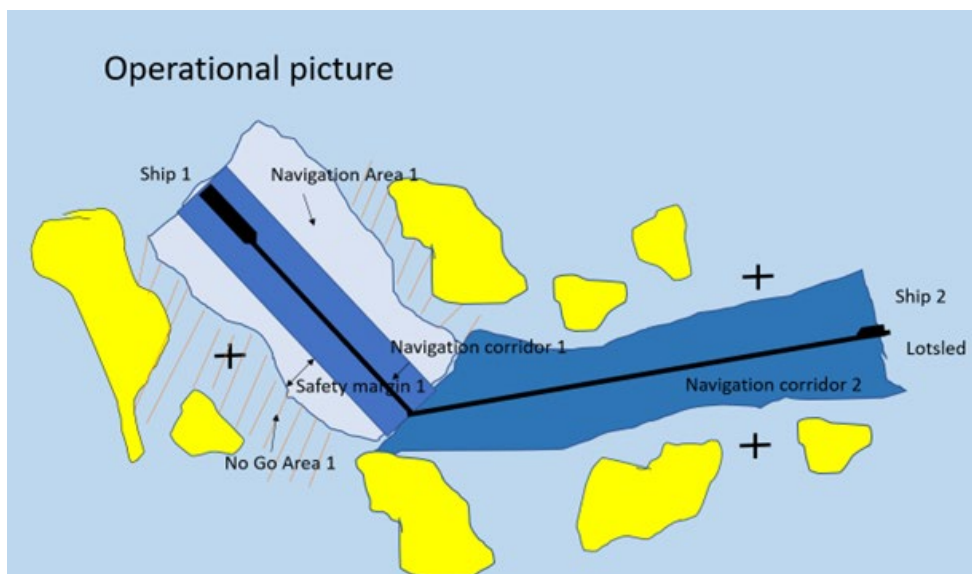




RI. SE

MARITIM
MARITIM SYSTEM
INNOVATION



Förutsättningar för framtidens farleder - Slutrapport

Redaktör: Joakim Lundman

RISE Rapport : P116207 - TRV2022/33 343



SJÖFARTSVERKET

SEAMADE
SENIOR ADVISORS IN MARITIME DEVELOPMENT

CHALMERS

**RI.
SE**

Research
Institutes
of Sweden

Förutsättningar för framtidens farleder - Slutrapport

Redaktör: Joakim Lundman

Project funded by:



Projektet har finansierats av Trafikverkets Forskning
och Innovations sjöfartsportfölj

Abstract

Dynamic and connected fairways and routes for a sustainable future

This study has been funded by the Swedish Transport Administration Research and Innovation for maritime matters. It has carried out by RISE Research Institutes of Sweden, Maritime department together with Chalmers University of Technology, department of Mechanics and Maritime and SEAMADE consultancy. The aim has been to present a vision for a Fairway for the future with regards to utilizing a greater degree of digitalization and connectivity that will facilitate a more robust, safe and environmentally sustainable service for shipping infrastructure. It should allow the safe operation of both conventional and various degrees of autonomous ships.

Two visions are presented; one for a near future where ships with existing technology level and equipment can operate and use new services, and one for a future where new technologies for navigational support are more widely available.

Vision 2030 – The connected fairway and route

The first vision focuses on integrating current technologies with new digital solutions. The connected fairway and route is designed to ensure safe navigation for ships with various levels of digitalization.

- **Navigational services:** Traffic management system where the VTS stations will have a larger role in handling and coordinating the anticipated increased amount of traffic and more congested fairways. Remote pilotage is assumed to be common option in low risk areas, reducing the need for physical pilot boardings.
- **Digitalization:** S-100 chart services, such as dynamic sea charts with updated information on actual seawater levels, currents and depths, allowing more efficient route planning and navigation.
- **Virtual aids to navigation:** Virtual AtoNs will add to or replace physical aids to reduce the need for maintenance and improve the flexibility of the fairways.
- **Sustainable AtoN:** Maintenance-free lights and buoys powered by renewable energy, inspections carried out by drones rather than requiring physical visits and equipped with self-diagnostic tools to reduce costs and environmental impacts.
- **Environmental and traffic monitoring:** Sensors and drones are used to measure emissions, underwater radiated noise (URN) and traffic patterns, supporting a transparent and sustainable usage of the fairways.

Vision 2045 – Autonomous and sustainable fairways

Digitalization and automation become key aspects to handle the increased demands for efficiency and sustainability. Important steps include:

- **Autonomous ships:** Vessels with a high degree of automation or fully autonomous are assumed to be common. Virtual aids to navigation and augmented reality (AR) tools are used to communicate real-time information to onboard navigational systems.

- **Dynamic fairways:** The fairways will be adjusted in real time to account for actual states, including for weather, traffic, water levels and ship specific parameters such as draft and manoeuvrability. This will increase safety and optimize the usage of the fairways.
- **Full connectivity:** Seamless communication between shore, ship and fairway objects, such as AtoN, based on 5G/6G and GNSS.
- **Environmental adjustments:** Fairways are designed to minimize underwater radiated noise (URN), improve water quality and to create opportunities for marine ecosystems to thrive. Emissions from ships are continuously monitored and fairway dues are based on the environmental impact.

Dynamic fairways and technological innovations

A key aspect for the connected fairway is the concept of dynamic fairways, allowing the available fairway area to be optimized based on actual circumstances and on the ships conditions. Using simulation software from SEAMADE several scenarios have been studied to test how a dynamic fairway could improve safety, efficiency and reduce emissions to air.

- Vessels with different drafts and size can use the same fairway without compromising on safety.
- Dynamic fairways adjusted in real time to reduce energy consumption and environmental impact.
- Virtual AtoN, enhanced with AR, improve the navigator's situational awareness.
- Alternative routes are analysed to identify possibilities to optimize energy consumption and transport efficiency.

Maintenance and environmental perspective

The Swedish national infrastructure provider SMA Fairway service has created a vision that aims to limit the need for maintenance of fairway infrastructure through technical innovation and digitalization. Maintenance-free AtoN, inspected by drones and self-diagnostics, are assumed to prolong expected the life expectancy of the infrastructure and lower costs.

The environmental aspects are integrated in all parts of the vision. Continuous monitoring of ships emissions and URN is a key part of fairway services. Results are published openly to encourage ship owners and charterers to implement sustainable solutions. It is also assumed that new fuels and propulsion systems, such as electrical or wind assistance, will lower the aggregated climate impact from shipping.

Conclusions and recommendations

Fairways in the future need to be flexible, meet high technical requirements and be environmentally friendly. In order to meet these requirements, the following is needed:

1. **Introduction of dynamic fairways:** Real-time optimization of the available area for manoeuvring to increase safety and efficiency.
2. **Implementation of digital infrastructure:** S-100 sea chart services and full connectivity between ships and shore centres.

3. **Focus on sustainability:** Reduced emissions, environmental impact and adjusting for climate changes.
4. **Support for autonomous ships:** Fairway infrastructure needs to be able to accommodate ships with various degrees of automation.

Future steps in the process include further simulations in realistic environments and increased cooperation between industry, authorities and research institutions to implement the vision of the connected fairway. Sea traffic management

Key words: Connected fairways, Intelligent shipping, Autonomous shipping, Virtual Aids to navigation, Dynamic fairways, Sustainable shipping,

Dynamiska farleder, intelligenta sjömärken, virtuella farleder, autonom sjöfart, smarta farleden, framtidens sjövägar, hållbar sjöfart, smarta fartyget,

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport : P116207 - TRV2022/33 343

ISBN:

Innehåll

Abstract.....	2
Innehåll.....	5
Sammanfattning	7
1 Om studien.....	10
1.1 Bakgrund	10
1.2 Syfte och mål	10
1.3 Metod och genomförande.....	11
1.4 Rapportens uppbyggnad	12
1.5 Förkortningar	12
2 Visionen för framtidens farleder.....	14
2.1.1 Framtidsutsikt 2030.....	15
2.1.2 Vision 2030 - Den Smarta farleden.....	16
2.1.3 Framtidsutsikt 2045.....	17
2.1.4 Vision 2045 – Autonom och hållbar framdrift	18
2.2 Vision 2030	19
2.2.1 Navigationstjänster 2030	19
2.2.2 Datalänkar och IT 2030	20
2.2.3 Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar 2030	21
2.2.4 Trafik och miljöövervakning 2030.....	21
2.2.5 Robusta farvatten 2030.....	22
2.3 Vision 2045.....	24
2.3.1 Farledstjänster 2045	24
2.3.2 Dynamiska farvatten 2045	25
2.3.3 Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar 2045.....	26
2.3.4 Hållbar sjötransport 2045.....	27
2.3.5 Autonoma fartyg 2045.....	27
3 Den dynamiska farleden	29
3.1 Syfte med desktop simuleringar.....	30
3.2 Resultat.....	31
3.2.1 Alternativa rutter.....	31
3.2.2 Dynamisk farledsyta.....	33
3.2.3 Bränsleförbrukning	33
3.2.4 Strömmens inflytande	34
3.2.5 Säkerhetsindex	35
3.2.6 Utnyttjande av farleden.....	35

3.2.7	Dynamisk farleds påverkan från vind och ström	37
4	Den uppkopplade farleden	38
4.1	Den dynamiska farleden.....	38
4.1.1	Nya S-100 Produkter	39
4.1.2	Kommunikation för framtidens sjöfart och farleder.....	40
4.1.3	Simulatorstudie	41
4.1.4	Operationellt koncept.....	43
4.2	Funktioner för den uppkopplade farleden	45
4.2.1	Sjömärken.....	45
4.2.2	Sensorer.....	46
4.2.3	Beslutsstödsystem	46
4.2.4	Landtjänster	46
4.3	Analys av robusthet	47
4.3.1	Kommunikation.....	47
4.3.2	GNSS.....	47
4.3.3	Navigation	48
4.3.4	Radar med ARPA och dopplerfunktion.....	48
5	Den underhållsfria och miljövänliga farleden	50
5.1	Vision för Farledsunderhåll 2030	50
5.2	Vision för nytt systematiskt underhållsarbete	50
5.2.1	Inspektion av flytande sjösäkerhetsanordningar.....	51
5.2.2	Tillsyn av flytande sjösäkerhetsanordning.....	52
5.2.3	Inspektion av fyrar	52
5.2.4	Tillsyn av fyrar	53
5.2.5	Inspektion av övriga fasta anordningar	53
5.2.6	Tillsyn av övriga fasta anordningar	53
5.3	Program för Vision Underhåll 2030	54
6	Summering och nästa steg	55
6.1	Slutsatser	55
6.2	Nästa steg	56
6.2.1	Dynamiska farleden.....	56
6.2.2	Kommunikation och positionering	56
Bilagor:		59
	Bilaga 1: Visionen för framtidens sjövägar	59
	Bilaga 2: Den dynamiska farleden – summerande rapport och fem delrapporter	59
	Bilaga 3: Delrapport – Den underhållsfria och miljövänliga farleden	59
	Bilaga 4: S-100 översikt av nya standarder för elektroniska sjökort.....	59

Sammanfattning

RISE har i samarbete med Sjöfartsverket, Chalmers tekniska högskola och SEAMADE, undersökt kraven och formulerat visioner för framtidens farleder i en tid präglad av snabb teknologisk utveckling, digitalisering och ökade krav på hållbarhet. Målet är att skapa en robust, säker och miljövänlig transportinfrastruktur som stödjer sjöfarten och kan hantera såväl konventionella som autonoma fartyg i en dynamisk och uppkopplad miljö.

Två varianter på visioner för framtidens farleder har formulerats, en för en nära framtid där idag existerande fartyg kan nyttja den nya tekniken och en längre fram, där nya stöd för navigationen kan antas finnas installerade ombord i större utsträckning.

Vision 2030 – Smarta farleder

Den första visionen fokuserar på att integrera befintlig teknik med nya digitala lösningar. Den "smarta farleden" är utformad för att säkerställa säker navigering för fartyg med varierande teknologiska nivåer.

- **Navigationstjänster:** Trafikstyrningssystem där VTS tar en central roll för att hantera ökade trafikvolymerna och trängre farvatten. Fjärrstyrda lotsningar förväntas bli vanliga i lågriskscenarier, vilket reducerar behovet av fysiska lotsbordningar.
- **Digitalisering:** S-100-produkter, såsom dynamiska sjökort med uppdaterad information om vattenstånd, strömmar och djup, möjliggör mer effektiv ruttplanering och navigering.
- **Virtuella sjömärken:** Dessa kompletterar eller ersätter fysiska märken för att minska underhållsbehov och förbättra flexibiliteten i farleden.
- **Hållbara sjösäkerhetsanordningar:** Underhållsfria fyrar och bojar som drivs av förnybar energi, inspekteras av drönare och är utrustade med självdiagnostik introduceras för att minska kostnader och miljöpåverkan.
- **Miljö- och trafikövervakning:** Sensorer och drönare används för att mäta utsläpp, undervattensbuller och trafikmönster, vilket stödjer en transparent och hållbar hantering av farlederna.

Vision 2045 – Autonoma och hållbara farleder

I denna vision blir digitalisering och automation centrala för att hantera de ökade kraven på effektivitet och hållbarhet. Viktiga framsteg omfattar:

- **Autonoma fartyg:** Fartyg med hög grad av automation eller full autonomi blir vanliga. Virtuella navigationshjälpmedel och augmented reality (AR) används för att förmedla realtidsinformation till fartygens navigationssystem.
- **Dynamiska farleder:** Farledens utformning anpassas i realtid till aktuella förhållanden, inklusive väder, trafik, vattenstånd och fartygsspecifika parametrar som djupgående och manöverförmåga. Detta ökar säkerheten och optimerar utnyttjandet av farleden.

- **Full uppkoppling:** Ett sömlöst kommunikationssystem mellan land, fartyg och farledsobjekt etableras, där 5G och GNSS spelar en central roll.
- **Miljöanpassningar:** Farledsdesign fokuserar på att minska undervattensbuller, förbättra vattenkvalitet och skapa möjligheter för marina ekosystem att frodas. Utsläpp från fartyg övervakas kontinuerligt, och farledsavgifter kopplas till miljöpåverkan.

Dynamiska farleder och teknologiska innovationer

Ett av de mest framstående koncepten är möjligheterna med dynamiska farleder, där farbara ytor optimeras baserat på rådande omständigheter och fartygens förutsättningar. Genom simuleringar i Seamades *ShipAndFairwaysII*-program har flera scenarier testats för att visa hur dynamiska farleder kan förbättra säkerhet, effektivitet och minskade emissioner till luft.

Resultat från simuleringarna:

- Fartyg med olika djupgående och storlek kan samtidigt använda samma farled utan att kompromissa med säkerheten.
- Dynamiska farledsytor anpassas i realtid för att minska energiförbrukning och miljöpåverkan.
- Virtuella navigationshjälpmedel, förstärkta av AR, förbättrar navigatörernas situationsmedvetenhet.
- Alternativa rutter analyserades för att identifiera möjligheter till optimering av bränsleförbrukning och transporteffektivitet.

Underhåll och miljöperspektiv

Infrastrukturhållaren Sjöfartsverkets Farledsservice har formulerat en vision med ambitionen att minska underhållsbehovet för farledsinfrastruktur genom tekniska innovationer och digitalisering. Underhållsfria sjösäkerhetsanordningar, som inspekteras med hjälp av drönare och självdiagnostik, förväntas förlänga livslängden på infrastrukturen och minska kostnaderna.

Miljöperspektivet är integrerat i alla delar av visionen. Kontinuerlig övervakning av fartygens utsläpp och undervattensbuller är en del av farledens standardfunktioner. Resultaten publiceras öppet för att uppmuntra redare och befraktare att satsa på hållbara lösningar. Dessutom förväntas nya bränslen och framdrivningsmetoder, såsom eldrift och vindassistans, minska sjöfartens totala klimatpåverkan.

Slutsatser och rekommendationer

Framtidens farleder måste vara flexibla, möta höga tekniska behov och miljöanpassade. För att möta dessa krav krävs:

1. **Implementering av dynamiska farleder:** Realtidsoptimering av farledsytor för att öka säkerhet och effektivitet.
2. **Utbyggnad av digital infrastruktur:** S-100-standarder och full uppkoppling mellan fartyg och landcentraler.

3. **Hållbarhet i fokus:** Reducerade utsläpp, minskad miljöpåverkan och anpassning till klimatförändringar.
4. **Stöd för autonoma fartyg:** Farledsinfrastrukturen måste kunna hantera fartyg med varierande grader av automation.

Nästa steg innefattar ytterligare simuleringar, tester av tekniska lösningar i verkliga miljöer och ökat samarbete mellan industri, myndigheter och forskningsinstitut för att förverkliga visionen om framtidens farleder.

1 Om studien

1.1 Bakgrund

Arbete görs nu internationellt och i Sverige för att dra nytta av digitalisering och automation inom transportsektorn och här ligger Sverige långt framme. Sverige deltar aktivt i det internationella arbetet inom IMO, för Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). MASS diskuteras nu internationellt även i samband med hamn (PortMass), geografiska data IHO och inom IALA. Lighthouse har skapat en fokusgrupp för ”smarta fartyg” som är början på ett svenskt kluster kopplat till området smarta fartyg. Svensk industri har visat stort intresse både för området och detta nätverk.

Studien syftar till att analysera vilka krav på farleder som kan uppkomma för; traditionell trafik kopplat till nya navigationstjänster, blandning av traditionella fartyg och mer autonoma fartyg eller fartyg som styrs via fjärrstyrning. Andra farledsfunktioner så som virtuella sjömärken, positioneringsteknik, vilka sjögeografiska data som bör användas och ”geo fencing” som del i den övergripande säkerhetskedjan och en mer dynamisk farled. Dessutom finns anledning att utreda hur dessa nya farledsfunktioner kan opereras med ett effektivt och lågt underhåll.

Projektet har finansierats med medel från Trafikverkets Forsknings och innovationsportfölj för sjöfart och det har letts av RISE Research Institutes of Sweden, avdelning Maritim, och genomförts tillsammans med Sjöfartsverket Forskning och Innovation och Farledsservice, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Mekaniska och Maritima vetenskaper och konsultföretaget SEAMADE.

1.2 Syfte och mål

Denna studie är en direkt fortsättning på projektet TrV 2019/29782 ”Simulatorbaserat riskidentifiering för autonom fartygstrafik”, med syftet att identifiera risker relaterade till en mer autonom sjöfart. En av utkomsterna av projektet är att farlederna kommer vara nyckelelement i den framtida säkerhetskedjan. Säkerhetsmarginalerna i farleden är mycket viktiga för att ett Vessel Traffic Service (VTS) center, ett fjärrkontroll center eller ett fartyg med hög grad av autonomitet (A2 och A3 i MSC 100/5/6) hinner agera på en farlig händelseutveckling och att genomföra korrigerande åtgärder. Även nya funktioner i farleden kan påverka säkerhetsmarginalerna. Vidare i Trafikverkets FoI plan 2021-2026 / Sjöfart är ett målområde: ”demonstration av uppkopplad och dynamisk farledsinfrastruktur med begränsat underhållsbehov”.

Studien syftar till att ge en vision för framtidens farled och analysera denna med avseende på nya krav som kan uppkomma för; traditionell trafik kopplat till nya navigationstjänster, blandning av traditionella fartyg och mer autonoma fartyg eller fartyg som styrs via fjärrstyrning. Vidare analyseras även andra farledsfunktioner så som virtuella sjömärken, positioneringsteknik, sjögeografiska data och ”geo fencing” som del i den övergripande säkerhetskedjan och en mer dynamisk farled som kan vara unik för

respektive fartyg under en viss tid. När man tittar på farledsfunktioner behöver robustheten i systemen beaktas. Även miljöaspekter för framtidens farled behöver analyseras. Dessutom undersöks hur dessa nya farledsfunktioner kan opereras med ett effektivt och lågt underhåll.

Målet med projektet har varit att studera utformningen av framtidens farled vilken skall kunna användas av fartyg med olika grad av autonomitet, men med dagens säkerhetsnivå. Infrastrukturen kopplad till farleden skall ha litet underhåll för att hålla nere kostnader.

Det övergripande målet kan brytas ner i följande delmål:

1. Skapa en framåtriktad vision för framtidens farled som är robust, miljövänlig samt en del av säkerhetskedjan.
2. Presentera nya krav på framtidens uppkopplade och dynamiska farled.
3. Identifiering av nya funktioner kopplat till framtidens uppkopplade och dynamiska farled.
4. Beskriva ett underhållskoncept för framtidens uppkopplade och dynamiska farled.

1.3 Metod och genomförande

Inom ramen för projektet har en vision för framtidens farled tagits fram av RISE med stöd av övriga projektparter. Den har legat till grund för att ensa projektets arbete och för konkretisera analyser. Utifrån den har simuleringarna planerats och olika use cases har definierats med olika kombinationer av traditionella fartyg och fartyg med högre grad av automation och fjärrkontroll. Genom Seamades simulatorstudie har nödvändiga säkerhetsmarginaler identifierats i en typisk farled. I simuleringarna användes autonoma fartyg, fartyg under fjärrkontroll och konventionella fartyg. Säkerhetsmarginalerna beror på en kombination av det specifika fartyget i relation till farledens komplexitet.

Det finns även andra åtgärder än själva farledsdragningen som kan öka säkerheten. Hit kan räknas en mer uppkopplad farled bestående av virtuella sjömärken, positioneringsteknik, användning av de kommande sjögeografiska S-100 produkterna för att uppnå mer dynamiska farleder och "geo-fencing" funktioner. I en mer uppkopplad farled kommunicerar fartyget med fysiska eller virtuella objekt eller utnyttjar andra typer av digitala tjänster. Digitalisering och tillgång till de kommande nya standarderna för digitala sjökort. S-100 produkterna; S-101 (ENC), S-102 (djupdata), S-104 (vattenstånd) och S-111 (ytvattenströmmar) kan bidra till detta.

En viktig aspekt för framtidens farled är ett kostnadseffektivt underhåll. Detta har Sjöfartsverket formulerat i en vision för den underhållsfria och miljövänliga farleden.

1.4 Rapportens uppbyggnad

Studien har utmynnat i fyra delrapporter utifrån fyra utgångspunkter:

1. Vision för framtidens farled – basen för övriga delar. Hur kan framtidens farled se ut? Dels inom närtid, här 2030, dvs när existerande fartyg fortfarande förväntas kunna navigera i farleden. Dels längre fram i tiden när ny teknik kan förväntas ha slagit igenom på bred front och infrastrukturen inte behöver ta hänsyn till äldre fartyg i samma utsträckning.
2. Den dynamiska farleden – inklusive desktopsimuleringar
3. Den uppkopplade farleden – med nya exempel på nya tjänster och funktioner och behov av robusta system. Full mission simulatorstudie för en dynamisk farled.
4. Den underhållsfria och miljövänliga farleden.

Utkomsten från dessa rapporter presenteras i kondenserad form i varsitt kapitel och utkomsterna summeras tillsammans med rekommendationer i det sista kapitlet.

Visionen och delrapporterna för övriga delar finns med i sina helheter som bilagor till denna rapport tillsammans med en översikt över den kommande standarden för elektroniska sjökort, S-100.

1.5 Förkortningar

AI	Artificial Intelligence
AIS	Automatic Identification System
AR	Augmented reality
ARPA	Automatic Radar plotting Aid
CCS	Carbon Capture
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
ENC	Electronic Navigation Chart
FAL	Convention on Facilitation of International Maritime Traffic
FMCW	Frequency-modulated continuous-wave radar
Fol	Forskning och Innovation
GHG	Green House Gases
GMDSS	Global maritime distress and safety system
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Service
IALA	International Association of Lighthouse Associations
IHO	International Hydrographical Organization
IMO	International Maritime Organisation
INS	Inertial Navigation System
IP	Internet Protocol
HMI	Human Machine Interface
JIT	Just in Time
LEO	Low Earth Orbit satellite
LoraWAN	Long Range Wide Area Network

MASS	Maritime Autonomous Surface Ships
MCP	Maritime Connectivity Platform
MF/HF	Medium- /High frequency radio
ML	Maskininläring
MSC	IMO Maritime Safety Committee
MSW	Maritime Single Window
NMSW	National Maritime Single Window
NM	Nautisk mil (1852m)
NSA	Navigational Support from Ashore
PLB	Personal Locator Beacon
PNT	Positionering, navigering och tidssättning
PPU	Portable Pilot Unit
Racon	Radar transponder beacon
RTK	Real Time Kinetic (postionering)
SAR	Search and Rescue
SOLAS	Safety of Lives at Sea convention 1978
SOLAS Fartyg	Fartyg som omfattas av SOLAS
SSA	Sjösäkerhetsanordning
UAS	Unmanned Arial System
UAV	Unmanned Arial Vehicle
UKC	Under Keel Clearance
URN	Underwater Radiated Noise
VDES	VHF Data Exchange System
VTs	Vessel Traffic Service

2 Visionen för framtidens farleder

”Framtidens sjövägar förväntas utvecklas mot en kollaborativ, säker och robust infrastruktur för sjötransport. Genom att utveckla dynamiskt anpassade och intelligenta sjövägar som stödjer hållbar framdrift, optimerat godsflödet samt främjar en ökad autonomi.”

Nedan följer en kondenserad version av visionsförslaget för framtidens sjövägar. Visionen utgår från två perspektiv; ett där dagens fartyg med befintlig teknisk utrustning ombord skall kunna operera säkert, men ändå dra nytta av nya digitala stödfunktioner. Denna benämns vision för år 2030. Det andra ligger längre fram i tiden när ny teknik och en större grad av digitalisering medger att farlederna kan anpassas fullt ut för att ge digitala stöd. Denna benämns istället för år 2045.

Först görs ett antal antaganden på olika händelser och införandet av nya teknologier och olika styrningar som tillsammans bildar en framtidsspaning för år 2030 respektive år 2045. De enskilda händelserna och årtalen är inte det primära utan det är för att måla upp i vilken kontext den framtida uppkopplade farleden kan finnas. Därefter kommer en översikt över hur fem olika områden kan ha förändrats till respektive målar.

2.1.1 Framtidsutsikt 2030

2024

- Tester för autonoma och foilande passagerarfärjor i urbana miljöer initieras (Candela, 2023)
- Politiska omvärldsläget driver satsningar på totalförsvaret (FOI, 2023)
- IMO krav träder i kraft på digital datadelning vid hamnanlöp världen över (IMO, 2023)
- Trenden för priser för hög data bandbredd är nedåtgående (Euroconsult, 2023)
- Sjöfartsveket implementerar nytt VTS system som är förberett för m2m kommunikation och trafikstyrning (SjöV 2020)
- Sjöfartsinvestering 11 miljarder kronor mellan 2022-2033 (Nationell plan, 2022)

2025

- El-konverteringar ökar kraftigt inom inrikessjöfarten (Trafikanalys, 2022)
- Fartygs ECDIS skall kunna visualisera och stödja S-100 produkter i ECDIS (NCSR, 2023)
- ECDIS får ett standardiserat API att utbyta S-100 produkter [SECOM] vilket möjliggör delande och utbyte av färdplan och dess tillhörande fartprofil (IMO, 2023)
- För civila sjöfarten utprövas nya sensorer, så som civila tillämpningar av AESA radar, för långt större noggrannhet och uppdateringsfrekvens i landbaserad övervakning (Projektuppskattning)

2026

- De första fastvingsegelassisterat fartyg börjar segla (Orcelle wind, 2023)
- Skandiaporten invigs (Sjöfartsverket, 2022)
- IMO E-Navi Strategi ökat standardisering och harmonisering av navigations utrustning (MSC, 2018)
- Navigationsstöd från land ersätter vissa lotsningar under rätt förutsättningar (Sjöfartsverket, 2022)
- Mer detaljerad KC segling tillåts i Sveriges farleder under förutsättning att landbaserad övervakning kan ske och att fartygen delar adekvat data. (Projektuppskattning)
- Nationell trafikslagsövergripande plan för transportinfrastrukturen revideras för att innehålla sensor och uppkopplingsstöd i Sveriges farleder (SjöV, 2023)

2027

- Malmporten djuphamn invigs (Malmporten, 2023)
- Isbrytare som kan köra fossilfritt tas i drift (*Altinget*, 2023)
- Sjökort: S-10X Högupplöst bottengeometri (Sjöfartsverket, 2023)
- UAS för sjötrafikövervakning och nautisk rådgivning testas med potential att ersätta viss fast infrastruktur (Projektuppskattning)
- JIT rutiner för anløp och avgångar i Sveriges största hamnar finns i drift för ökad effektivitet av sjötransporter samt ökad sjösäkerhet (Projektuppskattning, SjöV 2023)

2028

- Autonoma urbana passagerarfärjor tas i drift (Projektuppskattning)
- Vingsegelfartyg i internationell reguljär trafik (Projektuppskattning)
- Satellitkonstellation i låg omloppsbanan möjliggör lågkostnadsinternet globalt (Huawei, 2023)
- Små modulära reaktorer når social acceptans och nyttjas i allt större utsträckning i Europa (SKS, 2023)
- Solid-State och Li-O batterier med en energitäthet som direkt tävlar med diesel finns tillgängliga på marknaden (CATL 2023)
- Vissa av Sveriges TEN-T farleder utrustas med full 5G, RADAR och andra elektropiska sensorer (Projektuppskattning)

2029

- Största delen av internationella fartygsanløp kopplas upp med landstöm (Projektuppskattning)
- Bränslemix med diversifierad användning av gröna bränslen ersatt den homogena bränslemix som vi ser idag (Projektuppskattning)
- Multi-fuel fartygsmaskiner möjliggör stor flexibilitet i val av bränsle (Projektuppskattning)
- Automatiska förtöjningssystem installerade i alla större hamnar (Projektuppskattning)
- Navigationsstöd från land ersätter vissa fysiska lotsningar samt möjliggör flexibla bordaningspunkter
- Sjöfartsverket VTS centraler i Göteborg och Stockholm arbetar aktivt tillsammans med hamnar i anløpskoordinering på en ny nivå
- Fartygens bandbreddsanvändning förväntas växa tjugofalt i jämförelse med 2022 (Euroconsult, 2023)

2030

- El-drift är den dominerande framdriftstypen för inrikes fartyg och hamnmaskiner (Projektuppskattning)
- Inrikestransport: växthusgasutsläppen minskat med 70% i jämförelse med 2010 (Regeringsmål, 2023)
- Regeringens mål: Antalet omkomna ska halveras inom sjöfarten i jämförelse med 2010 (Regeringsmål, 2023)
- IMO GHG 2030 reduceringsmål uppfylla och på god väg mot målet för 2050 (IMO, 2023)
- Internet integrerat sömlöst mellan Rymd-Luft-Land som förväntas att ansluta alla transportmedel (Huawei, 2023)
- LEO satellitkonstellationer står för en stor del av bredbandig data till och från fartygen (Starlink 2023, One Web 2023)
- De första kommersiella försöken med autonom transocean trafik görs utanför labmiljö (MSC Singapore Maritime Week, 2023)

2.1.2 Vision 2030 - Den Smarta farleden

Den smarta farleden utgår från att fartyg med existerande teknik ombord skall fortsatt kunna segla i farlederna. Förändringarna som föreslås sker främst på farleders infrastruktur och tjänsteutbudet.



Navigationstjänster

- VTS styr trafiken med instruktioner inom allt mera reglerade vattenområden
- Navigationsstöd från land erbjuds i 40% av lotsfarlederna
- ECDIS S-100 produktutbudet dynamiska lager har förbättrat ruttplanering, navigationsvarningar och farleder utnyttjar farledsutrymmet mer effektivt
- Autonom/fjärrstyrda övervakningsdrönare tas i drift runtom svenska kusten
- Dynamiska fartområden har utökat transportmarknaden för småtonnage i Norden
- Möjligheten att detaljbevaka vissa anlöp med UAS för ökad SA i landcentral är etablerad.



Datalänkar och IT

- Transparent datadelning medför en konkurrenskraftig marknad och ökad effektivitet
- Internet är den primära datalänken och klassas som operationskritisk
- 5G etablerade i alla farleder och klassat som ett operationskritiskt nätverk
- VDES möjliggör AIS-spårning på global nivå och som redundanta datalänk till fartygen
- Rutt och tidsplanering delas mellan agenter i hamnanlöpet (STM)



Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar

- Positions kontroll och inspektion av sjömärken utförs med drönare
- Underhållscykel och personalbesök för sjösäkerhetsanordningar i medeltal 5år, detta har möjliggjorts genom nya material och lokal energitillverkning samt självdiagnostiseringsförmåga
- Sjömärken optimerade för perceptionssensorer tas i drift runt de större hamnarna
- Utökad användning av virtuell utmärkning, information och varningar
- ML/AI och digital twin modell hjälper infrastruktursplanering och optimering



Trafik och miljöövervakning

- Mätstationer vid farleden mäter utsläpp och föroreningar både över och under ytan som rapporteras publikt likt en hamnstatskontroll
- Fordonsensorer som anpassats till sjöfarten har möjliggjort trafikanalys och kortdistansövervakning i kustområden och hamnar
- Trafikanalys av fritidsbåtar har möjliggjort optimering av småbåtsleder vilket leder till säkrare och minskad miljöpåverkan i skärgårdstrafiken
- Isbrytare nyttjar drönare och ML/AI modeller hjälper att underlätta is-navigering och anpassa is-rutter för minimerad energikonsumtion



Robusta farvatten

- GNSS backup INS (Inertial Navigation System) krävs på fartyg som anlöper Sverige
- Nödprocedurer i högriskområden standardiseras till en högre grad
- Fartygsanpassade säkerhetsmarginaler
- Högupplösta kartor och annan dynamisk information publiceras i S-100 format
- Myndigheter övervakar aktivt störningar i positions- och kommunikationsnätverk och distribuerar varningar genom riktade låglatens informationskanaler

2.1.3 Framtidsutsikt 2045

2035

- Autonom urbana passagerarfärjor är det nya normala
- Övergångar mot hybridvarianter bio-gas/hydrogen, solenergi och kärnkraft
- Föreskrifter som begränsar undervattensbuller träder i kraft
- "Arctic shipping lanes open" isfria rutter under sommarmånader i Arktis
- Obemannade bryggor är de nya normala vid lågrisknavigering
- E-certifikat för fartyg och besättning är standardiserat
- Nationell Plan 2026 - 2038 har möjliggjort sensorutbyggnad för redundant och precis övervakning, kommunikation och positionering i samtliga svenska farleder
- Kostnadsfrågan för dataöverföring är förpassad till förra decenniet, Maritima 6G lösningar samt LEO konstellationer har gjort att datatrafik till havs nått kostnadsparitet med landsidan

2040

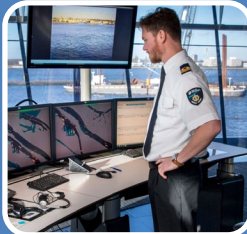
- Vingseglande fartyg trafikerar på oceangående handelsrutter
- Container och tankterminaler världen över är fullt automatiserade
- Ett brett utbud av specialkompetenser lättillgänglig via fjärrsupport
- Autonom inrikessjöfart är på kraftig uppgång och avlastar järnväg och vägtrafik till en klimatneutral sjötransport
- Batterier teknologin är kommersiellt gångbara och möjliggör elektrifierade oceangående fartyg
- Drastisk nedgång i transport av olja och kol pga dess klimatpåverkan och internationella mål om minskat användande av fossilenergi påverkar världens handelsflotta och minskar den totala bruttodräktigheten markant.
- En lång rad satellitkonstellationer, svävande sensorplattformar [UAS] och landbaserade system ger en komplett, redundant och precis realtidsbild över fartygstransporter i svensk ekonomisk zon

2045

- Klimatneutralt Sverige
- IMO GHG mål 2050 på god väg
- Första internationella handelsrutten trafikerad av autonoma fartyg tas i drift
- Oceangående fartyg använder små modulära reaktorer som framdrift
- **Kraftigt minskad fartygstrafik** pga obefintliga transporter av olja, kol och gas samt dess derivat, adaptiv tillverkning har möjliggjort närproducerade produkter på en oädlad nivå, Kina och Asien är ej längre "världens tillverkningsnod", Autonoma eldrivna lastbilar tagit över transporter inom samma kontinent, minskande och åldrande befolkning har för första gången i världshistorien börjat krympa världens konsumtion vilket minskar behovet av transporter. Kryssningsupplevelsen ej längre attraktiv då VR och klimatförändringar gjort många av resmålen oattraktiva eller "redan upplevda" genom digitala medel. Transporter av CO2 som av många trodde skulle ersätta transporter av fossila produkter har uteblivit, elektrifieringen har helt slagit undan fossila bränslen. den CCS som görs sker i anslutning till lagringsplatser genom direct air carbon capture då SMR och fusion gjort den tekniken försvarbar.
- **Kraftigt ökande fartygstrafik** genom att autonoma och fjärrmanövrerade fartyg, stora som små, börjar få genomslag, detta tillsammans med en massiv digitalisering av sjötransportsystemet och minskad komplexitet i anslutning genom stöttning från land vilket tillsammans möjliggjort predikterbarhet, on-demand transporter och enkelhet i hamnar och på mindre lastarplatser för lastning, lossning och omlastning. Autonom system i land som sköter lossning och lastning har gjort även mindre hubbar tillgängliga för sjötransporter. IMO:s och EU:s regelverk om sömlös digital rapportering har även den bidragit till en massiv ökning av sjötrafiken, att frakta en artikel med båt börjar bli lika skalbart och enkelt som att beställa en Uber taxi 2020

2.1.4 Vision 2045 – Autonom och hållbar framdrift

Fartyg i operationell drift med mycket hög automationsnivå med obemannade bryggor och maskinrum och vissa fartygstyper helt autonoma både inom lastoperationer och navigering. Mindre drönare rör sig runt kustbandet. Sjöfarten har stränga hållbarhetskrav.



Farledstjänster

- VTS tjänsten använder nya trafikstyrningsmodeller pga den ökade trafikmängden och allt mer begränsade farvatten som konvojer, tidsallokerade transits
- Navigationsstöd från land erbjuds i 100% av lotsfarlederna
- Remote pilotage erbjuds för autonoma farkoster
- ECDIS S-100 produktutbudet ökar med dynamiska lager med korta uppdateringsintervaller
- Svenska kusten patrulleras av mindre autonom/fjärrstyrda övervakningsdrönare
- Trafikstyrningen utförs med slotplanering och tidsgarantier för "just in time" som valideras från land av tredje part



Dynamiska farvatten

- Dynamiska farledens säkerhetsmarginaler optimeras enligt rådande omständigheter och för enskilt fartyg
- Virtuella sjömärken och dynamisk operationskritisk data presenteras genom augmented reality (AR)
- Full transparens mellan operativa agenter i transportkedjan har minskat utsläppen och effektiviserat logistiken
- Sjökortsinformationen uppdateras i realtid där ruttplanering med säkerhetsmarginal optimeras
- Fartygs navigationsfel är obefintlig



Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar

- Underhållscykel och personalbesök för sjösäkerhetsanordningar är i medeltal 10år
- Sjömärken anpassas till en större grad för perceptionssensorer och assisterar sensorkalibrering
- Virtuella sjömärken och varningar är det nya normala
- Digitaliserade enslinjer som både är en visuell referens för navigatörer, dag som natt, och såväl optimerade för digitala perceptionssystem



Hållbar sjötransport

- Observationspunkter vid farleden som mäter utsläpp både över och under ytan som rapporteras publikt samt bidrar till utökade väderobservationer
- Småbåtstrafiken: högre krav på utbildning även hos fritidsfarkoster
- Hållbara bränslen nyttjas och fossilbaserade produkter urfasade
- Infrastrukturprojekt som reducerar ljudföroreningar i vattnet realiseras



Autonoma fartyg

- Antalet obemannade fartyg har ökat kraftigt
- INS (Inertial Navigation System) utvecklingen har möjliggjort att fartyg kan segla i veckor på intern dödräckning
- GNSS positionering ger sub-centimeters noggrannhet världen över
- Nödprocedurer och standardisering i farlederna. sjöräddningsdrönare i standby för snabba insatser
- Höghastighets internetuppkoppling mellan alla fartyg och landcentraler är nu den primära datalänken
- Decentraliserad anti-kollisions system
- Lokala myndigheter kan ta över kontrollen samt lägga fartyget i "safe mode"

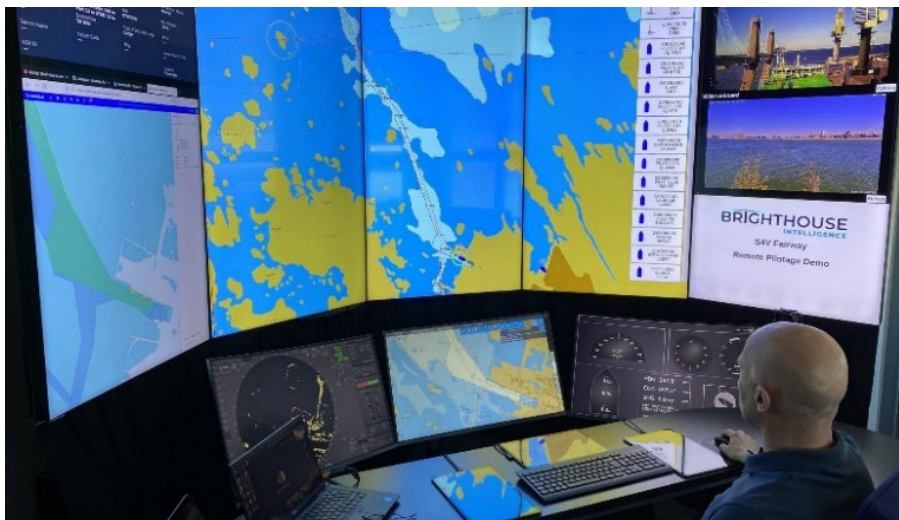
2.2 Vision 2030

2.2.1 Navigationstjänster 2030

Det är troligt att VTS kommer ta en ledande och mer styrande roll inom trafikstyrning i och i Sverige i samarbete med landbaserade lotsar som är engagerade i navigationsstöd från land, kustbevakning och sjöräddningscentraler. Detta drivs fram av bland annat av framtidens ökade trafikvolymmer och trängre farvatten, när havs- och vindkraftsparker, miljö- och skyddszoner växer. Genom mer avancerade trafikövervakningsmodeller och utökad övervakning upptäcks felnavigering och onormala aktiviteter snabbare.

Det geopolitiska läget driver ett behov av ökad sjötrafikövervakning. Nästa generation trafikövervakning hos VTS eller myndigheter har nya AI/ML verktyg som assisterar i trafikövervakningen och genererar förslag på åtgärder för att bibehålla en hög säkerhet och minimera miljöpåverkan. Systemet har utökad informationsintegrering bl.a. från flygande drönare och utökade observationssensorer i skärgården i jämförelse med dagens system.

Navigationsstöd från land erbjuds i 40% av lotslederna, och tillåts primärt på lågrisksanlöp. Tjänsten erbjuds för hela vistelsen genom att assistansen koordineras hela sträckan mellan lotsstation och kaj och nyttjar flertalet landbaserade övervakningssystem som ger insikter över den operationella statusen på fartyget och omgivningen. Detta bidrar till minskade led- och ställtider till och från kaj som effektiviserar hela hamnanlöpet.



Figur 1 Landcentralssimulator, AMROC Aboa Mare Autonomous Vessel Remote Operation Center (Brighthouse, 2021).

S-100 standard och produkter har underlättat och utökad informationsdelning från VTS, navigationsstöd och vädertjänster som nu kan nyttjas direkt i fartygets ECDIS. Detta skapar en större situationsmedvetenhet och utökad ruttplaneringsoptimering och noggrannhet.

Dynamiska fartområden, beskrivet i förstudierapport [Dynamiska fartområden och IVV-zoner](#) (RISE; 2023), har möjliggjort att mindre tonnage kan få lov att röra sig mellan de nordiska länderna under förutsättningen att väderförhållanden är gynnsamma och prognoserna anses pålitliga. Detta öppnar upp för fler alternativ till handel under en större del av året för även mindre tonnage.

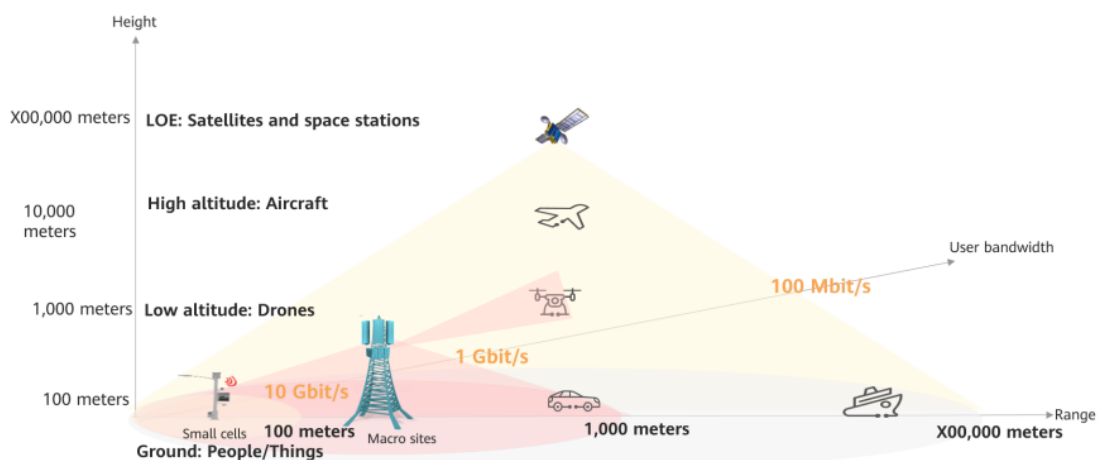
2.2.2 Datalänkar och IT 2030

En myndighet utses för att ta ansvar för insamling och distribution av operativa data från logistiknätverk enligt öppna dataramverk för att förbättra informationsdelning och digitalt samarbete mellan agenter i logistiknätverk, tullförvaltningar och andra statliga myndigheter. Detta medför en transparent och konkurrenskraftig marknad med minimerad administrationsbörda. Initiativet drivs för att underlätta handeln inom EU.

Förbättrad estimering och tidshållning förväntas iterativt växa fram av detta mer transparenta förhållningssätt genom förbättrad AIS uppkoppling och informationsutbyte mellan land och fartyg. Primärt finns potential för reducerade väntetider till kaj kan om information och status om volymflöden och andra planerade tjänster mellan landsidan och fartyg delas till samtliga aktörer som behövs för koordinering av sjötransport.

Yrkes- och fritidsfartyg kan med minimal ansträngning bidra med väder och operationella data till riksomfattande databaser som assisterar utvecklingen av bland annat noggrannare väderprognoser och underlag för infrastrukturprojekt.

