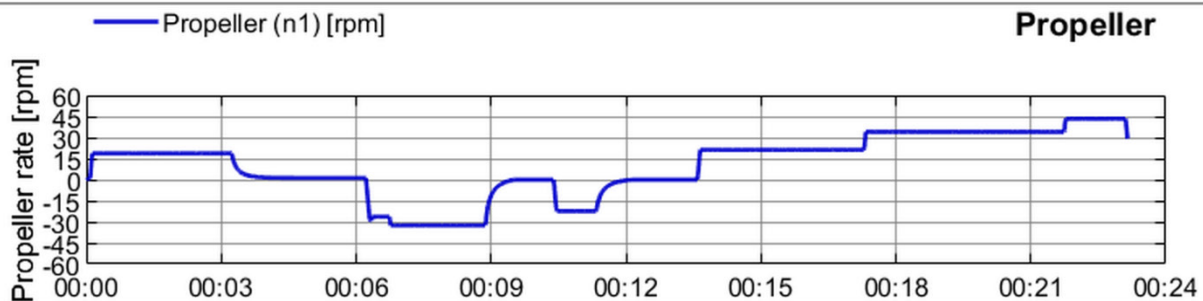
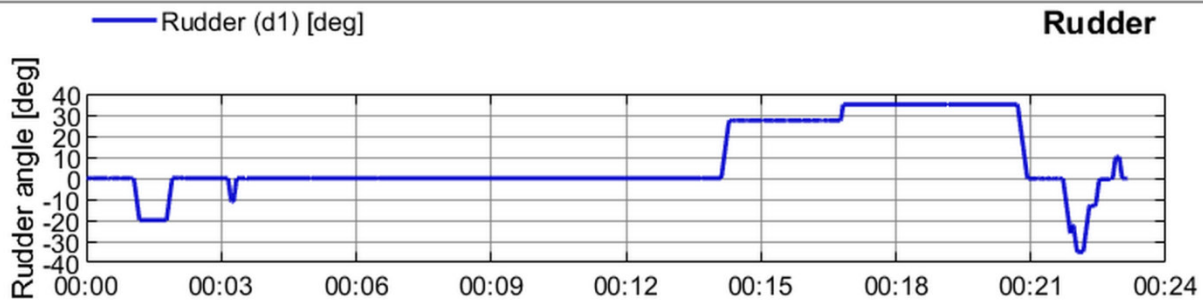
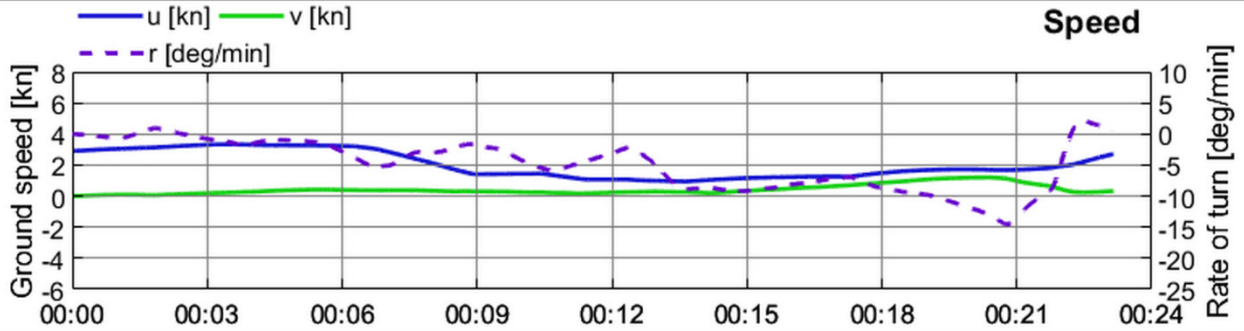
Simulation: Duplex 20

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



Parameters: Environmental conditions

con400 615 131: $L_{OA} = 400$ m; $B = 61.5$ m; $T = 13.1$ m Tugs: 80tons (#1), 80tons (#2), 80tons (#3)