Internetbaserad kommunikation är den primära datalänken genom ett så kallat "Cubic broadband network" där systemet alltid strävar till att använda den bästa tillgängliga datalänksuppkopplingen. Detta betyder att kommunikationen skiftas mellan satellit, telemaster och andra datanätverk beroende på tillgänglighet, och betyder att fartygen kommer vara bättre uppkopplade mot internet och möjliggöra flertal fjärrtjänster. Farleden behöver stötta denna utvecklingsriktning och 5G täckning etableras i farlederna som ett operationskritiskt system. Farleder implementerar stöd för positioneringssystem med hög positionsnoggrannhet, med teknik som RTK (Real Time Kinetic) med virtuella basstationer.



Figur 2 Överblick av "Cubic broadband network" som beskriver ett sömlöst uppkopplingsnätverks infrastruktur för transportkedjans alla delar (Huawei, 2023)

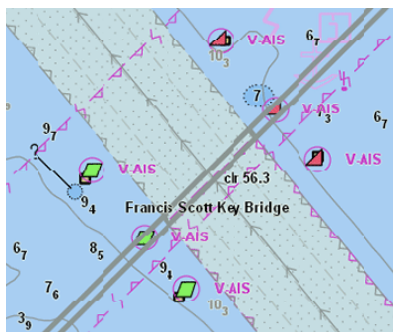
2.2.3 Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar 2030

Sjösäkerhetsanordningar har uppnått en underhållscykel för personbesök på anordningarna med medeltal på 5år. Detta genom att utökade inspektioner och positionskontroll utförs med drönare eller självdiagnostisering. Även material, solceller och batteriutvecklingen bidrar till längre intervall mellan underhåll, självdiagnostisering gör det även lättare att hitta utrustning som slitits loss från dess tänkta position, och gör det lättare att verifiera inrapporterad utrustning som driver omkring och kanske inte kommer från Sverige.

Sjöfarten förväntas se en utökad användning av perceptionssystem som en assisterade elektronisk utkik ombord. Sjömärken kommer att i högre grad anpassas för perceptionssensorers förmågor, som exempelvis objektidentifiering med kamera för att garantera en hög robusthet speciellt fokuserat runt större hamnar.

Reducerade kostnader för lokaliseringsteknik liknade livräddningsutrustning, PLB (Personal Locator Beacon) som förmedlar enhetens positionen på en eller flertal datalänkar, har bidragit till utökade användningsområden både inom yrkesmässigt och privat bruk. Detta kan ses på flera fronter exempelvis:

- För att underlätta SAR, nyttjar allmänheten applikationer som ger telefonens position direkt till räddningstjänst vid nöd.
- Taggar eller annat som läggs på utrustning spåras på individnivå, detta kan vara livbojar, fiskeredskap eller vad som helst annat som anses nyttigt.



Utökad användning av virtuella sjömärken, information och varningar via AIS/VDES som input till ECDIS nyttjas i högre grad, geografiska områden liknande skjutövning, häckningszoner, is-rutter och avvikande förhållanden som leder till omdirigering av trafik kan skickas ut med kort varsel. Även tillfälliga sjökortsrättelser som bojar eller annat som flyttats kan kommuniceras med virtuella korrekationer.

Figur 3 Förstärkta farledsmarkeringar med virtuella AIS mål (NOAA, 2023).

2.2.4 Trafik och miljöövervakning 2030

Drivkraften från strängare utsläppsreglering kräver noggrannare uppföljning, kontrollstationer placerade på strategiska platser som mäter utsläpp över och under ytan inklusive undervattensbuller. Fartyg som passerar en kontrollstation loggas och data publiceras på ett liknande sätt som resultaten efter för hamnstatsinspektion, detta för att lyfta fram redare och befraktare som satsar på grön omställning och ge lastägaren möjlighet till ökade insikter i val av transport. Dessa system kommer även kunna följa upp utsläpp som skett till följd av olyckor, och hjälper till att följa upp och se till att saneringsarbetet uppnår den förväntade effekten kortsiktigt och långsiktigt.

Väderobservationsstationer placeras ut till en allt större mängd, vilket bidrar till bättre lokala väderobservationer och prognoser. Detta hjälper fartyg att få bättre uppfattning över rådande väderförhållande vid kritisk passage eller manövrering.

De ökande antal fritidsbåtar lägger mer belastning på farlederna. Trafikanalys av fritids- och småbåtstrafiken kan ge bättre indikering kring var resurser behöver allokeras för underhåll och utbyggnad.

Ökad standardisering av gemensamma nödåtgärder i skärgård, för åtgärder som nödankring, strandsättning och dylikt gör att det finns förberedda platser som är utrustade för oljesanering och liknande scenarion och kan koordinera insatser ihop med EMSA. Beredskapsplan för alternativa rutter in och ut ur skärgården kan koordineras.



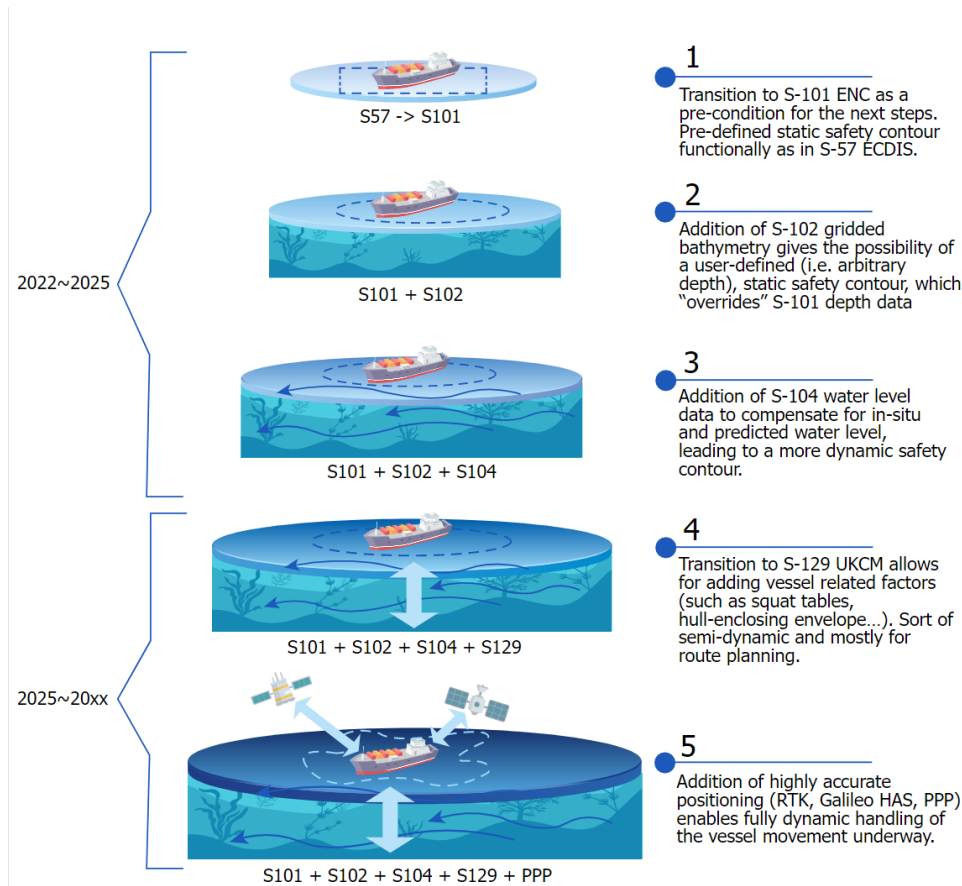
Svenska isbrytare har börjat använda flygande drönare för att samla in högresolutions iskartor. Denna nya detaljnivå leder till förbättrade utgångsläge för AI/ML algoritmer som finner energisnåla rutter i isen och förbättrade prognoser.

Figur 4 Drönare som kartlägger isläget (Eos, 2016).

2.2.5 Robusta farvatten 2030

Följande är under förutsättningen att Sverige har ändrat sin lagstiftning på sådant sätt att insamling, distribution och lagrande av data som rör undervattensgeometri är tillåtet.

Fartygen är utrustade S-100¹ kompatibla ECDIS vilket lett till att S-100 sjökortsprodukter börjar få en stadig fot på marknaden, se vidare 4.1.1 Nya S-100 Produkter. Genom nyttjandet av realtidsdata och noggranna prognoser ökar sjötransporteffektiviteten med ökade lastvolymen vid högvatten, kortare rutter och större nyttjande av ytströmmar för att reducera energiförbrukning.



Figur 5 S-100 standarder och produkter förväntad utveckling (Sjöfartsverket, 2023).

Användning av S100 produkter ökar situationsmedvetenheten hos bryggteamet. Dynamiska data reflekterar bättre den nuvarande verkligheten och med högre upplösning på sjökort ökar navigatörens situationsmedvetenhet över den närliggande miljön dels i realtid. Det bidrar även till stor del redan i planeringsstadiet då verklighetstroga visualiseringar och ökad information kan presenteras i olika typer av överlappande lager i ett enda system. Exempelvis ska noggrann batymetri kunna kombineras med data som visar aktuellt vattenstånd och ytströmmar över en tidslinje.

Nödprocedurer i högriskområden standardiseras till en högre grad och markerade skyddszoner ska underlätta beslutstagande vid olyckshändelser. Detta kan bl.a. vara rekommenderade nödankring och strandningsalternativ. Beroende på fartygets egenskaper, besättning, väder och trafikförhållanden så genereras dynamiska säkerhetsmarginaler, detta är en början till dynamiska farleden som beskrivs i vision 2045.

Högre krav kommer läggas på fartygens förmåga att fortsätta navigera även med förlust av GNSS positionering.

2.3 Vision 2045



Figur 6 Digital tvilling är en digital representation, t.ex. av ett fartyg (Siemens, 2022).

2.3.1 Farledstjänster 2045

Vi förväntas se ökad grad av vindassisterade fartyg och autonomi i sjötrafiken bland annat av mindre autonoma inrikestransporter vilket kommer leda till förändrade trafikmönster. Detta kan vara intensifierad kustnära trafik som utgörs till stor del av mindre autonoma fartygskonvojer eller seglande lågprioritetslaster. Oavsett förväntas trafikmängden öka inom alltmer begränsade farvatten b.l.a. till följd av utbyggnaden av vindkraftsparker och miljöskyddszoner. På grund av detta behöver trafiken styras alltmer aktivt av VTS. Trafikstyrningen behöver prioritera trafikflödet enligt lastens övergripande effekt på hela hamnvistelsen och nyttan lasten tillför samhället. Beroende på område och rådande omständigheter utprövas metoder som konvojer, tidsallokerade transiteringar och "just in time arrival" eller virtuell ankomst för att effektivisera logistisk kedjan.

Navigationsstöd från land kan utföras på alla lotsleder och de flesta bemannade fartyg använder tjänsten. Utökade utbildningskrav har lett till att besättningar har goda kunskaper av fartygs manövrering och flertal länder i världen implementerar liknade system som navigationsstöd från land. Nästa generations fjärrlotsning är på inkommande där lotsen är en digital avatar ombord. Fartyg som använder tjänsten har ökade systemkrav för datalänk mellan fartyg och land, perceptionssensorer samt teknik för att mer naturligt inkludera digitala lotsen i bryggteamet. Genom fjärrsimuleringar av en ankomst valideras ett nytt bryggteam och fartyg före den fysiska ankomsten.

Farledens infrastrukturer assisterar fartygen i att bibehålla en redundant och robust navigationsmetodik. Detta genom att ett land/farledsbaserat system validerar fartygets position som kan sända position för backup och validering till fartyg genom en redundant och cybersäker datalänk.

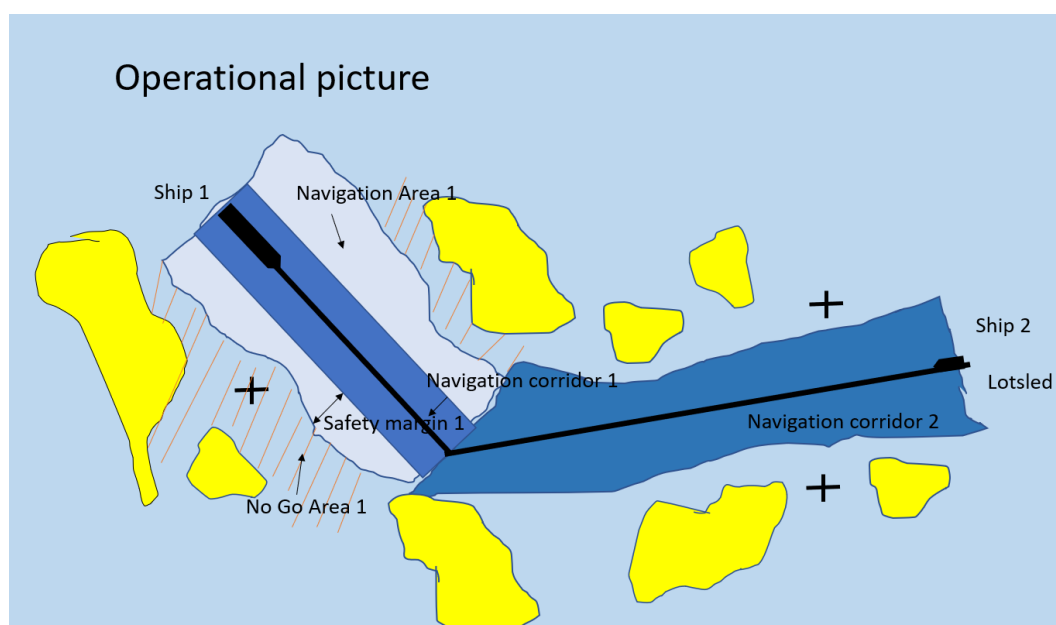
Autonoma och fjärrstyrda övervakningsdrönare bidrar med realtidsobservationer från kustområdet både från luften och ytan som inspekterar och övervakar fartygens identitet, djupgående, last, mm. Den mer noggranna uppföljningen hjälper myndighet, redare, hamn och lastägare att följa sina kontraktuella åtaganden. Myndigheterna får därmed ta en större roll vad det gäller validering, för att bibehålla en konkurrenskraftig marknad.

2.3.2 Dynamiska farvatten 2045

Farledsbegränsningarna genereras dynamiskt enligt rådande förhållanden och fartygets förutsättningar. Detta innebär att farledsytan kan utnyttjas till större grad med olika säkerhetsmarginaler för att hantera avvikelser. Den dynamiska begränsningen beror b.l.a. på fartygets förmåga till navigering/manövrerbarhet, systemredundans och reaktionsförmåga som blir väsentlig med fjärrstyrt fartyg, väderförhållanden och vattenstånd. Denna dynamiska farled ska assistera ruttplaneringen, öka gemensam situationsmedvetenheten och samverkan mellan fartyg och landbaserade tjänster där operativa begränsningar av fartyg och farled är kända.

Som bilden i Figur 1 nedan illustrerar kan samma farledsyta presenteras olika för olika fartyg beroende på bl.a. deras storlek, djupgående och manövreringsförmåga. Ett stort tankfartyg lastat med olja (Ship 1) hänvisas till en betydligt smalare korridor, markerad som mörkblått nedan, än ett mindre fartyg som kan nyttja en betydligt större del av ytan.

Den dynamiska farledsytan exemplifieras i simuleringarna som redovisas i kapitel 3 under rubriken Dynamisk farledsyta.



Figur 7 Dynamiska fartygsspecifika farledsbegränsningar. Ship 1 har en smalare korridor att manövrera i än Ship 2 som har bättre manövreringsförmåga och mindre djupgående och som kan nyttja en större del av farledsytan (RISE, 2023).

Genom AR (augmented reality) kan situationens mest relevanta information förmedlas till navigatören för att öka situationsmedvetenheten. Med detta har navigatörer alltid lättillgänglig operationskritisk information men bibehåller fortfarande full förmåga att interagera med konventionella instrument som radar och ECDIS. Genom AR kan operatören få virtuella markeringar presenterat intuitivt och lättolkat, detsamma gäller information som exempelvis "No Go Areas" och virtuella sjömärken.



Figur 8 Exempel på ett AR system Hi-NAS och en fjärroperationscenter (Joohyun Woo, 2019 & Rolls-Royce 2016).

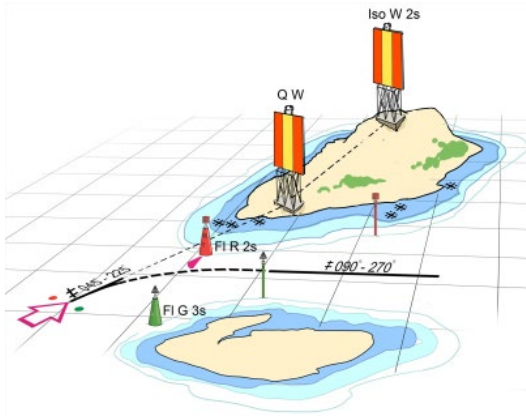
Genom att se till hela värdekedjan från ett holistiskt perspektiv, optimeras fartygstrafiken specifikt för att matcha den operationella profilen, detta för att undvika att begränsningar på ett område inte medför en större negativ effekt på andra delar av fartygsresan.

2.3.3 Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar 2045

Material och teknikutvecklingen har lett till att underhållscykel och personalbesök för sjösäkerhetsanordningar är i medeltal 10 år.

Fartyg med hög autonomi kommer utnyttja sjösäkerhetsanordningar, detta lägger vikt på att perceptionssystemen kan tolka omgivningen korrekt. Därmed behövs förmågan och statusen av perceptionssystemen valideras ombord under drift. Farleden kan assistera i att fastställa sensorernas förmåga och underlätta kalibrering, detta kan göras genom väldefinierade mål som är designade att framstå tydligt för de implanterade sensortyperna.

Virtuella sjömärken och varningar är allmänt vedertaget. Sjövägsmärken övergår till digitala tavlor som dynamisk anpassas enligt rådande situation. sektorfyrrar byts till en större grad ut till digitaliserade enslinjer/linjetavlor som både är en visuell referens för navigatörer, dag som natt, och optimerade för digitala perceptionssystem.



Figur 9 Enslinjer som kan optimeras för autonoma fartyg och dess perceptionssystem. (Bild från Transportstyrelsen, 2023).

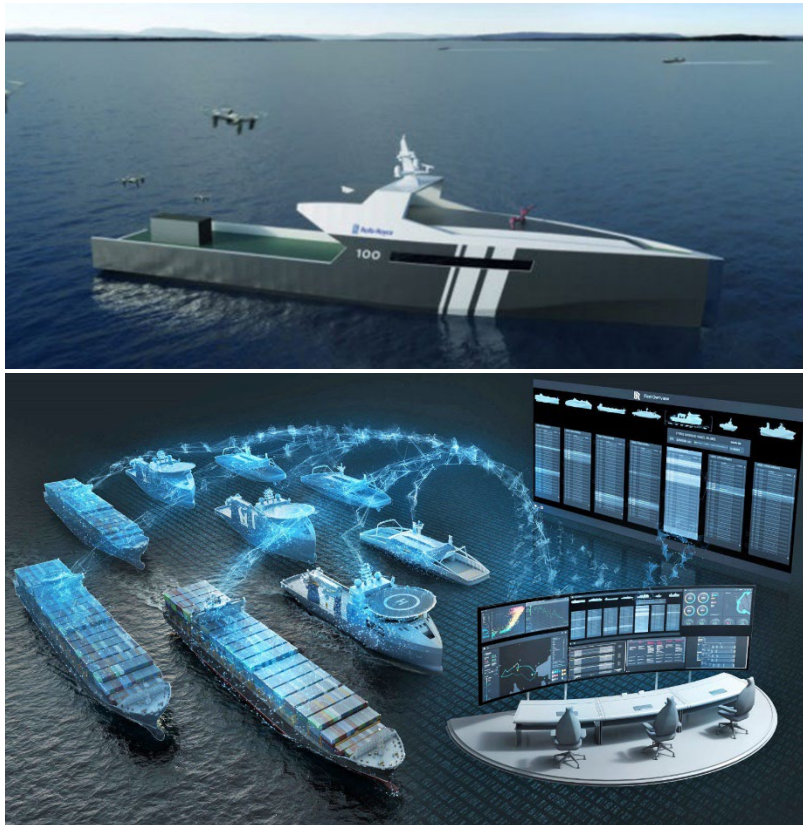
2.3.4 Hållbar sjötransport 2045

Hållbar sjötransport revolutioneras med nya hållbara lösningar, där alla farleder kontinuerlig mäter utsläpp över och under ytan samt publicerar resultaten offentligt för att lyfta fram befaktare som satsar på hållbar utveckling. Farledsavgifterna korreleras med miljöpåverkan där fartyg med högre utsläpp betalar större avgifter. Lagkrav och påtryckningar från allmänheten har gjort att det endast nyttjas bränslen som är förnybara där hela livscykelanalysen tas i beaktning. Undervattenbuller och ljudföreningar minskas genom nya farledsdesigner. Effekterna och investeringarna syns och förstärks av de observationer som görs ute i farleden som också publiceras till allmänheten. Högre krav på utbildning hos gemene person har reducerat olyckor och utsläpp/miljöförstöring från fritidstrafiken. Projekt som ämnar till att bevara och förbättra djurlivet under ytan har fått positiv effekt.

2.3.5 Autonoma fartyg 2045

Autonoma och en hög grad av automatiserade fartyg ersätter till allt större del den traditionella sjöfarten även på oceangående rutter. Farleden har sett en lika stor förändring för att stötta utvecklingen av de autonoma funktionerna och skapa en robust och hållbar sjötransport. Goda data- och nätverksförbindelser som är utbyggda och tillgängliga i farleden och med basstationer utvecklade från 5G teknologin ombord på fartyg vilket tillåter höga dataöverföringshastigheter mellan fartygen och uppkoppling mot land. INS (Inertial Navigation System) har nått en mycket hög standard som gör att fartyg kan segla i veckor enbart på dödräkning, och lett till att externa positionsstörningar ej påverkar fartygsdriften. GNSS positioneringen har uppnått noggrannheter på sub-centimeter nivå.

Containertrafiken har optimerats/automatiserats ytterligare genom små autonoma containerfartyg som levererar direkt från oceangående containerfartygs utsida till logistikcentraler nära inre vattenvägar och vice versa för att avlasta väg och järnvägsnäten. Detta medför att IVV och kustsjöfarten stärks i konkurrenskraft mot vägtransporter, trafiken på IVV har ökat och trafikmönstret har gått mer mot konvojkörningar med modulära fartyg.



Figur 10 Rolls-Royce koncept för autonomt fartyg och DNV illustrerar sjöfartens digitaliseringstransformering (Rolls-Royce, 2018 & DNV, 2021)

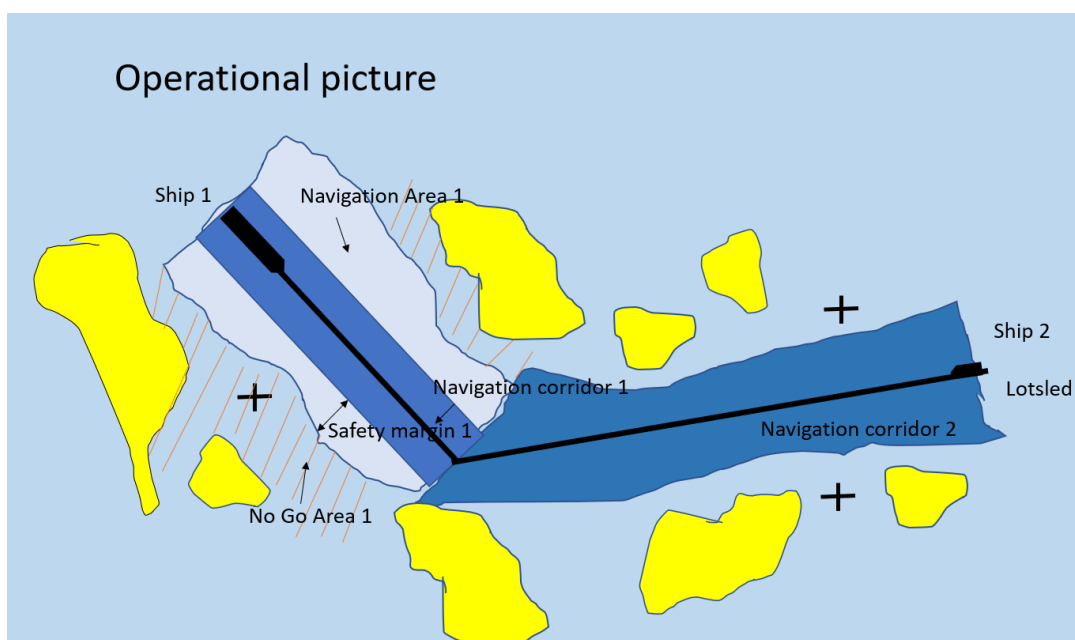
Fartyg med hög automationsgrad har ett definierat "safe mode" som lägger fartyget till det snabbast möjliga säkra tillståndet. Detta kan vara exempelvis positionshållning, ankring, strandning. Denna funktion kan aktiveras från ansvariga operatörer som exempelvis fjärrlots, MRCC, detta etableras från mer standardisering och gemensamma nödrutiner/procedurer.

Nytt anti-kollisionssystem som minimerar mänskliga missförstånd införs. Anti-kollisionssystemet kommunicerar mellan fartygen och landcentraler för att hitta en optimerad manöveråtgärd för rådande situation och omständigheter, där alla navigatörer bekräftar förslaget och vet vad det egna fartyget och alla andras fartyg kommer att göra långt före en situation uppstår.

3 Den dynamiska farleden

Helt digitaliserade sjökort med dynamiska och högupplöst data kan göra fasta farledsmarkeringar överflödiga och genom att ta bort dem öppnas en större farbar yta upp. En yta utan onödiga hinder där den farbara ytan anpassas utifrån aktuella förutsättningar för trafik, sikt, vågor och ström. Farledsytan kan vara olika för olika fartyg beroende på dess storlek, djupgående, last och andra attribut. Ett stort tankfartyg lastat med miljöfarlig last hänvisas till en betydligt smalare korridor med större djup, än ett mindre fartyg som kan nyttja en betydligt större del av den farbara ytan. Farledsbegränsningarna genereras dynamiskt enligt rådande förhållanden och fartygets förutsättningar. Detta innebär att farledsytan kan utnyttjas till större grad med olika säkerhetsmarginaler för att hantera avvikelser. Den dynamiska begränsningen beror bl.a. på fartygets förmåga till navigering/manövrerbarhet, systemredundans och reaktionsförmåga som blir väsentlig med fjärrstyrt fartyg, väderförhållanden och vattenstånd. Denna dynamiska farled ska assistera ruttplaneringen, öka gemensam situationsmedvetenheten och samverkan mellan fartyg och landbaserade tjänster där operativa begränsningar av fartyg och farled är kända.

Som bilden nedan illustrerar kan samma farledsyta presenteras olika för olika fartyg beroende på bl.a. deras storlek, djupgående och manövreringsförmåga.



Figur 11 Dynamiska fartygsspecifika farledsbegränsningar. Ship 1 har en smalare korridor att manövrera i än Ship 2 som har bättre manöverförmåga och mindre djupgående och som kan nyttja en större del av farledsytan (RISE, 2023).

Som en del i projektet har en simuleringsstudie genomförts av Seamades experter i programmet ShipAndFairwaysII för att dels exemplifiera hur en dynamiska farled utan fasta anordningar i farledsytan skulle kunna se ut och dels undersöka möjligheterna som olika ruttalternativ innebär.

3.1 Syfte med desktop simuleringar

Syftet med simuleringarna har varit att:

- Exemplifiera manövrering av olika typer av fartyg i dynamiska farleder utan fysiska navigeringshjälpmedel, såsom fyrar, bojar, m.m.
- Undersöka nyttan av att definiera farledsytor utan begränsande sjömärken.
- Undersöka möjligheterna att välja olika ruttalternativ i en och samma farled (t.ex. Torshamnsleden in till Göteborg).
- Jämföra olika ruttalternativ med avseende på bränsleförbrukning.
- Jämföra olika typer av ”prediktorer”
- Titta på begreppet dynamisk farledsbredd

Undersökningen har genomförts i form av ett antal simulerade in- och utseglingar i farleden till Göteborg enligt fem olika scenarier i nedanstående tabell:

Tabell 1 Scenarier för simuleringar. Ett fartyg har styrts manuellt och interagerat med ett autonomt styrt fartyg och bogserbåtar.

Scenario	Manuellt styrt fartyg	Autonoma fartyg	Antal bogserbåtar	In/ut
1	VLCC	RoPax	4	In
2	Container	Vänermax och RoPax	4	Ut
3	Tanker	VLCC, container och RoPax	2	In
4	VLCC	Container, vänermax, RoPax och tanker	3	Ut
5	Container	RoPax	4	In

Det första scenariot belyser strömmens inverkan medan det andra fokuserar på vindens inflytande. I bägge dessa scenarier testas olika typer av prediktorer. I scenario 3 jämförs de olika tillgängliga ruttalternativen och hur val av ruttalternativ kan påverka säkerheten, t.ex. i form av PIANC rekommenderade farledsbredder och i form av farledsyta. Simuleringarna i scenario 4 och 5 fokuserar kring möten mellan fartyg och i någon mån bogserbåtsutnyttjande.

Simuleringarna har utförts i Seamades tidsbaserade simuleringsprogram ShipAndFairwaysII, där upp till fem fartyg kan simuleras samtidigt och där upp till två av dessa kan styras manuellt, övriga styrs med hjälp av speciellt framtagna autonoma regleralgoritmer. Simuleringsstudien fokuserar på inseglingslederna in till Göteborg och då speciellt på Torshamnsleden in till Skandiahavnen. Simuleringarna kan ske i realtid eller i uppsnabbad tid.

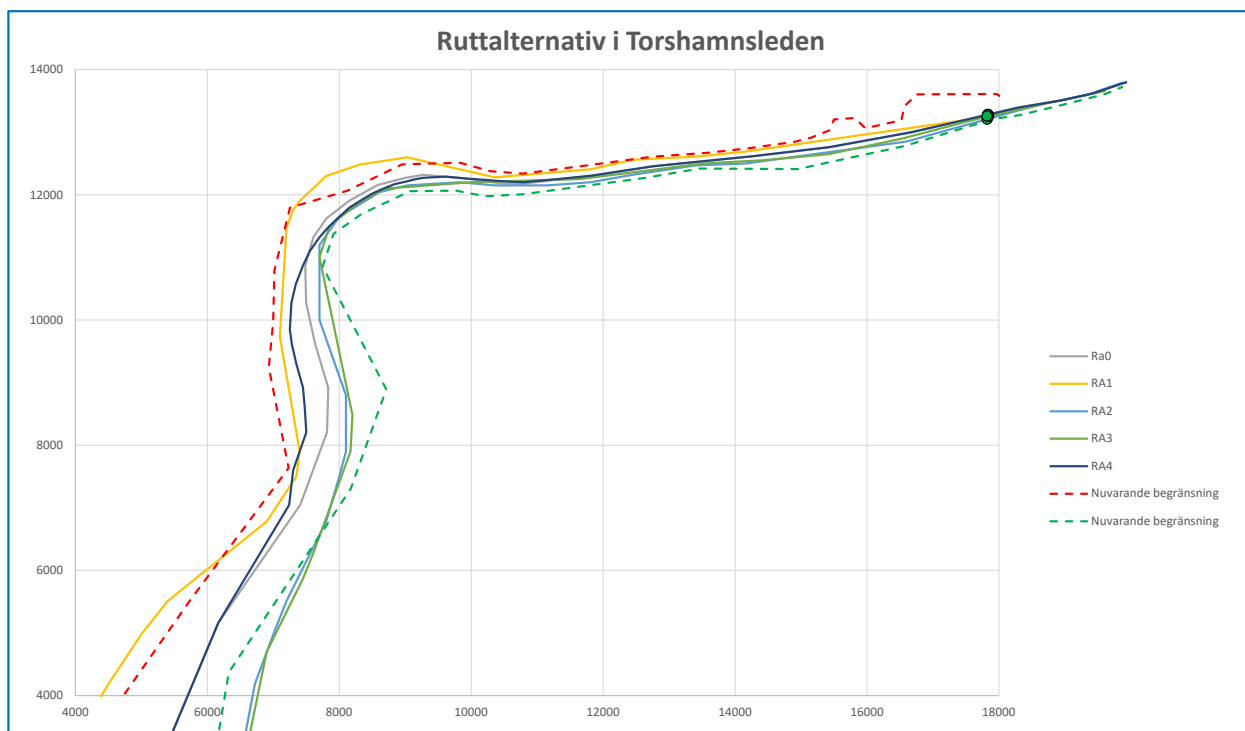


Figur 12 Programinterface för ShipsandfairwaysII som använts för desktopsimuleringar. I bilden syns det manuellt styrda fartyget (rött) och dess prediktor vid en gir i farleden. Fyra bogserbåtar verkar som krafter på hennes babordssida (nr 0-3).

3.2 Resultat

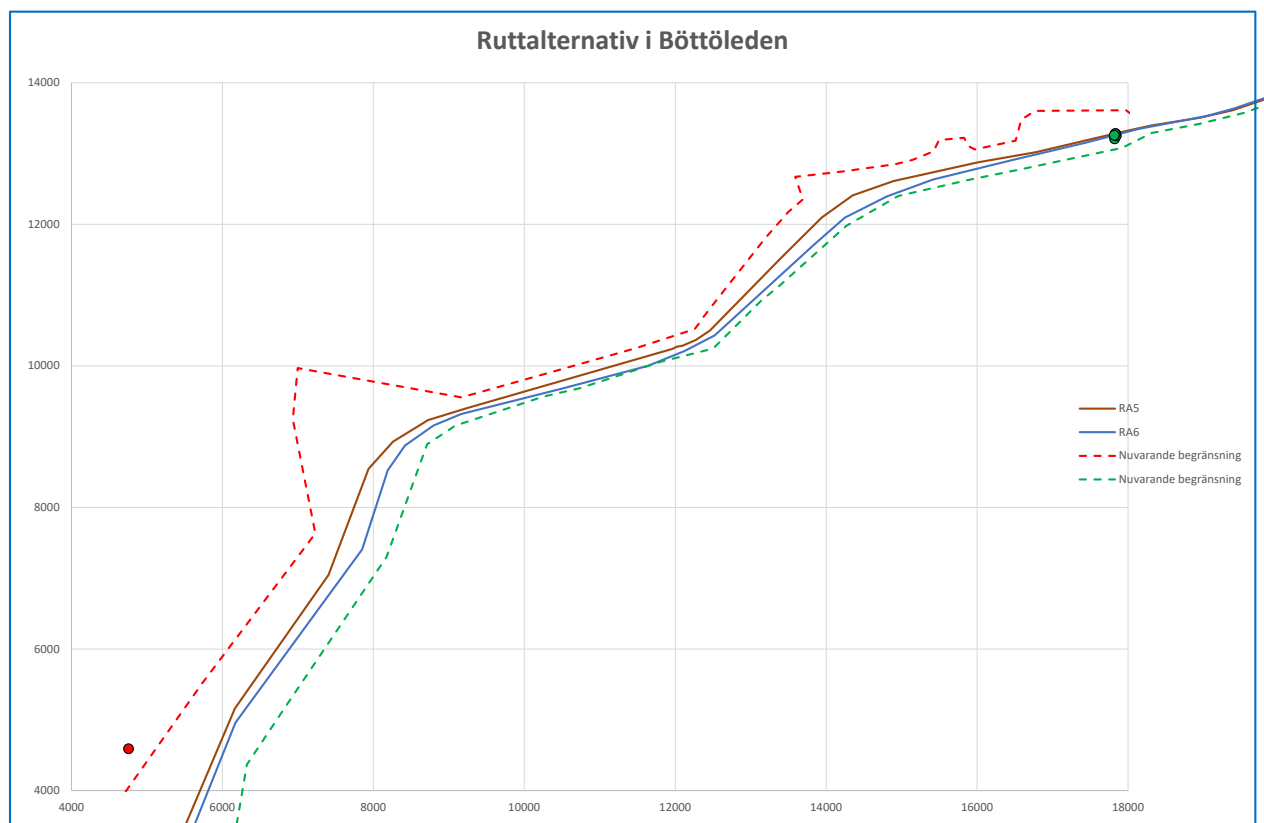
3.2.1 Alternativa rutter

Inseglingen till Göteborg kan ske i två alternativa leder, Torshamnsleden och Böttöleden. Den förra tar fartyg med djupgående upp till 19,5 m och den senare fartyg med djupgående upp till 13,5 m. För Torshamnsleden har fem alternativa rutter definierats, RAO – RA4. Av dessa kan fartyg med störst djupgående endast trafikera de mittersta, dvs RAO och RA4, se nedanstående diagram.



Figur 13 Ruttalternativ i Torshamnsleden

I Böttöleden har två alternativa rutter, RA5 och RA6 definierats, se nedanstående figur.



Figur 14 Ruttalternativ i Böttöleden

3.2.2 Dynamisk farledsyta

Farledsytan representerar det område som med hänsyn till djupgående är farbart för det aktuella fartyget, med en nominell bottenklarning på 10%. Så exempelvis visas farledsytan, för ett avsnitt av farleden, för VLCC med ett djupgående på 18.5 m i vänstra bilden i nedanstående figur. Den högra bilden visar motsvarande yta för containerfartyget med ett djupgående på 13.5 m. Desto mindre djupgåendet är desto större blir den farbara farledsytan.



Figur 15 Farledsyta för VLCC respektive containerfartyget i Torshamnssleden

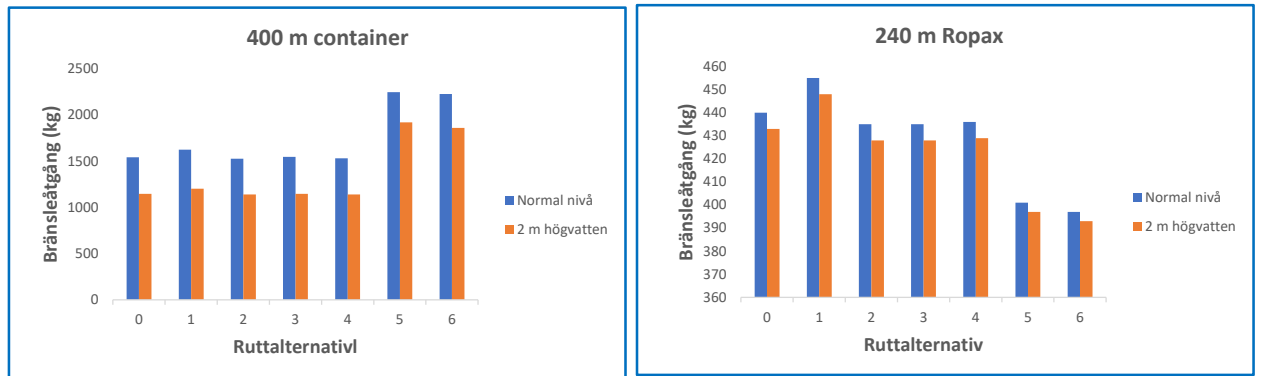
3.2.3 Bränsleförbrukning

Bränsleförbrukningen har jämförts för fyra av de fem fartygen under insegling in till Skandiahamnen. VLCC fartyget kommer på grund av sitt djupgående inte längre än till Torshamnen och ingår därför ej i den här presenterade jämförelsen. Rutterna, som bränsleförbrukningsberäkningen omfattar, har följande längder:

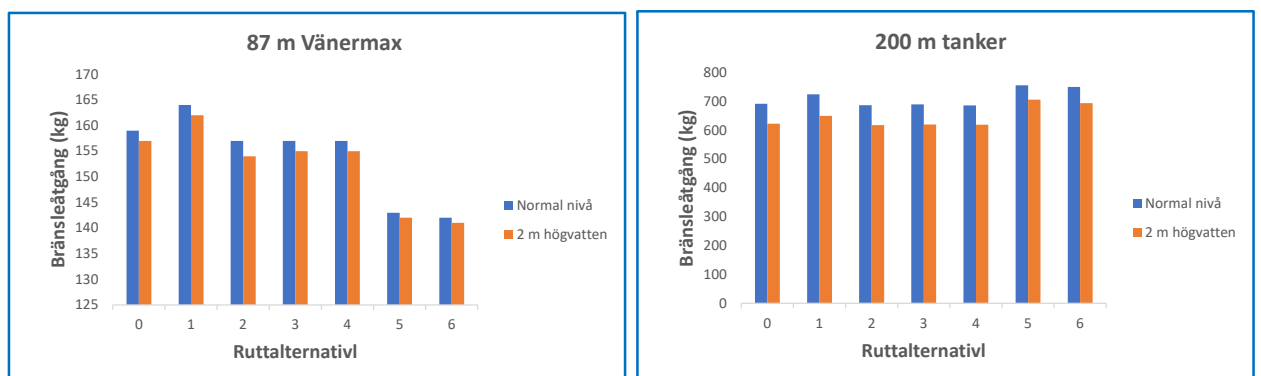
Tabell 2 Översikt av längden av respektive ruttalternativ i simuleringen.

Ruttalternativ	0	1	2	3	4	5	6
Längd (NM)	10.6	10.91	10.45	10.43	10.48	9.35	9.24

Beräkningarna har genomförts för 10 knop konstant fart och för två vattenstånd, normalt och 2 m högvatten. Resultaten återges i nedanstående figurer:



Figur 16 Bränsleåtgång vid två olika vattenstånd för 400m containerfartyg respektive 240m RoPax fartyg.

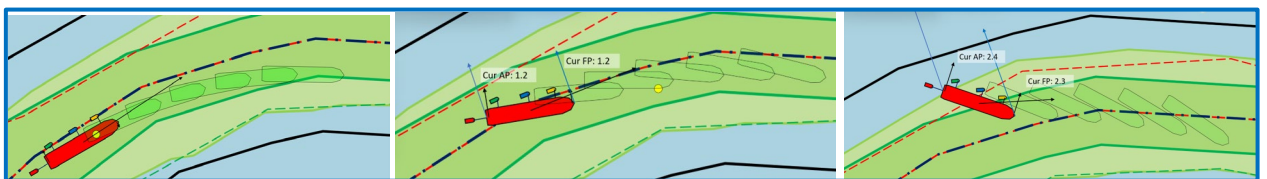


Figur 17 Bränsleåtgång vid två olika vattenstånd för 87m långt Vänermaxfartyg respektive 200m tanker.

Av diagrammen framgår att störst skillnad mellan vattenstånden uppvisar containerfartyget, vilket huvudsakligen beror på den för detta fartyg lilla bottenklarningen. Anmärkningsvärt är också att genomsegling i Böttöleden, för detta fartyg, ger högre bränsleförbrukning än Torshamnsleden, trots att den är kortare. Detta gäller även i någon mån tankerfartyget, också det med en förhållandevis liten bottenklarning.

3.2.4 Strömmens inflytande

Tre olika strömfall testades i simuleringarna (scenarierna 1 och 2): nollström samt 1.5 respektive 3.0 knops maxström. Nedan visas attityden vid insegling, i bilder från vänster till höger: utan påverkan från ström, vid max 1.5 knop ström samt vid max 3.0 knop ström.



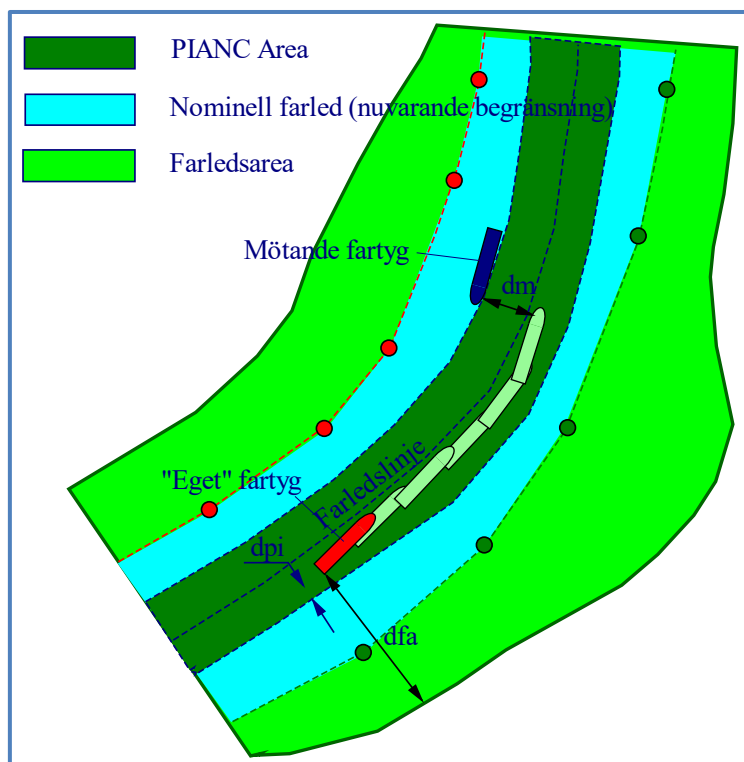
Figur 18 Attityden för simulerat fartyg vid tre olika strömfall): nollström samt 1.5 respektive 3.0 knops maxström. Från vänster till höger: utan påverkan från ström, vid max 1.5 knop ström samt vid max 3

Upp till 1.5 knop ström går här bra att hantera och hålla fartyget inom PIANC's rekommenderade bredd, medan för det kraftigaste strömalternativet driver fartyget upp mot babordssidan i Måvholmskröken. Det är även svårt att i denna extrema nordgående ström få fartyget in mot kaj.

3.2.5 Säkerhetsindex

Simuleringsprogrammet omfattar beräkning av ett säkerhetsindex som är baserat på ett antal parametrar:

- Minsta klarning till farledsyntans gräns (dfa)
- Minsta klarning till PIANC's rekommenderade farledsbredd (dpi)
- Minsta klarning till eventuellt mötande fartyg (dm)
- Roderarbete



Figur 19 Säkerhetsindex - definitionsskiss

Denna beräkningsmodell är något enkel och kan/bör kompletteras med andra parametrar, som t.ex.:

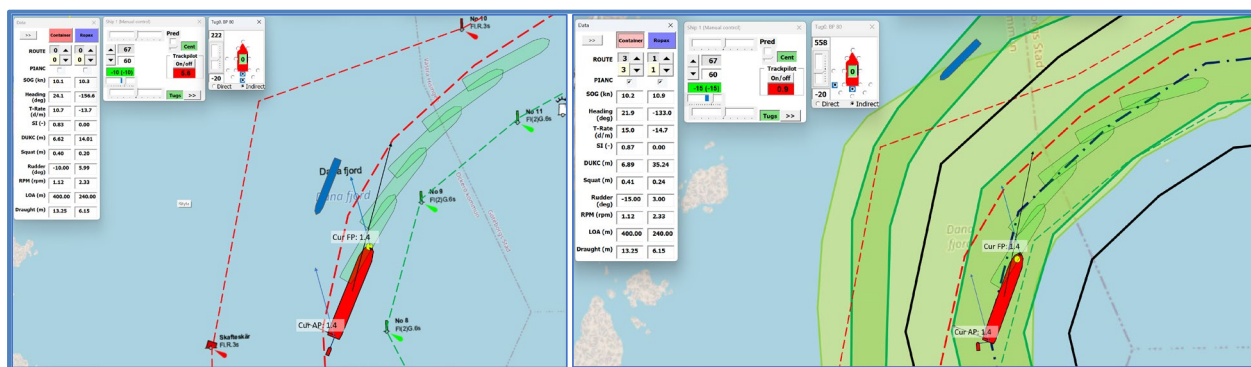
- Maskinpådrag
- Bogserbåtsutnyttjande

3.2.6 Utnyttjande av farleden

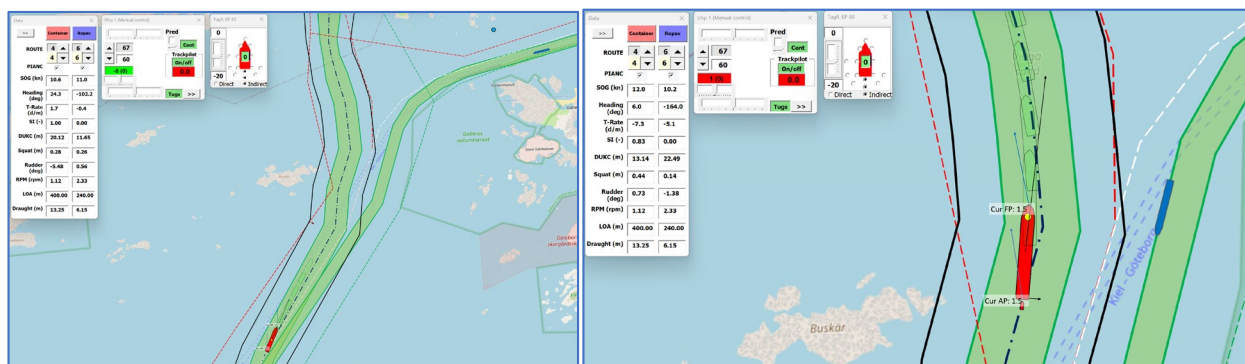
De två viktigaste hjälpmedlen i en dynamisk farled kan för det aktuella fartyget vara en presentation (t.ex. i conning) av dels en specifik farledsyta, dels en enligt PIANC rekommenderad farledsbredd. Den specifika farledsytan baseras på bottenpografi samt fartygets aktuella djupgående med en säkerhetsmarginal på exempelvis 10%.

I rapporten presenteras ett antal genomförda simuleringar där möten skett på olika ställen i farlederna och mellan olika fartyg. Farlederna in till Göteborg är väl avgränsade och lämnar inte mycket utrymme för alternativa rutter. Simuleringarna visar dock på några situationer där dynamiska farleder kan innebära en ökad effektivitet och säkerhet. Så exempelvis:

- Containerfartyg under insegling i ruttalternativ RAO och RoPax fartyg på väg ut i ruttalternativ RA1, bägge i Torshamnsleden (Scenario 5)
- Containerfartyg på väg in i ruttalternativ RA4 och RoPax på väg ut i ruttalternativ RA6 (Scenario 5).



Figur 20 Möte mellan 400m containerfartyg och ett 240m RoPaxfartyg. Dagens farled (v) och i en framtida (h)



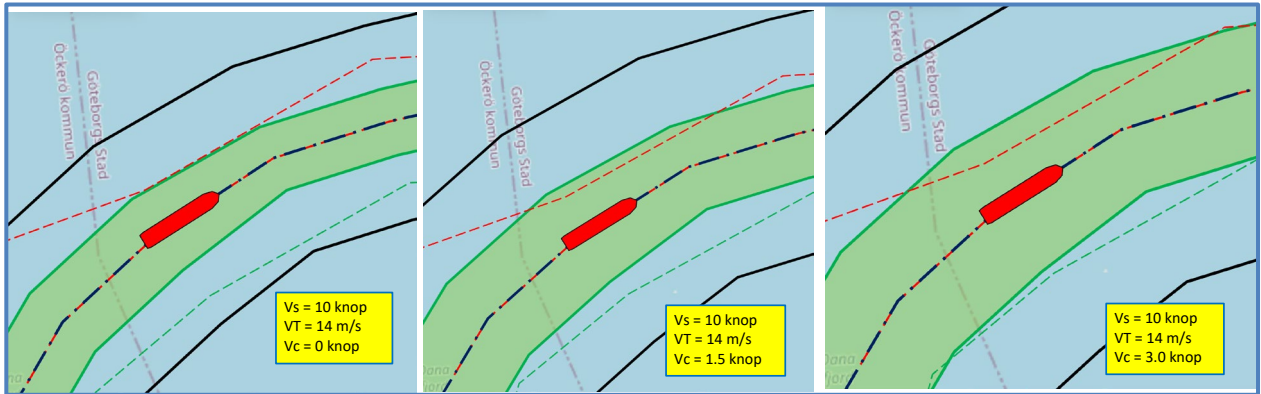
Figur 21 Möte mellan 400 m containerfartyg och 240 m RoPax fartyg vid Böttö

Flera simuleringar med möten mellan något av de två största fartygen, VLCC eller containerfartyget, och något av de övriga mindre fartygen i Måvholmskröken. Dessa möten har skett utan problem men med små marginaler, speciellt med tanke på vad PIANC rekommenderar för bredd vid möten. Exempel på detta är:

- VLCC på väg ut i ruttalternativ RAO och 200 m tankerfartyg på väg in i ruttalternativ RA3
- VLCC på väg ut i ruttalternativ RA= och 240 m RoPax fartyg på väg in i ruttalternativ RA2

3.2.7 Dynamisk farleds påverkan från vind och ström

Genom att utnyttja vind- och strömförhållandena kan den dynamiska farledsbredden varieras. För den 320 m långa VLCC, exempelvis, skulle detta kunna se ut som i nedanstående figur.



Figur 22 Exempel på hur en dynamisk farledsbredd kan varieras strömmens inverkan vid: 0, 1,5 resp 3.0 kts ström

I figurerna ovan presenteras både rekommenderad bredd för enkeltrafik (grönt område) och för tvåvägstrafik (svarta linjer på ömse sidor av farleden).

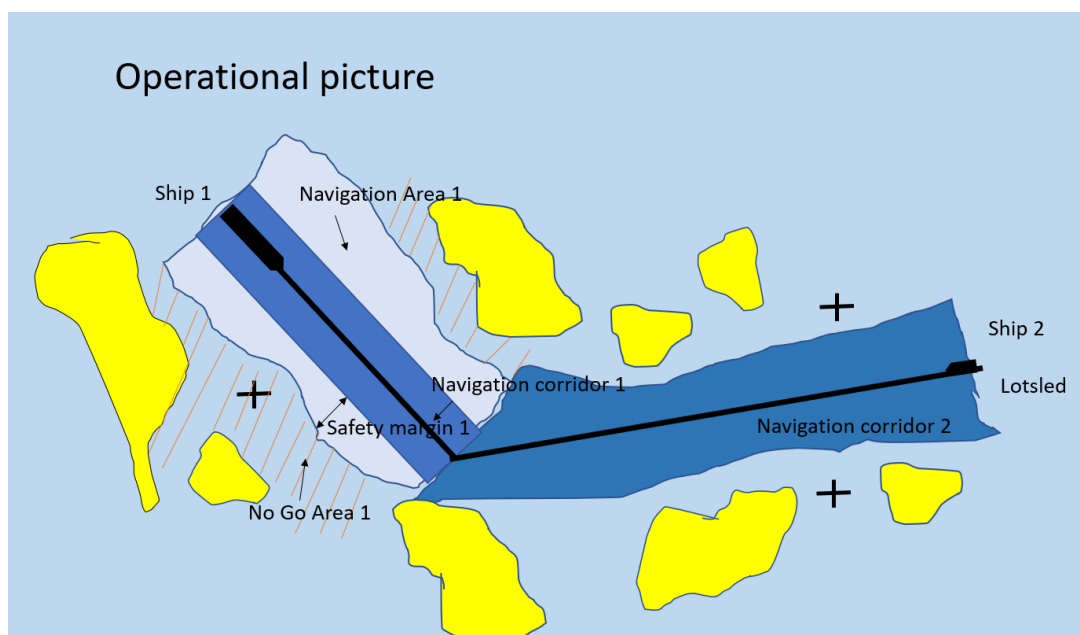
4 Den uppkopplade farleden

Denna studie ger förslag på nya riktlinjer för utformandet av farleder som behöver hantera fartyg med en högre grad av digitalisering och autonoma funktioner, men också mixad trafik med konventionella fartyg vilket också är relevant för nya navigationstjänster. I detta avsnitt identifieras nya farledsfunktioner som kan öka säkerheten och vara en del i säkerhetskedjan. Till detta inkluderas krav på kommunikation mellan fartyg, iland och objekt i farleden. Möjligheterna med de nya sjökortsprodukterna för den dynamiska farleden analyseras. Detta avsnitt genomförs med hjälp av simuleringar för att illustrera dessa funktioner med avseende på no-go-areas och sjömärken. De identifierade funktionerna analyseras också utifrån robusthet.

4.1 Den dynamiska farleden

Detta kapitel identifierar funktioner som behövs för att implementera den dynamiska farleden. Syftet med den dynamiska farleden är att öka effektiviteten och sjösäkerheten för sjötrafiken i farlederna. Som nämnts tidigare i kapitel 3 så genereras farledsbegränsningarna dynamiskt efter rådande förhållanden och efter fartygets egenskaper. Den dynamiska begränsningen beror b.l.a. på fartygets förmåga till navigering/manövrerbarhet, systemredundans och reaktionsförmåga som blir väsentlig med fjärrstyrning, väderförhållanden och vattenstånd.

Bilden nedan illustrerar hur samma farledsyta kan presenteras olika för olika fartyg beroende på bl.a. deras storlek, djupgående och manövreringsförmåga. Ett stort tankfartyg lastat med olja (ship 1) hänvisas till en betydligt smalare korridor, markerad som mörkblått nedan, än ett mindre fartyg som kan nyttja en betydligt större del av ytan. Den dynamiska farledsytan exemplifieras i simuleringarna som redovisas i kapitel 3.



Figur 23 Dynamiska fartygsspecifika farledsbegränsningar. Ship 1 har en smalare korridor att manövrera i än Ship 2 som har bättre manörförmåga och mindre djupgående och som kan nyttja en större del av farledsytan (RISE, 2023).

4.1.1 Nya S-100 Produkter

En förutsättning för den uppkopplade farleden är dynamiska sjökortsprodukter. Den internationella hydrografiska organisationen (IHO) har utvecklat S-100-ramverket som nästa generations standard för hydrografisk data, vilket möjliggör ett mer omfattande och flexibelt tillvägagångssätt för marin information. S-100 är utformat för att stödja integreringen av flera dataprodukter, vilket förbättrar digital navigation, situationsmedvetenhet och beslutsfattande för sjöfarare. Som en del av detta ramverk har flera nya produktspecifikationer introducerats, inklusive S-104 för dynamiska vattennivåer, S-111 för ytströmmar och S-129 för hantering av Under Keel Clearance (UKC). Dessa produkter moderniserar elektroniska navigationssystem genom att tillhandahålla dynamiska och högupplösta data som optimerar ruttplanering och övervakning i realtid, vilket förbättrar säkerhet och effektivitet i sjötrafiken.

Produktspecifikationen S-104 fokuserar på att tillhandahålla noggrann och tidsvarierande information om vattennivåer, vilket är avgörande för både ruttplanering och övervakning i tidvatten- och grundvattenområden. Genom att leverera realtidsdata och prognoser för vattennivåer kan S-104 hjälpa sjöfarare att bedöma aktuella och förväntade djupförhållanden längs en planerad rutt, med hänsyn till tidvattenförändringar, meteorologiska påverkan och andra miljöfaktorer. Under ruttplaneringen säkerställer detta att fartyget kan passera säkert genom begränsade områden där vattennivåerna påverkar UKC. Vid övervakning i realtid kan sjöfarare anpassa rutten eller fartygshastigheten när vattennivåerna förändras, vilket minimerar risken för grundstötning och möjliggör säker navigation i hamnar, kustfarvatten och trånga passager.

Produktspecifikationen S-111 levererar realtidsdata och prognoser för ytströmmar, vilket är ett viktigt verktyg för ruttoptimering och övervakning under resan. I planeringsfasen gör S-111 det möjligt för sjöfarare att ta hänsyn till strömmarnas riktning och hastighet när de lägger upp den mest effektiva rutten, vilket minskar bränsleförbrukning och restid. Under själva resan hjälper kontinuerlig övervakning av ytströmmar sjöfarare att anpassa sig till förändrade förhållanden, finjustera kurs och hastighet för att upprätthålla optimal effektivitet och säkerhet. Detta är särskilt viktigt i trånga farleder, högtrafikzoner eller områden med starka tidvattenströmmar, där noggrann information om strömmar är avgörande för säker manövrering och effektiv navigation.

Produktspecifikationen S-129 för hantering av UKC är avgörande för att säkerställa säker passage för djupgående fartyg i grunda eller begränsade vatten. Vid ruttplanering integrerar S-129 vattennivåer, hydrografiskdata och fartygsdynamik för att modellera UKC, vilket gör det möjligt för sjöfarare att välja säkra rutter och optimala passagetider. Under övervakning i realtid uppdateras UKC-data kontinuerligt baserat på realtidsinformation, såsom fartygsrörelser och vattendjup, vilket gör det möjligt för sjöfarare att kontinuerligt justera hastighet eller kurs för att upprätthålla en säker marginal. Denna kapacitet är avgörande för att förhindra grundstötningar i muddrade farleder, hamnar och områden med tidvatten, vilket säkerställer en säker och effektiv passage genom hela resan.

Integrationen av dessa IHO S-100-produkter i moderna navigationssystem kommer att avsevärt förbättra både ruttplanering och övervakning i realtid för sjöfarare. Genom att tillhandahålla dynamisk, högupplöstdata om vattennivåer, ytströmmar och UKC

säkerställer dessa produkter att resor kan planeras med precision och anpassas till föränderliga förhållanden. Förbättrad situationsmedvetenhet gör det möjligt för sjöfarare att optimera rutter för säkerhet, bränsleeffektivitet och operationell prestanda, samtidigt som risker som grundstötning och förseningar minimeras. I takt med att S-100-ramverket blir alltmer etablerat kommer sjöfartsindustrin att dra nytta av smartare, datadrivna navigationslösningar som förbättrar säkerheten, minskar miljöpåverkan och ökar den totala effektiviteten i sjötransporter. En mer komplett beskrivning av S-100-produkter återfinns på IHO:s hemsida [S-100 based Product Specifications | IHO](#).

4.1.2 Kommunikation för framtidens sjöfart och farleder

Den uppkopplade farleden är i framtiden en delmängd i en sömlös kommunikations- och positioneringskontext. Sjöfart och förnödenhetsförsörjning har fått ett ökat behov såväl av explicit digital kommunikation, skapa alternativ till osäkra kommunikationslänkar och för sjötrafikledning visavi omvärldsläget.

Flera tjänster som kommer att användas i en farled behöver förberedas innan angöring. De kan utgöra delar i färdplanering, navigationsvarningar, väder, vattenstånd, nedladdning av sjökortsceller, rättelser, hantera ruttutbyten, navigationsstöd från land med mera för att tjänster och säker navigering skall kunna genomföras på avsett sätt. Rapportering enligt FAL-konventionen² behöver ske med 24-timmars framförhållning. Se vidare [IMO – FAL-konventionen - Transportstyrelsen](#).

Den maritima radiokommunikation som är explicit tvingande för SOLAS-fartyg är GMDSS³. Systemet är funktionsbaserat och, översatt till enkel svenska, syftar till att hantera i företrädesordning nöd-, il- och säkerhetskommunikation, individuellt eller i grupp mellan fartygs radiostationer eller fartygs radiostationer och landstationer. Funktionskraven är inte harmoniserade med internetprotokoll (IP). Även om andra meddelanden kan skickas eller expedieras exempelvis genom manuell eller automatisk uppkoppling mot publika nät för telefonsamtal eller radiotelegram kan inte systemet stödja den digitalisering som krävs för framtida tjänster.

Den kommunikationsinfrastrukturplanering som krävs för att möjliggöra sömlös digitalisering och i förlängningen även säker kommunikation över svenskt sjöterritorium och ekonomisk zon bör adresseras; därmed kan nationell rådgivning över samhällsviktig digital datakommunikation globalt säkerställas med VDES-satellit. Detta inkluderar motsvarande systeminnovation för farleder som Telia Northstar 5/6G-transportkorridorer för självkörande fordon.

Det är viktigt att det också görs en realistisk analys för bandbreddsbehovet för så stor kompatibilitet som möjligt mellan olika länkars systemdelar. Det är till exempel lämpligt att kunna använda system med låg bandbredd som reservmetod.

Utrustning ombord på fartyg blir i digitaliseringens perspektiv snabbt ålderstigen; även om den är nytillverkad. Den utrustningsstandarden som gäller för exempelvis terminalutrustning ställer fortfarande krav på parallellportar (D-sub/DB 25) för anslutningar till skrivare i GMDSS för att kunna vara godkända enligt

² FAL-konventionen (Convention on Facilitation of International Maritime Traffic) är den internationella konventionen om underlättande av formaliteter inom sjöfart.

³ GMDSS: Global Maritime Distress and Safety System

Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/90/EU om marin utrustning. Standarderna och godkännandena tål många gånger en utvecklingsmässig jämförelse med den IT-utrustning som användes i mitten av 1990-talet. En Internet Explorer-webbläsare av tidig generation går inte att bringa att fungera i dagens terminaler, lika lite som en modern PC:s webbläsarapplikationer kan hantera den låga uppkopplingshastighet som var tillgänglig i mitten och slutet av 1990-talet.

Sjöfarten har med tiden fått ett ökat behov av explicit digital (IP) kommunikation och visavi omvärldsläget ett behov av att skapa alternativ till osäkra eller sårbara kommunikationslänkar vilka i många fall inte kan bringas till högre bandbredd än beskrivna 90-talslösningar. För att uppfylla de användarkrav som identifieras via e-Navigation kan en rad digitala kommunikationsalternativ användas.

VDES tillhandahåller digitala kommunikationsfunktioner för: adresserad unicast (punkt till punkt); adresserad multicast (peka på förutbestämd grupp av fartyg) och sända. Tabellen nedan, i och för sig några år gammal, visar olika befintliga digitala kommunikationstekniker eller tekniker som är under utveckling.

Funktioner som driver kommunikationslösningar är identifierade nedan:

- Digitala farleder (S-100/200), tyngdpunkt på lösningar tidig epok 2026-2029
- Användning av drönare eller drönarsvärmsformationer som visuellt ger ledanvisning eller navigationsstöd framför fartyg, se simulatorstudie nedan
- Användning av drönare i samband med tillsyn och underhåll av SSA.
- Riskhantering och utmärkning för autonom sjöfart (MASS)
- Risker och sjösäkerhet i närheten av havsbaserad vindkraft
- Ökad konnektivitet i kustbandet ökar möjligheten att övervaka våra gränser i havet⁴ kostnadseffektivt och med ny teknik

4.1.3 Simulatorstudie

I syfte att få återkoppling från användare genomfördes en kortare simulatorstudie. Studien utfördes i Chalmerssimulatorcenter på en Transas PRO full mission brygga. Bryggan bemannades med simulatorinstruktör från Chalmers. Tre scenarier simulerades:

- Scenarier #1 Dynamisk farled:
 - Två fartyg, farledsyta, mötande fartygets farledsyta
- Scenarier #2: Virtuella sjömärken:
 - Ett fartyg: virtuella sjömärken, farledsyta, drönare
- Scenarier #3 Robusthet:
 - Ett fartyg: robusthet, drönare, enslinjer

Målsättningen var demonstrera med hjälp av fartygssimulator delar av visionen för framtiden farled. Demonstrationerna kompletterades med presentationer och diskussioner med deltagare ur projektteamet. Ett syfte var att också att diskutera fram lösningar och idéer kopplat till demonstrationsscenarierna.

⁴ Lagen (2017:1272) om Sveriges sjöterritorium och maritima zoner. Se även [Havsgränser](#)

I det första scenariet navigerade två fartyg på respektive farledsyta. Fartygen möttes under simuleringen. Befälet kunde se farledsytan i ECDIS skärmen, men farledslinjer kunde bara ses i head-up displayen. Befälet upplevde det som att: ”-Känns inte som om man har något att hålla sig i”. Tittar inte ut utan på instrumenten. Någon form av virtuell utmärkning är viktig.



Figur 24 Exempel på dynamiska fartygskorridorer baserat på fartygens säkerhetsdjupgående, vattenstånd och högupplösta sjökort (S-100). Den vitmarkerade korridoren exemplifierar mötande fartygs utrymme.

Mötande trafik gav överlappande farledsytor. För att bättre ta möten och för att inte hamna på ”fel sida” i farledsytan bör någon form av trafikseparering användas.

I det andra scenariet navigerade ett fartyg i farledsytan, vilken var utmärkt med virtuella sjömärken och dessutom av flygande drönare. Enskilda sjömärken visade inte farledsytans begränsningslinjer tydligt. Här framfördes önskemål om virtuella begränsningslinjer i stället. En punkt som diskuterades var att märka ut farledens gircentrum och girlinje virtuell.

Ett stort antal flygande drönare som låg framför fartyget och visade en tänkt navigationskorridor visade sig vara mycket effektivt och uppskattades av befälet.

I det tredje scenariot undersöktes olika lösningar för robusthet. I detta fall navigerad ett fartyg med hjälp av dels drönare vilket skulle kunna verka som en back-up lösning för att märka ut navigationskorridoren. Dessutom prövades olika enslinjer för att märka ut farledsytans centrum, dvs den normala fartygsrutten. Även har visade sig drönare vara ett bra alternativ. Nackdelen med enslinje är att man förlorar fördelarna med en yta i stället för en ruttlinje.

4.1.4 Operationellt koncept

Baserat på kapitel 3 och simulatorstudien så togs ett operationellt koncept fram vilket sammanfattas nedan.

För att beskriva konceptet används följande operationselement:

- Fartyget; som navigerar i farleden och som använder en specifik farledsytta
- Mötande fartyg; som navigerar i farleden, men använder andra farledsytter
- Landcentral, som här kan representera olika typer av centraler; Vessel Traffic Service (VTS) center; Remote Operation Center (ROC); Center för olika typer av navigationstjänster
- Farleden; som även innehåller sjömärken och lokala mätsensorer

Den dynamiska farledsyttan varierar både för olika fartyg och över tid. Farledsyttan styrs dynamiskt av följande parametrar:

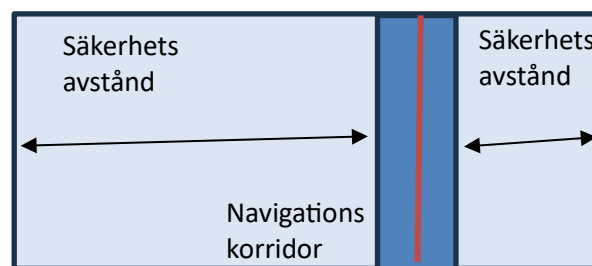
Fartyg:

- Lastskondition som påverkar djupgående och manöveregenskaper.
- Typ av last som styr säkerhetsmarginaler både spatial och vertikalt.

Farleden:

- Navigationshinder
- Strömmar
- Trafikintensitet
- Vattenstånd
- Väder

Navigering i en farledsytta ger möjlighet att planera rutten inom ett större område för att optimera säkerhet och effektivitet. Dock skall en ruttplan väljas med en lämplig navigationskorridor.



Figur 25 Farledsyttan är representerad av de ljusblåområden. Fördelen med farledsyttan är att man kan välja en av flera möjliga rutter. Till höger har man valt en optimerad rutt. Planerade rutten med navigationskorridoren i mörkblått.

- **Hög trafikintensitet:** In och utgående trafik separeras genom att respektive farledsytta läggs åt SB i farleden.
- **Låg trafikintensitet:** här utnyttjas hela möjliga farledsyttan men trafiken styrs genom "Time Slot Management", dvs i detta fall passerar bara ett fartyg åt gången i de trånga delarna.

I planeringsfasen görs en ruttplan upp från hamn till hamn. Med utgångspunkt från rutten genereras en dynamisk farledsytta i fartygets navigationssystem. Farledsyttan

uppdateras när fartyget närmar sig farleden baserat på senaste information om vattenstånd, mm. När fartyget närmar sig jämförs även denna information med in-situ mätningar i farleden. Fartygets planerade rutt (med S-4xx) och fartygsparametrar utbyts med landcentralen. Även landcentralen beräknar fartygets specifika farledsyta. Fartyget navigerar enligt samma rutiner som idag och följer ruten inom navigationskorridoren, men är hela tiden medveten om farledsytan och no-go-areas. Positionen i det elektroniska sjökortet verifieras kontinuerligt med överlagring av radarbilden (radar overlay), dvs sjökortsbilden skall stämma med radarbilden. Farledsytan verifieras också med virtuella begränsningslinjer sända från landcentralen. Dessa linjer skall överensstämma med ytan i fartygets elektroniska sjökort.

Prediktor information utbyts med omgivande fartyg och landcentralen. Centralen kan föreslå ändrad rutt genom att skicka nytt rutförslag och restricted areas genom S-124 meddelande formatet.

Landcentralen kan erbjuda VTS tjänster eller navigationsstöd från land. I båda fallen kan den virtuella begränsningslinjen utgöra en geo-fencing zon och larm utgår till fartyget. Autonomt fartyg drar ner på farten.

Sammanfattningsvis ser processen ut enligt följande:

Planering

- Fartygets navigationssystem beräknar preliminär farledsyta
- Fartygets navigationssystem tar fram en optimerad rutt
- Rutten delas med en landcentral genom S-4xx. Även fartygsparametrar delas.
- Landcentralen beräknar också ut fartygets preliminära farledsyta

Innan passage:

- Aktuella fartygsparametrar sänds via normala AIS meddelanden
- Farledsytan uppdateras med ny input både på fartyget och i Landcentralen
- Farledsytan valideras mot aktuell in-situ data från farleden

Passagen

- Fartyget navigerar inom Navigationskorridoren, korridoren visualiseras på bryggan med hjälp av AR
- Fartyget kontrollerar positionen med ECDIS och överlagrad radar
- Fartyget utbyter prediktor information med fartyg och Landcentralen
- Fartyget verifierar farledsytan med virtuella begränsningslinjer från Landcentralen

Landcentralen kan baserat på:

- Gemensamfarledsyta
- Gemensam rutt
- Prediktor information

Erbjuda:

- Uppdaterade VTS tjänster
- Navigationsstöd från land

4.2 Funktioner för den uppkopplade farleden

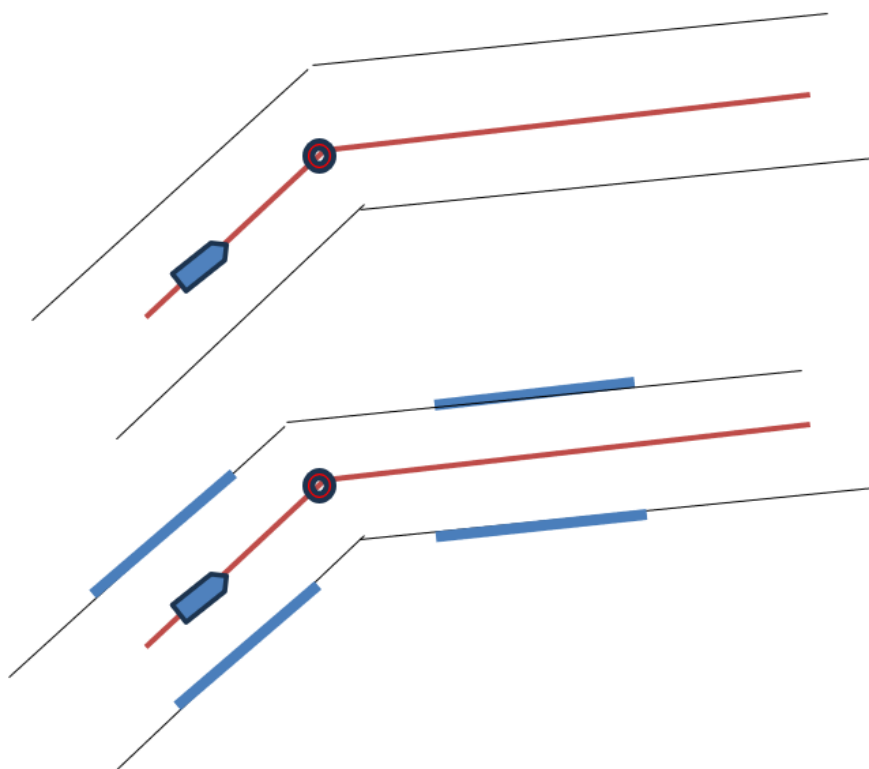
Farleden bör anpassas för att gynna autonoma operationer (t.ex. sjömärke som är lätt att läsa med computer vision, trafikdirigering genom "geo-fencing" eller liknande).

Kopplat mot autonomiutvecklingen behöver "Framtidens farleder" kopplas mot tidslinjalen för MASS, vilket omfattar IMO:s icke-tvingande målbaserade MASS-kodkomplettering som kommer att träda i kraft 2025 och den tvingande som kommer att träda i kraft den 1 januari 2028, samt IHO:s S-100 ECDIS-obligatoriska efterlevnad efter den 1 januari 2029.

Baserat på simulatorstudien som är redovisad ovan behövs ett antal funktioner kopplat till den uppkopplade farleden.

4.2.1 Sjömärken

Farleden behöver utmärkas med sjömärken. För att minska underhåll så föreslås här virtuella sjömärken. Baserat på simulatorstudien bör sjömärkena vara virtuella begränsningslinjer som anpassas för respektive farledsyta. Dvs blir individuella sändningar till varje fartyg.



Figur 26 Farledsytan utmärks i fartygets navigationssystem med begränsningslinjer. Till detta sänds specifika begränsningslinjer från Landcentralen för att validera fartygets linjer.

De virtuella sjömärkena kommer alltid att kompletteras med fasta eller flytande anordningar. Hantering av sjösäkerhetsanordningar (SSA) och identifiering av faror. Dessa åtgärder kommer att omfatta, men är inte begränsade till:

- Installation av SSA
- Förbättring av SSA
- Inspektion av SSA
- Kalibrering av SSA, exempelvis sektorkontroll av fyrar

Drönare för säkerhetsinspektioner av fyrar och svåråtkomliga föremål eller faror. Genom att använda drönare för inspektioner blir det möjligt att ta bilder av större fyrar, marina anläggningar och analysera videor, som vanligtvis är utmanande att inspektera visuellt. Detta tillvägagångssätt tar itu med problem som blinda fläckar för sjösäkerhet, som härrör från svårigheter att komma åt och inspektera platser. Följaktligen underlättar det ett effektivt och ändamålsenligt underhållsarbete för navigeringsstöden. Se vidare kap 5.

Drönare utrustad med kameror och precisionsmoduler i realtid (RTK) kan ta bilder av hög kvalitet och registrera korrekta geodata, vilket ger mer detaljerad och konsekvent information om tillståndet för sjömärken, t.ex. position, skada och fel.

4.2.2 Sensorer

I farleden kan olika typer av mätsensorer placeras jmf dagens Viva system. In-situ mätningar kan länkas till fartygen som passerar området och får på så vis möjlighet att validera information som vattenstånd och ström.

Även fasta eller flytande sjömärken kan sicka statusinformation till fartyg i området.

4.2.3 Beslutsstödsystem

Genom AR (augmented reality) kan situationens mest relevanta information förmedlas till navigatören för att öka situationsmedvetenheten. Med detta har navigatörer alltid lättillgänglig operationskritisk information och bibehåller samtidigt fortfarande full förmåga att interagera med konventionella instrument som radar och ECDIS. Genom AR kan operatören få virtuella markeringar presenterat intuitivt och lättolkat, detsamma gäller information som exempelvis "No Go Areas" och virtuella sjömärken.

4.2.4 Landtjänster

Genom att fartyget och landcentralen har utbytt information rörande:

- Fartygets last och egenskaper
- Fartygsrutten
- Fartygets rörelser genom prediktor information
- Farledsytan
- Trafiksituationen

kan en gemensam situationsbild skapas. Denna bild kan användas för att ge fartyget extra stöd i navigationen. Detta kan vara av typen VTS eller navigationsstöd. Landcentralen kan följa fartygets rörelser och ge olika typer av larm när farliga situationer upptäcks. Landcentralen kan också tillämpa trafikorganisation genom Time Slot Management, där fartygstrafiken anpassas så att fartyg inte mötes i exempelvis trånga passager.

4.3 Analys av robusthet

4.3.1 Kommunikation

Det finns olika aspekter av att säkra digitala data, inklusive användningen av digitala signaturer, S-128 för att upprätthålla uppdaterad information, säker överföring, IT-baserad säkerhet, SECOM-distribution och kryptering för paketdatauppsättningar, samt genomdrivande av bulletinrapporter för S-124.

Det finns ett behov av att inrätta ett internationellt ramverk för datadistribution på hög nivå i S-100, med tanke på Maritime Connectivity Platform (MCP) och dess relevans för landbaserade navigationstjänster och ramverk för identitetshantering. En svensk test- och demosite inom ramen för ett marint kommunikationsprojekt skulle kunna bygga grunderna och testa MCP:s identitetshantering och driva vidare certifieringsfrågorna.

4.3.2 GNSS

Centralt för fartygens navigation finns ECDIS-systemen där funktionen positionering är grundläggande. GNSS är det dominerande systemet för att uppfylla positioneringsfunktionen och systemen skall klara av s.k. död räkning (DR). AIS-mål som kan visas i ECDIS, ECS eller sjökortsplotttrar är idag också GNSS-beroende.

AIS-transponderns primära GNSS-mottagare kan vara samma som den primära positionssensorn för ECDIS-systemet, men vid utebliven position från denna övergår AIS-mottagaren till sin inbyggda sekundära GNSS-positionsälla.

Viss redundans kan alltså hanteras rörande enskild GNSS-mottagares bortfall, men vid förnekad GNSS-signal degraderas systemen menligt med ett växande fel som måste hanteras av besättningen.

Den pågående utvecklingen av reservsystem och/eller stöttning vid GNSS-störning eller bortfall är:

- inbyggda tröghetsnavigeringssensorer för kortare tidsperioder (minuter) sprunget ur "Panamakraven".
- R-mode VDES och MF (*ref. ORMOBASS, R-mode Baltic 2, R-mode Baltic*)
- E-Loran kan komma att vara aktuellt i vissa områden
- Ranging inom publika nät eller kombinationer av nät finns och utvecklas. Dessa kan vara beroende av antal anslutna användare och givetvis kopplat mot vilket band som mäter.
- De studier som gjorts i närtid avseende ranging inom LoRaWAN visar hittills otillräckliga resultat för att utgöra stöd i detta sammanhang [[Ranging Capabilities of LoRa 2.4 GHz | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)]

Gemensamt för dessa system är att de sannolikt inte håller tillräcklig positionsnoggrannhet för farledsnavigering, men kan vara robusta system utanför inre vatten. Detta är dock beroende på vad fartygens verksamhet kräver.

Återinförande av lokala system, typ Motorola Miniranger, har varit föremål för diskussion visavi omvärldsläget.

Vissa fartyg kan ha kvalificerade tröghetsnavigeringssystem, men de systemen utelämnas av kostnadsskäl och av slutanvändarproblematik. Dessa system fungerar teoretiskt även för autonomifallen med samma begränsningar.

4.3.3 Navigation

Farleder bör anpassas för att stödja terrestra kontroll- och reservmetoder, vari beskrivningsböcker, motsvarande tidigare utgivna böcker i serien Svensk Lots, kan spela en allt viktigare roll som del i backuplösningar. Vi måste ha i minne att många fartyg idag inte har papperssjökort, vilket i någon mån kan mötas med mer omfattande ledbeskrivningar i nämnda beskrivningsböcker. I olycks- och incident-rapporteringssystemet Insjö/Foresea finns exempel på rapporter där hela ECDIS-system har släckts ned i tekniska haverier ombord.

4.3.4 Radar med ARPA och dopplerfunktion

Positionering med landradar kan fylla flera funktioner, både navigation och antikollision.

Navigation

En ARPA-radar kan som bekant målfånga, plotta och ange ett fartygs kurs och fart. Skall målets position absolutbestämmas har en landfast eller ”bojfast” radar fördelen att den är geografiskt inmätt med god precision.

Detta innebär att de mål som plottas skulle kunna omvandlas till virtuella AIS-mål. Det innebär också att alla radar mål skulle kunna omvandlas till AIS-mål i de fall GNSS är förnekad i ett område. Det krävs även VHF-störning för att AIS (och framtida VDES) skall få sin kommunikationslänk utstörd.

Att ett radarsystem sänder GNSS-oberoende positionering ger också skydd mot s.k. spoofing, d.v.s. förvrängning och ändring av den absoluta positioneringen. Fartyget kan i det enkla fallet se sin position både från egen primär-sensor och från det landradargenererade radar-AIS-målet för eget fartyg.

För att noggrannhet och täckning i en farled skall räknas som tillräckliga krävs en utredning som är beroende på geografi, marginaler och vad som systemet skall stödja; ordinär reservmetod för fartyg, navigationsstöd från land eller robusthet för olika grader av autonomi.

Att serietillverkning av Dopplerstödd ARPA för FMCW-pulsradar/Chirptechnik blivit billig gör det värt att testa tekniken för bättre radartäckning och målupptäckt längs farlederna. Se bild.

En AIS-mottagare extra, alternativt att egen ID/MMSI blir förvrängd/kompletterad vid utsändning.

Möjlighet för tillförlitlig och säkert digital kommunikationslänk (t.ex. 5G/6G + VDES).

Redan använd radarteknik

En av de noggrannare robusta teknikerna som redan finns i begränsad omfattning är RACON-enslinjer, det vill säga att två, en ”övre” och en ”nedre” RACON, skall hållas i

ens. Ett problem att ta hänsyn till är att de FMCV-pulsradarstationerna som ofta används av den mindre sjöfarten har så låg effekt att de inte aktiverar RACON; inte alls eller på avsevärt kortare avstånd än en vanlig radar.

Antikollision

Filtreringsteknik gör det möjligt att skapa virtuella AIS-mål, sprungna ur ARPA-mål, som saknar AIS-signal.

Det finns flera use-case som utöver antikollision kan kopplas till tekniken:

- Awareness för VTS
- NSA-lotsar med mera
- Fritids- och mindre yrkestrafik
- Övrig övervakning

Presentation

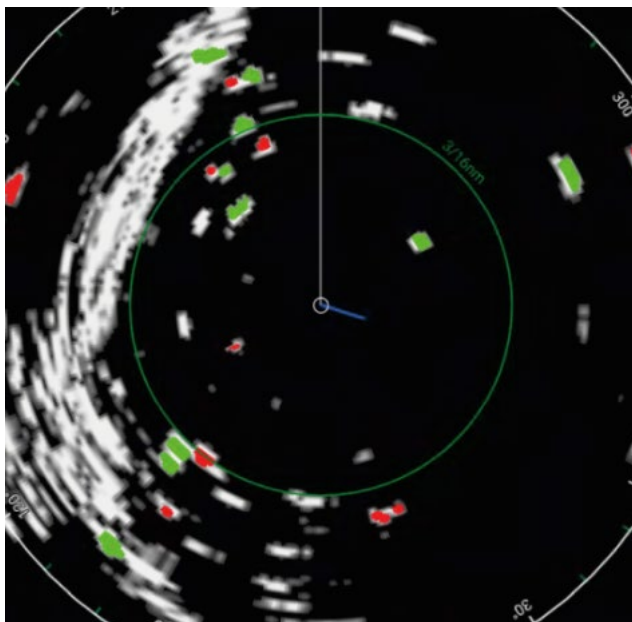
Begränsningar: med den teknik som finns idag ockuperar virtuella AIS-mål den kommunikationslänk som används. Eventuella speciallösningar med hoppande identiteter kan sannolikt användas beroende användarfall.

Fartygsutrustning som krävs för att nyttja funktionerna.

En AIS-mottagare extra alternativt att egen ID/MMSI blir förvrängd/kompletterad vid utsändning.

- Undersök möjligheter för tillförlitlig och säkert digital kommunikationslänk (t.ex. 5G + VDES).

VDES – AIS-nät via IP



Dopplerstöd:

Omedelbar Situational Awareness

Gröna mål: relativt gående (i stunden ingen kollisionsrisk)

Röda mål: relativt kommande (potentiellt farliga)

Figur 27 Visualisering av mål för förbättrad situational awareness. Gröna mål avlägsnar sig (ofarliga) och röda närmar sig (farliga mål).

5 Den underhållsfria och miljövänliga farleden

Sjöfartsverkets vision för farledsunderhåll 2030 som tagits fram inom studien återfinns i sin helhet som bilaga till denna rapport. Nedan finns en av projektledningen kondenserad och editerad version.

5.1 Vision för Farledsunderhåll 2030

Sjöfartsverket har formulerat en vision för hur underhållet av farleder och sjösäkerhetsanordningar (SSA) skulle kunna se ut på 2030-talet. Visionen skall leda minskat utsläppen från fossila bränslen med minst 80%, tiden för underhållsarbete har minskat med 50% med minskade risker för personalens olyckor och minskat buller i skärgården med bibehållen eller ökad tillgänglighet i alla farleder.

I dagsläget planeras för årliga underhållsbesök på alla Sjöfartsverkets fasta och flytande sjösäkerhetsanordningar. Med hjälp av ett effektivt system med visuell planering med AI-stöd, reviderade arbetssätt, effektiv logistik samt UAS:er med AI-stöd i form av Machine Vision och ett behovsanpassat underhållsintervall kan underhållsaktiviteter genomföras effektivare, säkrare och mer miljövänligt.

5.2 Vision för nytt systematiskt underhållsarbete

Efter en grundlig studie av Sjöfartsverkets alla SSA:er har man utarbetat ett nytt system för underhåll. Detta bygger på att underhållet delas upp i två olika aktiviteter:

- **Tillsyn** – vilket innebär att man fysiskt utför underhållsåtgärder, såsom rengöring och byte av kätting eller motsvarande på en prick, påfyllnad av batterivatten eller byte till litiumbatterier samt rengöring av lykta och solpanel på en fyr. Tillsyn utförs av Sjöfartsverkets tekniker och farledsfartyg som går på fossilfritt bränsle.
- **Inspektion** – vilket innebär att man endast visuellt inspekterar SSA för att detektera avvikelser som kräver åtgärd. En inspektion kan därmed automatiskt skapa en tillsynsåtgärd. Inspektionen utförs med hjälp av en eldriven UAS (drönare) eller annat hjälpmedel som t ex en båt i annat ärende som passar på att utföra en inspektion.

Beroende på varje individuell SSA:s förutsättningar, med avseende på teknik och yttre faktorer som t ex salinitet, strömmar, trafik och is, blir den tilldelad en underhållsklass. Underhållsklassen anger sedan hur ofta tillsyn behöver utföras. De år som tillsyn inte utförs genomförs istället en inspektion. Detta medför att mängden underhåll, kostnader och miljöpåverkan kopplat till tillsynstillfället minskar avsevärt eftersom mindre fartygstid krävs samtidigt som objektens skick och nautiska funktion säkerställs.

Årets arbete planeras centralt och grovt utifrån verksamhetens uppbyggda erfarenhet i kombination det nya och visuella planeringsprogrammet. Vartefter isen släpper och årets

planerade underhåll kan påbörjas startar efterföljande aktiviteter. Nedan följer ett antal scenarion som visar hur tillsyn och inspektion skulle kunna se ut.

5.2.1 Inspektion av flytande sjösäkerhetsannordningar

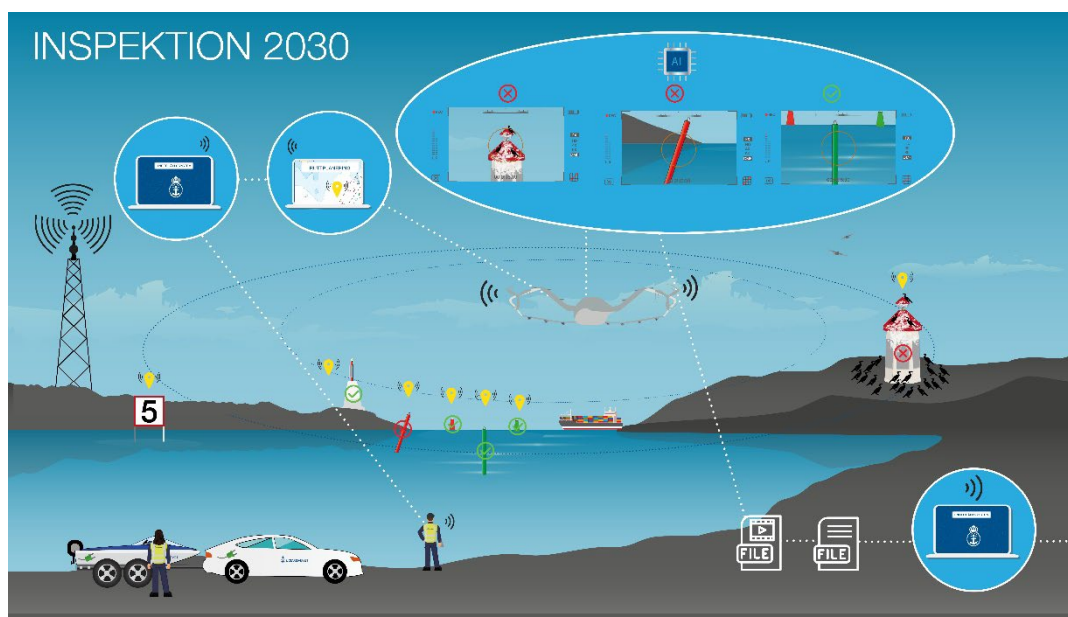
Med hjälp av drönare från Sjöfartsverkets UAS-enhet genomförs årlig inspektion av flytande utmärkningar. Rutten är optimerad med hjälp av Sjöfartsverkets visuella planeringsverktyg. Utrustning transporteras med elbil och en mindre båt på en trailer. UAS rutt genereras utifrån data hämtad från underhållssystemet.

Enheten flygs autonomt och övervakas endast av Sjöfartsverkets UAS-pilot och observatör. Arbetet består av att visuellt inspektera och positionsbestämda ett antal prickar och bojar som är del av Sjöfartsverkets flytande utmärkning i farleden.

Flytande utmärkningar i viktiga farleder är utrustade med GPS-positioneringsutrustning vilket innebär att positionen kontinuerligt övervakas i systemet med larmfunktionalitet. UAS kan med hjälp av inbyggd positioneringsutrustning, kamera och instrument positionsbestämma utmärkningen med mycket stor noggrannhet. Med hjälp av kamera och AI-programvara och Machine Vision kan en automatisk bedömning av den flytande utmärkningens skick göras.

Om position eller skick skulle avvika från satta gränsvärden och kräva en fysisk åtgärd genereras en arbetsorder i underhållssystemet och det planeras för utförande av en "incident manager" med målsättning att åtgärden kan utföras i samband med något senare ordinarie arbete och rutt.