Wind: NW5

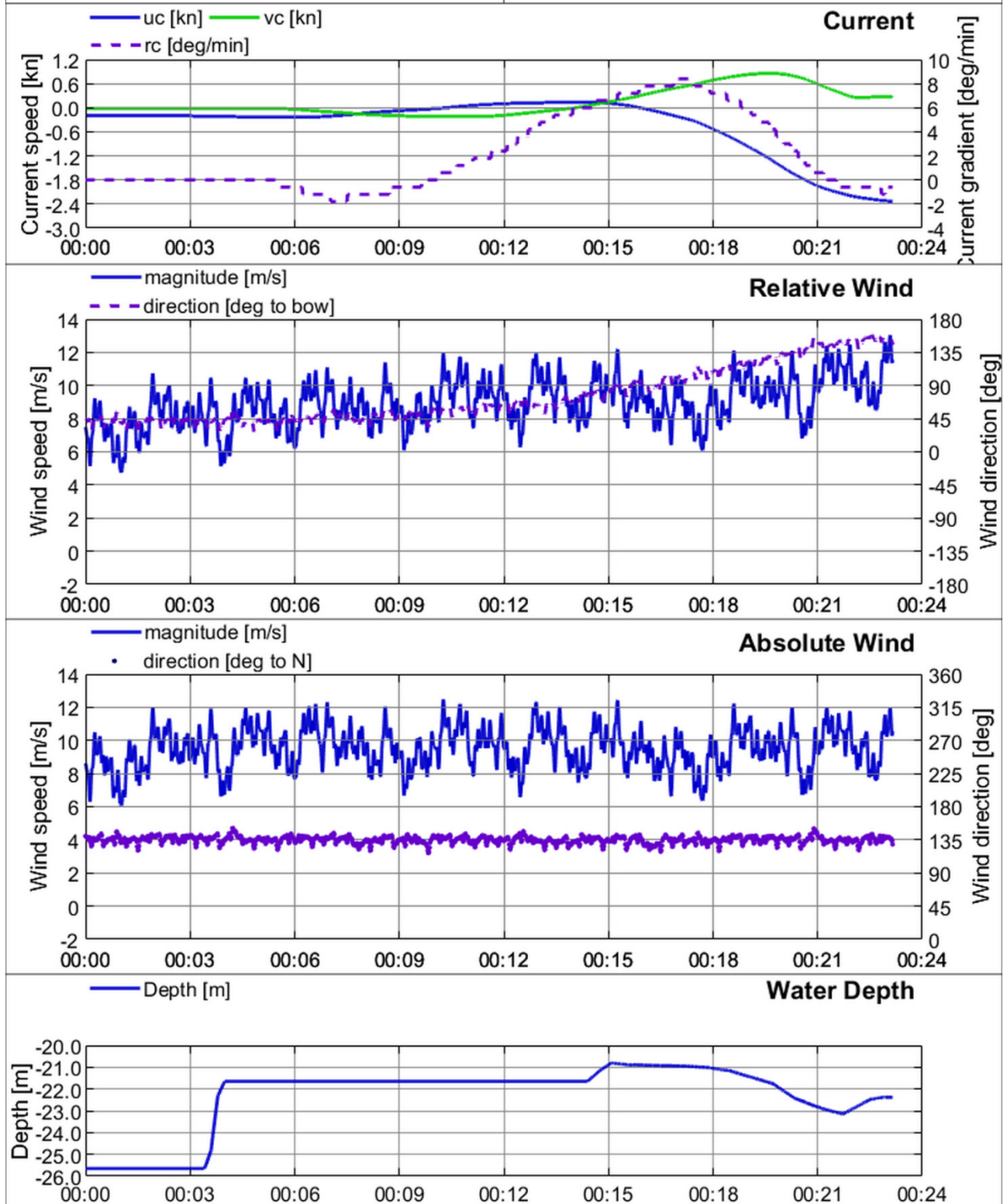
Simulation: Duplex 20

Current: Flood Spring tide

Date: 06/09/2021

Moored

Project: CP ECA



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