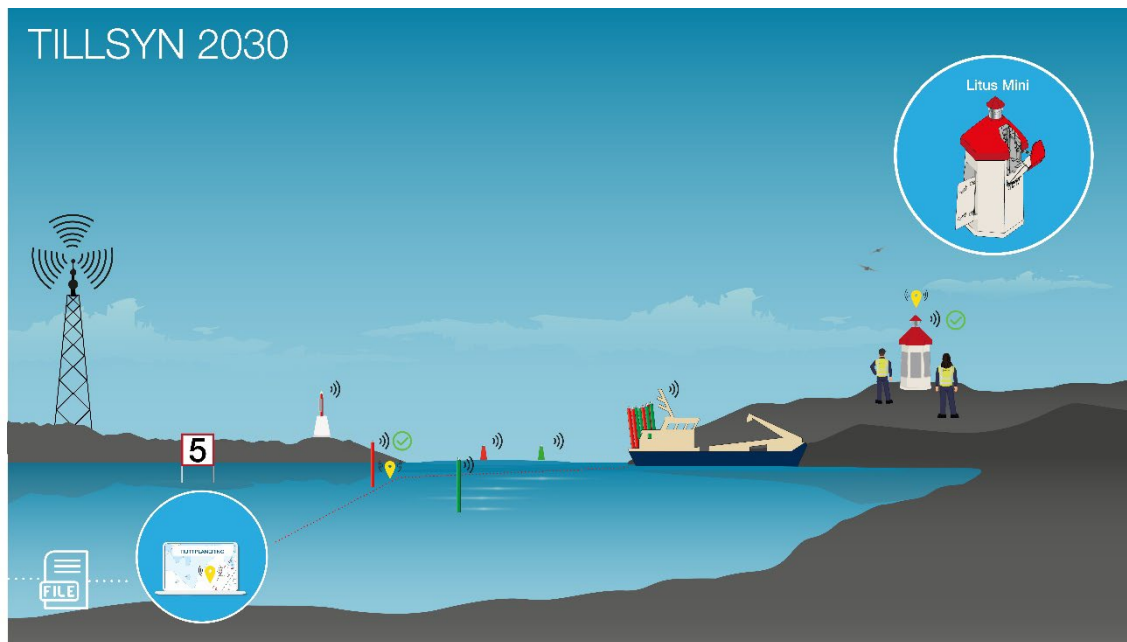
En utvecklingsmöjlighet vidare är att stationera UAS i självförsörjande hangarer/lådor vid vissa farleder lokaliserade vid lotsstationer eller exempelvis större landbaserad fyr eller liknande. Enheterna skulle sedan kontrolleras från lämpligt kontor och där med minska behovet av personer på plats. Dessa stationära UAS skulle även kunna användas av andra verksamheter så som Lotsning (Fjärrlotsning), Sjötrafikinformation, SAR, isrekognosering och spillspårning för att ytterligare öka användandet och effektivitet.



Figur 28 Framtida inspektion av flytande och fasta SSA samt fyr.

5.2.2 Tillsyn av flytande sjösäkerhetsanordning

Tillsyn på flytande utmärkning görs med Sjöfartsverkets arbetsfartyg. Rutten är lagd med hjälp av det visuella planeringsverktyget som hämtar sin information från Sjöfartsverkets underhållssystem. Nyare förankringsmaterial med nyutvecklad bojkonstruktion samt att utrustningen står i relativt skyddat vatten möjliggör att tillsyn endast behövs genomföras vart fjärde år.



Figur 29 Bild över pågående tillsyn av SSA och Fyrar i framtiden.

Även prickar som inte står i en prioriterad farled och därmed saknar GPS-positionering kan kontrolleras av UAS när den passerar. Det visuella planeringsverktyget kan till exempel identifiera prickar som är ur position på grund av islossningen. Anmärkningen genererar en arbetsorder till driftenheten. Arbetsfartyget kan i samband med planerad tillsyn av andra sjömärken i området optimera rutten, åtgärda felen och fortsätta vidare till det planerade arbetsområdet. Väl på plats genomförs tillsyn av Sjöfartsverkets prickar och bojar. Uttjänt material byts, prick och bojkroppar rengörs och övriga underhållsaktiviteter utförs för att säkerställa driften tills nästa tillsynsbesök och alla åtgärder dokumenteras i samband med tillsynen i mobila enheter som är kopplade till underhållssystemet.

5.2.3 Inspektion av fyrar

På samma sätt som för SSA kan fyrar inspekteras med hjälp av UAS. Drönaren följer en förplanerad rutt som är baserad på data från Sjöfartsverkets underhållssystem och genomför inspektionen autonomt, piloten och observatören övervakar endast flygningen. Inspektion genomförs medelst en noggrann filmning av fyrens exteriör. En högupplöst kamera i kombination med AI-programvara bedömer skicket på fyren. Faktorer som bedöms är till exempel nedsmutsning av fyrlykta, lanterninglas och solpanel samt yttre påverkan så som skadegörelse eller inbrott. Om en avvikelse detekteras genereras en arbetsorder för tillsyn av fyren som sedan utförs av driftenheten. Anmärkningar kan genereras på fyrar som är kraftigt ansatta av fåglar. För att säkerställa fyrens nautiska

funktion bokas ett tillsynsbesök för att rengöra solpaneler och fyrlykta. Arbetsorder genereras automatiskt av systemet och skickas till underhållssystemet och det nya planeringssystemet för optimerad ruttplanering.

5.2.4 Tillsyn av fyrar

Sjöfartsverkets farledsfartyg genomför fortsatt den fysiska tillsynen av fyrar. Rutten optimeras med hjälp av Sjöfartsverkets grafiska planeringsverktyg. Utöver det arbete som är schemalagt enligt underhållsplan kan systemet lägga till ytterligare objekt i närområdet. Till exempel för fyrar som är försedd med integrerad övervakning via GSM nätet har larmat för låg batterispänning. Övervakningen är sammankopplad med Sjöfartsverkets underhållssystem och har automatiskt genererat en arbetsorder. Ordern bedöms av en "incident manager" och fördelas till den utförande enheten.

Vid ett oplanerat tillsynsbesök kan farledsfartyget identifiera ytterligare punkter som behöver åtgärdas, så som att fyrens solpanel skadats vid en storm. Panelen byts då till ny och man passar även på att genomföra tillsynsbesök av fyren. Likaså kan UAS inspektion har givit att andra fyrar behöver tillsynsbesök. Många fyrar är på grund av sitt geografiska läge hårt ansatta av smuts och fågelspillning. Fyrarna behöver rengöras och övriga tillsynsaktiviteter kan genomföras i samband med det.

Ordinarie underhåll inkluderar att fyrarna städas, fyrlyktor, lanterninglas och solpaneler rengöras, batterivatten fylls på, utrustningen kontrolleras och funktionsprovas. Arbetet avrapporteras i underhållssystemet.

5.2.5 Inspektion av övriga fasta anordningar

Med övriga fasta anordningar menas sjösäkerhetsannordningar som har en fast position på land, men som inte är försedd med fyrljus. Exempel på övriga fasta anordningar är kummel, belysta kummel, stänger, båkar och skyltar.

Tidigare planerades årlig tillsyns av fasta anordningar, genomfört av ett farledsfartyg, samt besiktning vart sjätte år, genomfört av en byggprojektledare. På grund av resursbrist har detta dock sällan genomförts. Med UAS-enhet kan inspektion genomföras mer tidseffektivt även på övriga fasta anordningar. Om området tillåter kan en mindre, eldriven båt kopplas på bilen med en trailer och ytterligare effektivisera resursanvändandet. Skicket på till exempel ett kummel bestående av en målad stenkonstruktion kan bedömas med hjälp av kamera och AI-programvara, enklare åtgärder som behov av ommålning görs automatiskt. Filmer från inspektionen skickas även till Sjöfartsverkets byggprojektledare. Projektledare kan då göra en bedömning på objektets skick och avgöra när ett platsbesök behöver utföras för att säkerställa den strukturella integriteten.

5.2.6 Tillsyn av övriga fasta anordningar

Många fasta sjösäkerhets anordningar som kummel består av konstruktioner av sådan typ att underhåll inte behöver genomföras efter ett bestämt tidsintervall utan enligt tillståndsbaserat underhåll. Detta innebär att ett tillsynsbesök endast genomförs om en avvikelse detekteras vid inspektionen. Då ett sådant tillsynsbesök påkallas kan teamet

samtidigt genomföra underhållsaktiviteter i form av siktröjning, kontroll av material och målning vilket också dokumenteras i mobila enheter direkt till underhållssystemet.

5.3 Program för Vision Underhåll 2030

För att kunna genomföra visionen om detta förändrade sättet att arbeta med underhåll genom ny teknik och nya system har Sjöfartsverkets farledsservice identifierat ett större antal projekt av både verksamhets- och teknikkaraktär. Möjligheten som dock ligger till grund för av dessa förändringar är att utnyttja den kunskap som finns i nuvarande verksamhet som genom en förstudie som tar fram material för bedömning av nya underhålls- och inspektionsklasser. Till detta pågår nu parallellt arbeten med att se hur Sjöfartsverket kan införa UAS:er i flera olika verksamheter (Sjöräddning, Isbrytning, Sjömätning) och hantera detta centralt. I samband med att ett nytt affärssystem införs kan det utnyttjas till att dokumentera förvaltningsinformation på ett effektivare sätt än idag.

Genom ny teknik med UAS, GPS-positionering, SSA:er som infrastrukturbärare och kommunikation skapas möjligheter att dokumentera och övervaka. Detta i sin tur minskar antalet fysiska resor med fartyg och arbetsmoment som kan vara riskfyllda för personalen. Då dessa projekt är sammankopplade men av olika karaktär rekommenderas det att starta ett program för att hantera planering och framdrift. Programmet bidrar till effektivare underhåll och minskad miljöpåverkan genom förändrade arbetssätt, förbättrat IT stöd och implementering av ny teknik.

6 Summering och nästa steg

6.1 Slutsatser

Detta projekt syftar till att ge en vision för framtidens farled och analysera denna med avseende på nya krav som kan uppkomma för; traditionell trafik kopplat till nya navigationstjänster, blandning av traditionella fartyg och mer autonoma fartyg eller fartyg som styrs via fjärrkontroll. Vidare har flera farledsfunktioner analyserats så som virtuella sjömärken, positioneringsteknik, sjögeografiska data som del i den övergripande säkerhetskedjan och en mer dynamisk farled som kan vara unik för respektive fartyg under en viss tid. När farledsfunktioner har analyserats har även robustheten i systemen beaktas.

Simuleringar kopplat till konceptet dynamisk farled har genomförts. Den dynamiska farleden som representerar en farledsyta istället för en linje i sjökortet. Simuleringarna har exemplifierat manövrering av olika typer av fartyg i dynamiska farleder utan fysiska navigeringshjälpmedel och begreppet dynamisk farledsbredd. Vidare har nyttan av att definiera farledsytor utan begränsande sjömärken undersökts. Olika ruttalternativ har jämförts med avseende på bränsleförbrukning.

Resultaten från simuleringarna visar stor potential på höjd sjösäkerhet, effektivitet och minskade utsläpp från fartyg.

Studien visar att den dynamiska farleden behöver markeras med dynamiska virtuella sjömärken. Här har vi visat att specifika virtuella linjer är ett förslag att gå vidare med. Farledsytan behöver ta hänsyn till mötande trafik antingen genom time slot management eller trafikseparering.

Den dynamiska farleden kan kompletteras med utbyte av information mellan - land-farled och fartyg:

- Farled – fartyg: in-situ mätningar av oceanografiska och metrologiska parametrar
- Fartyg – land: ruttplan och parametrar för att beräkna farledsytan
- Fartyg-land-fartyg: utbyte av aktuell prediktor information

Dessutom kan flera landtjänster kopplas till den dynamiska farleden:

- Dagens VTS tjänster; navigationsassistans och trafikorganisation
- Navigationsstöd från land

Även miljöaspekter för framtidens farled har analyserats. Sjöfartsverket har formulerat en vision för hur underhållet av farleder och sjösäkerhetsanordningar (SSA) skulle kunna se ut på 2030-talet. Visionen skall leda till minskade utsläpp från fossila bränslen med minst 80%, tiden för underhållsarbete minskat med 50%, minskade risker för personalens olyckor och minskat buller i skärgården med bibehållen eller ökad tillgänglighet i alla farleder.

I dagsläget planeras för årliga underhållsbesök på alla Sjöfartsverkets fasta och flytande sjösäkerhetsanordningar. Med hjälp av ett effektivt system med visuell planering med AI-

stöd, reviderade arbetssätt, effektiv logistik samt UAS:er med AI-stöd i form av Machine Vision och ett behovsanpassat underhållsintervall kan underhållsaktiviteter genomföras effektivare, säkrare och mer miljövänligt.

6.2 Nästa steg

Denna studie har tagit fram en vision av framtidens farled. Denna vision kopplar till en lång rad pågående projekt. Projektet visar också på ett antal nya koncept som bör analyseras vidare. Nedan presenteras förslag på fortsättningar av denna studie:

6.2.1 Dynamiska farleden

Konceptet med den dynamiska farleden behöver undersökas vidare främst kopplat till hantering av mötande trafik och virtuell utmärkning. Separation av trafik och likaså virtuella dynamiska sidolinjer behöver studeras i ett demonstrationsprojekt som även inkluderar HAZID analyser, simulatorstudie och praktiska försök ombord på riktiga fartyg.

6.2.2 Kommunikation och positionering

På internationell nivå sker implementering och olika utredningar/förslag med en tydlig riktning mot digitalisering av de maritima banden. En EU-reglering via Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT), ECC Decision (19)03 med 2024 års ändringar, fastslår aktuella digitala frekvenser och användningsområden <https://docdb.cept.org/download/4518>.

På nationell nivå behöver både infrastrukturplanering och metoder arbetas fram för att hantera digitaliseringen visavi angöring och farleder; med harmoniseringsmöjligheter inom IALA MCP. En förutsättning är också steget 24-timmar innan anlop, nämligen robust funktion inom ramen för NMSW.

Vidare bör nya 5- och 6G lösningar utnyttjas på två viktiga punkter för att garantera kapacitet och PNT⁵-redundans för förnekad GNSS eller andra störningar:

- Dedikerade nät/kanaler
- PNT-funktionaliteter

Utöver dessa punkter tillkommer utbyggnad som adresserar täcknings- och roaming problematik.

Det bör också utredas huruvida delar av sjöfarten kan utnyttja den digitala infrastruktur som Terracom Samhällsnät med 450 MHz-bandet tillhandahåller över mer än 80% av ytan i alla län, inkluderat sjöar vattendrag och territorialvatten. Bandet är reserverat för samhällsviktiga aktörer. Minimikraven är mottagning av data med minst 5 Mbit/s och sändning av minst 128 kbit/s. (Källa: <https://pts.se/internet-och-telefoni/mobiltackning/>). Utan att gå in på någon detaljeringsgrad uppvisar nätet, efter omläggning till samhällsnät, betydligt högre hastigheter vid de tillfällen RISE Maritimt har utnyttjat detta nät.

Då detta är komplext, rör flera nivåer som har olika långt gången utveckling samt olika maritima behovsägare är det därför lämpligt att ett samlat nationellt projekt genomförs, vilket drivs gemensamt av forskning, behovsägare, infrastrukturhållare inklusive relevanta totalförsvarsaktörer för att optimera och harmonisera behov och utveckling ur ett nationellt perspektiv visavi förutsättningar och rådighet. Ett projekt för att utveckla avancerad digitalisering som kan kopplas mot sjöfarten är viktigt av flera skäl:

- Möjlighet att omsätta Framtidens farleders vision där digital uppkoppling är avgörande
- Möjlighet att realisera demonstratorer och livetester inom ramen för Maritime Connectivity Platform (MCP) och därmed stärka svensk relevans och utveckling
- Digitaliseringen kan bidra till att öka effektiviteten och säkerheten i sjöfarten. Medelst digital teknik kan sjöfartens aktörer få bättre information om väder, vågor, ström, navigationsvarningar, iskartor, sjökortsrättelser och andra faktorer som påverkar sjöfarten. Detta kan hjälpa till att minska risken för olyckor och förbättra sjöfartens effektivitet. Informationsdelning kan genomföras på ett nytt sätt där riktighet, skydd av data och prioritering är nya verktyg. I det sammanhanget skapas bland annat en säker länk för (N)MSW⁶, även om formulärdata kan behöva minimeras visavi bandbredd på vissa länkar.
- Digitaliseringen kan bidra till att minska sjöfartens miljöpåverkan. Genom att använda digital teknik kan sjöfartens aktörer optimera sina rutter och minska bränsleförbrukningen. Detta kan bidra till att minska utsläppen av växthusgaser och andra föroreningar. Även överproduktion av kraft (el) från fartyg till landinfrastruktur ges planeringsmöjligheter
- VDES (VHF Data Exchange System) är en viktig del av en digitaliserad sjöfart. VDES är en teknik som gör det möjligt att överföra data mellan fartyg och landstationer via VHF-frekvenserna i kombination med VDES-satellit. Genom att använda VDES kan sjöfartens aktörer få bättre information om väder, sjöströmmar och andra faktorer som påverkar sjöfarten. Sömlös sammankoppling till bredbandigare nät med högre kapacitet när fartyg närmar sig cellulär infrastruktur blir möjlig. Detta kan hjälpa till att minska risken för olyckor och förbättra sjöfartens effektivitet. Den första svenska VDES-satelliten startades för testmöjligheter i februari 2024
- Samhällsmaster med strategiskt optimala lägen mellan hamn och lotsmötesplatser kommer att vara ett viktigt steg mot de vinster som beskrivits; sannolikt också den bästa av förutsättningar för att driva denna utveckling framåt
- En önskvärd utveckling är att planering av infrastruktur som byggs till havs och kustnära, det kan exempelvis vara gruvdrift till sjöss, våg- eller vindkraft, också tar höjd för elektronisk kommunikation. Det bör vara en standardåtgärd att överväga både så kallad svartkabel (fiberkablar för framtida användning) som basstationer för 5- och/eller 6G samt länkar för totalförsvarsnytta

- Nationell roaming över sjöterritoriet och farlederna är ett effektivt sätt att optimera täckning för de publika mobilnäten
- Att marknadens parter och berörda myndigheter/verk inom kommunikation kan samverka och bygga kompetens inom området är en förutsättning för att synliggöra möjliga lösningar; tekniskt och infrastrukturmässigt
- Med nya kommunikationslösningar kommer också möjligheten till kompletterande positioneringsmetoder att följa. Redan idag kan en mer avancerad mobiltelefonterminal, en ”mobil”, använda mobiltelefonnät, WiFi-nätverk, inbyggda multi-GNSS-mottagare och sensortriader för rörelse, jordmagnetism och tryck (höjd) för så kallad sensorfusion. En till navigationssystem (ECDIS för fartyg och PPU⁷ för lotsar) och ”landföljningssystem” (HMI för VTS och trafikcentraler) sidoordnad varnings- och noggrannhets- och anomalidisplay bör kunna utvecklas med motsvarande teknik för uppföljning av positioneringssystemen.
- Digital VHF (dPMR) och digitalisering av kuststationsnätet (kustradionätet [sic]). En inläga är tidigare inskickad till MSC 109 (MSC 109/19) om att sätta upp en ny output till NCSR att ta fram ett övergångsschema från analog till digital VHF (dPMR). Bedömningen är att en övergång till digital VHF (dPMR) blir en omfattande uppgift för IMO Sub-Committee on Navigation, Communications and Search and Rescue (NCSR). Det kräver sannolikt en del intersessionellt arbete för att landa på något som fartygs-, landanvändare och den relativt begränsade marknaden efterfrågar.
Digital VHF (dPMR) kan på sikt och i någon mån utvecklas att bli ett komplement eller ett alternativ till VDES inom sitt täckningsområde (ungefär GMDSS A1-område enligt <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2530>). Digital hantering av bland annat talfunktionen kan i förlängningen innebära att operatörs-certifikatskraven kan sänkas.
Från 2025-01-01 gäller alla ändringar, kompletteringar, anvisningar/regler och procedurer sammanställda enligt World Radio Communication Conference 2023 (WRC-23) för i GMDSS ingående kuststationsnät och fartygsstationer. En skärpning är bland annat att digitals selektivanrop (DSC) skall skickas innan säkerhetstrafik inleds, såväl från fartygsstationer som kuststationer
- Farlederna bör vidare kunna övervaka störningar på positioneringstjänsterna och tillämplig kommunikation för konnektivitet. I första hand GNSS och internettjänster där intressenterna har systemberoenden; monitoreringens varningar vidareförmedlas till fartyg och tjänsterna (aktuella lotsar och VTS) i realtid. Metoder för att säkerställa autonoma och fjärrstyrda fartygs kontinuerliga och tillräckligt noggranna positioneringsmöjligheter behöver utarbetas.

Bilagor:

Bilaga 1: Visionen för framtidens sjövägar

Bilaga 2: Den dynamiska farleden –
summerande rapport och fem delrapporter

Bilaga 3: Delrapport – Den underhållsfria och
miljövänliga farleden

Bilaga 4: S-100 översikt av nya standarder för
elektroniska sjökort

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.

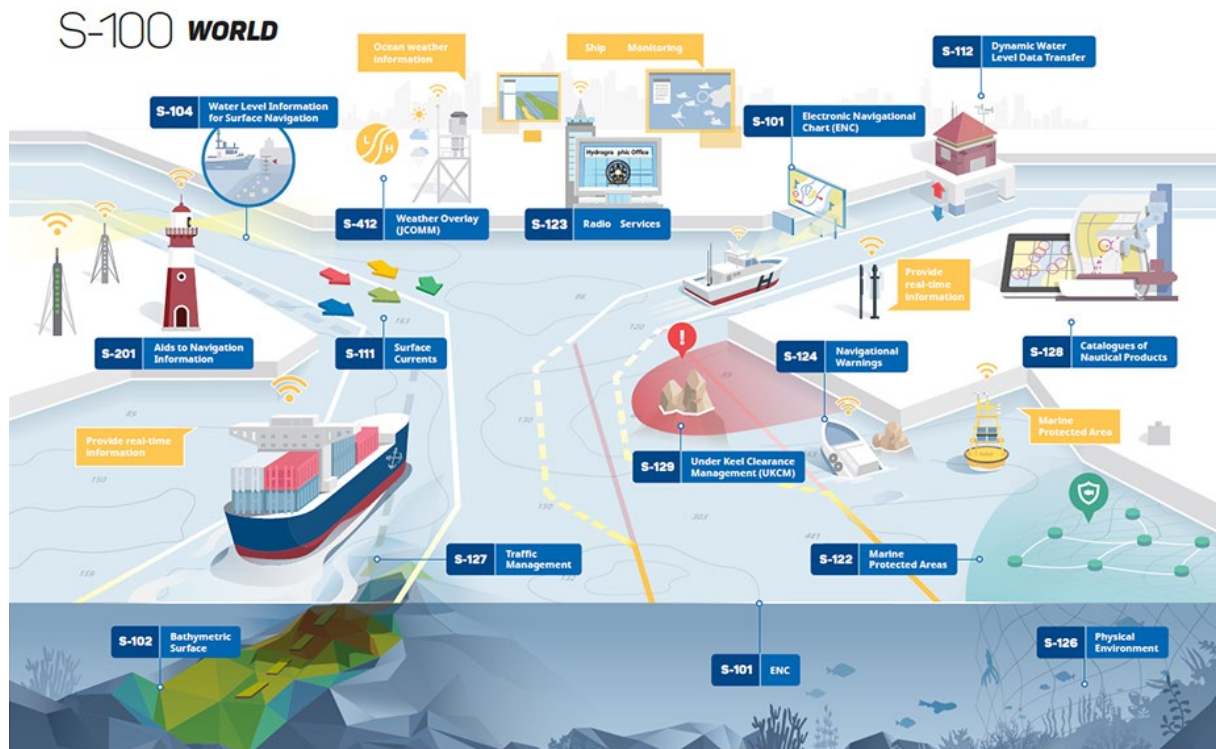


RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Maritim System
Innovation
RISE Rapport : P116207 -
TRV2022/33 343
ISBN:

Framtidens sjövägar – Visionsförslag

ARBETSKOPIA framtagen för arbetet inom projektet Förutsättningar för framtidens farleder som genomförs av Sjöfartsverket, RISE avdelning Maritim, Chalmers och SeaMade. Projektet finansieras av Trafikverkets FOI portfölj för sjöfartsforskning.



(IHO S-100, 2023)

Detta projektförslag syftar till att ge en vision om framtidens uppkopplade och dynamiska farled och analysera denna med avseende på nya krav som kan uppkomma för traditionelltrafik kopplat till nya navigationstjänster, blandning av traditionella fartyg och mer autonoma fartyg som styrs eller övervakas via fjärrkontroll. Resultatet kommer b.l.a. att vara en gapanalys mot dagens internationella riktlinjer. Vidare analyseras även andra farledsfunktioner så som virtuella sjömärken, positioneringsteknik, sjögeografiska data samt "geo fencing" som del i den övergripande säkerhetskedjan. En mer dynamisk farled är en farled som kan vara unik för ett specifikt fartyg vid en viss tid. Även miljöaspekter för framtidens farled kommer att belysas. Dessutom undersöks hur dessa nya farledsfunktioner kan opereras med ett effektivt och lågt underhåll.

Framtidens farleder – inledning

Det är viktigt att framtidens farleder ses som ett "system-av-system" och sätter det smarta fartyget i ett större sammanhang. Här sätter vi en vision för den framtida uppkopplade och dynamiska farleden som stöttar framtidens hållbara drivmedel och framdriftstyper. Input till visionen kommer från svenska sjöfartsnäringen och Sjöfartsverket. Inom projektet har både referensgrupper konsulterats och enskilda intervjuer utförts för att utveckla visionen. Visionens förslag tas fram tidigt under projektet och utvärderas kontinuerligt under projektets fortsatta gång genom simulering.

Framtidens farleder beskrivs med hjälp av två visioner, en för 2030 och en för 2045. Första delen av visionen fram till 2030 fokuserar på händelser i närtid och baserar sig till stor del på existerande teknik ombord. Andra delen i visionen fokuserar på perioden 2030 till 2045 där nya tekniska lösningar kan antas vara mer mogna för den uppkopplade och smarta sjötrafiken med flertal alternativa framtida drivmedel.

Övergripande strävar farleden till att främja hållbara och tekniskt avancerade sjötransporter. Fokus kommer att ligga på att assistera sjöfartens utveckling mot nollutsläppsteknologier, digitalisering och uppkopplade fartyg.

Vision för framtidens farleder

"Framtidens sjövägar förväntas utvecklas mot en kollaborativ, säker och robust infrastruktur för sjötransport. Genom att utveckla dynamiskt anpassade och intelligenta sjövägar som stödjer hållbar framdrift, optimerat godsflödet samt främjar en ökad autonomi." – Projektmedlemmar

"Visionen är att forma framtidens sjövägar till en säker, hållbar och intelligent transportinfrastruktur som banar väg för en omvälvande maritim era. Genom att integrera avancerade teknologier, artificiell intelligens och dataanalys skapar vi en helt ny standard för sjöfartsnavigering. Våra sjövägar strävar mot att vara dynamiska och anpassningsbara, vilket möjliggör sömlös och effektiv rörelse för fartyg i harmoni med miljön. Vi främjar autonomi och självständighet, där fartyg kan navigera med säkerhet och med hög-precision. Med fokus på säkerhet och riskhantering skapar vi en trygg miljö för sjöfartstrafiken. Vision förutsätter att vara banbrytare inom sjöfartsindustrin och forma en framtid där sjövägarna är en drivkraft för global handel, hållbar utveckling och innovativ teknik."



Framtidsutsikt 2030,

Förändringar som förväntas påverka utformningen av framtidens farleder:

2024

- Tester för autonoma och foilandade passagerarfärjor i urbana miljöer initieras (Candela, 2023)
- Politiska omvärldsläget driver satsningar på totalförsvaret (FOI, 2023)
- IMO krav träder i kraft på digital datadelning vid hamnanlöp världen över (IMO, 2023)
- Trenden för priser för hög data bandbredd är nedåtgående (Euroconsult, 2023)
- Sjöfartsverket implementerar nytt VTS system som är förberett för m2m kommunikation och trafikstyrning (Sjöv 2020)
- Sjöfartsinvestering 11 miljarder kronor mellan 2022-2033 (Nationell plan, 2022)

2025

- El-konverteringar ökar kraftigt inom inrikesjöfarten (Trafikanalys, 2022)
- Fartygs ECDIS skall kunna visualisera och stödja S-100 produkter i ECDIS (NCSR, 2023)
- ECDIS får ett standardiserat API att utbyta S-100 produkter [SECOM] vilket möjliggör delande och utbyte av färdplan och dess tillhörande fartygsprofil (IMO, 2023)
- För civila sjöfarten utprövas nya sensorer, så som civila tillämpningar av AESA radar, för långt större noggrannhet och uppdateringsfrekvens i landbaserad övervakning (Projektuppskattning)

2026

- De första fastvingsseglassisterade fartyg börjar segla (Orcelle wind, 2023)
- Skandiaporten invigs (Sjöfartsverket, 2022)
- IMO E-Navi Strategi ökat standardisering och harmonisering av navigations utrustning (MSC, 2018)
- Navigationsstöd från land ersätter vissa lotsningar under rätt förutsättningar (Sjöfartsverket, 2022)
- Mer detaljerad KC segling tillåts i Sveriges farleder under förutsättning att landbaserad övervakning kan ske och att fartygen delar adekvat data. (Projektuppskattning)
- Nationell trafikslagsövergripande plan för transportinfrastrukturen revideras för att innehålla sensor och uppkopplingsstöd i Sveriges farleder (Sjöv, 2023)

2027

- Malmporten djuphamn invigs (Malmporten, 2023)
- Isbrytare som kan köra fossilfritt tas i drift (*Altinget*, 2023)
- Sjökort: S-10X Högupplöst bottengeometri (Sjöfartsverket, 2023)
- UAS för sjötrafikövervakning och nautisk rådgivning testas med potential att ersätta viss fast infrastruktur (Projektuppskattning)
- JIT rutiner för anløp och avgångar i Sveriges största hamnar finns i drift för ökad effektivitet av sjötransporter samt ökad sjösäkerhet (Projektuppskattning, Sjöv 2023)

2028

- Autonoma urbana passagerarfärjor tas i drift (Projektuppskattning)
- Vingsegelfartyg i internationell reguljär trafik (Projektuppskattning)
- Satellitkonstellation i låg omloppsbana möjliggör lågkostnadsinternat globalt (Huawei, 2023)
- Små modulära reaktorer når social acceptans och nyttjas i allt större utsträckning i Europa (SKS, 2023)
- Solid-State och Li-O batterier med en energitäthet som direkt tävlar med diesel finns tillgängliga på marknaden (CATL 2023)
- Vissa av Sveriges TEN-T farleder utrustas med full 5G, RADAR och andra elektroskopiska sensorer (Projektuppskattning)

2029

- Största delen av internationella fartygsanløp kopplas upp med landstöm (Projektuppskattning)
- Bränslemix med diversifierad användning av gröna bränslen ersatt den homogena bränslemix som vi ser idag (Projektuppskattning)
- Multi-fuel fartygsmaskiner möjliggör stor flexibilitet i val av bränsle (Projektuppskattning)
- Automatiska förtöjningssystem installerade i alla större hamnar (Projektuppskattning)
- Navigationsstöd från land ersätter vissa fysiska lotsningar samt möjliggör flexibla bordsningspunkter
- Sjöfartsverket VTS centraler i Göteborg och Stockholm arbetar aktivt tillsammans med hamnar i anløpskoordinering på en ny nivå
- Fartygens bandbreddsanvändning förväntas växa tjugofalt i jämförelse med 2022 (Euroconsult, 2023)

2030

- El-drift är den dominerande framdriftstypen för inrikes fartyg och hamnmaskiner (Projektuppskattning)
- Inrikestransport: växthusgasutsläppen minskat med 70% i jämförelse med 2010 (Regeringsmål, 2023)
- Regeringens mål: Antalet omkomna ska halveras inom sjöfarten i jämförelse med 2010 (Regeringsmål, 2023)
- IMO GHG 2030 reduceringsmål uppfylla och på god väg mot målet för 2050 (IMO, 2023)
- Internet integrerat sömlöst mellan Rymd-Luft-Land som förväntas att ansluta alla transportmedel (Huawei, 2023)
- LEO satellitkonstellationer står för en stor del av bredbandig data till och från fartygen (Starlink 2023, One Web 2023)
- De första kommersiella försöken med autonom transocean trafik görs utanför labmiljö (MSC Singapore Maritime Week, 2023)

Vision 2030 - Den Smarta farleden

Den smarta farleden utgår från att fartyg med existerande teknik ombord skall fortsatt kunna segla i farlederna. Förändringarna som föreslås sker främst på farleders infrastruktur och tjänsteutbudet.



Navigationstjänster

- VTS styr trafiken med instruktioner inom allt mera reglerade vattenområden
- Navigationsstöd från land erbjuds i 40% av lotsfarlederna
- ECDIS S-100 produktutbudet dynamiska lager har förbättrat ruttplanering, navigationsvarningar och farleder utnyttjar farledsutrymmet mer effektivt
- Autonom/fjärrstyrda övervakningsdrönare tas i drift runtom svenska kusten
- Dynamiska fartområden har utökat transportmarknaden för småtonnage i Norden
- Möjligheten att detaljbevaka vissa anlöp med UAS för ökad SA i landcentral är etablerad.



Datalänkar och IT

- Transparent datadelning medför en konkurrenskraftig marknad och ökad effektivitet
- Internet är den primära datalänken och klassas som operationskritisk
- 5G etablerade i alla farleder och klassat som ett operationskritiskt nätverk
- VDES möjliggör AIS-spårning på global nivå och som redundant datalänk till fartygen
- Rutt och tidsplanering delas mellan agenter i hamnanlöpet (STM)



Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar

- Positions kontroll och inspektion av sjömärken utförs med drönare
- Underhållscykel och personalbesök för sjösäkerhetsanordningar i medeltal 5år, detta har möjliggjorts genom nya material och lokal energitillverkning samt självdiagnostiseringsförmåga
- Sjömärken optimerade för perceptionssensorer tas i drift runt de större hamnarna
- Utökad användning av virtuell utmärkning, information och varningar
- ML/AI och digital twin modell hjälper infrastruktursplanering och optimering



Trafik och miljöövervakning

- Mätstationer vid farleden mäter utsläpp och föroreningar både över och under ytan som rapporteras publikt likt en hamnstatskontroll
- Fordonsensorer som anpassats till sjöfarten har möjliggjort trafikanalyser och kortdistansövervakning i kustområden och hamnar
- Trafikanalys av fritidsbåtar har möjliggjort optimering av småbåtsleder vilket leder till säkrare och minskad miljöpåverkan i skärgårdstrafiken
- Isbrytare nyttjar drönare och ML/AI modeller hjälper att underlätta is-navigering och anpassa is-rutter för minimerad energikonsumtion



Robusta farvatten

- GNSS backup INS (Inertial Navigation System) krävs på fartyg som anlöper Sverige
- Nödprocedurer i högriskområden standardiseras till en högre grad
- Fartygsanpassade säkerhetsmarginaler
- Högupplösta kartor och annan dynamisk information publiceras i S-100 format
- Myndigheter övervakar aktivt störningar i positions- och kommunikationsnätverk och distribuerar varningar genom riktade låglatens informationskanaler

Framtidsutsikt 2045

2035

- Autonom urbana passagerarfärjor är det nya normala
- Övergångar mot hybridvarianter bio-gas/hydrogen, solenergi och kärnkraft
- Föreskrifter som begränsar undervattensbuller träder i kraft
- "Arctic shipping lanes open" isfria rutter under sommarmånader i Arktis
- Obemannade bryggor är de nya normala vid lågrisknavigering
- E-certifikat för fartyg och besättning är standardiserat
- Nationell Plan 2026 - 2038 har möjliggjort sensorutbyggnad för redundant och precis övervakning, kommunikation och positionering i samtliga svenska farleder
- Kostnadsfrågan för dataöverföring är förpassad till förra decenniet, Maritima 6G lösningar samt LEO konstellationer har gjort att datatrafik till havs nått kostnadsparitet med landsidan

2040

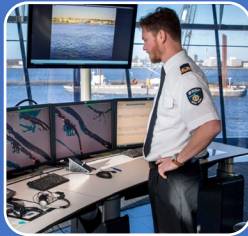
- Vingseglande fartyg trafikerar på oceangående handelsrutter
- Container och tankterminaler världen över är fullt automatiserade
- Ett brett utbud av specialkompetenser lättillgänglig via fjärrsupport
- Autonom inrikesjöfart är på kraftig uppgång och avlastar järnväg och vägtrafik till en klimatneutral sjötransport
- Batterier teknologin är kommersiellt gångbara och möjliggör elektrifierade oceangående fartyg
- Drastisk nedgång i transport av olja och kol pga dess klimatpåverkan och internationella mål om minskat användande av fossilenergi påverkar världs handelsflottan och minskar den totala bruttodräktigheten markant.
- En lång rad satellitkonstellationer, svävande sensorplattformar [UAS] och landbaserade system ger en komplett, redundant och precis realtidsbild över fartygstransporter i svensk ekonomisk zon

2045

- Klimatneutralt Sverige
- IMO GHG mål 2050 på god väg
- Första internationella handelsrutten trafikerad av autonoma fartyg tas i drift
- Oceangående fartyg använder små modulära reaktorer som framdrift
- **Kraftigt minskad fartygstrafik** pga obefintliga transporter av olja, kol och gas samt dess derivat, adaptiv tillverkning har möjliggjort närproducerade produkter på en oändlig nivå, Kina och Asien är ej längre "världens tillverkningsnod", Autonoma eldrivna lastbilar tagit över transporter inom samma kontinent, minskande och åldrande befolkning har för första gången i världshistorien börjat krympa världens konsumtion vilket minskar behovet av transporter. Kryssningsupplevelsen ej längre attraktiv då VR och klimatförändringar gjort många av resmålen oattraktiva eller "redan upplevda" genom digitala medel. Transporter av CO2 som av många trodde skulle ersätta transporter av fossila produkter har uteblivit, elektrifieringen har helt slagit undan fossila bränslen. den CCS som görs sker i anslutning till lagringsplatser genom direct air carbon capture då SMR och fusion gjort den tekniken försvarbar.
- **Kraftigt ökande fartygstrafik** genom att autonoma och fjärrmanövrerade fartyg, stora som små, börjar få genomslag, detta tillsammans med en massiv digitalisering av sjötransportsystemet och minskad komplexitet i anslutning genom stöttning från land vilket tillsammans möjliggjort predikterbarhet, on-demand transporter och enkelhet i hamnar och på mindre lastarplatser för lastning, lossning och omlastning. Autonoma system i land som sköter lossning och lastning har gjort även mindre hubbar tillgängliga för sjötransporter. IMO:s och EU:s regelverk om sömlös digital rapportering har även den bidragit till en massiv ökning av sjötrafiken, att frakta en artikel med båt börjar bli lika skalbart och enkelt som att beställa en Uber taxi 2020

Vision 2045 – Autonom och hållbar framdrift

Fartyg i operationell drift med mycket hög automationsnivå med obemannade bryggor och maskinrum och vissa fartygstyper helt autonoma både inom lastoperationer och navigering. Mindre drönare rör sig runt kustbandet. Sjöfarten har stränga hållbarhetskrav.



Farledstjänster

- VTS tjänsten använder nya trafikstyrningsmodeller pga den ökade trafikmängden och allt mer begränsade farvatten som konvojer, tidsallokerade transits
- Navigationsstöd från land erbjuds i 100% av lotsfarlederna
- Remote pilotage erbjuds för autonoma farkoster
- ECDIS S-100 produktutbudet ökar med dynamiska lager med korta uppdateringsintervaller
- Svenska kusten patrulleras av mindre autonom/fjärrstyrda övervakningsdrönare
- Trafikstyrningen utförs med slotplanering och tidsgarantier för "just in time" som valideras från land av tredje part



Dynamiska farvatten

- Dynamiska farledens säkerhetsmarginaler optimeras enligt rådande omständigheter och för enskilt fartyg
- Virtuella sjömärken och dynamisk operationskritisk data presenteras genom augmented reality (AR)
- Full transparens mellan operativa agenter i transportkedjan har minskat utsläppen och effektiviserat logistiken
- Sjökortsinformationen uppdateras i realtid där ruttplanering med säkerhetsmarginal optimeras
- Fartygs navigationsfel är obefintlig



Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar

- Underhållsöms och personalbesök för sjösäkerhetsanordningar är i medeltal 10år
- Sjömärken anpassas till en större grad för perceptionssensorer och assisterar sensorkalibrering
- Virtuella sjömärken och varningar är det nya normala
- Digitaliserade enslinjer som både är en visuell referens för navigatörer, dag som natt, och såväl optimerade för digitala perceptionssystem



Hållbar sjötransport

- Observationspunkter vid farleden som mäter utsläpp både över och under ytan som rapporteras publikt samt bidrar till utökade väderobservationer
- Småbåtstrafiken: högre krav på utbildning även hos fritidsfarkoster
- Hållbara bränslen nyttjas och fossilbaserade produkter urfasade
- Infrastrukturprojekt som reducerar ljudföroreningar i vattnet realiseras



Autonoma fartyg

- Antalet obemannade fartyg har ökat kraftigt
- INS (Inertial Navigation System) utvecklingen har möjliggjort att fartyg kan segla i veckor på intern dödräckning
- GNSS positionering ger sub-centimeters noggrannhet världen över
- Nödprocedurer och standardisering i farlederna. sjöräddningsdrönare i standby för snabba insatser
- Höghastighets internetuppkoppling mellan alla fartyg och landcentraler är nu den primära datalänken
- Decentraliserad anti-kollisions system
- Lokala myndigheter kan ta över kontrollen samt lägga fartyget i "safe mode"

Visionsbeskrivningar

Följande kapitel innehåller utförligare beskrivning av vision 2030 och vision 2045.

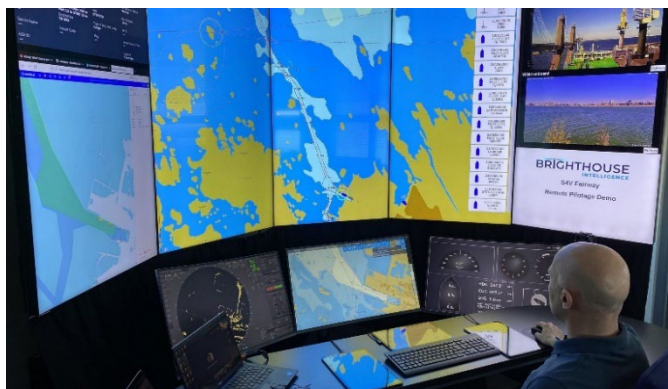
2030 – Visionsbeskrivning

2030 - Navigationstjänster

Det är troligt att VTS kommer ta en ledande och mer styrande roll inom trafikstyrning i starkt samarbete med landbaserade lotsar som är engagerade i navigationsstöd från land, kustbevakning och sjöräddningscentraler. Detta drivs fram av bland annat av framtidens ökade trafikvolym och trängre farvatten, när havs- och vindkraftsparker, miljö- och skyddszoner växer. Genom mer avancerade trafikövervakningsmodeller och utökad övervakning upptäcks felnavigering och onormala aktiviteter snabbare.

Geopolitiska läget driver till ökad sjötrafikövervakning. Nästa generation trafikövervakning hos VTS eller myndigheter har nya AI/ML verktyg som assisterar i trafikövervakningen och genererar förslag på åtgärder för att bibehålla en hög säkerhet och minimera miljöpåverkan. Systemet har utökat informationsintegrering bl.a. från flygande drönare och utökade observationssensorer i skärgården i jämförelse med dagens system.

- Exempel på funktion 1: Övergripande trafikoptimerare tar hänsyn till alla fartygsmöten inom begränsade farvatten och ger förslag om mötesplats, vilket kommuniceras direkt till fartygen och visualiseras med hjälp av S-100 standard direkt i ECDIS och navigatören kan konfirmera förslaget elektroniskt eller muntligt med VTS.
- Exempel på funktion 2; Onormal manövrering av fartyg upptäcks i tidigt skede och kan på så sätt reducera risk för grundstötning och kollision. Även indikationer på onormal manövrering och avvikande betande identifieras av systemet.



Navigationsstöd från land erbjuds i 40% av lotslederna, och tillåts primärt på lågrisksanlöp. Tjänsten erbjuds för hela vistelsen genom att assistansen koordineras hela sträckan mellan lotsstation och kaj och nyttjar flertalet landbaserade övervakningssystem som ger insikter över den operationella statusen på fartyget och omgivningen. Detta bidrar till minskade led- och ställtider till och från kaj som effektiviserar hela hamnanlöp.

Bild 1, landcentralssimulator, AMROC Aboa Mare Autonomous Vessel Remote Operation Center (Brighthouse, 2021).

S-100 standard och produkter har underlättat och utökat informationsdelning från VTS, navigationsstöd och vädertjänster som nu kan nyttjas direkt i fartygets ECDIS. Detta skapar en större situationsmedvetenhet och utökad ruttplaneringsoptimering och noggrannhet.

Dynamiska fartområden har möjliggjort att mindre tonnage kan få lov att röra sig mellan de nordiska länderna under förutsättningen att väderförhållanden är gynnsamma och prognoserna anses pålitliga. Detta öppnar upp för fler alternativ till handel under en större del av året för även mindre tonnage.

2030 – Datalänkar och IT

En myndighet utses för att ta ansvar för insamling och distribution av operativa data från logistiknätverk enligt öppna dataramverk för att förbättra informationsdelning och digitalt samarbete mellan agenter i logistiknätverk, tullförvaltningar och andra statliga myndigheter. Detta medför en transparent och konkurrenskraftig marknad med minimerad administrationsbörda. Initiativet drivs för att underlätta handeln inom EU.

Förbättrad estimering och tidshållning förväntas iterativt växa fram av detta mer transparanta förhållningssätt genom förbättrad AIS uppkoppling och informationsutbyte mellan land och fartyg. Primärt finns potential för reducerade väntetider till kaj kan om information och status om volymflöden och andra planerade tjänster mellan landsidan och fartyg delas till samtliga aktörer som behövs för koordinering av sjötransport.

Yrkes- och fritidsfartyg kan med minimal ansträngning bidra med väder och operationella data till riksomfattande databaser som assisterar utvecklingen av bland annat noggrannare väderprognoser och underlag för infrastrukturprojekt.

Internetbaserad kommunikation är den primära datalänken genom ett så kallat "Cubic broadband network" där systemet alltid strävar till att använda den bästa tillgängliga datalänksuppkopplingen. Detta betyder att kommunikationen skiftas mellan satellit, telemaster och andra datanätverk beroende på tillgänglighet, och betyder att fartygen kommer vara bättre uppkopplade mot internet och möjliggöra flertal fjärrtjänster. Farleden behöver stötta denna utvecklingsriktning och 5G täckning etableras i farlederna som ett operationskritiskt system. Farleder implementerar stöd för positioneringssystem med hög positionsnoggrannhet, med teknik som RTK (Real Time Kinetic) med virtuella basstationer.

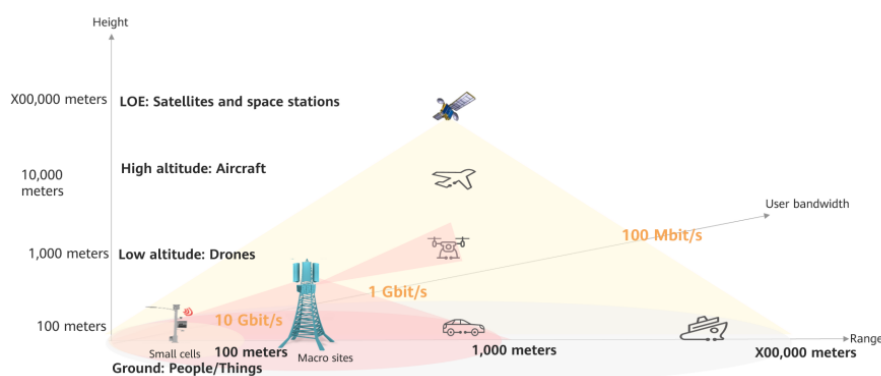


Bild 2, visar en överblick på "Cubic broadband network" som beskriver ett sömlöst uppkopplingsnätverks infrastruktur för transportkedjans alla delar (Huawei, 2023)

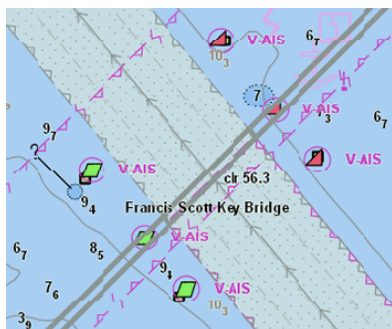
2030 - Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar

Sjösäkerhetsanordningar har uppnått en underhållscykel för personbesök på anordningarna med medeltal på 5år. Detta genom att utökade inspektioner och positionskontroll utförs med drönare eller självdiagnostisering. Även material, solceller och batteriutvecklingen bidrar till längre intervall mellan underhåll, självdiagnostisering gör det även lättare att hitta utrustning som slitits loss från dess tänkta position, och gör det lättare att verifiera inrapporterad utrustning som driver omkring och kanske inte kommer från Sverige.

Sjöfarten förväntas se en utökad användning av perceptionssystem som en assisterade elektronisk utkik ombord. Sjömärken kommer att i högre grad anpassas för perceptionssensorers förmågor, som exempelvis objektidentifiering med kamera för att garantera en hög robusthet speciellt fokuserat runt större hamnar.

Reducerade kostnader för lokaliseringsteknik liknade livräddningsutrustning, PLB (Personal Locator Beacon) som förmedlar enhetens positionen på en eller flertal datalänkar, har bidragit till utökade användningsområden både inom yrkesmässigt och privat bruk. Detta kan ses på flera fronter exempelvis:

- För att underlätta SAR, nyttjar allmänheten applikationer som ger telefonens position direkt till räddningstjänst vid nöd.
- Taggar eller annat som läggs på utrustning spåras på individnivå, detta kan vara livbojar, fiskeredskap eller vad som helst annat som anses nyttigt.



Utökad användning av virtuella sjömärken, information och varningar via AIS/VDES som input till ECDIS nyttjas i högre grad, geografiska områden liknande skjutövning, häckningszoner, isrutter och avvikande förhållanden som leder till omdirigering av trafik kan skickas ut med kort varsel. Även tillfälliga sjökortsrättelser som bojar eller annat som flyttats kan kommuniceras med virtuella korrekationer.

Bild 3, visar förstärkta farledsmarkeringar med virtuella AIS mål (NOAA, 2023).

2030 - Trafik och miljöövervakning

Drivkraften från strängare utsläppsreglering kräver noggrannare uppföljning, kontrollstationer placerade på strategiska platser som mäter utsläpp över och under ytan inklusive undervattensbuller. Fartyg som passerar en kontrollstation loggas och data publiceras på ett liknande sätt som resultaten efter för hamnstatsinspektion, detta för att lyfta fram redare och befraktare som satsar på grön omställning och ge lastägaren möjlighet till ökade insikter i val av transport. Dessa system kommer även kunna följa upp utsläpp som skett till följd av olyckor, och hjälper till att följa upp och se till att saneringsarbetet uppnår den förväntade effekten kortsiktigt och långsiktigt.

Väderobservationsstationer placeras ut till en allt större mängd, vilket bidrar till bättre lokala väderobservationer och prognoser. Detta hjälper fartyg att få bättre uppfattning över rådande väderförhållande vid kritisk passage eller manövrering.

De ökande antal fritidsbåtar lägger mer belastning på farlederna. Trafikanalys av fritids- och småbåtstrafiken kan ge bättre indikering kring var resurser behöver allokeras för underhåll och utbyggnad.

Ökad standardisering av gemensamma nödgärder i skärgård, för åtgärder som nödankring, strandsättning och dylikt gör att det finns förberedda platser som är utrustade för oljesanering och liknande scenarion och kan koordinera insatser ihop med EMSA. Beredskapsplan för alternativa rutter in och ut ur skärgården kan koordineras.



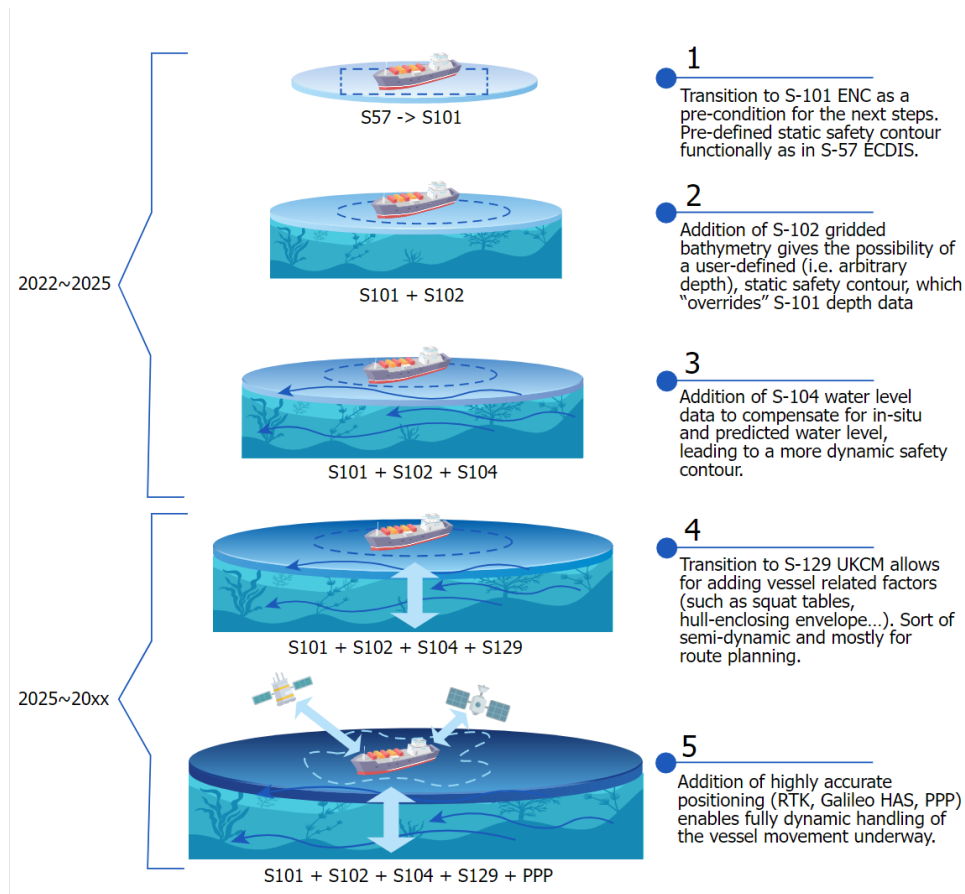
Svenska isbrytare har börjat använda flygande drönare för att samla in högresolutions iskartor. Denna nya detaljnivå leder till förbättrade utgångsläge för AI/ML algoritmer som finner energisnåla rutter i isen och förbättrade prognoser.

Bild 4, drönare som kartlägger isläget (Eos, 2016).

2030 - Robusta farvatten

Följande är under förutsättningen att Sverige har ändrat sin lagstiftning på sådant sätt att insamling, distribution och lagring av data som rör undervattensgeometri är tillåtet.

Fartygen är utrustade S-100 kompatibla ECIDS vilket lett till att S-100 sjökortsprodukter börjar få en stadig fot på marknaden. Genom nyttjandet av realtidsdata och noggranna prognoser ökar sjötransportereffektiviteten med ökade lastvolymmer vid högvatten, kortare rutter och större nyttjande av ytströmmar för att reducera energiförbrukning



Figur 5, S-100 standarder och produkter förväntad utveckling (Sjöfartsverket, 2023).

Användning av S100 produkter ökar situationsmedvetenheten hos bryggteamet. Dynamiska data reflekterar bättre den nuvarande verkligheten och med högre upplösning på sjökort ökar navigatörens situationsmedvetenhet över den närliggande miljön dels i realtid. Det bidrar även till stor del redan i planeringsstadiet då verklighetstroga visualiseringar och ökad information kan presenteras i olika typer av överlappande lager i ett enda system. Exempelvis ska noggrann batymetri kunna kombineras med data som visar aktuellt vattenstånd och ytströmmar över en tidslinje.

Nödprocedurer i högriskområden standardiseras till en högre grad och markerade skyddszoner ska underlätta beslutstagande vid olyckshändelser. Detta kan bl.a. vara rekommenderade nödankring och strandningsalternativ. Beroende på fartygets egenskaper, besättning, väder och trafikförhållanden så genereras dynamiska säkerhetsmarginaler, detta är en början till dynamiska farleden som beskrivs i vision 2045.

Högre krav kommer läggas på fartygens förmåga att fortsätta navigera även med förlust av GNSS positionering.

2045 – Visionsbeskrivning



Bild 6, Digital tvilling är en digital representation, exempelvis av ett fartyg (Siemens, 2022).

2045 - Farledstjänster

Vi förväntas se ökad grad av vindassisterade fartyg och autonomi i sjötrafiken bland annat av mindre autonoma inrikestransporter vilket kommer leda till förändrade trafikmönster. Detta kan vara intensifierad kustnära trafik som utgörs till stor del av mindre autonoma fartygskonvojer eller seglande lågprioritetslaster. Oavsett förväntas trafikmängden öka inom alltmer begränsade farvatten b.la. till följd av utbyggnaden av vindkraftsparker och miljöskyddszoner. På grund av detta behöver trafiken styras alltmer aktivt av VTS:en. Trafikstyrningen behöver prioritera trafikflödet enligt lastens övergripande effekt på hela hamnvistelsen och nyttan lasten tillför samhället. Beroende på område och rådande omständigheter utprövas metoder som konvojer, tidsallokerade transiteringar och "just in time arrival" eller virtuell ankomst för att effektivisera logistisk kedjan.

Navigationsstöd från land kan utföras på alla lotsleder och de flesta bemannade fartyg använder tjänsten. Utökade utbildningskrav har lett till att besättningar har goda kunskaper av fartygs manövrering och flertal länder i världen implementerar liknade system som navigationsstöd från land. Nästa generations fjärrlotsning är på inkommande där lotsen är en digital avatar ombord. Fartyg som använder tjänsten har ökade systemkrav för datalänk mellan fartyg och land, perceptionssensorer samt teknik för att mer naturligt inkludera digitala lotsen i bryggteamet. Genom fjärrsimuleringar av en ankomst valideras ett nytt bryggteam och fartyg före den fysiska ankomsten.

Farledens infrastrukturer assisterar fartygen i att bibehålla en redundant och robust navigationsmetodik. Detta genom att ett land/farledsbaserat system validerar fartygets position som kan sända position för backup och validering till fartyg genom en redundant och cybersäker datalänk.

Autonoma och fjärrstyrda övervakningsdrönare bidrar med realtidsobservationer från kustområdet både från luften och ytan som inspekterar och övervakar fartygens identitet, djupgående, last, mm. Den mer noggranna uppföljningen hjälper myndighet, redare, hamn och lastägare att följa sina kontraktuella åtaganden. Myndigheterna får därmed ta en större roll vad det gäller validering, för att bibehålla en konkurrenskraftig marknad.

2045 - Dynamiska farvatten

Farledsbegränsningarna genereras dynamiskt enligt rådande förhållanden och fartygets förutsättningar. Detta innebär att farledsytan kan utnyttjas till större grad med olika säkerhetsmarginaler för att hantera avvikelser. Den dynamiska begränsningen beror b.l.a. på fartygets förmåga till navigering/manövrerbarhet, systemredundans och reaktionsförmåga som blir väsentlig med fjärrstyrt fartyg, väderförhållanden och vattenstånd. Denna dynamiska farled ska assistera ruttplaneringen, öka gemensam situationsmedvetenheten och samverkan mellan fartyg och landbaserade tjänster där operativa begränsningar av fartyg och farled är kända.

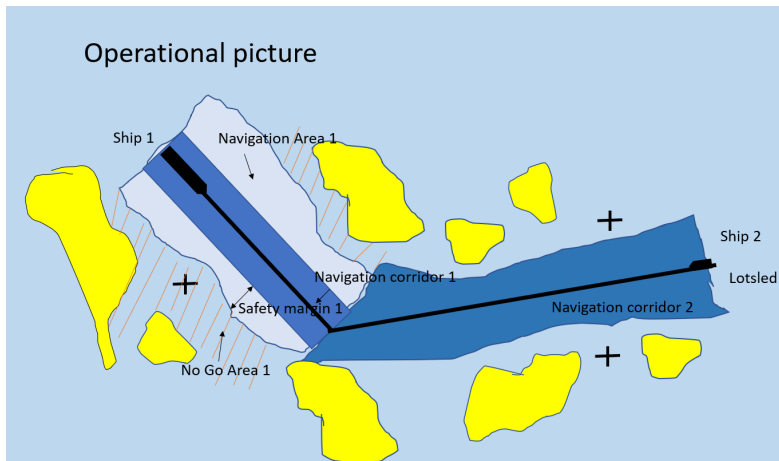


Bild 7, Dynamiska fartygsspecifika farledsbegränsningar (RISE, 2023).

Genom AR (augmented reality) kan situationens mest relevanta information förmedlas till navigatören för att öka situationsmedvetenheten. Med detta har navigatörer alltid lättillgänglig operationskritisk information men bibehåller fortfarande full förmåga att interagera med konventionella instrument som radar och ECDIS. Genom AR kan operatören få virtuella markeringar presenterat intuitivt och lättolkat, detsamma gäller information som exempelvis "No Go Areas" och virtuella sjömärken.



Bild 8, visar ett AR system Hi-NAS och en fjärroperationscenter (Joohyun Woo, 2019 & Rolls-Royce 2016).

Genom att se till hela värdekedjan från ett holistiskt perspektiv, optimeras fartygstrafiken specifikt för att matcha den operationella profilen, detta för att undvika att begränsningar på ett område inte medför en större negativ effekt på andra delar av fartygsresan.

2045 - Smarta och underhållsfria sjösäkerhetsanordningar

Material och teknikutvecklingen har lett till att underhållscykel och personalbesök för sjösäkerhetsanordningar är i medeltal 10 år.

Fartyg med hög autonomi kommer utnyttja sjösäkerhetsanordningar, detta lägger vikt på att perceptionssystemen kan tolka omgivningen korrekt. Därmed behövs förmågan och statusen av perceptionssystemen valideras ombord under drift. Farleden kan assistera i att fastställa sensorernas förmåga och underlätta kalibrering, detta kan göras genom väldefinierade mål som är designade att framstå tydligt för de implanterade sensortyperna.

Virtuella sjömärken och varningar är allmänt vedertaget. Sjövägsmärken övergår till digitala tavlor som dynamisk anpassas enligt rådande situation. sektorfyror byts till en större grad ut till digitaliserade enslinjer/linjetavlor som både är en visuell referens för navigatörer, dag som natt, och optimerade för digitala perceptionssystem.

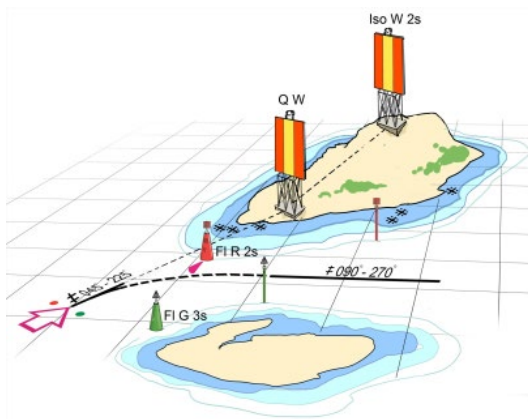


Bild 9, Enslinjer som kan optimeras för autonoma fartyg och dess perceptionssystem. (Bild från Transportstyrelsen, 2023).

2045 - Hållbar sjötransport

Hållbar sjötransport revolutioneras med nya hållbara lösningar, där alla farleder kontinuerlig mäter utsläpp över och under ytan samt publicerar resultaten offentligt för att lyfta fram befraktare som satsar på hållbar utveckling. Farledsavgifterna korreleras med miljöpåverkan där fartyg med högre utsläpp betalar större avgifter. Lagkrav och påtryckningar från allmänheten har gjort att det endast nyttjas bränslen som är förnybara där hela livscykelanalysen tas i beaktning. Undervattenbuller och ljudföreningar minskas genom nya farledsdesigner. Effekterna och investeringarna syns och förstärks av de observationer som görs ute i farleden som också publiceras till allmänheten. Högre krav på utbildning hos gemene person har reducerat olyckor och utsläpp/miljöförstöring från fritidstrafiken. Projekt som ämnar till att bevara och förbättra djurlivet under ytan har fått positiv effekt.

2045 - Autonoma fartyg

Autonoma och en hög grad av automatiserade fartyg ersätter till allt större del den traditionella sjöfarten även på oceangående rutten. Farleden har sett en lika stor förändring för att stötta utvecklingen av de autonoma funktionerna och skapa en robust och hållbar sjötransport. Goda data- och nätverksförbindelser som är utbyggda och tillgängliga i farleden och med basstationer utvecklade från 5G teknologin ombord på fartyg vilket tillåter höga dataöverföringshastigheter mellan fartygen och uppkoppling mot land. INS (Inertial Navigation System) har nått en mycket hög standard som gör att fartyg kan segla i veckor enbart på dödräkning, och lett till att externa positionsstörningar ej påverkar fartygsdriften. GNSS positioneringen har uppnått noggrannheter på sub-centimeter nivå.

Containertrafiken har optimerats/automatiserats ytterligare genom små autonoma containerfartyg som levererar direkt från oceangående containerfartygs utsida till logistikcentraler nära inre vattenvägar och vice versa för att avlasta väg och järnvägsnäten. Detta medför att IVV och kustsjöfarten stärks i konkurrenskraft mot vägtransporter, trafiken på IVV har ökat och trafikmönstret har gått mer mot konvojkörningar med modulära fartyg.

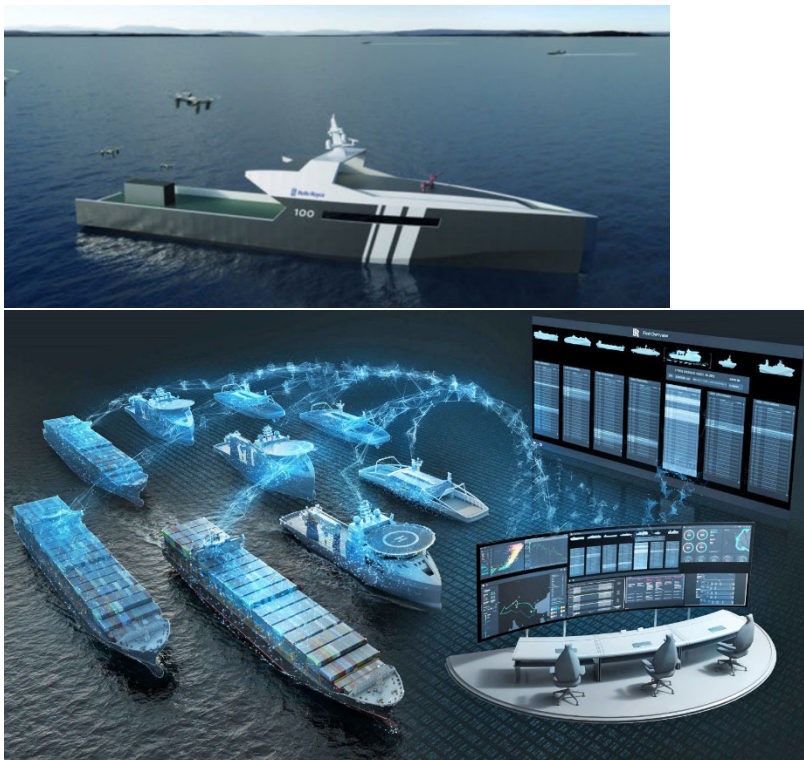


Bild 10, Rolls-Royce koncept för autonomt fartyg och DNV illustrerar sjöfartens digitaliseringstransformering (Rolls-Royce, 2018 & DNV, 2021)

Fartyg med hög automationsgrad har ett definierat "safe mode" som lägger fartyget till det snabbast möjliga säkra tillståndet. Detta kan vara exempelvis positionshållning, ankring, strandning. Denna funktion kan aktiveras från ansvariga operatörer som exempelvis fjärrlots, MRCC, detta etableras från mer standardisering och gemensamma nödrutiner/procedurer.

Nytt anti-kollisionssystem som minimerar mänskliga missförstånd införs. Anti-kollisionssystemet kommunicerar mellan fartygen och landcentraler för att hitta en optimerad manöveråtgärd för rådande situation och omständigheter, där alla navigatörer bekräftar förslaget och vet vad det egna fartyget och alla andras fartyg kommer att göra långt före en situation uppstår.

Referenser

Naturvårdsverket statistik, 2023-01-16, "Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser", URL: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/#:~:text=Utsl%C3%A4ppen%20ska%20enligt%20etappm%C3%A5let%20f%C3%B6r,2030%20m%C3%A5let%20ska%20kunna%20n%C3%A5s.>

Sveriges Kärntekniska Sällskap, 2023-02-14, "Small Modular Reactors (SMR)", URL: <https://www.karnteknik.se/aktiviteter/sks-forklarar/small-modular-reactors-smr>

Candela, 2023-01-16, "Fast electric commuting", URL: <https://candela.com/p-12-shuttle/>

Färjerederiets, 2023-02-02, "Vision 45" URL: https://www.trafikverket.se/globalassets/trv_farjerederiet_vision45.pdf

Ocenbird, 2023-02-02, URL: <https://www.theoceanbird.com/>

Aftonbladet, 2022-11-11, "Sjöfartsverket: Första nya isbrytaren 2027" URL: <https://www.aftonbladet.se/nyheter/a/vegE2L/sjofartsverket-forsta-nya-isbrytaren-2027>

Göteborgs hamn, 2020-12-22, "Så ser Göteborgs hamn ut i framtiden" URL: <https://www.goteborgshamn.se/press/pressmeddelanden/sa-ser-goteborgs-hamn-ut-i-framtiden/>

Regerings mål, 2023-01-15, "Mål för transportpolitiken" URL: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/transporter-och-infrastruktur/mal-for-transporter-och-infrastruktur/>

Vattenfall, 2022-05-14, "Små kärnkraftsreaktorer viktiga pusselbitar i framtidens energisystem", URL: <https://www.vattenfall.se/fokus/trender-och-innovation/sma-karnkraftsreaktorer/>

IRENA, 2021, "A pathway to decarbonise the shipping sector by 2050" URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Oct/IRENA_Decarbonising_Shipping_2021.pdf

Wallenius Marine, 2019, "Wallenius Marine Vision" URL: <https://www.finnishmaritimecluster.fi/wp-content/uploads/2019/11/WALLENIOUS-Per-Tunell.pdf>

Orcelle wind, 2023, URL: <https://www.walleniuswilhelmsen.com/news/worlds-first-wind-powered-roro-vessel-secures-eur-9m-in-eu-funding>

Huawei, 2023, URL: https://www-file.huawei.com/-/media/corp2020/pdf/giv/industry-reports/communications_network_2030_en.pdf

World economic forum, 2023, "7 trends that could shape the future of cybersecurity in 2030" URL: <https://www.weforum.org/agenda/2023/03/trends-for-future-of-cybersecurity/>

SVT, 2023, "Olagliga kväveutsläpp från fartyg i svenska vatten" URL: <https://www.svt.se/nyheter/vetenskap/forskare-olagliga-utslapp-fran-halften-av-fartygen-i-svenska-vatten>

Eos, 2016, "Drones in a Cold Climate", URL: <https://eos.org/science-updates/drones-in-a-cold-climate>

World Maritime University, 2019, "Transport 2040: Automation, Technology The Future of Work", URL: https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1071&context=lib_reports

Word wide single window, 2022-05-23, URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/FAL-46-amendments.aspx>

FOI, 2023-03-22, "Totalförsvarets utmaningar på sikt kräver omfattande satsning på forskning idag", URL: <https://www.foi.se/nyheter-och-press/nyheter/2023-03-02-totalforsvarets-utmaningar-pa-sikt-kraver-omfattande-satsning-pa-forskning-idag.html>

IMO, 2022-05-23, "Single window for ship data exchange to become mandatory", URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/FAL-46-amendments.aspx>

Trafik analys, 2022-12-15, "Förutsättningar och styrmedel för ökad elsjöfart Rapport: 2022:17" https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/2022/rapport-2022_17-forutsattningar-och-styrmedel-for-okad-elsjofart.pdf

IHO, 2019-10-01, "S-100 IMPLEMENTATION STRATEGY" URL: https://iho.int/uploads/user/About%20IHO/Assembly/Assembly2/A2PRO/eng/A2_2020_PRO2-1_EN_S100_cc_v1.pdf

Sjöfartsverket, 2022-02-01, "Skandiaporten", URL:
<https://www.sjofartsverket.se/sv/farledsprojekt/skandiaporten/>

Malmöporten, 2023, "Om Projektet", URL: <https://malmporten.se/om-projektet/>

Altinget, 2023, "Så ser Sveriges nya isbrytare ut", URL:
<https://www.altinget.se/infrastruktur/artikel/saa-ser-sveriges-nya-isbrytare-ut>

Brighthouse, 2021-07-01, "Aboa mare autonomous vessel remote operations center (AMROC) has been released" URL: <https://bighthouse.fi/amroc>

NOAA, 2023, "Portrayal of AIS Aids to Navigation", URL:
<https://nauticalcharts.noaa.gov/publications/portrayal-of-ais-aids-to-navigation.html>

Siemens, 2022-01-27, "Creating a digital twin: The key to building a smart vessel" URL:
<https://blogs.sw.siemens.com/marine/2022/01/27/creating-a-digital-twin-the-key-to-building-a-smart-vessel/>

Joohyun Woo, 2019-12, "Augmented Reality based HHI's Navigation Assistant System (Hi-NAS)"
https://www.researchgate.net/figure/Augmented-Reality-based-HHIs-Navigation-Assistant-System-Hi-NAS_fig2_338182252

Rolls-Royce, 2016, "Rolls-Royce Reveals Vision of Shore-based Control Centers for Unmanned Cargo Ships" URL: <https://qcaptain.com/rolls-royce-reveals-details-on-shore-based-control-rooms-for-operation-of-unmanned-cargo-ships/>

Transportstyrelsen, 2023, "webbutbildning om sjösäkerhetsanordningar" URL:
<https://transportstyrelsen.luvit.se/LuvitPortal/education/main.aspx?courseid=5153&navtreeid=406a435c-eabf-463a-a33e-8add10492aa0>

Rolls-Royce, 2018, "Oceantime marine: Autonomous vessels – Disruption on the way for the Maritime Industry" URL: <https://oceantimemarine.com/autonomous-vessels-disruption-on-the-way-for-the-maritime-industry/>

DNV, 2021-03-23, "Closing the safety gap in an era of transformation" URL:
<https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Closing-the-safety-gap-in-an-era-of-transformation.html>

Euroconsult, 2023-05-09, "Maritime bandwidth capacity demand set to increase twentyfold by 2032", URL: <https://thedigitalship.com/news/maritime-satellite-communications/item/8403-maritime-bandwidth-capacity-demand-set-to-increase-twentyfold-by-2032-according-to-new-report-released-by-euroconsult>

IMO E-Navigation, 2018-05-25, "E-NAVIGATION STRATEGY IMPLEMENTATION PLAN", URL: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/enavigation/MSC.1-Circ.1595%20-%20E-Navigation%20Strategy%20Implementation%20Plan%20-%20Update%201%20\(Secretariat\)%20\(2\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/enavigation/MSC.1-Circ.1595%20-%20E-Navigation%20Strategy%20Implementation%20Plan%20-%20Update%201%20(Secretariat)%20(2).pdf)

NCSR , 2023-05-19, "Sub-Committee on Navigation, Communications and Search and Rescue (NCSR), 10th session", URL: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/NCSR-10th-session.aspx?ref=marineregulations.news>

RAPPORT

Datum

2024-06-10

Klassificering

FoI

Författare

Peter Ottosson

Projekt ID/Dokument ID

P220812/Main

Revision

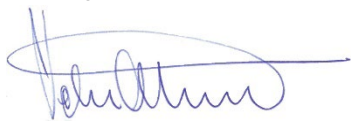
Final

Granskad

Karl-Johan Raggl

Simuleringar med fartyg i olika scenarier av in- och utsegling till/från Göteborg

Projekt “Förutsättningar för framtidens farleder”



Peter Ottosson

SEAMADE



Karl-Johan Raggl

SEAMADE

Sammanfattning

Som en del i projektet ”Förutsättningar för framtida farleder” har en simuleringsstudie genomförts i programmet ShipAndFairwaysII.

Syfte

Syftet med simuleringarna har varit att:

- Exemplifiera manövrering av olika typer av fartyg i dynamiska farleder utan fysiska navigeringshjälpmedel, såsom fyrar, bojar, mm...
- Undersöka nyttan av att definiera farledsytor utan begränsande sjömärken.
- Undersöka möjligheterna att välja olika ruttalternativ i en och samma farled (t.ex Torshamnsleden).
- Jämföra olika ruttalternativ med avseende på bränsleförbrukning.
- Jämföra olika typer av ”prediktor”
- Titta på begreppet dynamisk farledsbredd

Undersökningen har genomförts i form av ett antal simulerade in- och utseglingar i fem olika scenarier enligt nedanstående tabell:

Scenario	Manuellt styrt fartyg	Autonoma fartyg	Antal bogserbåtar	In/ut
1	VLCC	Ropax	4	In
2	Container	Vänermax och Ropax	4	Ut
3	Tanker	VLCC, container och ropax	2	In
4	VLCC	Container, vänermax, ropax och tanker	3	Ut
5	Container	Ropax	4	In

Det första scenariot belyser strömmens inverkan medan det andra fokuserar på vindens inflytande. I bägge dessa scenarier testas olika typer av prediktorer. I scenario 3 jämförs de olika tillgängliga ruttalternativen och hur val av ruttalternativ kan påverka säkerheten, t.ex i form av PIANC's rekommenderade farledsbredder och i form av farledsyta. Simuleringarna i scenario 4 och 5 fokuserar kring möten mellan fartyg och i någon mån bogserbåtsutnyttjande.

Genomförande

Simuleringarna har utförts i Seamade's tidsbaserade simuleringsprogram ShipAndFairwaysII, där upp till fem fartyg kan simuleras samtidigt och där upp till två av dessa kan styras manuellt, övriga styrs med hjälp av speciellt framtagna autonoma regleralgoritmer. Simuleringsstudien fokuserar på inseglingslederna in till Göteborg och då speciellt på Torshamnsleden in till Skandiahamnen. Simuleringarna kan ske i realtid eller i uppsnabbad tid.

Förberedelserna har omfattat följande moment:

- Vidareutveckling av simuleringsprogrammet utifrån ett tidigare framtaget program.
- Framtagning av grafiska och matematiska modeller för vart och ett av fem utvalda fartyg med dokumentation i form av predikterade manöverprov på djupt och grunt vatten.
- Framtagning av ett antal manövreringshjälpmedel till programinterfacet som t.ex:
 - kontrollfönster för roder, maskintelegraf, bogpropeller
 - fartvektorer och digital visning av ström i för och akter på det manuellt styrda fartyget
 - olika typer av prediktorer

Programinterface



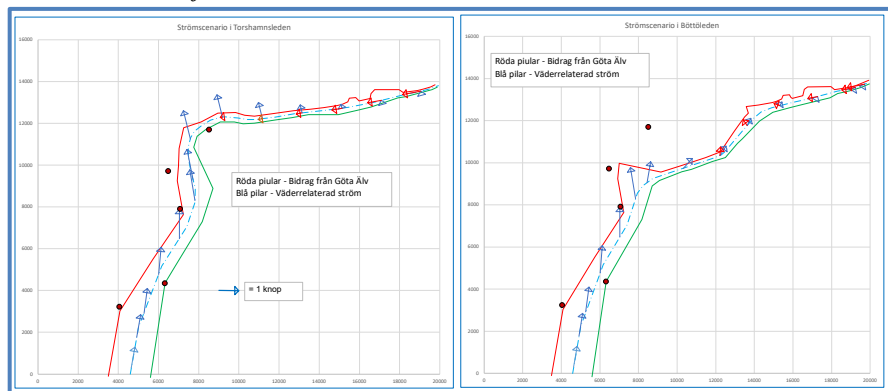
- Framtagning av en fiktiv vattendjupsmodell, till viss del baserad på verkliga djup, med syfte att kunna generera enklare och tydligare skillnader i dynamiska farledsytor för olika fartygstyper.
- Framtagning av dynamiska farledsytor, baserat på fartygets djupgående och djupförhållanden i den valda rutten.

Farledsytä för VLCC ($T=18.5$ m) och containerfartyget ($T=13.5$ m)



- Beräkning av rekommenderade farledsbredder enligt PIANC och med grafisk representation i simulatorpresentationen.
- Utveckling av interaktionseffekter för mötande fartyg
- Framtagning av beräkningsalgoritm för bränsleförbrukning
- Framtagning av strömscenarier för både Torshamns- och Böttölederna.

Strömsscenarioer för Torshamns- och Böttölederna

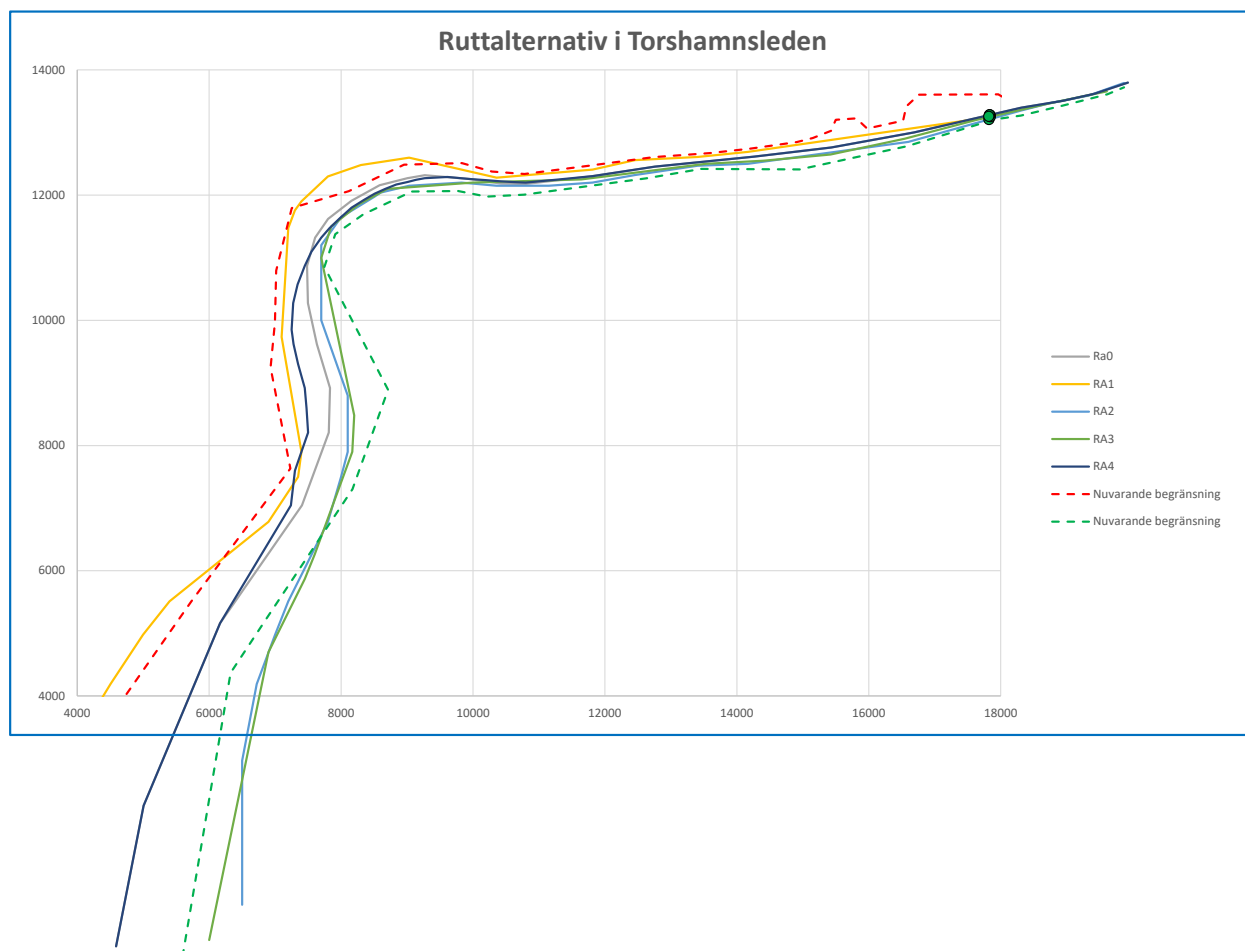


Resultat

Alternativa rutter

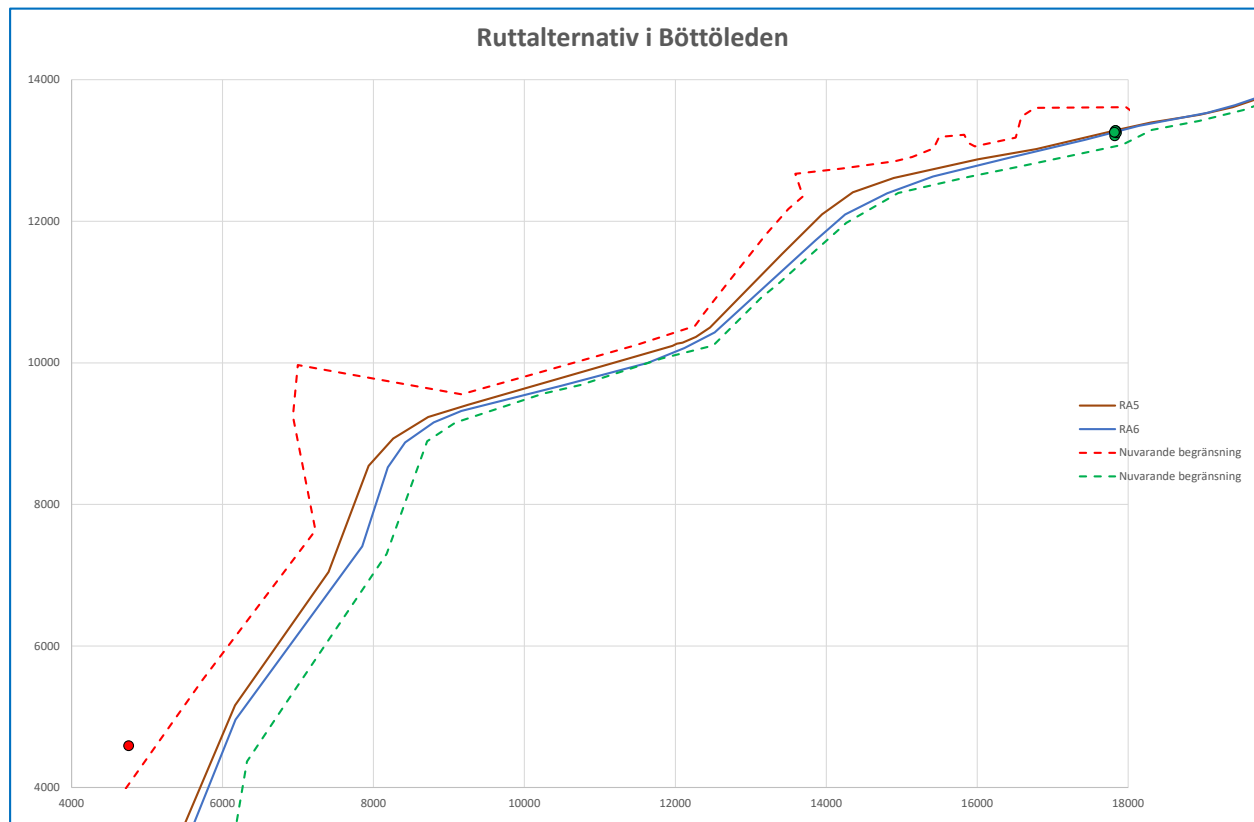
Inseglingen till Göteborg kan ske i två alternativa leder, Torshamnsleden och Böttöleden. Den förra tar fartyg med djupgående upp till 19.5 m och den senare fartyg med djupgående upp till 13.5 m. För Torshamnsleden har fem alternativa rutter definierats, RA0 – RA4. Av dessa kan fartyg med störst djupgående endast trafikera de mittersta, dvs RA0 och RA4, se nedanstående diagram

Ruttalternativ i Torshamnsleden



I Böttöleden har två alternativa rutter, RA5 och RA6 definierats, se nedanstående figur.

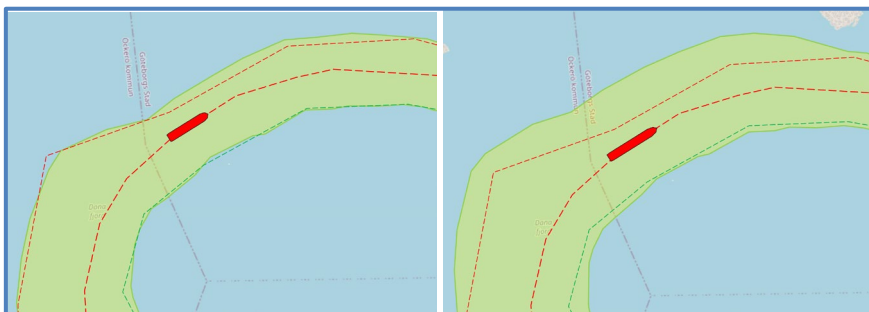
Ruttalternativ i Böttöleden



Dynamisk farledsyta

Farledsytan representerar det område som med hänsyn till djupgående är farbart för det aktuella fartyget, med en nominell bottenklarning på 10%. Så exempelvis visas farledsytan, för ett avsnitt av farleden, för VLCC'n med ett djupgående på 18.5 m i vänstra bilden i nedanstående figur. Den högra bilden visar motsvarande yta för containerfartyget med ett djupgående på 13.5 m. Desto mindre djupgåendet är desto större blir den farbara farledsytan.

Farledsyta för VLCC'n respektive containerfartyget i Torshamnsleden

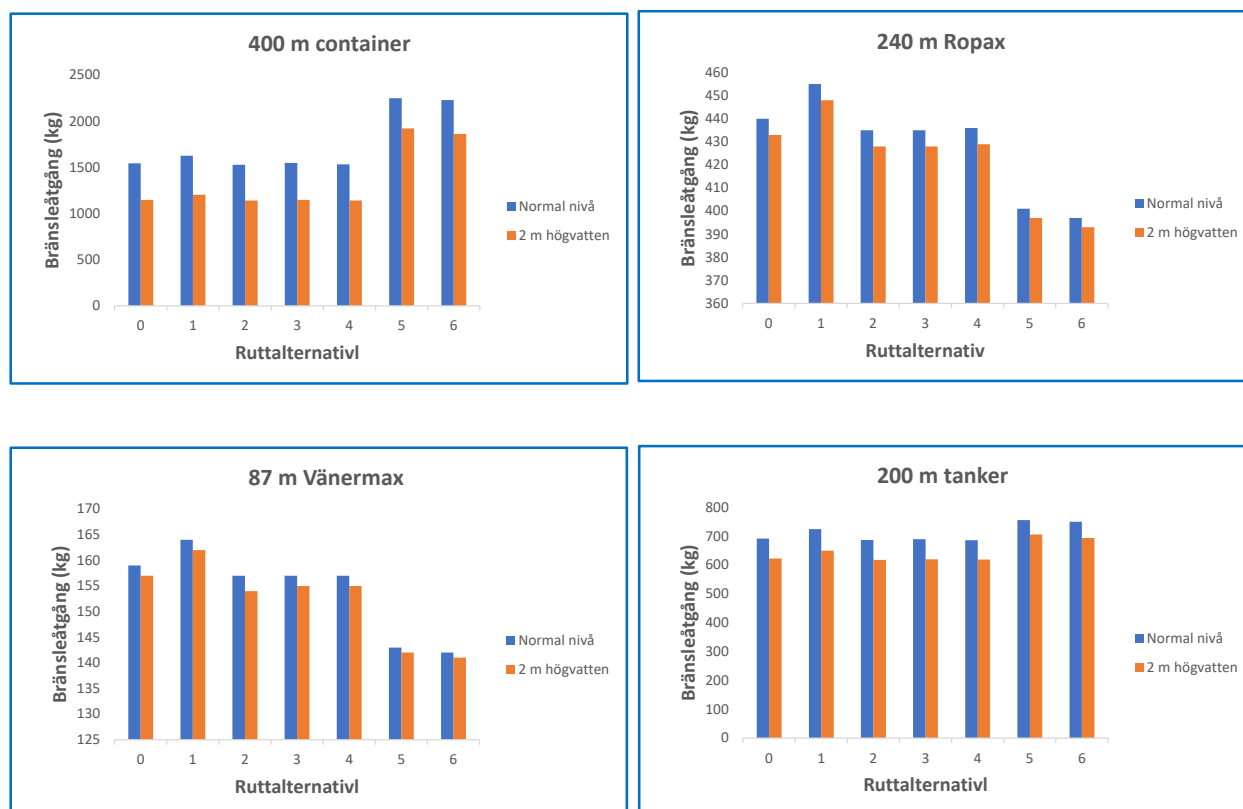


Bränsleförbrukning

Bränsleförbrukningen har jämförts för fyra av de fem fartygen under insegling in till Skandiahammen. VLCC'n kommer på grund av sitt djupgående inte längre än till Torshamnen och ingår därför ej i den här presenterade jämförelsen. Rutterna, som bränsleförbrukningsberäkningen omfattar, har följande längder:

Ruttalternativ	0	1	2	3	4	5	6
Längd (nm)	10.6	10.91	10.45	10.43	10.48	9.35	9.24

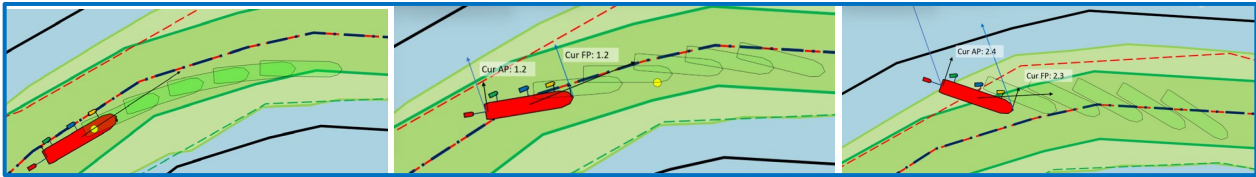
Beräkningarna har genomförts för 10 knop konstant fart och för två vattenstånd, normalt och 2 m högvatten. Resultaten återges i nedanstående figurer:



Av diagrammen framgår att störst skillnad mellan vattenstånden uppvisar containerfartyget, vilket huvudsakligen beror på den för detta fartyg lilla bottenklarningen. Anmärkningsvärt är också att genomsegling i Böttöleden, för detta fartyg, ger högre bränsleförbrukning än Torshamnsleden, trots att den är kortare. Detta gäller även i någon mån tankerfartyget, också det med en förhållandevis liten bottenklarning.

Strömmens inflytande

Tre olika strömfall testades i simuleringarna (scenarierna 1 och 2): nollström samt 1.5 respektive 3.0 knops maxström. Nedan visas attityden vid insegling, i bilder från vänster till höger: utan påverkan från ström, vid max 1.5 knop ström samt vid max 3.0 knop ström.



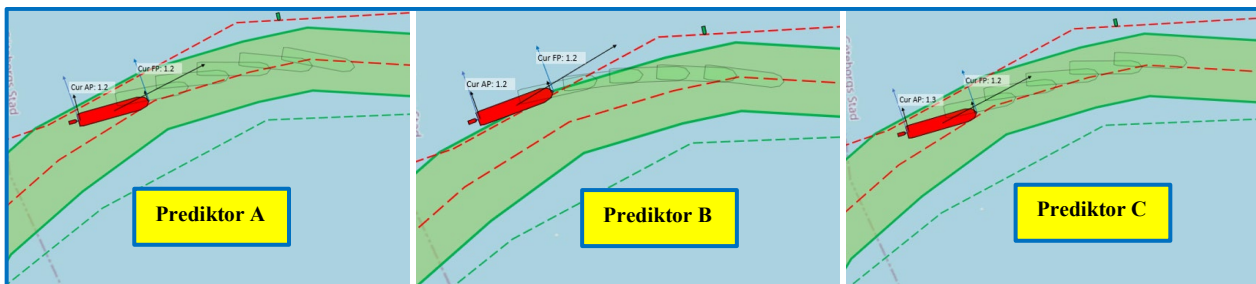
Upp till 1.5 knop ström går här bra att hantera och hålla fartyget inom PIANC's rekommenderade bredd, medan för det kraftigaste strömalternativet driver fartyget upp mot babordssidan i Måvholmskröken. Det är även svårt att i denna extrema nordgående ström få fartyget in mot kaj.

Jämförelser prediktorer

Simuleringarna genomfördes med tre alternativa prediktorer:

1. Prediktor A – baserad på död räkning
2. Prediktor B – dynamisk utan hänsyn till ström- och bogserbåtseffekt
3. Prediktor C – dynamisk med hänsyn till både ström- och bogserbåtseffekt

Bilden nedan visar prediktorens utseende för fartyget i Måvholmskröken, där strömmen är nordgående med en hastighet på strax under 1.5 knop.



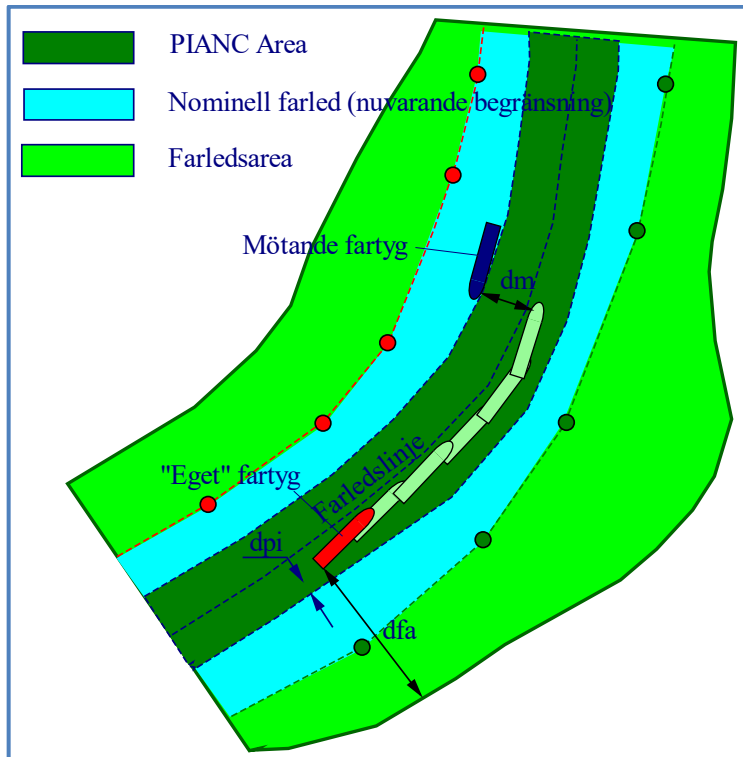
Den enklare Prediktor A fungerar i denna strömsituation väl så bra som den lite mer avancerade Prediktor B, till och med lite bättre. Den mellersta bilden visar den senare och hur prediktorn ger ”fel” information eftersom den inte tar strömmen i beaktande. Prediktor C, den med beaktande av både ström och bogserbåtseffekt ger den bästa informationen.

Säkerhetsindex

Simuleringsprogrammet omfattar beräkning av ett säkerhetsindex som är baserat på ett antal parametrar:

- Minsta klarning till farledsyntans gräns (dfa)
- Minsta klarning till PIANC's rekommenderade farledsbredd (dpi)
- Minsta klarning till eventuellt mötande fartyg (dm)
- Roderarbete

Säkerhetsindex - definitionsskiss



Denna beräkningsmodell är något enkel och kan/bör kompletteras med andra parametrar, som t.ex:

- Maskinpådrag
- Bogserbåtsutnyttjande

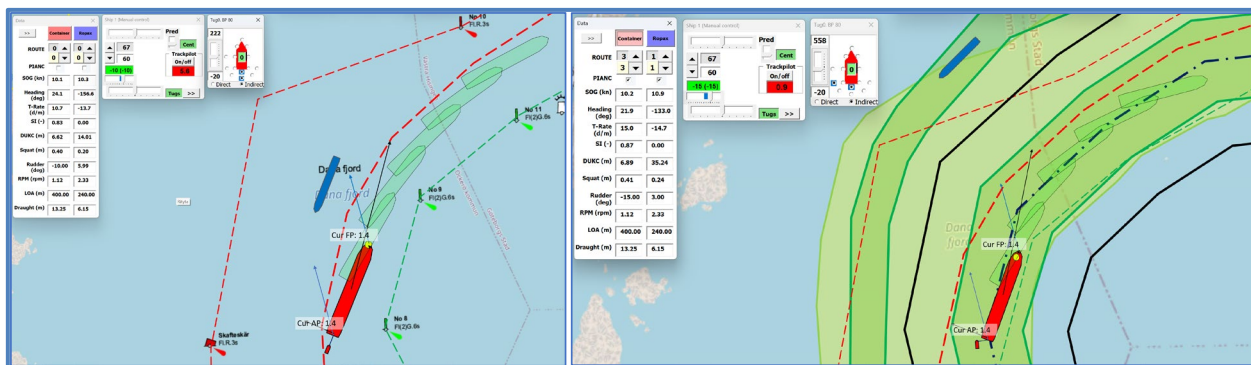
Utnyttjande av farleden

De två viktigaste hjälpmedlen i en dynamisk farled kan för det aktuella fartyget vara en presentation (t.ex. i conning) av dels en specifik farledsyta, dels en enligt PIANC rekommenderad farledsbredd. Den specifika farledsytan baseras på bottenpogografi samt fartygets aktuella djupgående med en säkerhetsmarginal på exempelvis 10%.

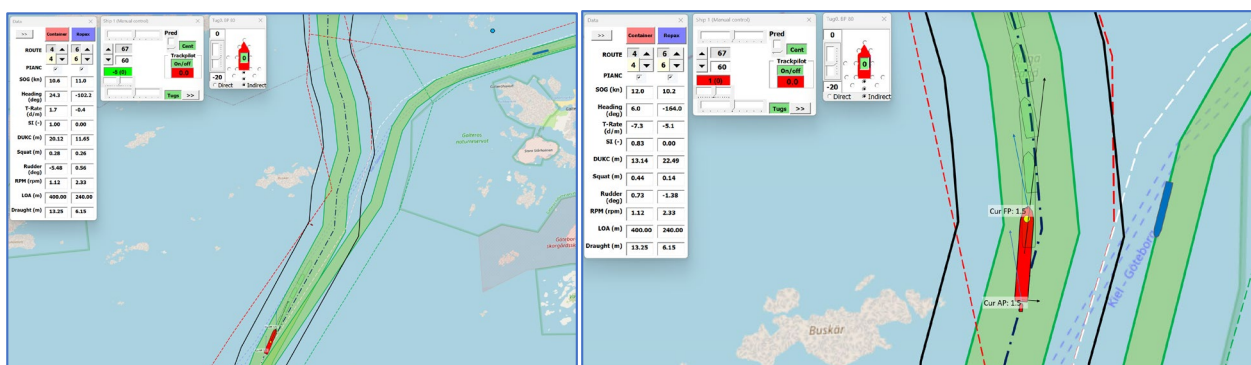
I rapporten presenteras ett antal genomförda simuleringar där möten skett på olika ställen i farlederna och mellan olika fartyg. Farlederna in till Göteborg är väl avgränsade och lämnar inte mycket utrymme för alternativa rutter. Simuleringarna visar dock på några situationer där dynamiska farleder kan innebära en ökad effektivitet och säkerhet. Så exempelvis:

- Containerfartyg under insegling i ruttalternativ RA0 och ropaxfartyg på väg ut i ruttalternativ RA1, bägge i Torshamnsleden (Scenario 5)
- Containerfartyg på väg in i ruttalternativ RA4 och ropaxfartyg på väg ut i ruttalternativ RA6 (Scenario 5)

Möte mellan 400 m containerfartyg och ett 240 m ropaxfartyg. Dagens farled (v) och i en framtida (h)



Möte mellan 400 m containerfartyg och 240 m ropaxfartyg vid Böttö



Flera simuleringar med möten mellan något av de två största fartygen, VLCC'n eller containerfartyget, och något av de övriga mindre fartygen i Måvholmskröken. Dessa möten har skett utan problem men med små marginaler, speciellt med tanke på vad PIANC rekommenderar för bredd vid möten. Exempel på detta är:

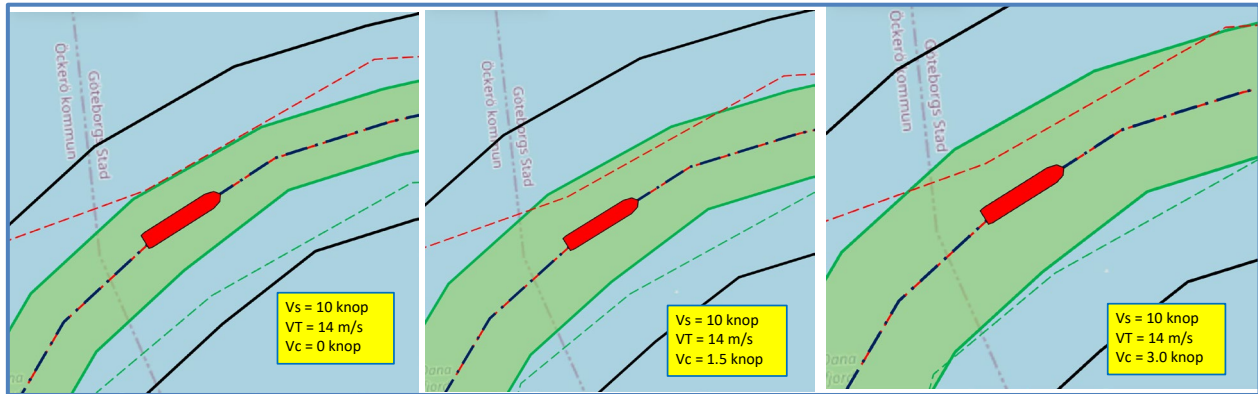
- VLCC på väg ut i ruttalternativ RA0 och 200 m tankerfartyg på väg in i ruttalternativ RA3
- VLCC på väg ut i ruttalternativ RA= och 240 m ropaxfartyg på väg in i ruttalternativ RA2

Möte mellan VLCC och 200 m tankerfartyg respektive 240 m ropaxfartyg



Dynamisk farleds påverkan från vind och ström

Genom att utnyttja vind- och strömförhållandena kan den dynamiska farledsbredden varieras. För den 320 m långa VLCC'n, exempelvis, skulle detta kunna se ut som i nedanstående figur



I figurerna ovan presenteras både rekommenderad bredd för enkeltrafik (grönt område) och för tvåvägstrafik (svarta linjer på ömse sidor av farleden).

Innehåll

1.	Inledning	13
1.1.	Simuleringsprogrammet	13
1.2.	Simuleringsomfattning – Möte i Norrköping 2023-06-21	14
1.3.	Appendix	15
2.	Modellerade fartyg	16
3.	Modellerade farleder in till Göteborg	17
3.1.	Farledsytor och rutter	17
3.1.1.	Farledsytor för de fem valda fartygen.....	19
3.1.2.	PIANC's rekommendationer för farledsbredd.....	21
3.1.3.	Bränsleförbrukning för respektive farled/rutt	22
3.2.	Strömmodell	23
3.2.1.	Torshamnsleden	23
3.2.2.	Böttöleden	24
4.	Säkerhetsindex	25
5.	Simuleringar.....	26
5.1.	Scenario 1 – Strömstyrka och prediktorval	26
5.1.1.	Variation av strömstyrka.....	27
5.1.2.	Olika typer av prediktor	30
5.1.3.	Sammanfattning av scenario 1	32
5.2.	Scenario 2 – Prediktorval och vindinflytande	33
5.2.1.	Olika typer av prediktor	33
5.2.2.	Scenario 2 - Variation av vindförhållanden	36
5.2.3.	Sammanfattning av Scenario 2	38
5.3.	Scenario 3 - Val av olika ruttalternativ	38
5.3.1.	Simulering 3.1.....	39
5.3.2.	Simulering 3.2.....	39
5.3.3.	Simulering 3.3.....	40
5.3.4.	Sammanfattning av Scenario 3	40
5.4.	Scenario 4 – Möten	41
5.4.1.	Simulering 4.1	41
5.4.2.	Simulering 4.2.....	43
5.4.3.	Simulering 4.3.....	44

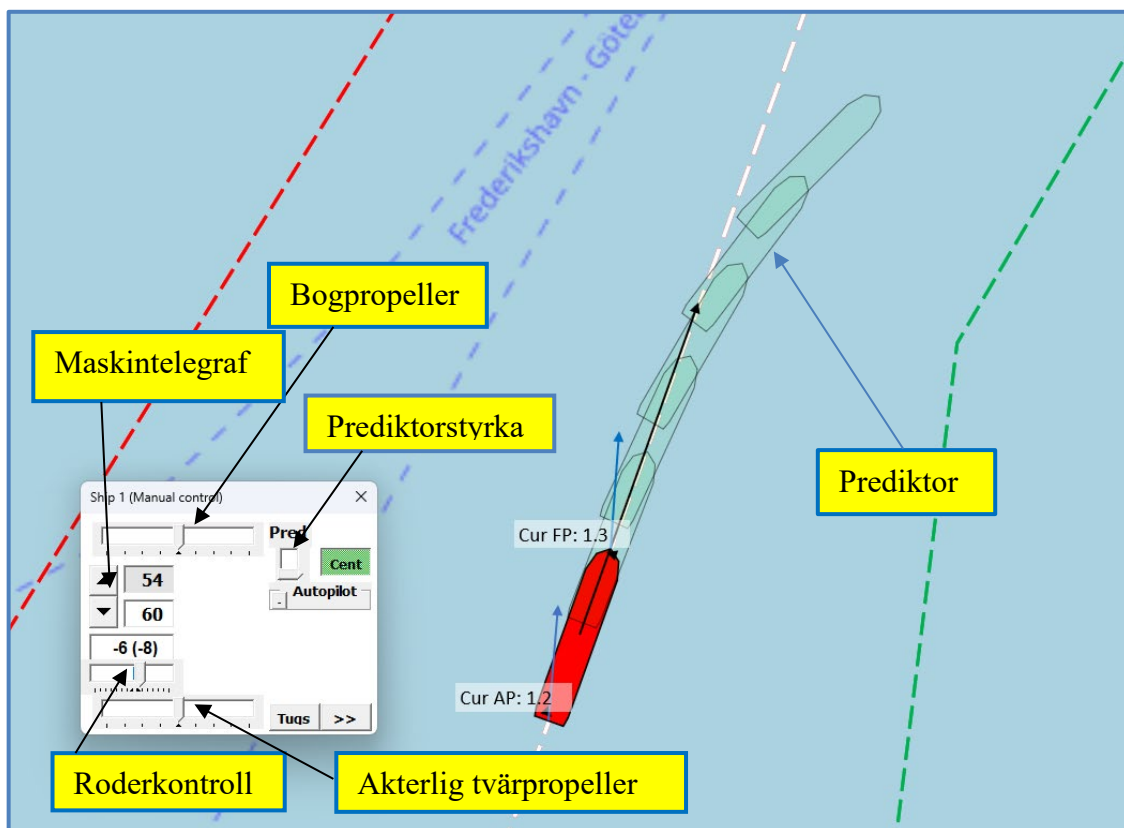
5.4.4.	Sammanfattning av Scenario 4	44
5.5.	Scenario 5 – Bogserbåtshantering och möten	45
5.5.1.	Simulering 5.1	46
5.5.2.	Simulering 5.2	47
5.5.3.	Sammanfattning av Scenario 5	48
6.	Dynamisk färledsbredd	49
7.	Slutsatser	50

1. Inledning

1.1. Simuleringsprogrammet

Simuleringsprogrammet ShipAndFairwaysII har vidareutvecklats utifrån en tidigare programversion, ShipAndFairways. I programmet har tillkommit ett antal nya funktioner/egenskaper:

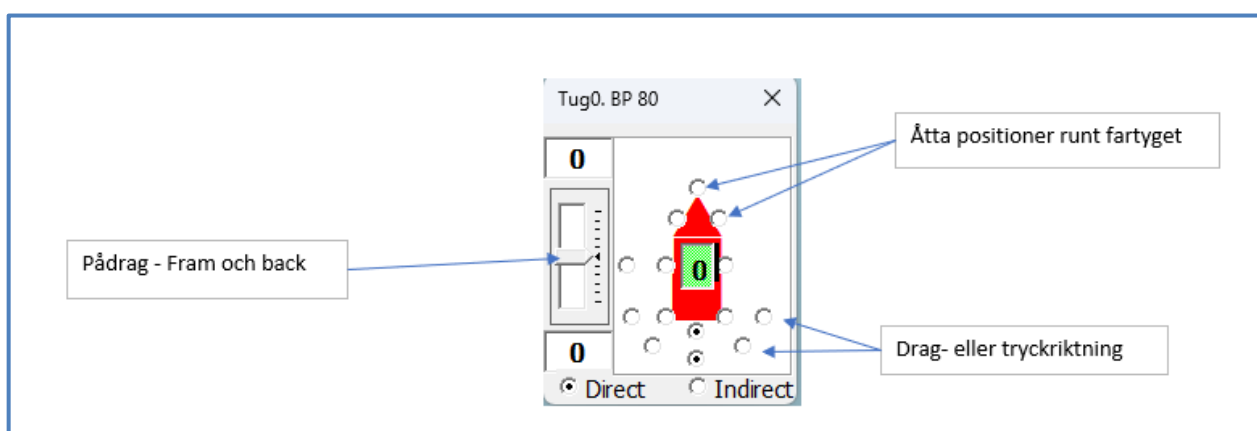
- Ökning av antal fartyg till att fem olika fartyg kan simuleras samtidigt. Varje fartyg påverkas av både eventuell ström och vind. De matematiska fartygsmodellerna omfattar dynamik i fyra frihetsgrader (axiell- och tvärskeppsrorelser, gir och krängning) och tar bl.a. även hänsyn till:
 - Maskin- och propellerkaraktistik
 - Roderrörelser
 - Eventuellt bogpropellerutnyttjande
- Ett eller två av fartygen kan styras manuellt med hjälp av speciellt utvecklade grafiska kontrollfönster, se Figur 1.



Figur 1 Manuell styrning av ett fartyg

- De övriga fartygen styrs med hjälp av speciellt framtagna styralgoritmer för så kallad "track-keeping".
- Som hjälp för manövrering av de manuellt styrda fartygen kan väljas en prediktor som visar fartygets positioner framåt i tiden. Denna prediktor kan vara en enkel baserad på död räkning eller mer sofistikerade baserat på en simulering framåt i tiden där även rodervinkel och maskinpådrag ingår som insignaler,
- Mellan mötande eller omkörande fartyg uppstår interaktionseffekter (krafter och moment) som beror på fart och relativa avstånd. Dessa effekter är representerade i programmet.

- Vart och ett av de fem fartygen väljs med hjälp av fartygstyp, längd över allt och lastkondition, det sistnämnda fullast eller ballast. Utifrån dessa tre parametrar ger programmet ett förslag på samtliga övriga nödvändiga storheter, vilka alla kan ändras efter behov. Efter val av ovanstående fartygsdata beräknas det aktuella fartygets karakteristik vad gäller motstånd och manövrering på djupt och grunt vatten i form av ett antal koefficienter.
- Det manuellt styrda fartyget kan assisteras av upp till fem bogserbåtar, där var och en definieras med "bollard pull" i ton. Utifrån denna definition beräknar sedan programmet själv ut bogserbåtens dimensioner och karakteristik. Bogserbåtarna kan sägas vara kvasidynamiska, då de tar hänsyn till alla de väsentliga krafter en riktig bogserbåt ger och utsätts för. Så till exempel beräknas de så kallade "paravaneffekterna" till följd av eventuell snedanströmning på bogserbåten. Varje bogserbåt styrs med hjälp av ett kontrollfönster, se Figur 2.



Figur 2 Kontrollfönster för bogserbåt

1.2. Simuleringsomfattning – Möte i Norrköping 2023-06-21

Vid möte i Norrköping 2023-06-21 diskuterades ett antal punkter avseende vad simuleringarna bör omfatta. De ska omfatta de två huvudfarlederna in till Göteborg; Torshamnsleden och Böttöleden. Följande punkter diskuterades:

- Bogserbåtar bör användas i förekommande fall även med möjlighet till eskortbogsering.
- Säkerhetsindex bör beräknas
- Visa på strömmens inverkan.
- Vid angöring till kaj och vid avgång bör avstånd till kaj successivt visas.
- Visa på skillnader mellan dynamisk prediktor och prediktor som baseras på död räkning
- Vad gäller väder bör både vind och ström representeras
- Vid val av olika farledslinjealternativ bör även någon form av ruttoptimering beaktas, t.ex skillnader i bränsleförbrukning.
- Förslag till när roder ska läggas inför en farledskrök.
- Vattenstånd

1.3. Appendix

Till rapporten hör följande fem Appendix:

- Appendix 1 Fartygsdata och predikterade girprov för de fem fartygen
- Appendix 2 Plottar från genomförda simuleringar
- Appendix 3 Farledsalternativ
- Appendix 4 Beräkning av säkerhetsindex
- Appendix 5 Bränsleförbrukning

2. Modellerade fartyg

Fem fartyg har valts ut för simuleringarna. Huvud data för dessa ges i Tabell 1 medan detaljerade data ges i Appendix 1.

Fartyg	Typ (-)	Längd över allt Loa (m)	Bredd B (m)	Djupgående T (m)	Färg (-)
A	Tanker/VLCC	320	62	18.5	Röd
B	Container	400	56	13.5	Blå
C	Vänermax	87	12.6	4.7	Orange
D	Ropax	240	30.5	5.5	Ljusblå
E	Tanker	200	32.3	10.0	Gul

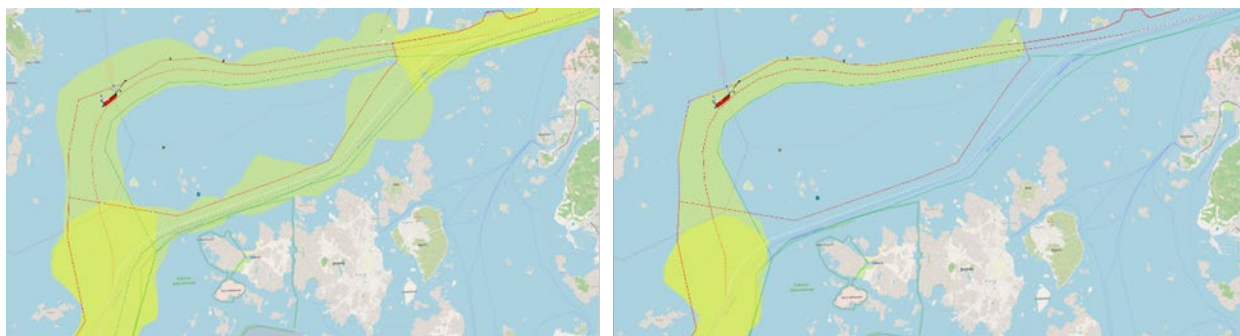
Tabell 1 Fartyg som ingår i simuleringstudien

3. Modellerade farleder in till Göteborg

3.1. Farledsytor och rutter

Vid modellering av vattendjupet i sjöfartsområdet för insegling i Göteborgs skärgård har en modifierad modell skapats, som skiljer sig något från verkligheten. Ett antal fiktiva djupkurvor har definierats utefter dagens två befintliga huvudfarleder, men även områden kring och mellan dessa. Anledningen till detta är att försöka ge bättre förutsättningar att kunna exemplifiera skillnader mellan dagens definition och navigering i fasta farleder och projektets visioner om framtida mer dynamiska.

Istället för att som idag utgå från en fördefinierad farled som begränsas av fasta sjömärken, kan man genom interpolation av djupkurvor i kombination med ett fartygs i huvudsak aktuella djupgående, dynamiskt skapa en farledsyta som definierar den area inom vilken fartyget har tillräcklig klarning. Andra parametrar som kan påverka ett fartygs unika farledsyta kan vara; aktuellt vattenstånd, ström, vind eller miljöskyddsområden. Även fartygets utrustning och manöveregenskaper kan ingå i beräkning av den dynamiska farledsytan, vilket i viss mån ingår i PIANC's rekommendationer.



Figur 3 Aktuella farledsytor. Vänster bild Ropaxfartyg 5-5 m djupgående. Höger bild Tankfartyg 19.5 m djupgående

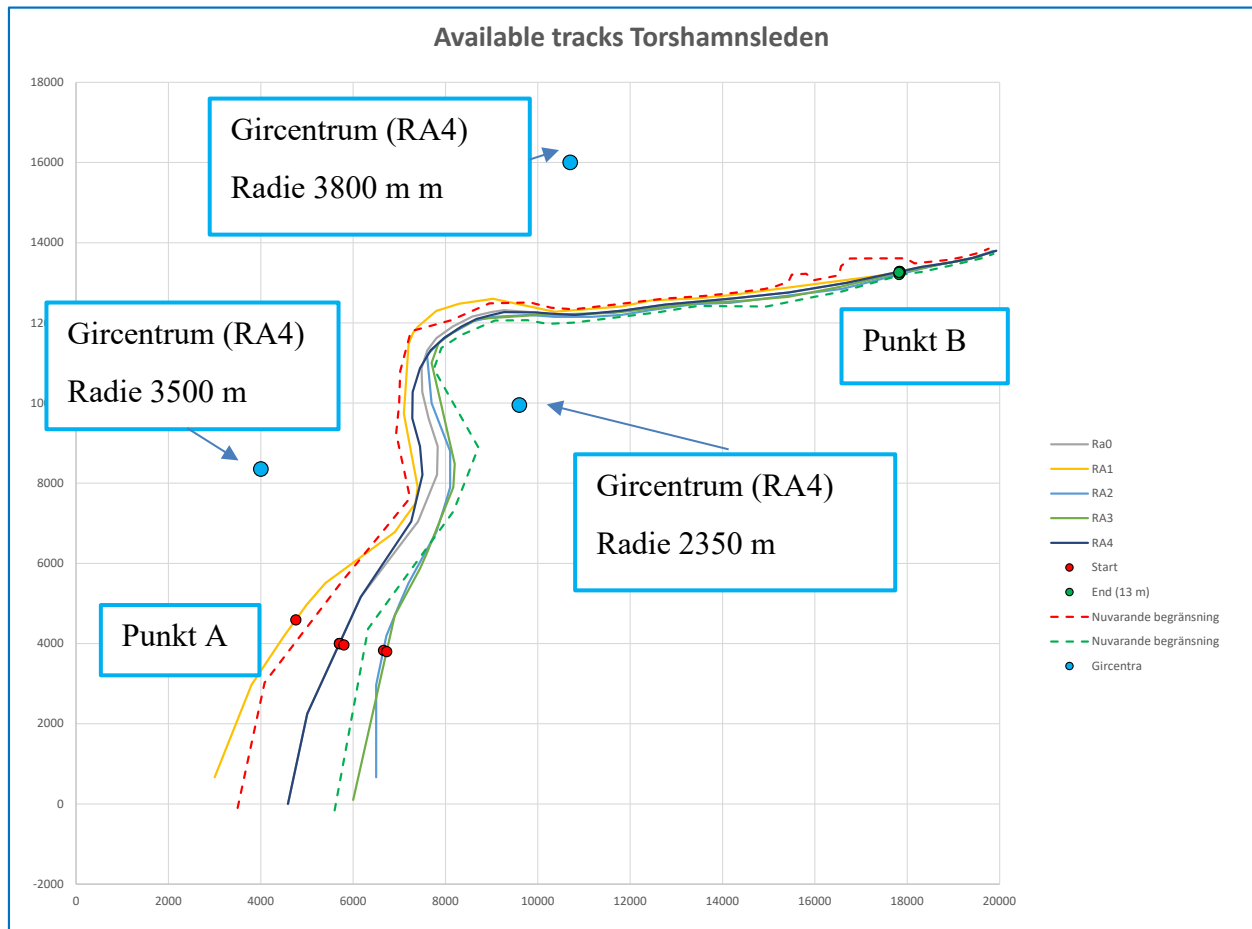
Vid simulering finns en funktion för visualisering av ett fartygs aktuella farledsyta. Samma funktion finns för visualisering av rekommenderad farled enligt PIANC som gäller för den rutt som valts (beskrivning av rutter senare i denna rapport).



Figur 4 Grönt område: PIANC rekommenderad farled för aktuell rutt

Vid simulering in till Göteborg har rutter definierats utefter dagens två huvudfarleder. Rutterna har vidare baserats på simulerade fartygs djupgående och deras aktuella farledsytor. De två huvudfarlederna är Torshamnsleden och Böttöleden

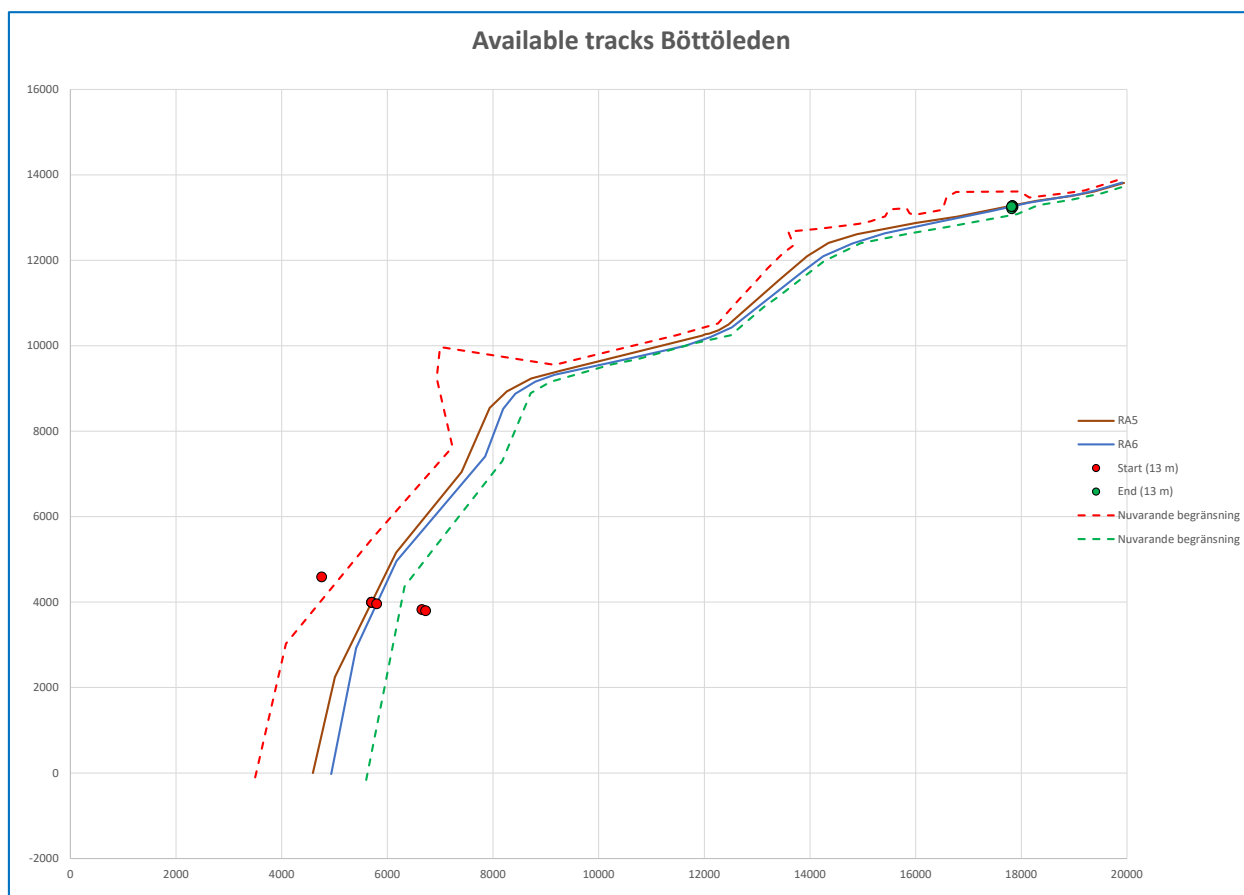
För Torshamnsleden finns fem ruttalternativ (RA0-RA4) att välja mellan, se Figur 5.



Figur 5 Fem ruttalternativ i Torshamnsleden

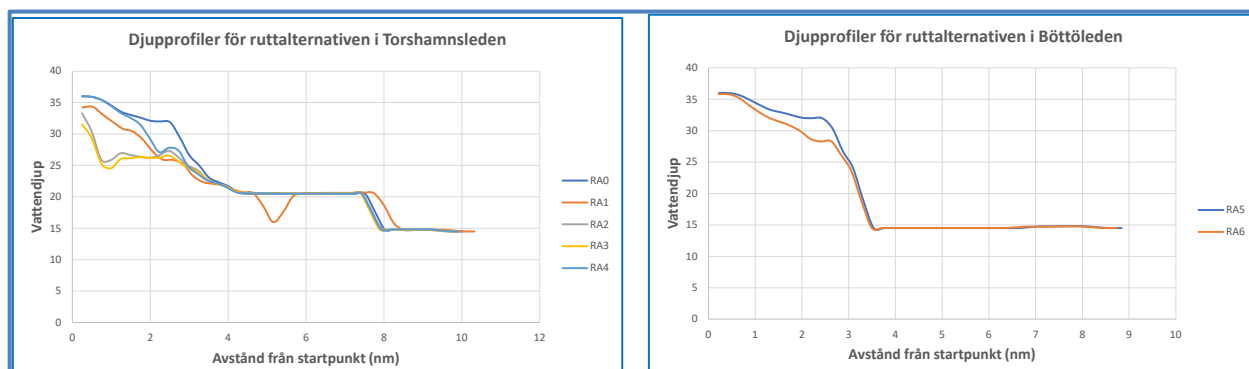
RA0 representerar nuvarande farledslinje och kan trafikeras av fartyg med djupgående upp till 19.5 m, RA1 och RA2 som delvis går utanför nuvarande farledsbegränsningar, kan användas för fartyg med djupgående upp till 5-6 m. RA3 kan trafikeras av fartyg med djupgående upp till 10-11 m. Det sista ruttalternativet, RA4, representerar ett vattendjup på upp till 20-21 m, men är baserat på tre cirkelsegment med korta raksträckor emellan. De tre gircentra är representerade av de blå runda symbolerna i bilden ovan.

De röda ringarna markerar startpunkter för respektive farledsalternativ för jämförelse av bränsleekonomi och de gröna dess slut. Detsamma gäller för de två farledsalternativen, RA5 och RA6 i Böttöleden, se Figur 6.



Figur 6 Två alternativ i Böttöleden

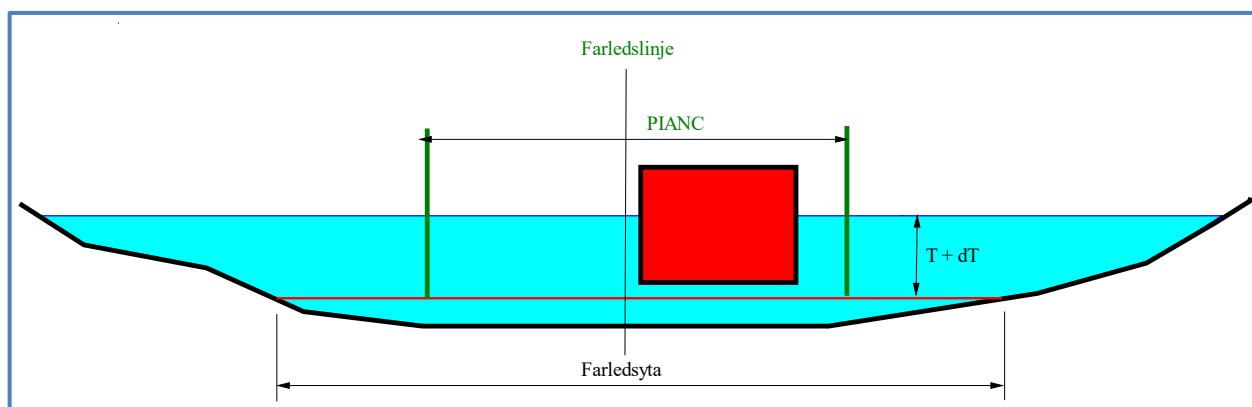
De olika alternativen djupprofiler ges i Figur 7. I den senare har vattendjupet givits som funktion av avståndet från startpunkten, se Figur 5 och Figur 6.



Figur 7 Djupprofiler för de sju ruttalternativen

3.1.1. Farledsytor för de fem valda fartygen

För varje fartyg som simuleras beräknas en farledsyta som baseras på fartygets djupgående (T) + 10% av dess djupgående (dt), se Figur 8, och den lokala bottentopografin. Farledsytan definieras således som områden där djupet är större än 1.1 T.

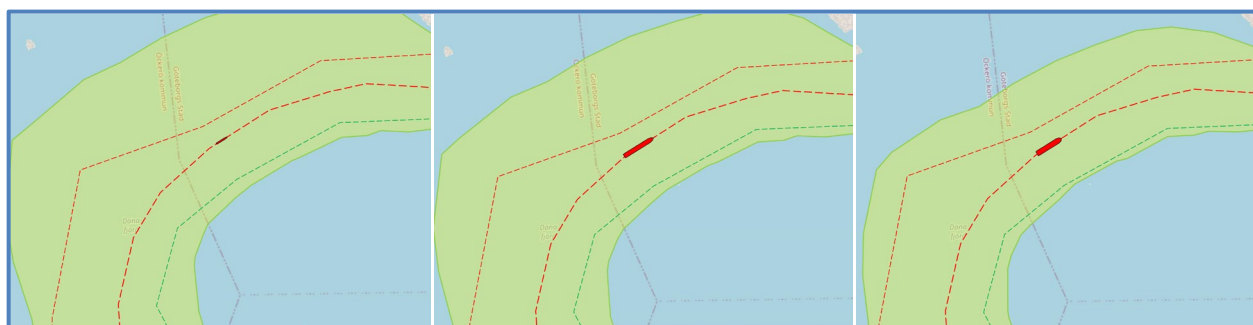


Figur 8 Princip för beräkning av farledsyta

Farledsytan i Måvholmskröken kan då för normalt vattenstånd se ut som i Figur 9 och Figur 10.

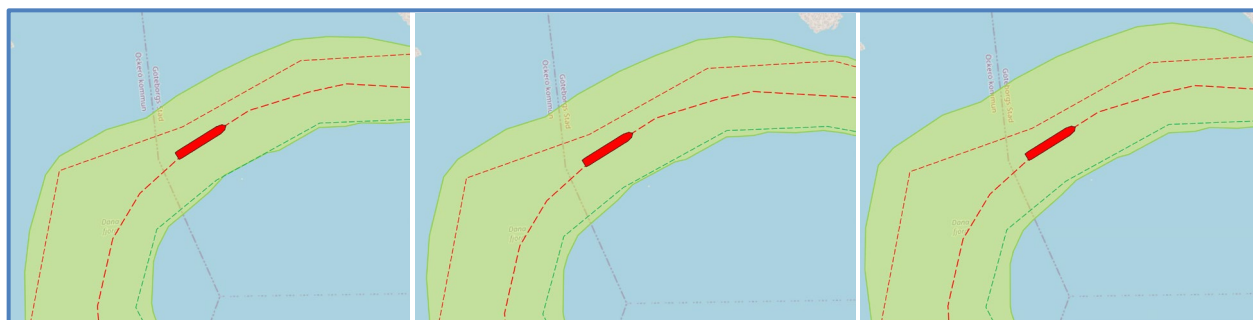


Figur 9 Farledsytan för VLCC och containerfartyg



Figur 10 Farledsytan för fartyg av typ vännermax, ropax och tankers

Farledsytan beror ju också på det aktuella vattenståndet. För exempelvis det 400 m långa containerfartyget ges den i Figur 11 för tre olika vattenstånd: 2 m lågvatten, normalt vattenstånd respektive 2 m högvatten.

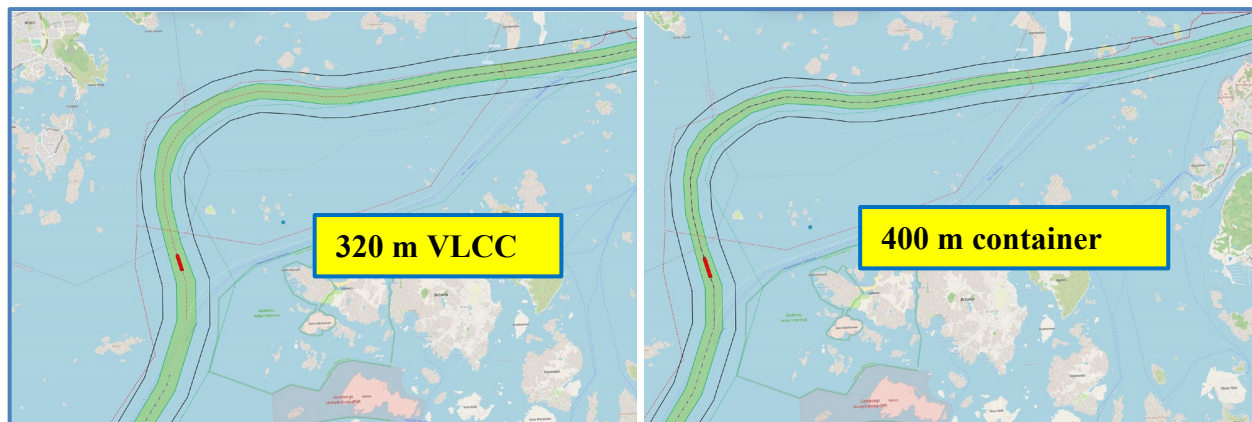


Figur 11 Farledsytan för containerfartyg vid vattenstånden -2, normal respektive +2 m

Det bör noteras att bottenpogrfin baseras på en delvis fiktiv och förenklad djupmodell, varför ovanstående bilder bör betraktas som enbart illustrationer till hur farledsytan kan beskrivas.

3.1.2. PIANC's rekommendationer för farledsbredd

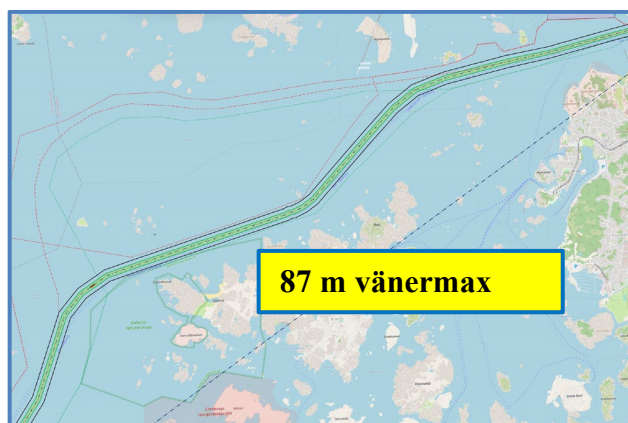
PIANC's rekommenderade bredd för Torshamnsleden och de fyra största fartygen visas i Figur 12 och Figur 13. Det gröna området representerar enkeltrafik och de svarta linjerna representerar PIANC's rekommendationer för mötande trafik. Motsvarande För vänermaxfartyget visas i Figur 14.



Figur 12 PIANC's rekommenderade bredder för enkel respektive mötande trafik.



Figur 13 PIANC's rekommenderade bredder för enkel respektive mötande trafik.



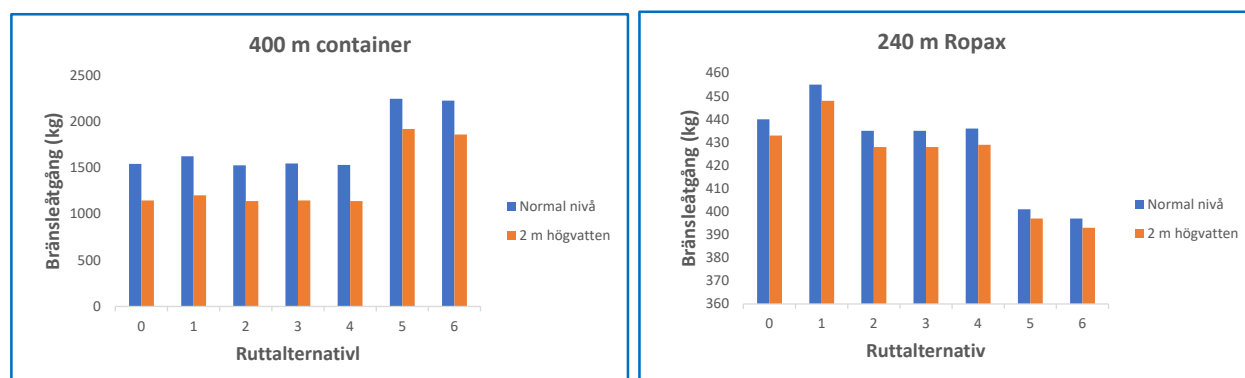
Figur 14 PIANC's rekommenderade bredder för enkel respektive mötande trafik.

3.1.3. Bränsleförbrukning för respektive farled/rutt

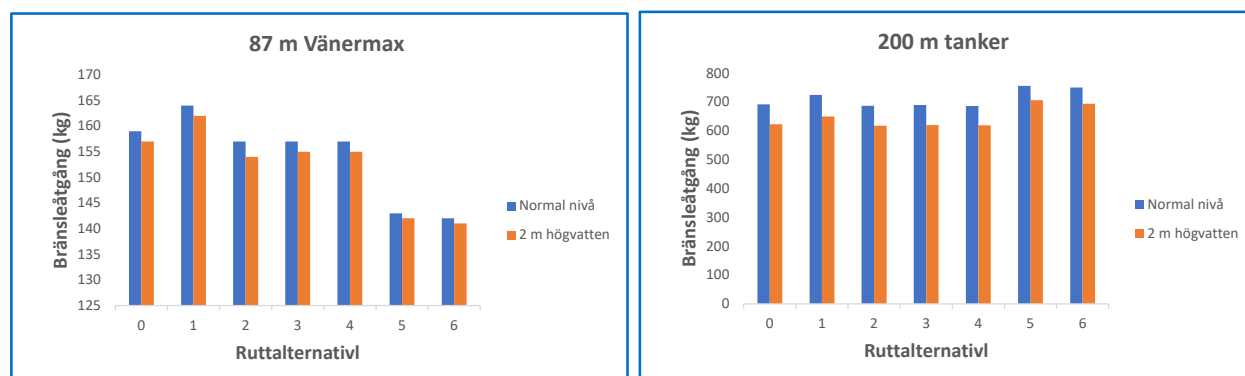
Bränsleförbrukning har beräknats för fyra fartyg: container, ropax, det 200 m långa tankarfartyget samt för vänermax och för den ruttlängd som markerats i Figur 5 och Figur 6 ovan. Den 320 m långa VLCC'n har för stort djupgående för att trafikera hela den angivna ruten och ingår därför ej i beräkningen. Beskrivning av hur beräkningen genomförts finns beskriven i Appendix 5. Resultaten sammanfattas här i Figur 15 och Figur 16 och representerar två vattenstånd, dels normalt och dels 2 m högvatten.

Ruttalternativ	0	1	2	3	4	5	6
Längd	10.6	10.91	10.45	10.43	10.48	9.35	9.24

Tabell 2 Längd på de olika ruttalternativen



Figur 15 Bränsleförbrukning för 400 m container och 240 m ropax



Figur 16 Bränsleförbrukning för 87 m vänermax och 200 m tanker

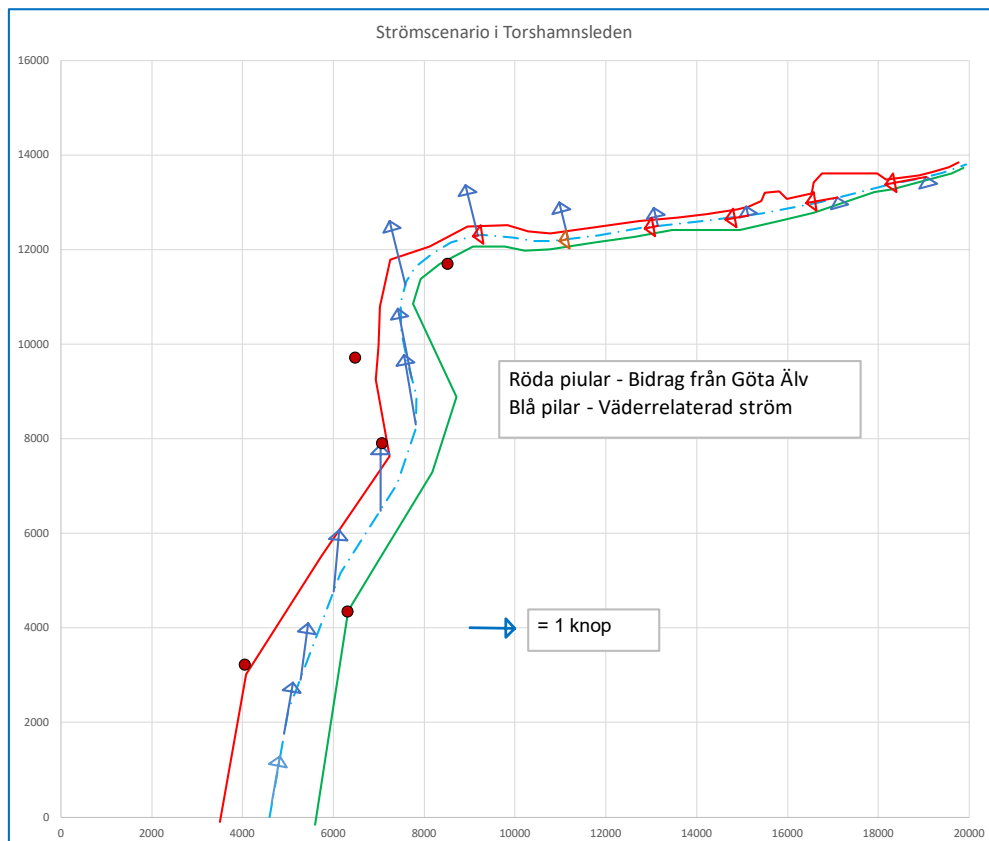
För det största fartyget, den 400 m långa containern, är skillnaden mellan normal vattennivå och högvatten förhållandevis stor. Detta beror på den mindre relative bottenklarningen för detta fartyg än för de övriga. Anmärkningsvärt är också att Böttöleden (alternativen RA 5 och RA 6) för detta fartyg ger större bränsleförbrukning än Torshamnsleden, trots att de förra är kortare. Detta indikerar att val av rutt kan ha signifikant betydelse för bränsleförbrukningen.

3.2. Strömmodell

De strömmodeller som antagits för simuleringarna bygger på en sammanvägning av vädergenererad ström och utåtgående ström från Göta Älv. Bägge dessa kan inför varje simulering korrigeras med en faktor som proportionerar om strömstyrkan. Om faktorn ges ett negativt värde blir riktningen den motsatta.

3.2.1. Torshamnsleden

För Torshamnsleden ser strömmodellen ut som visas i Figur 17, dvs en nordgående väderrelaterad ström och en utåtgående ström från Göta Älv.

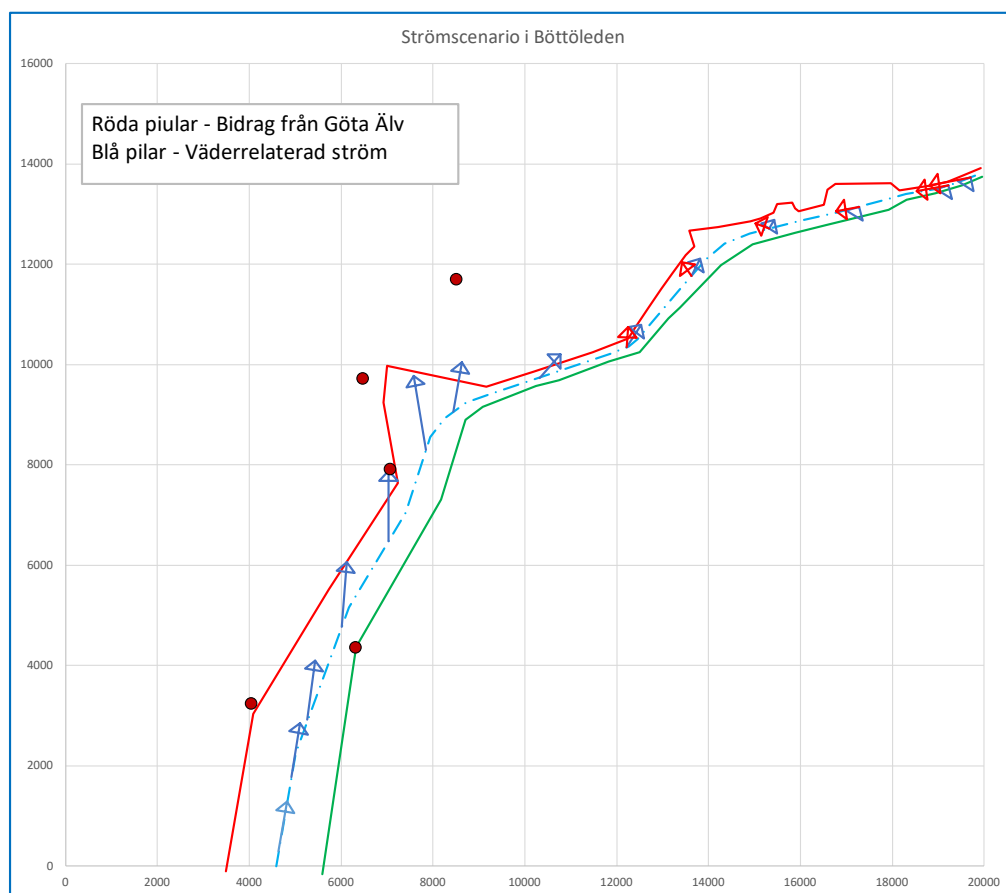


Figur 17 Strömsscenarier i Torshamnsleden

I simuleringarna anges strömmen med en strömfaktor, som är 1.0 då strömhastigheten ges av pillängderna i figuren ovan. Den maximala strömmen är då, vid Måvholmskröken ca 1.5 knop (vädergenererad) och vid Skandiahamnen ca 0.9 knop till följd av utflöde från Göta Älv.

Väljs strömfaktorn till -1.0 erhålls ström åt det motsatta hållet, och väljs strömfaktorn till 2.0 dubblas strömhastigheten och den maximala strömstyrkan blir då 3.0 knop.

3.2.2. Böttöleden



Figur 18 Strömscenario i Böttöleden

4. Säkerhetsindex

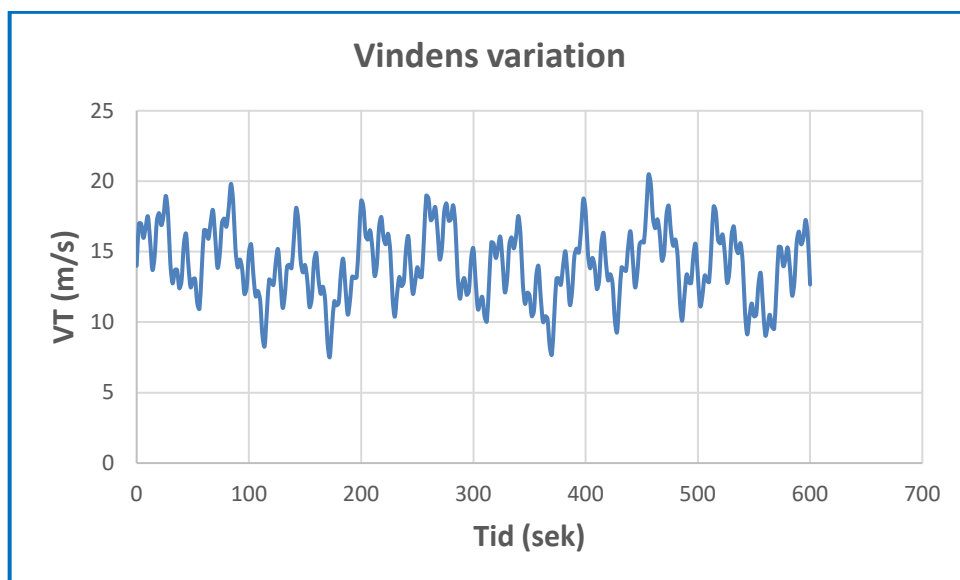
Simuleringsprogrammet omfattar en beräkning av ett så kallat säkerhetsindex (endast för det första fartyget), som är tänkt att representera den risk fartyget utsätts för när det seglar genom farleden. Beräkningen finns beskriven i Appendix 4.

,

5. Simuleringar

Varje genomförd simulering dokumenteras i form av ett antal skärmdumpar samt en banplott och några tidsdiagram. Alla dessa är samlade i Appendix 2.

Merparten av simuleringarna genomfördes i 14 m/s medelvind och med vindvariationer enligt ett vindspektrum, se Figur 19.



Figur 19 Vindhastighet kring medelvärde 14 m/s

Ett antal simulerade in- och utseglingar har genomförts för fem olika scenarier enligt nedanstående tabell:

Scenario	Manuellt styrt fartyg	Autonoma fartyg	Antal bogserbåtar	In/ut
1	VLCC	Ropax	4	In
2	Container	Vänermax och Ropax	4	Ut
3	Tanker	VLCC, container och ropax	2	In
4	VLCC	Container, vänermax, ropax och tanker	3	Ut
5	Container	Ropax	4	In

Tabell 3 Simuleringsscenarier

5.1. Scenario 1 – Strömstyrka och prediktorval

I detta första scenario, som belyser strömmens inverkan och skillnader mellan olika typer av prediktorer, simuleras insegling till Torshamnen med en 320 m lång VLCC, samtidigt som en 240 m Ropax går ut i Böttöleden. Det förra är manuellt styrt och det senare är autonomt och styrs med hjälp av en "track-keeping" algoritm. De bägge fartygen möter varandra i området kring Böttö.

Antal fartyg: 2

Fartyg	Farled	Ut/in	Möte med	Kontroll
A	Torshamns	In	D	Manuell
D	Böttö	Ut	A	Autonom

Tabell 4 Fartyg i scenario 1

Antalet bogserbåtar är i detta scenario fyra, se Tabell 5 och är kopplade enligt Figur 20.

Bogserbåt	Bollard pull (tons)	Typ av bogserbåt	Färg
1	80	ASD Escort	Röd
2	70	ASD	Grön
3	80	ASD	Blå
4*	70	ASD	Orange

Tabell 5 Bogserbåtar i scenario 1 (*Ej med i Simulering 1.1)



Figur 20 Bogserbåtskoppling i scenario 1

5.1.1. Variation av strömstyrka

Samtliga simuleringar i scenario 1 genomfördes i vind från sydväst 14 m/s. I den första var strömfaktorn 1.0 dvs en maximal ström på ca 1.5 knop, se kapitel 0, medan strömmen varierades i de tre övriga. VLCC'n styrdes i dessa simuleringar manuellt, medan ropaxen styrdes med hjälp av speciellt framtagna regleralgoritmer (så kallad "track-keeping").

Simulering Nr	Farled	Vind (m/s)	Strömfaktor	Typ av prediktor
1.1	Befintlig	-	1 (max 1.5 knop)	A
1.2	Framtida	-	0	A
1.3	Framtida	-	1 (max 1.5 knop)	A
1.4	Framtida	-	2 (max 3.0 knop)	A

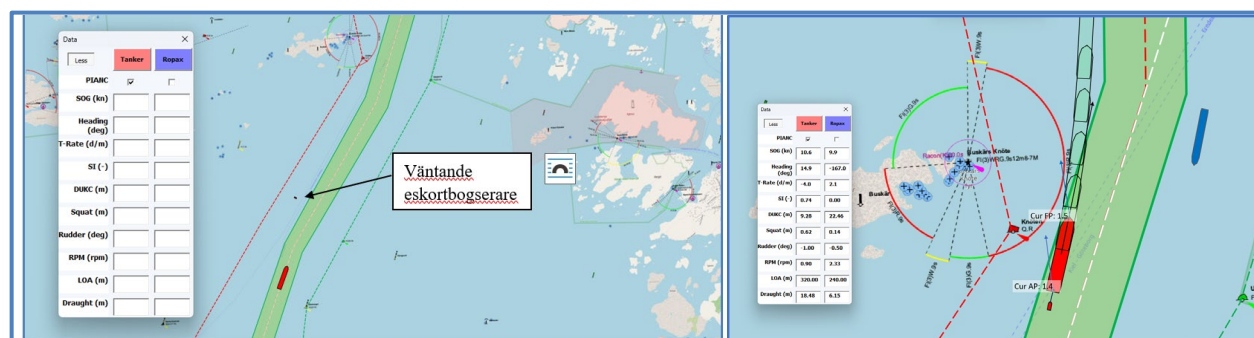
Tabell 6 Simuleringar i scenario 1 - Prediktor baserad på död räkning

5.1.1.1. Simulering 1.1 – farled med befintliga farledsbegränsningar i moderat ström

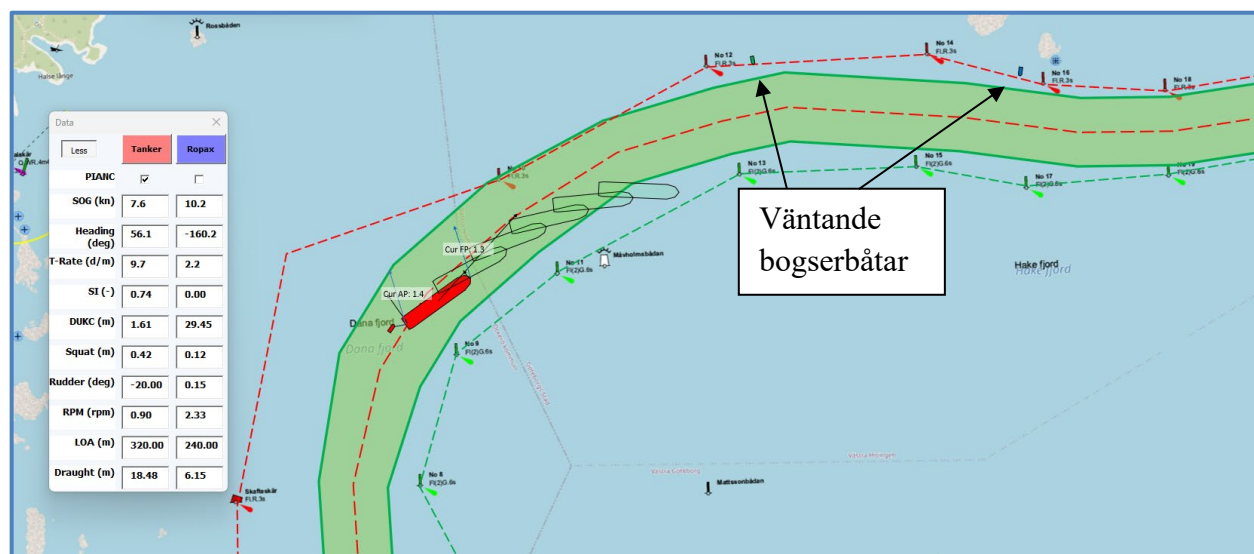
Simuleringen startade med VLCC'n på ingående i Vingasand och Ropaxfartyget på utgående i Böttöleden. Då VLCC'n passerar den väntande bogserbåten, se Figur 21, går denna ut och kopplar för eskortbogsering i aktern på fartyget.

VLCC'n har initialt en fart på ca 10 knop och Ropaxen en fart på ca 12 knop. Det gröna "bandet" kring farledslinjen representerar den bredd PIANC rekommenderar för VLCC'n i enkeltrafik. Då fartygen möts, vid Buskärs Knöte, är det laterala avståndet mellan dem ca 500 m, se Figur 21. VLCC'n går här ut utanför PIANC's rekommenderade minsta farledsbredd men väl innanför befintliga farledsbegränsningar.

I Måvholmskröken driver fartyget ganska mycket, delvis beroende på giren, men framförallt till följd av den nordgående strömmen. Notera också de två väntande bogserbåtarna längst upp i Figur 22.



Figur 21 Simulering Nr 1.1 – Startposition och möte vid Buskärs Knöte

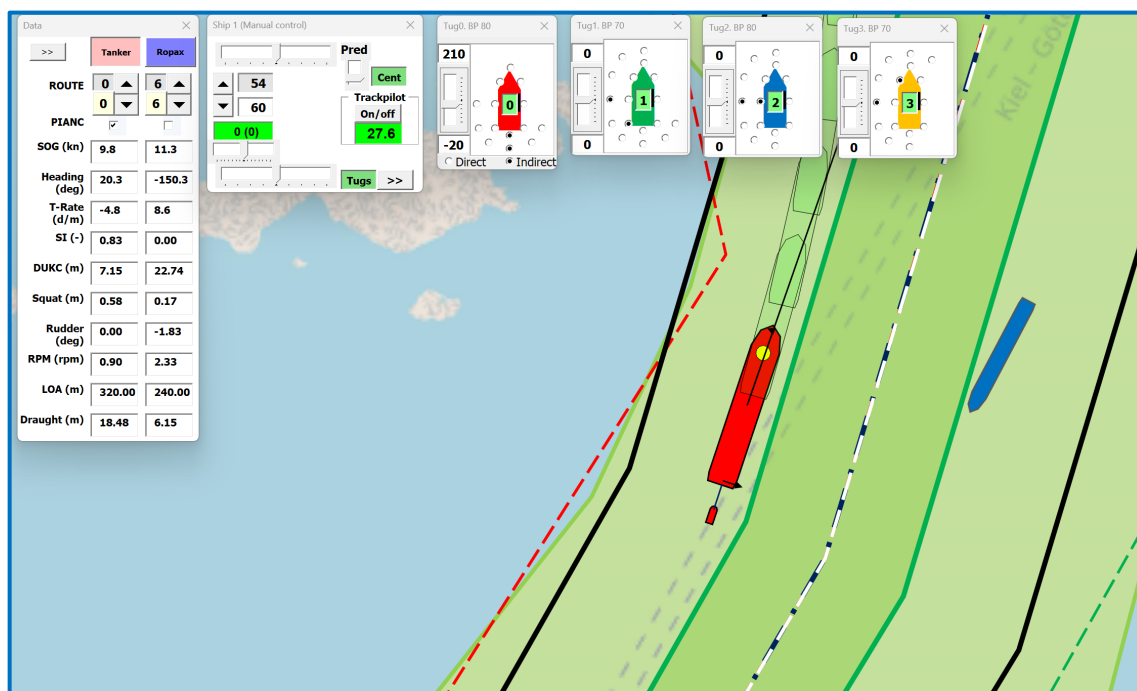


Figur 22 Simulering 1.1 – Måvholmskröken

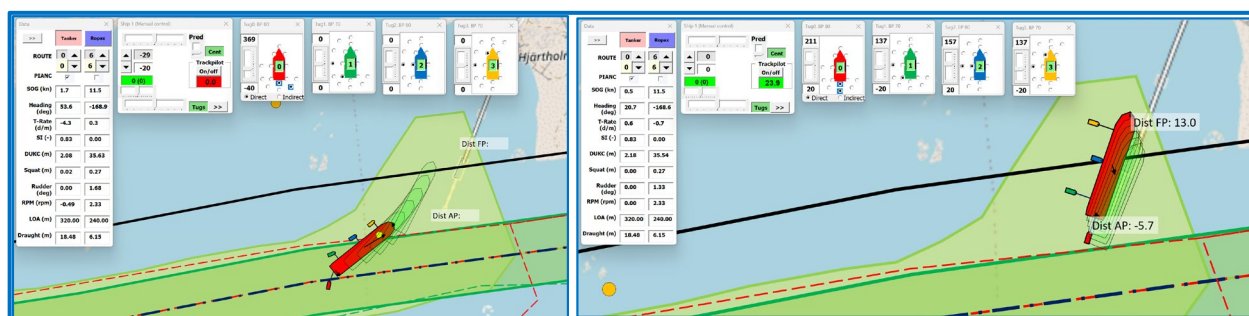
5.1.1.2. Simulering 1.2 – dynamisk farled utan farledsbegränsningar utan ström

I simulering 1.2 är den befintliga utmärkningen borttagen. I stället utgör djupet $20.34 \text{ m} (T + 0.1 \cdot T)$, där T är fartygets djupgående) farledsgräns och formar därmed en farledsyta, som i skärmdumparna färgats gul. Liksom tidigare så markeras också PIANC's rekommenderade farledsbredd för enkeltrafik, det gröna bandet i respektive skärmdump, se Figur 23. De svarta linjerna längre ut på respektive sida representerar PIANC's rekommendation för tvåvägs-trafik. I den här farleden och med det här fartyget överensstämmer farledsytan ganska väl med den nominella farleden, varför

svårigheterna är ungefär desamma. Inseglingen till Torshamnen går bra med assistans av de fyra bogserbåtarna, se Figur 24.



Figur 23 Simulering 1.2 – Möte med Ropax

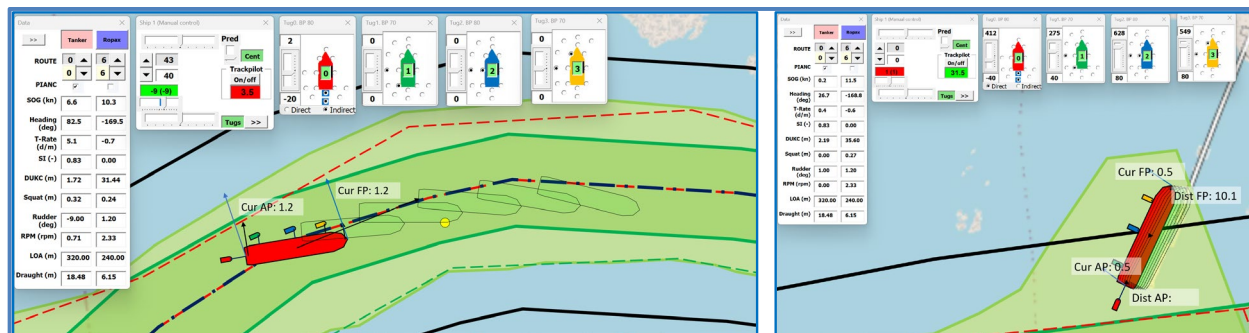


Figur 24 Simulering 1.2 – Insegling i Torshamnen

Notera att i slutskedet ges avstånd till kaj i för och akter.

5.1.1.3. Simulering 1.3 - dynamisk farled utan farledsbegränsningar i moderat ström

I simulering 1.3 har strömstyrkan ökats från faktor 0 (ingen ström) till faktor 1 (dvs en maximal strömhastighet 1.5 knop. Detta genererar en relativt kraftig avdrift i Måvholmskröken och därefter, se Figur 25. Intagning till kaj utan större problem.



Figur 25 Simulering 1.3 – Måvholmskröken

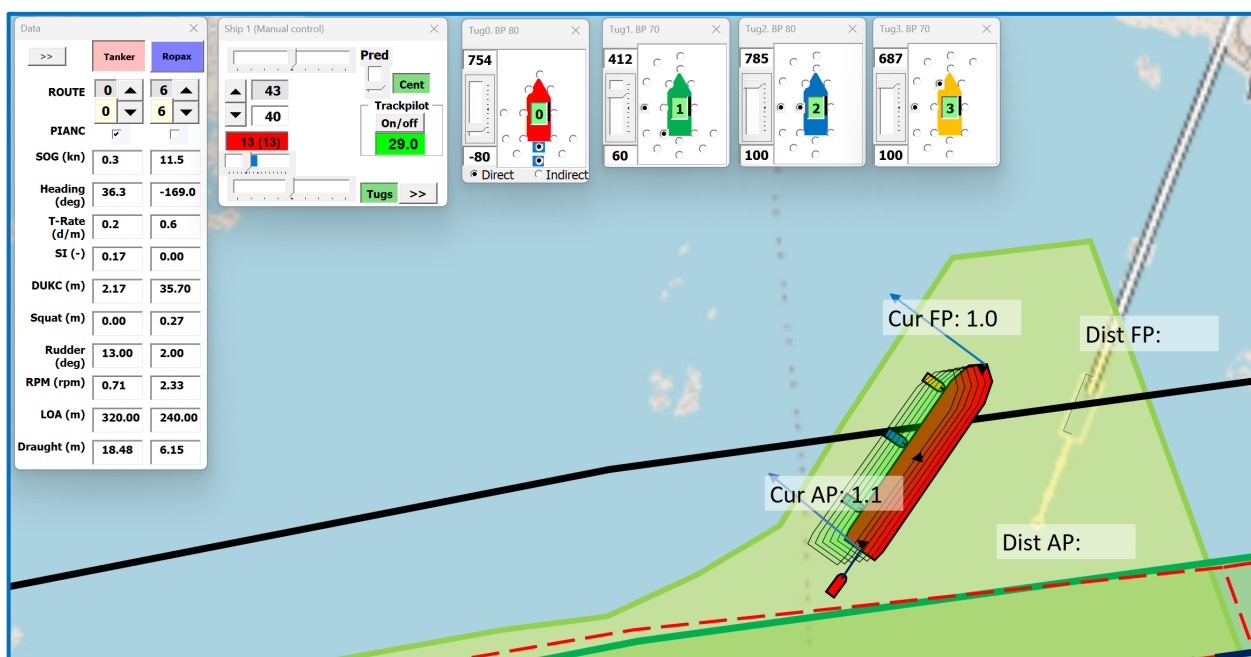
5.1.1.4. Simulering 1.4 - dynamisk farled utan farledsbegränsningar i stark ström

I denna simulering har strömstyrkan dubblats till en faktor 2, dvs en maxström på ca 3 knop i Måvholmskröken. Avdriften i Måvholmskröken blir därmed extrem, och fartyget driver i den här simuleringen upp mot, och överskrider, babordskanten. Möjligen hade fartyget klarat att hållas inom farledsbegränsningarna om giren hade initierats tidigare.

Däremot är det svårt att få upp fartyget mot den kraftiga strömmen (styvt en knop) i Torshammen trots att de tre bogserbåtarna på babordssidan trycker för fullt., se Figur 27.



Figur 26 Simulering 1.4 - Möte med Ropax och gir vid Måvholmsbådan



Figur 27 Simulering 1.4 – Insegling i Torshammen

5.1.2. Olika typer av prediktor

I de genomförda simuleringarna har tre olika typer av prediktor testats:

Prediktor A – död räkning

Prediktor B – Dynamisk prediktor med hänsyn till vind men ej till ström eller bogserbåtskrafter

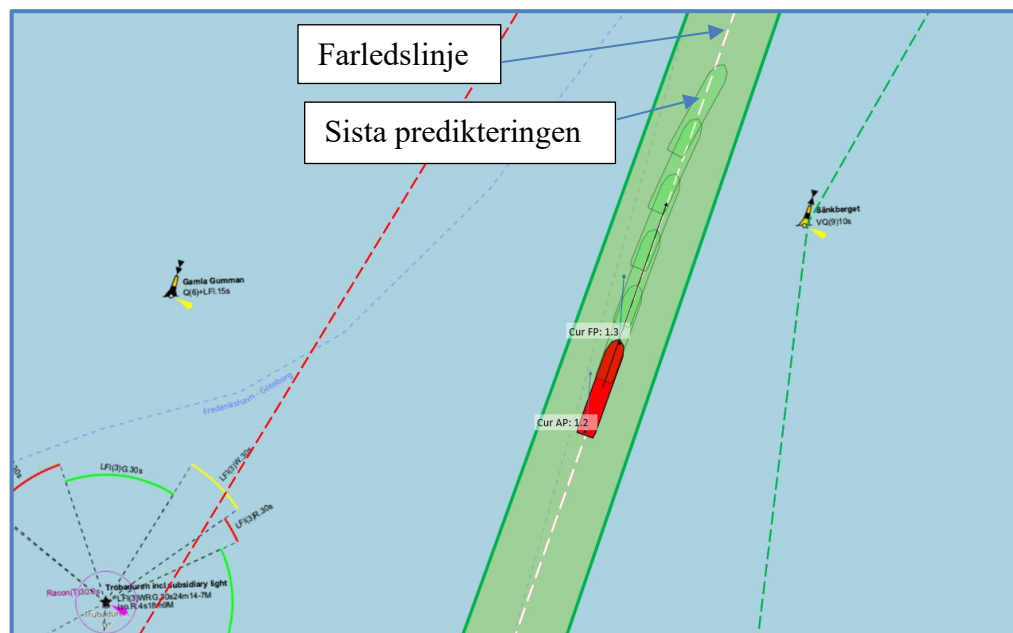
Prediktor C – Dynamisk prediktor med hänsyn till både vind och ström och bogserbåtskrafter

Alla tre här presenterade simuleringar genomfördes utan någon vind och i befintlig farled. Strömfaktorn var 1.0, dvs en maximal strömshastighet på 1.5 knop.

Simulering Nr	Prediktor	Vind
1.5	A	-
1.6	B	-
1.7	C	-

Tabell 7 Simuleringar med olika typer av prediktor i scenario 1

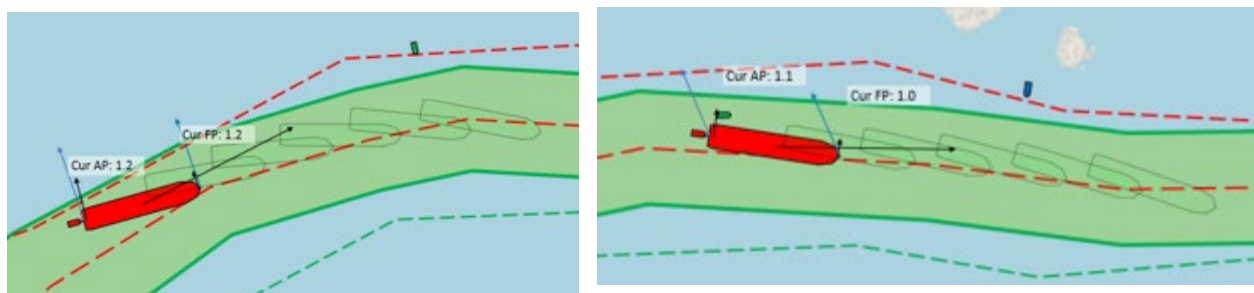
Fartyget, en 320 m VLCC, styrdes även här i varje simulering manuellt. För att göra en någorlunda objektiv jämförelse var ambitionen att hela tiden under simuleringen hålla den sista predikteringen på farledslinjen, se Figur 28. Startpositionen var i samtliga tre simuleringar den som visas i Figur 28.



Figur 28 Simulering 1.5 – 1.7 – Startposition och prediktor

5.1.2.1. Simulering 1.5 – enkel prediktor (död räkning)

I simulering 1.5 används en prediktor som baseras på enbart död räkning, dvs att långskepps- och tvärhastighet samt gir hastighet antas vara konstant under hela predikteringstiden. Därmed tas ingen direkt hänsyn till vare sig vind eller ström, annat än det som genererar en girhastighet eller en tvärhastighet. Prediktorn upplevs som lite ”trög”, men ger bra överensstämmelse mellan fartvektor och prediktering. Med ambitionen att hålla den sista predikteringen på farledslinjen

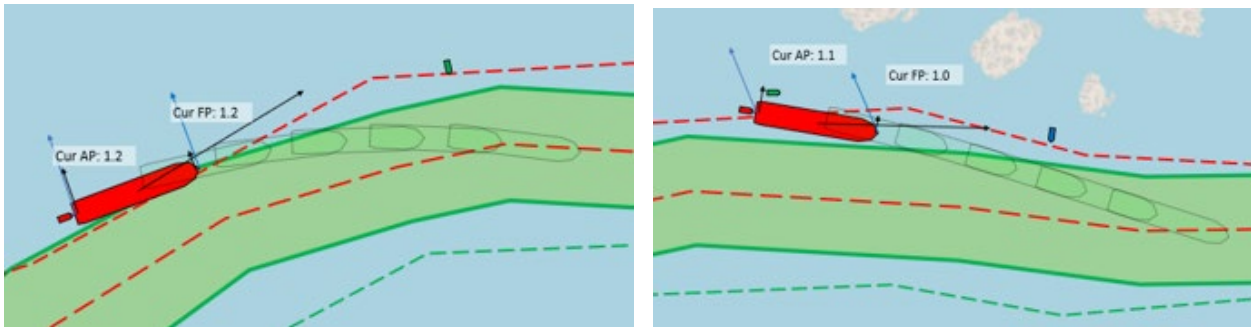


Figur 29 Simulering 1.5 – Måvholmskröken med prediktor baserad på död räkning

Om Prediktor A kombineras med information av vad en track-keeping algoritm skulle föreslå för roder vinkel, erhålls en ännu effektivare prediktor.

5.1.2.2. Simulering 1.6 – dynamisk prediktor

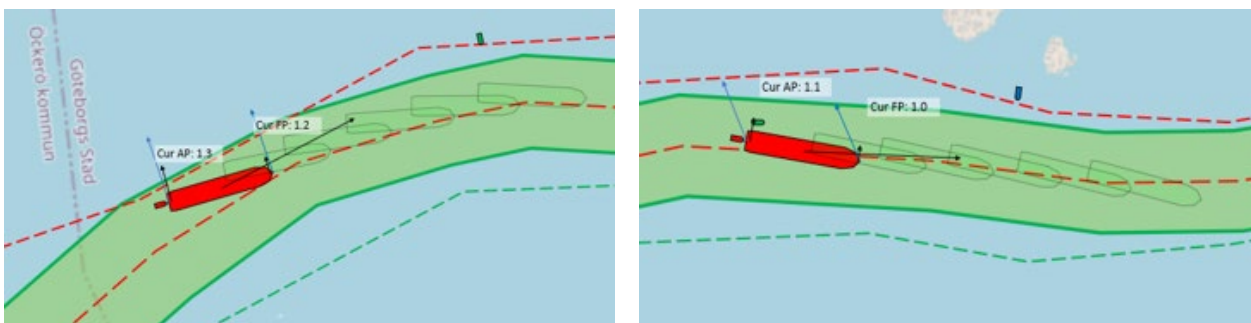
Trots att prediktorn här är dynamisk är det svårt att kontrollera fartyget på ett optimalt sätt, se Figur 30. I och med att man styr mot farledslinjen och att prediktorn ej tar hänsyn till strömmens inverkan, driver fartyget ut mot babordskanten i Måvholmskröken och kommer utanför PIANC's farledsbegränsning.



Figur 30 Simulering 1.6 – Måvholmskröken med dynamisk prediktor utan hänsyn till strömpåverkan

5.1.2.3. Simulering 1.7 – avancerad dynamisk prediktor

Med en dynamisk prediktor som tar hänsyn till strömmens inverkan, erhålls den bästa predikteringen, se Figur 31, om än marginellt bättre än den med död räkning.



Figur 31 Simulering 1.7 – Måvholmskröken med dynamisk prediktor med hänsyn även till ström

5.1.3. Sammanfattning av scenario 1

I det här första scenariot innebär inte den dynamiska djupgåendebaserade farledsmarkeringen någon större förbättring. Fartygets maxdjupgående och farledens bottenpografi innebär att de bägge alternativa farlederna fick ungefär samma bredd. Längs söderut, söder om Buskärs Knöte kan den dynamiska farleden, med sin större bredd, ge bättre förutsättningar för möten med andra fartyg.

5.1.3.1. Strömmens inflytande

Tre genomförda simuleringar med olika strömstyrka visade att en strömstyrka högre än ca 1.5 knop kan vara svårt att hantera i Måvholmskröken. Fartyget tenderar att driva ut mer och mer i ökande strömhastighet och marginalerna till farledsbegränsningarna blir mindre och mindre. Möte med en Ropax vid Buskärs Knöte fungerar bra i alla simuleringarna.

En dynamisk farledsbegränsning, baserad på det aktuella djupgåendet, ökar förutsättningarna att klara giren i Måvholmskröken i och med att fartyget kan tillåtas gå ut längre västerut innan själva giren.

5.1.3.2. Typ av prediktor

Prediktor A, baserad enbart på död räkning, upplevdes som minst lika säker som prediktor B, där hänsyn ej tas till strömmen. Den senare ger snabbare respons på roderrörelser, men kan å andra sidan ge en något felaktig bild av vad som kommer att hända. Den på död räkning baserade prediktorn (A) upplevs som lite trög, men ger en bättre överensstämmelse mellan predikterade positioner och fartvektorn.

5.2. Scenario 2 – Prediktorval och vindinflytande

I Scenario 2 undersöks dels olika typer av prediktor men också vindens inflytande på säker manövrering.

Antal fartyg: 3

Fartyg	Farled	Ut/in	Möte med	Kontroll
Container (B)	Torshamns	Ut	C och D	Manuell
Vänermax ©	Böttö	Ut	B och D	Autonom
Ropax (D)	Torshamns	In	B och C	Autonom

Tabell 8 Simulerade fartyg i Scenario 2

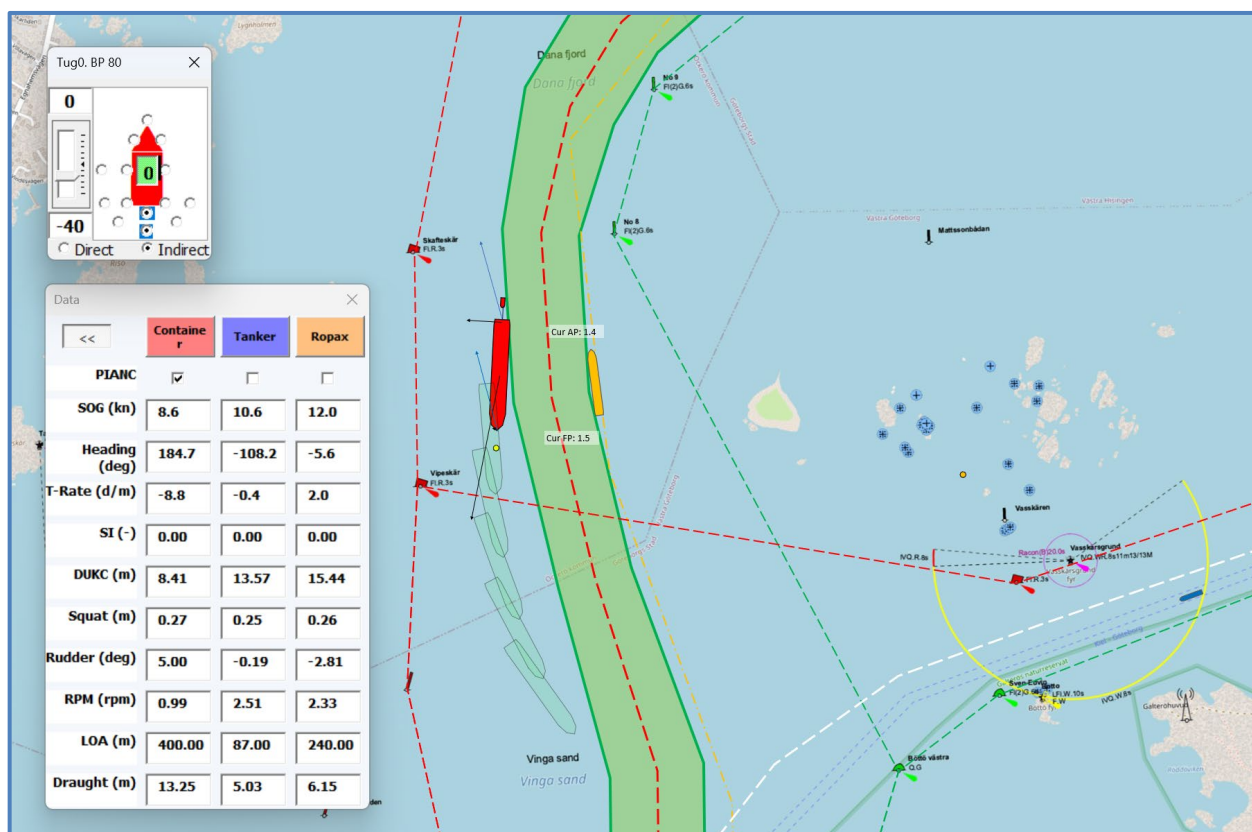
5.2.1. Olika typer av prediktor

Containerfartyget som här simuleras har en mycket större vindarea än det i Scenario 1 testade tankfartyget, varför de olika prediktortyperna testas även för detta. Följande simuleringar har genomförts för test av prediktor:

Simulering Nr	Farled	Prediktortyp	Vind (m/s)	Strömfaktor
2.1	Befintlig	A	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)
2.2	Befintlig	B	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)
2.3	Befintlig	C	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)

5.2.1.1. Simulering Nr 2.1 – enkel prediktor (död räkning)

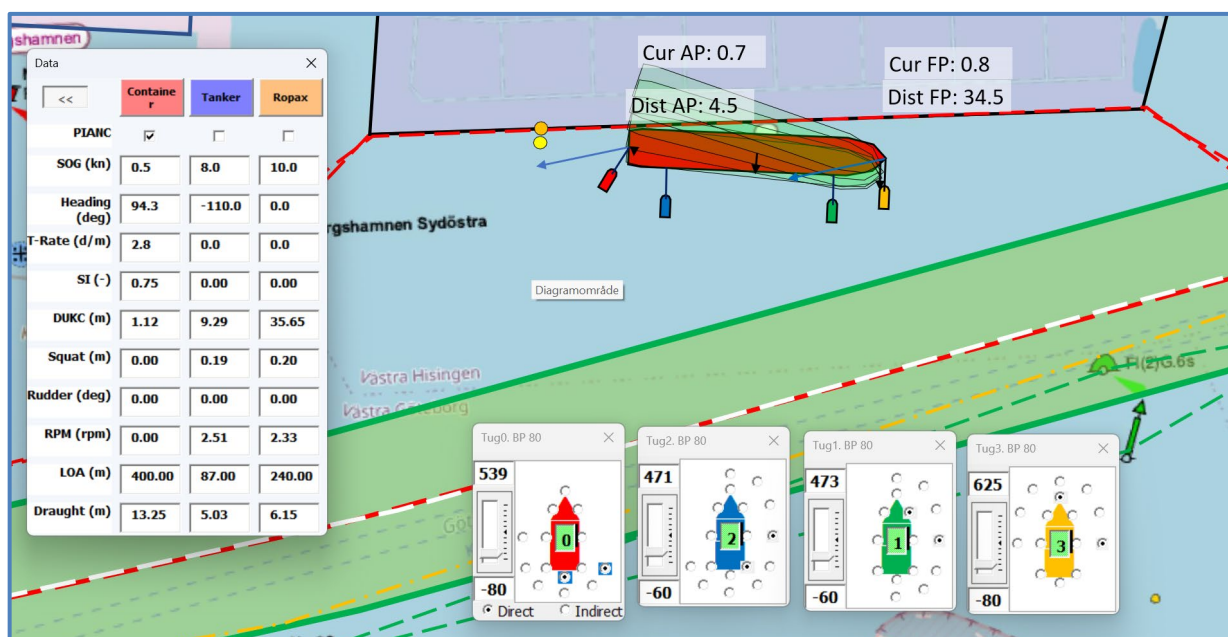
Prediktorn är ”stabil”, men något trög. Eftersom fartyget är stort och har en stor tröghet, speciellt på grunt vatten, dröjer det innan fartyget påverkas av en yttre kraftförändring (roder, maskin, bogserbåt). Utseglingen går bra fram till mötet med Ropaxfartyget. Här är dock containerfartyget tvunget att gira ut åt styrbord utanför PIANC’s begränsning, se Figur 32, och säkerhetsindex blir 0.



Figur 32 Möte med Ropax och annalkande Vänermax i Böttöleden

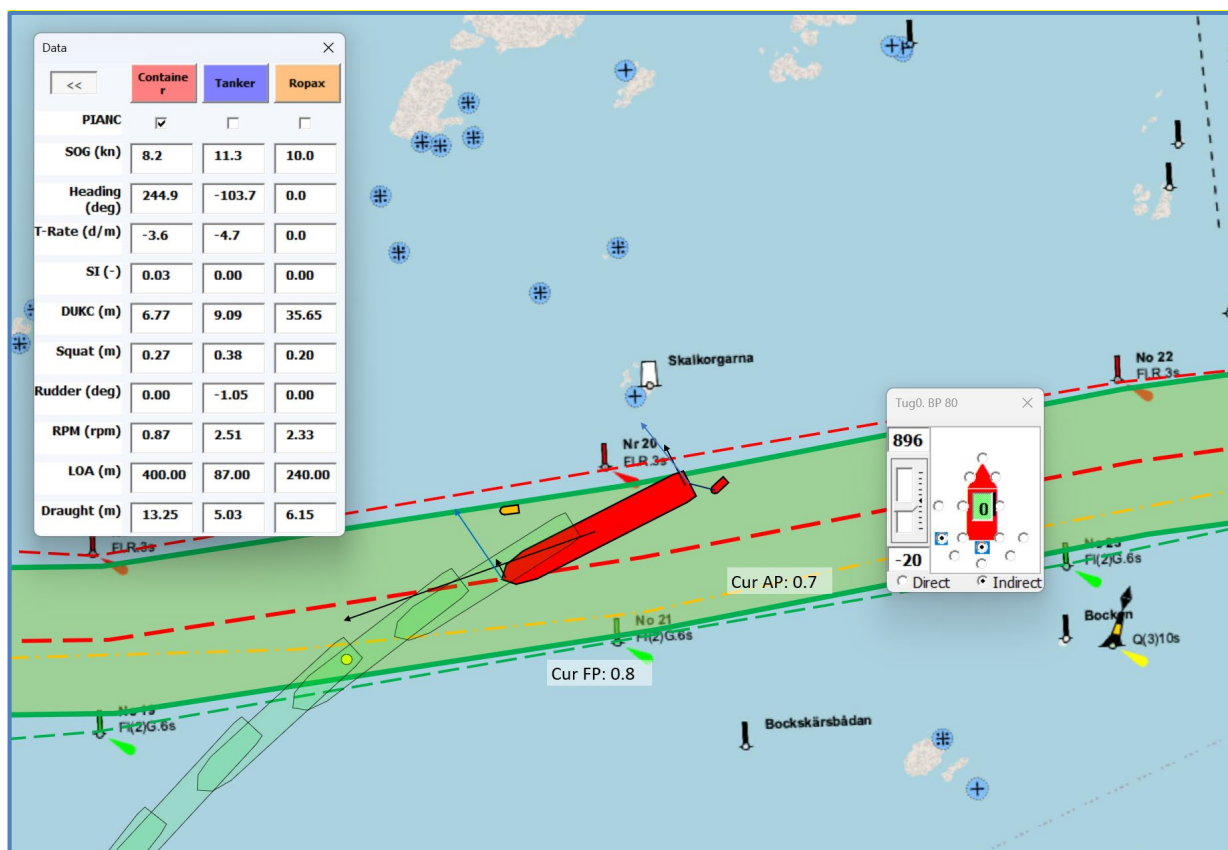
5.2.1.2. Simulering Nr 2.2 – dynamisk prediktor

Här beaktar prediktorn varken strömmen eller bogserbåteffekten. Vid uttagningen från kaj visar prediktorn att fartyget rör sig tillbaka in mot kajen, trots att bogserbåtarna drar utåt med 60-80%. Fartvektorn pekar ju också åt rätt håll, se Figur 33



Figur 33 Simulering 2.2 – Ut från kaj

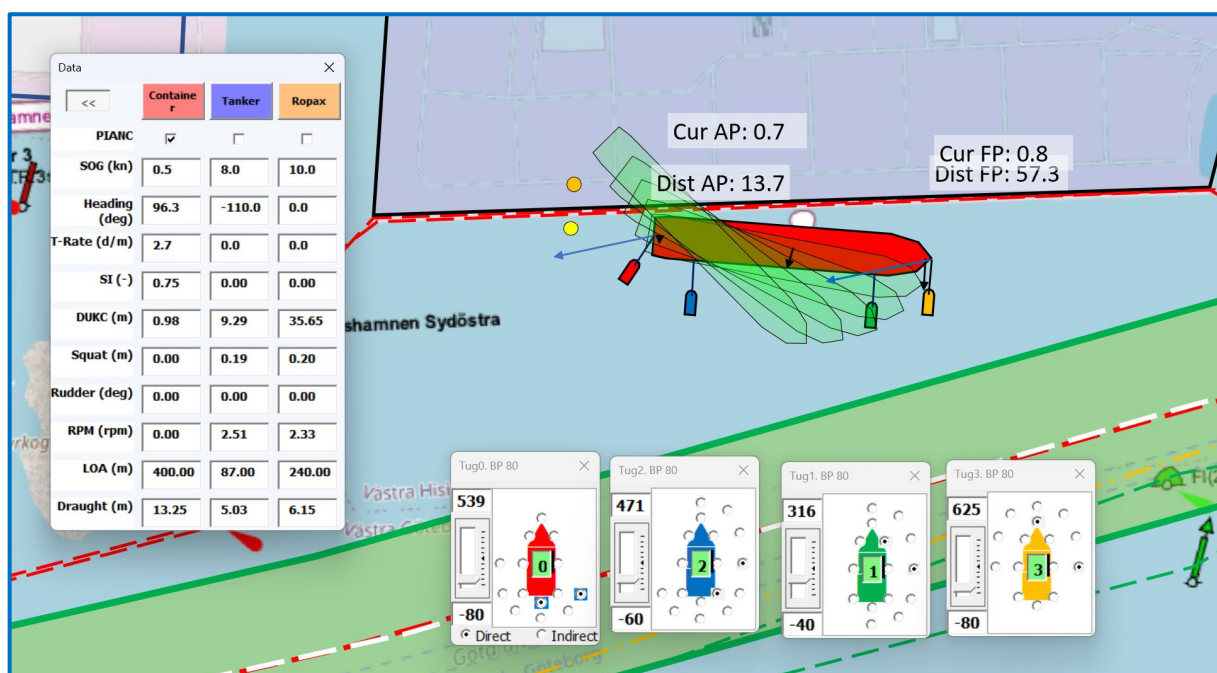
Under accelerationen vid Knippelholmarna tenderar fartyget att driva upp mot styrbordssidan, trots att prediktorn visar gir mot babord. Detta är en följd av strömmens inverkan, som ej tas hänsyn till i prediktorn, se Figur 34.



Figur 34 Simulering 2.2 – Acceleration vid Knippelholmarna

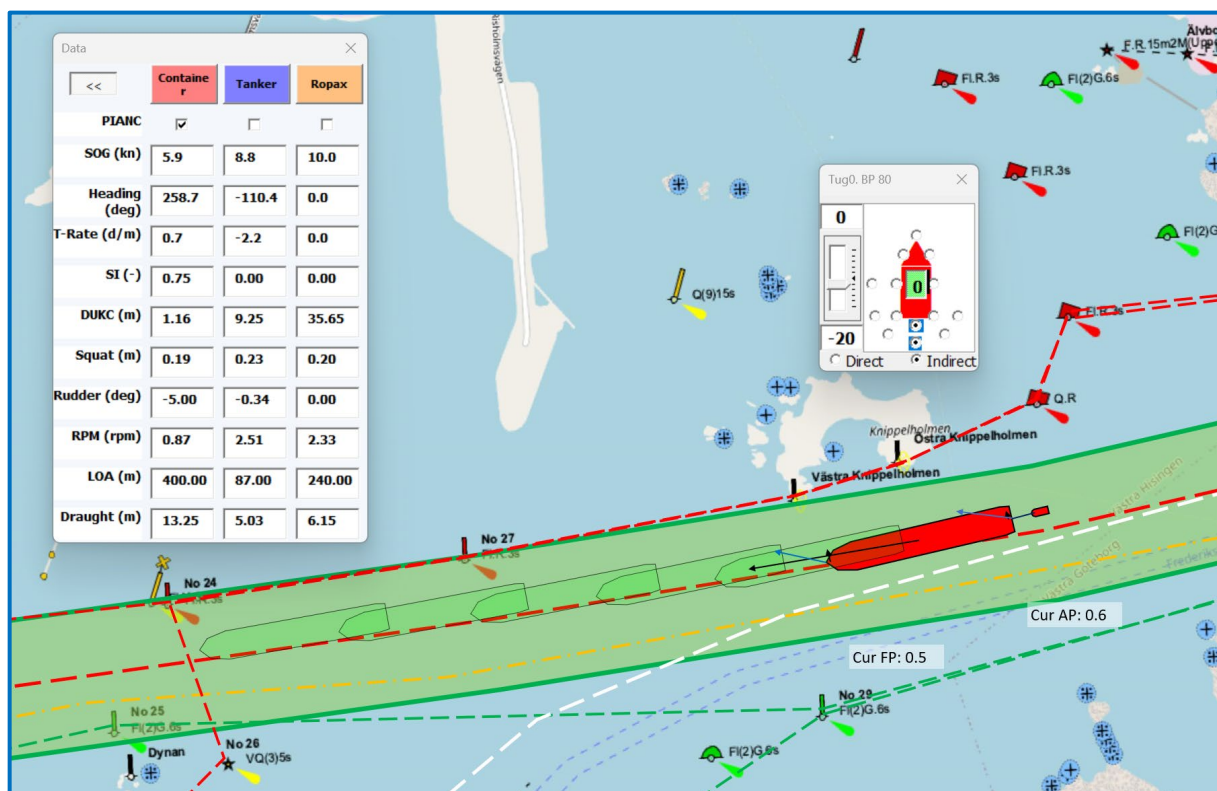
5.2.1.3. Simulering Nr 2.3 – avancerad dynamisk prediktor

I denna simulering används en dynamisk prediktor där hänsyn tas till både ström och bogserbåtskrafter. Denna ger som väntat ett bättre underlag för manövreringen, både ut från kaj och i farleden. Den momentana vindhastigheten går direkt in i prediktorn, varför de predikterade positionerna kan variera ("fladdra"), som nedanstående figur indikerar.



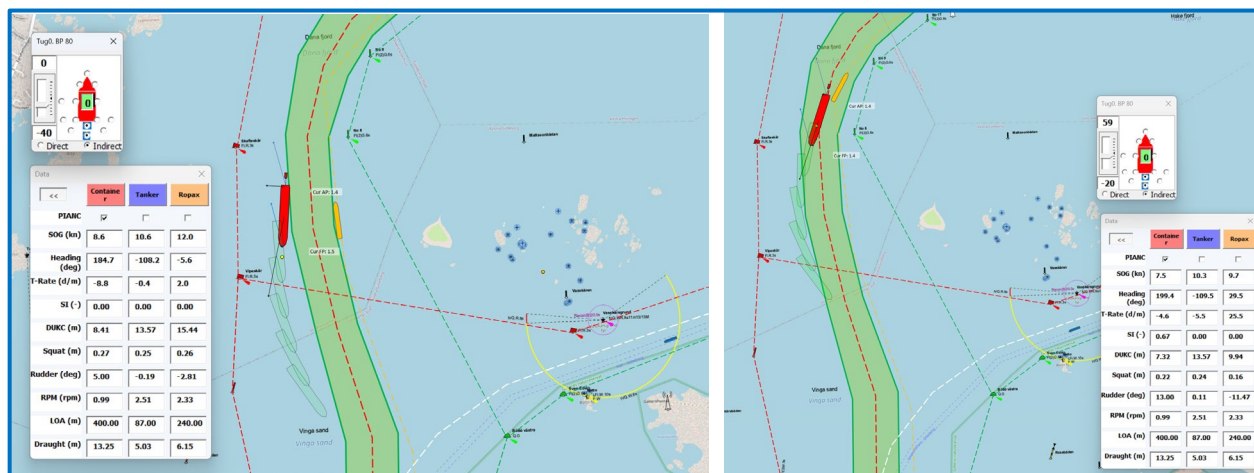
Figur 35 Simulering 2.3 – Ut från kaj

Utseglingen i farleden, förbi Knippelholmarna fungerar med denna prediktor betydligt bättre, jämför t.ex. Figur 36 med Figur 34.



Figur 36 Simulering 2.3 – Acceleration förbi Knippelholmarna

Med nuvarande farled, som här simulerats, kan möte rent fysiskt ske om fartyget (containern) girar ut åt styrbord utanför det av PIANC rekommenderade området, såsom skett i simulering 2.1, se Figur 37.



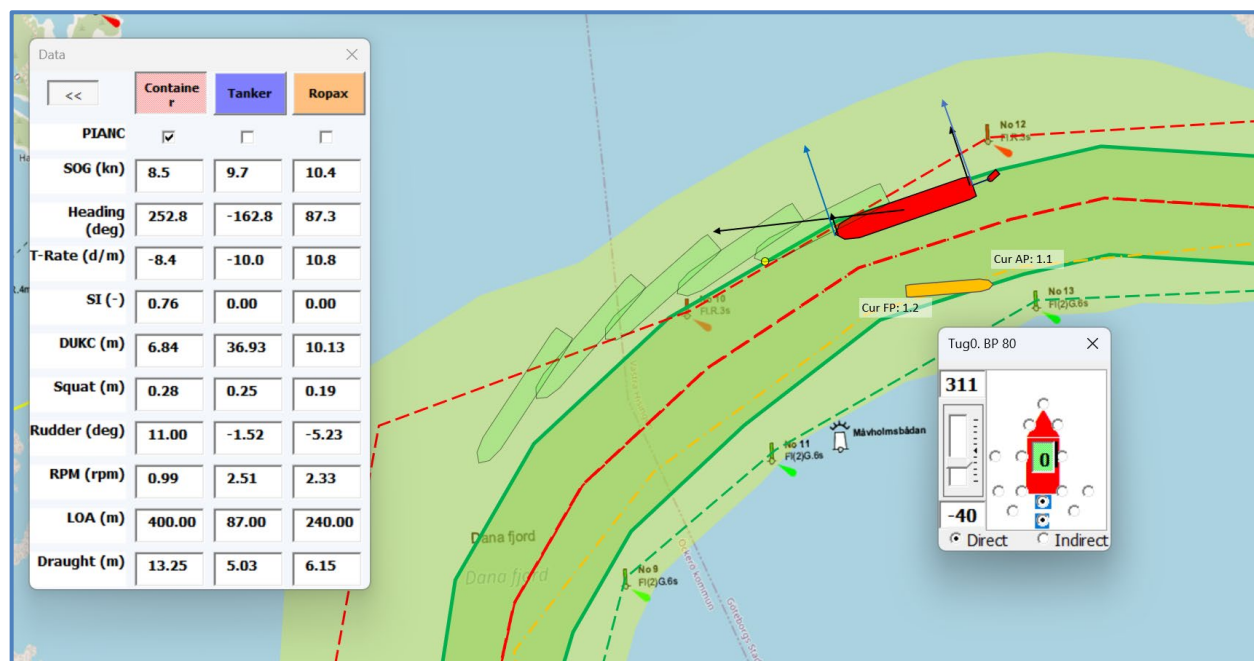
Figur 37 Möte med Ropax i Simulering 2.1 (till vänster) och 2.3 (till höger)

5.2.2. Scenario 2 - Variation av vindförhållanden

Simulering Nr	Farled	Prediktortyp	Vind (m/s)	Strömfaktor
2.4	Framtida	A	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)
2.5	Framtida	A	SE 14 m/s	1 (max 1.5 knop)

5.2.2.1. Simulering 2.4 – stark vind från sydväst

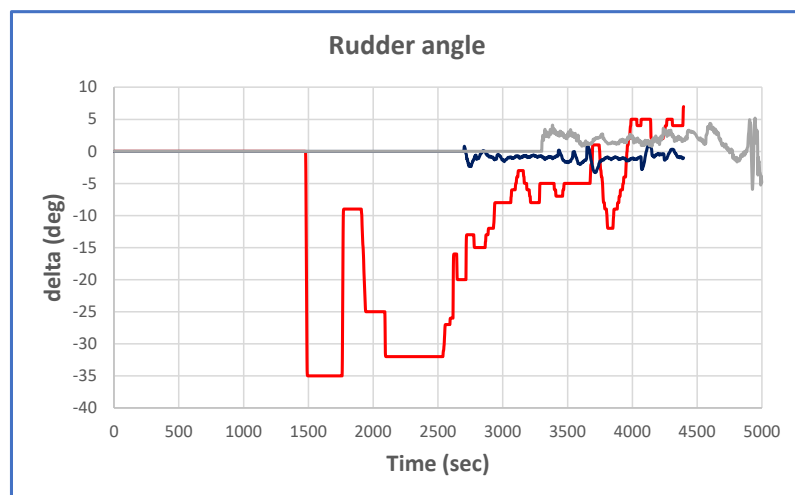
Med en farledsyta som representerar fartygets aktuella djupgående fungerar även möte med ett ropaxfartyg om än med relativt litet avstånd mellan fartygen, se Figur 38. Både vind och ström förorsakar, liksom simuleringarna i befintlig farled, kraftig avdrift.



Figur 38 Simulering 2.4 – Möte med Ropax i Måholmskröken

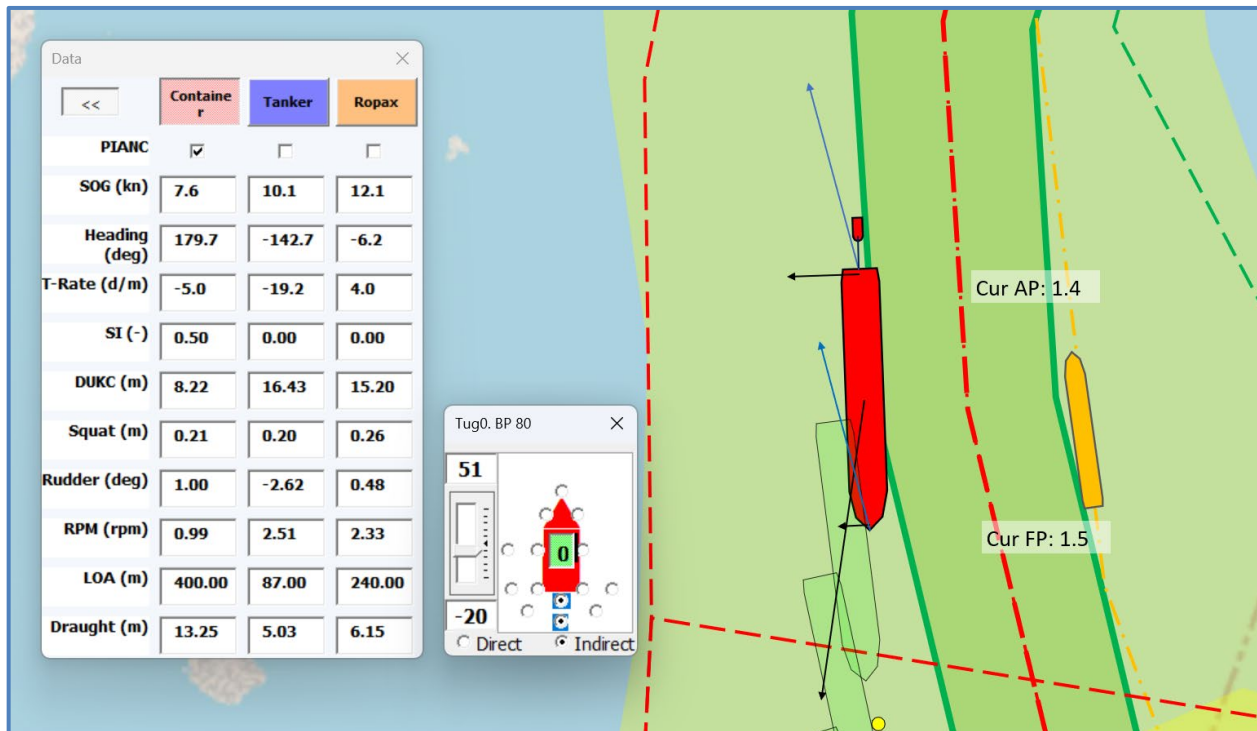
5.2.2.2. Simulering 2.5 – stark vind från sydost

I denna simulering kommer vinden från SE istället för SV och innebär därmed sned akterlig vind förbi Knippelholmarna med större kompenserande rodervinklar som följd, se Figur 39.



Figur 39 Rodervinkel som funktion av tiden

Mötet fungerar bra, om än utanför PIANC's farledsbegränsning, se Figur 40



Figur 40 Simulering 2.5 – Möte med Ropax efter Mävholmskröken

5.2.3. Sammanfattning av Scenario 2

5.2.3.1. Typ av prediktor

Precis som i Scenario 1 fungerade prediktor A (död räkning) lika bra som prediktor B (dynamisk utan hänsyn till ström eller bogserbåtar). Prediktor C, där hänsyn tas till både ström och bogserbåtskrafter är den som ger bäst information för en säker manövrering.

5.2.3.2. Vindens inflytande

Det här testade containerfartyget har avsevärt större vindarea än VLCC'n i Scenario 1 och är därmed betydligt vindkänsligare. Detta gäller både hastighet och riktning. Både prediktor B och C är, vad gäller vinden, baserad på de momentana förhållandena, varför predikteringen för ett vindkänsligt fartyg kan upplevas som "fladdrigt", eftersom vinden varierar hela tiden kring ett visst medelvärde (14 m/s i dessa simuleringar). En filtrering av vindhastigheten innan den matas in i prediktorn kan vara en fördel.

5.3. Scenario 3 - Val av olika ruttalternativ

I farleden finns ett antal olika alternativa rutter att välja mellan, se Kapitel 3, och scenario 3 visar på vad detta kan ge för möjligheter.

En 200 m tankfartyg på väg in i Torshamnsleden, styrs manuellt. Möter tre andra fartyg på väg in: en Ropax, en Container och en VLCC.

Fokus på olika rutter. Samtliga tre simuleringar genomförs med Prediktor A (död räkning)

Antal fartyg: 4

Fartyg	Farled	Ut/in	Möte med	Kontroll
E	Torshamns	In	D, A och B	Manuell
A	”	Ut	E, B och D	Autonom
B	”	Ut	E, A och D	Autonom
D	”	Ut	A, B och E	Autonom

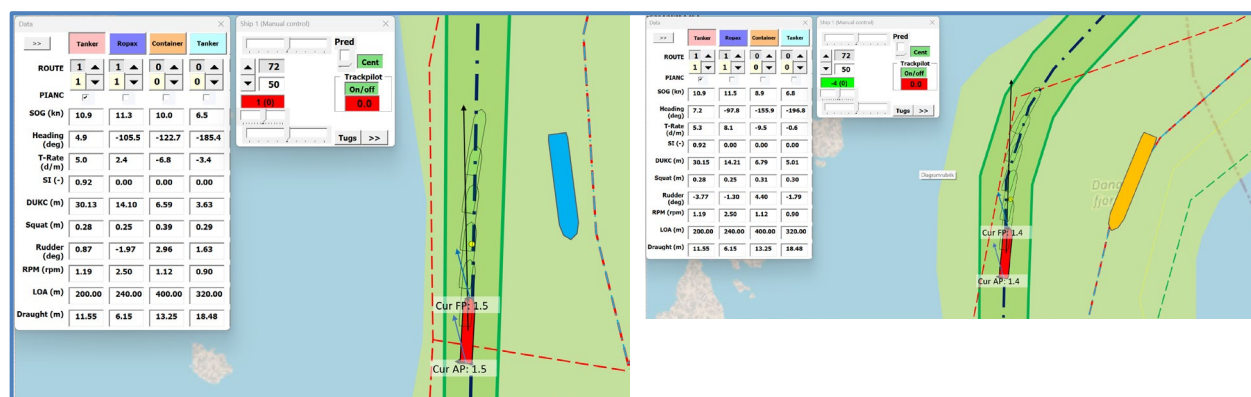
Tabell 9 Scenario 3 – Fartyg

Simulering Nr	Farled	Ruttalternativ	Prediktortyp	Vind (m/s)	Strömfaktor
3.1	Framtida	RA1	A	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)
3.2	Framtida	RA2	A	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)
3.3	Framtida	RA3	A	SV 14 m/s	1 (max 1.5 knop)

Tabell 10 Scenario 3 – Simuleringar 3.1 - 3.4 med ruttalternativ för 200 m tankern

5.3.1. Simulering 3.1

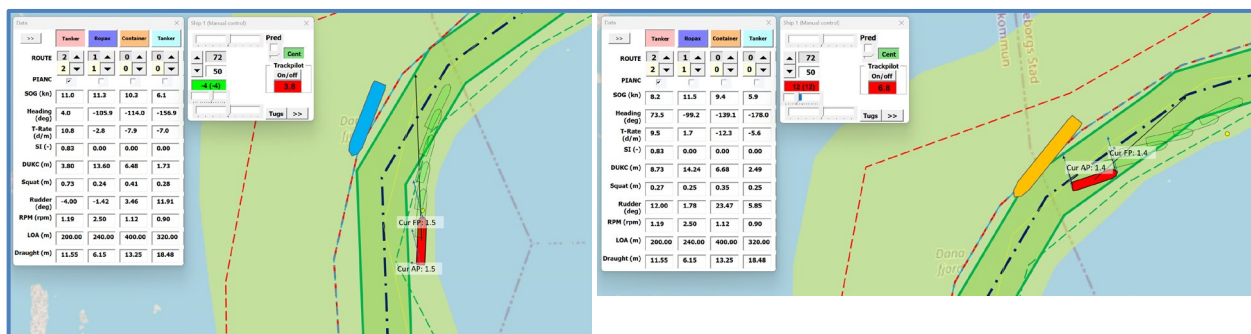
Mötena i denna simulering, med den lilla tankern hänvisad till ruttalternativ RA1, sker med förhållandevis goda marginaler.



Figur 41 Simulering 3.1 – Möte med VLCC och 400 m container

5.3.2. Simulering 3.2

Även vid val av ruttalternativ RA2 sker mötena med marginal, även om klarningen till VLCC och den 400 m långa containern är väl små. Speciellt i det sistnämnda fallet blev interaktionseffekten kraftig och ökade avdriften märkbart. även området öster om den befintliga farledsgränsen utnyttjades vid mötet med VLCC'n. I en verklig situation hade både VLCC'n och containern kunnat avvika längre ut åt styrbord och bättre utnyttjat den tillgängliga farledsytan.



Figur 42 Simulering 3.2 – Möte med VLCC och 400 m container

5.3.3. Simulering 3.3

Vid val av ruttalternativ RA3 tog de autonoma fartygen, VLCC och container, en lite mer västlig passage och lämnade därvid bättre klarningar vid mötena med den manuellt styrda 200 m tankern, se Figur 43



Figur 43 Simulering 3.3 – Möte med VLCC och 400 m container

Att välja ruttalternativ RA4 för den manuellt styrda 200 m långa tankern är i detta fall inte optimalt, eftersom fartyget då kommer mer in mot mitten av farleden och lämnar mindre plats vid mötena.

5.3.4. Sammanfattning av Scenario 3

Detta Scenario kan sammanfattas enligt följande:

- En presentation av den av PIANC rekommenderade farledsbredden för det aktuella fartyget ger ett bra understöd till fartygsbefälet och/eller lotten för säker manövrering, även med hänsyn till eventuell interaktion med mötande fartyg.
- En presentation av den, för det specifika fartyget, tillgängliga farledsytan ger också ytterligare information av tillgängligt manöverutrymme i speciella situationer (kraftiga vindbyar, ändrade strömförhållanden etc.)

5.4. Scenario 4 – Möten

Detta scenario fokuserar på möten med andra fartyg och hur dessa kan hanteras i den ”dynamiska” farleden.

En 320 m VLCC på utgång i Torshamnsleden med assistans av tre bogserbåtar.

Fokus på möten (med fyra andra fartyg), vind och svepbredd i Måvhomskröken.

Antal fartyg: 5

Fartyg	Farled	Ut/in	Möte med	Kontroll
A (VLCC)	Torshamnsleden	Ut	B, C, D och E	Manuell
B (Container)	Torshamnsleden	In	A	Autonom
C (Vänermax)	Böttöleden	In	A	Autonom
D (Ropax)	Torshamnsleden	In	A	Autonom
E (200 m tanker)	Torshamnsleden	In	A	Autonom

Tabell 11 Fartyg i scenario 1

Antalet bogserbåtar är i detta scenario två, se Tabell 5 och är kopplade enligt Figur 20.

Bogserbåt	Bollard pull (tons)	Typ av bogserbåt	Färg
1	60	ASD Escort	Röd
2	60	ASD	Grön
3	80	ASD	Blå

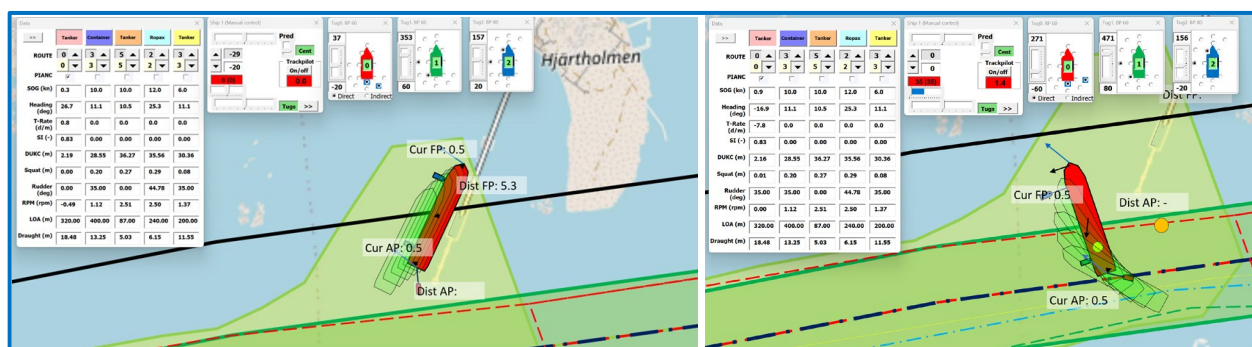
Tabell 12 Bogserbåtar i scenario 1

Simulering Nr	Farled	Vind (m/s)	Strömfaktor	Typ av prediktor
4.1	Framtida	SE 14	1 (max 1.5 knop)	B
4.2	Framtida	SV 14	1 (max 1.5 knop)	B
4.3	Framtida	NV 14	1 (max 1.5 knop)	B

Tabell 13 Simuleringar i Scenario 4

5.4.1. Simulering 4.1

Uttagning från kaj genomfördes med assistans av tre bogserbåtar, två kopplade på babord sida och en i center-akter. Den sydostliga vinden tillsammans med den utgående strömmen innebar att bogserbåtarna fick utnyttjas tidvis upp till 80% för att förhindra fartyget att driva ut mot den västliga kanten av hamnbassängen.



Figur 44 Simulering 4.1 – Uttagning från kaj

I Måvholmskröken utsätts fartygen för avdrift beroende på vind, ström och gir. I denna simulering erhöles följande avdriftsvinklar och så kallade svepbredder:

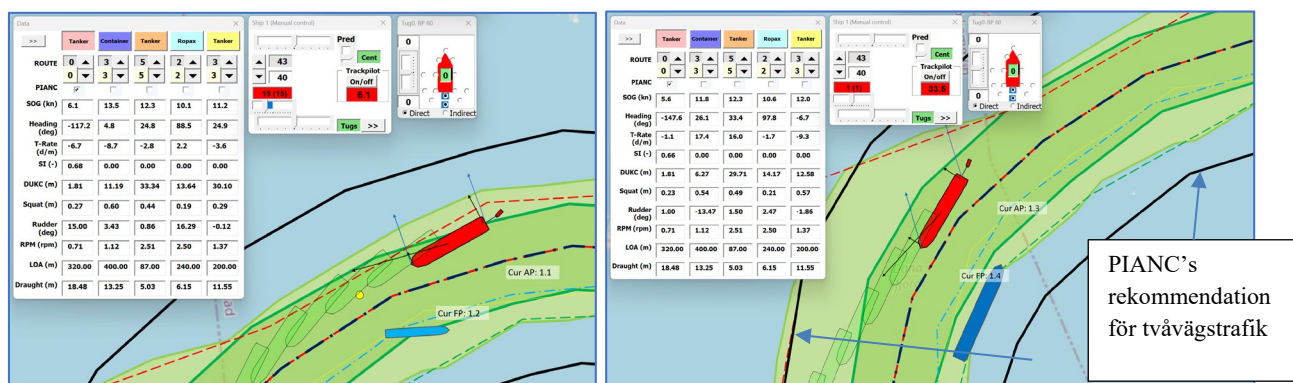
Fartyg	Medelfart (knop)	Driftvinkel (°)	Svepbredd (m)
320 m tanker	7	17	155
400 m container	8	17	173
Ropax	10	18	105
200 m tanker	12	13	77

Tabell 14 Driftvinklar och svepbredder i sydöstlig vind i Måvholmskröken

Som framgår av Tabell 14 erhöles störst avdriftsvinklar för ropax och containerfartygen, detta beroende på dessas relativt sett större vindarea. Även den större bottenklarningen och därmed mindre kursstabilitet bidrar till detta.

Möte med containerfartyget fungerade här relativt bra med god klarning, delvis beroende på att containerfartyget höll ut väldigt mycket mot styrbord sida. I verkligheten hade detta sannolikt inte skett, varför marginalerna då varit något mindre.

Möte med både ropax och containerfartyg sker utan närkontakt om än med förhållandevis små klarningar, se Figur 45. Farledsarean är dock betydligt mindre än vad PIANC rekommenderar för mötestrafik (de svarta kraftiga linjerna på ömse sidor av farleden).



Figur 45 Simulering 4.1 – Möte med container

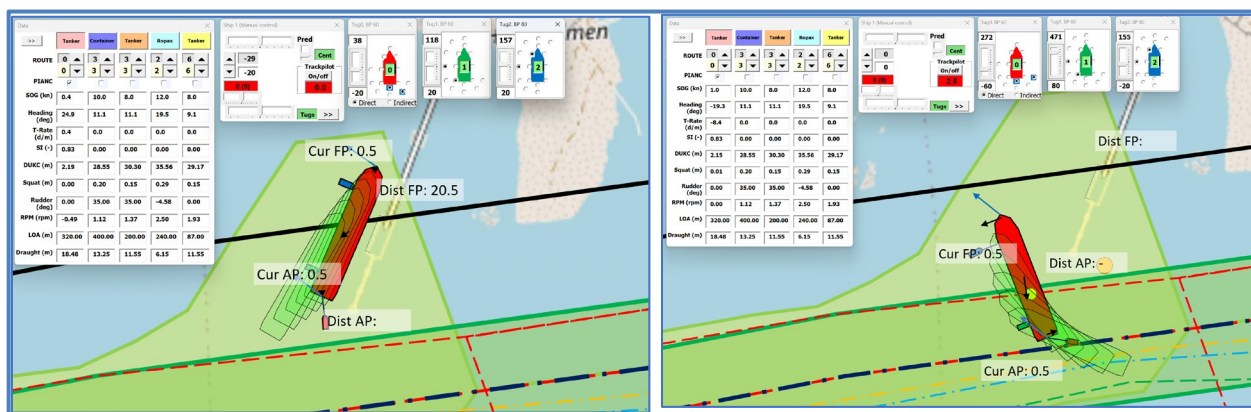
Möte med det 200 m långa tankfartyget sker dock i ett område där farledsarean är i paritet med PIANC's rekommenderade bredd, se Figur 46



Figur 46 Simulering 4.1 – Möte med 200 m tankfartyg

5.4.2. Simulering 4.2

Avgång från kaj något lättare i den sydvästliga vinden än i den föregående sydostliga vinden, se Figur 47



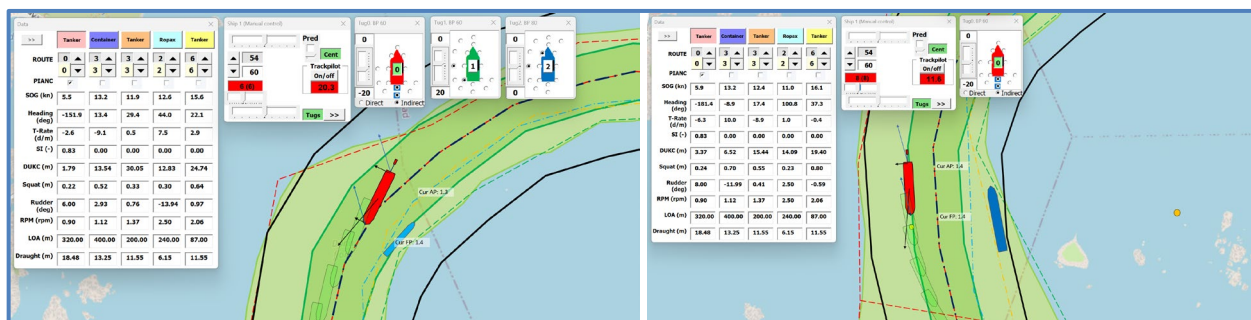
Figur 47 Simulering 4.2 – Avgång från kaj i SV 14 m/s

Driftvinklar och svepbredder är i stort sett samma som i den förra simuleringen, lite mindre värden för containerfartyget och ropaxen (vinden kommer mer akterifrån i denna simulering).

Fartyg	Medelfart (knop)	Driftvinkel (°)	Svepbredd (m)
320 m tanker	7	15	144
400 m container	8	14	152
Ropax	10	14	89
200 m tanker	12	8	46

Tabell 15 Simulering 4.2 - Driftvinklar och svepbredder i Mävholmskröken – Sydvästlig vind

Mötena sker i denna simulering lite senare och går förhållandevis bra även, även om klarningen till ropaxen är i minsta laget (farledsytan fortfarande för liten jämfört med PIANC. Vid mötet med containern är den tillgängliga ytan i det närmaste samma som PIANC föreslår för tvåvägstrafik.



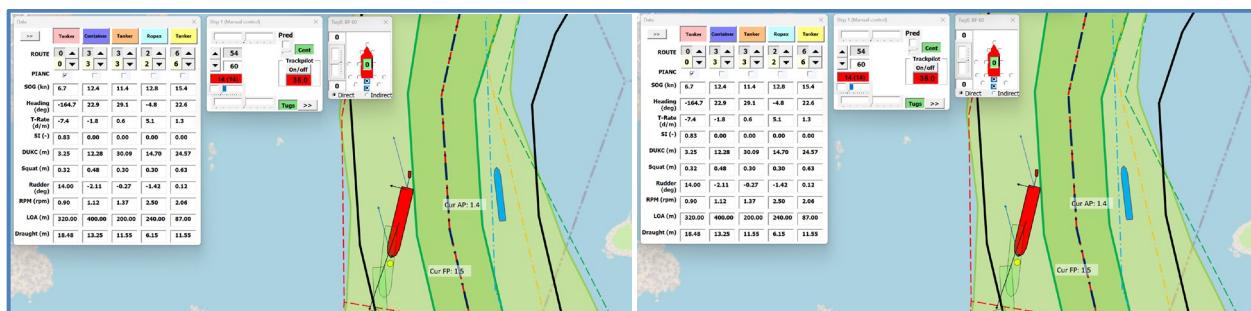
Figur 48 Simulering 4.2 - Möte med 240 m ropax respektive 400 m container

5.4.3. Simulering 4.3

I denna simulering var vinden nordvästlig, vilket återigen gav ungefär samma avdriftsvinklar och svepbredder som tidigare. Containern fick en något mindre driftvinkel och svepbredd.

Fartyg	Medelfart (knop)	Driftvinkel (°)	Svepbredd (m)
320 m tanker	7	16	150
400 m container	8	5	91
Ropax	10	10	72
200 m tanker	12	4	46

Tabell 16 Simulering 4.3 - Driftvinklar och svepbredder i Måvholmskröken i nordvästlig vind



Figur 49 Simulering 4.3 - Möte med 240 m ropax respektive 400 m container

5.4.4. Sammanfattning av Scenario 4

I detta scenario har fokus varit på möten och fartygets attityd i Måvholmskröken (svepbredd och avdrift).

- Samtliga presenterade simulerade möten har genomförts utan närkontakt mellan fartygen, men det är enbart i de bredare områdena av farleden (Vingasand och söderut) där bredden i detta fall uppfyller PIANC's rekommendationer.



Figur 50 PIAC's rekommenderade bredder för enkel respektive mötandetrafik

- Driftvinklarna i Måvholmskröken varierar mellan 11°-18°, där de högsta värdena erhöles för ropaxfartyget. Anledningen till detta är den förhållandevis stora vindarean och den relativt stora bottenklarningen. Liten bottenklarning ger ett kurs-stabilare fartyg och därmed mindre driftvinklar i gir.

5.5. Scenario 5 – Bogserbåtshantering och möten

I detta femte scenario simuleras insegling till Skandiahamnen med det 400 m långa containerfartyget, samtidigt som en 240 m Ropax är på utgående i samma farled.

Antal fartyg: 2

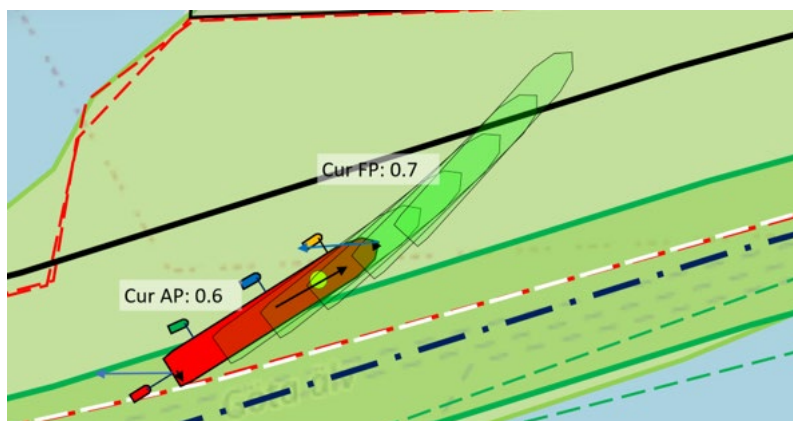
Fartyg	Farled	Ut/in	Möte med	Kontroll
B	Torshamns	In	D	Manuell
D	Torshamns	Ut	B	Autonom

Tabell 17 Fartyg i scenario 5

Antalet bogserbåtar är i detta scenario tre, se Tabell 18 och är kopplade enligt Figur 51.

Bogserbåt	Bollard pull (tons)	Typ av bogserbåt	Färg
1	80	ASD Escort	Röd
2	70	ASD	Grön
3	80	ASD	Blå
4	70	ASD	Orange

Tabell 18 Bogserbåtar i scenario 5 (*Ej med i Simulering 1.1)

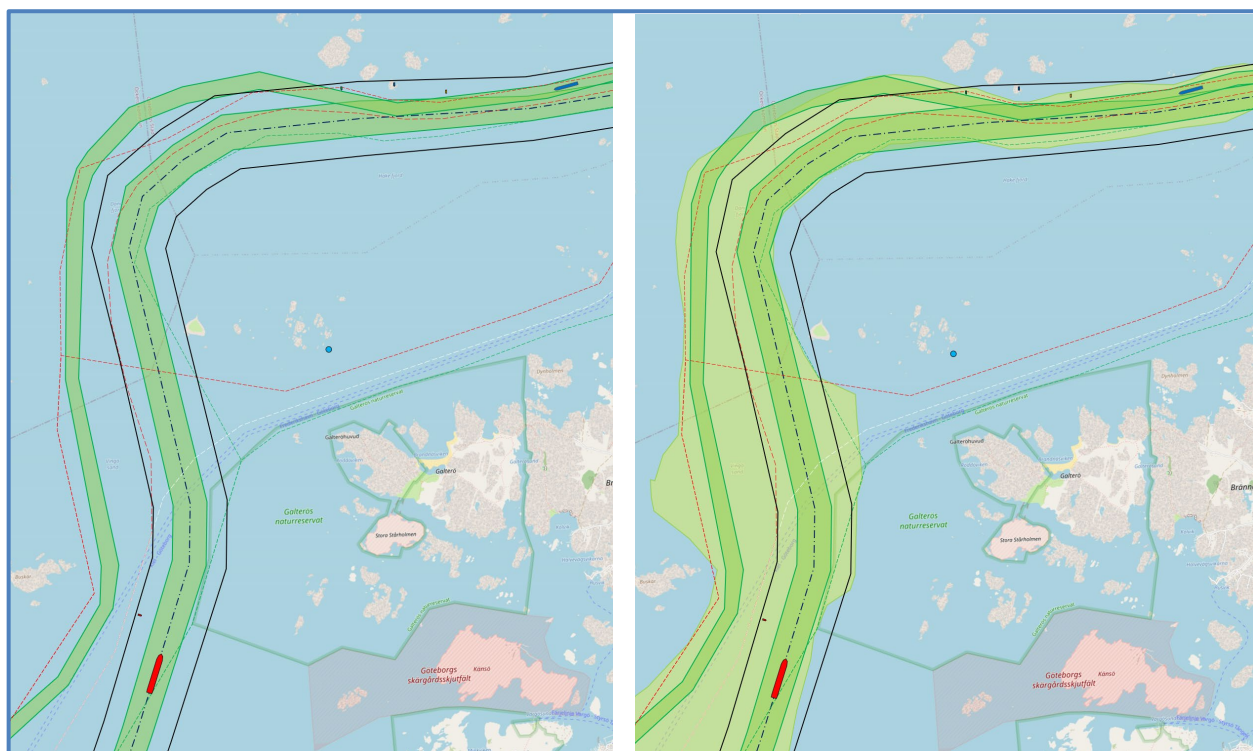


Figur 51 Simulering 5.1 – Bogserbåtskoppling

5.5.1. Simulering 5.1

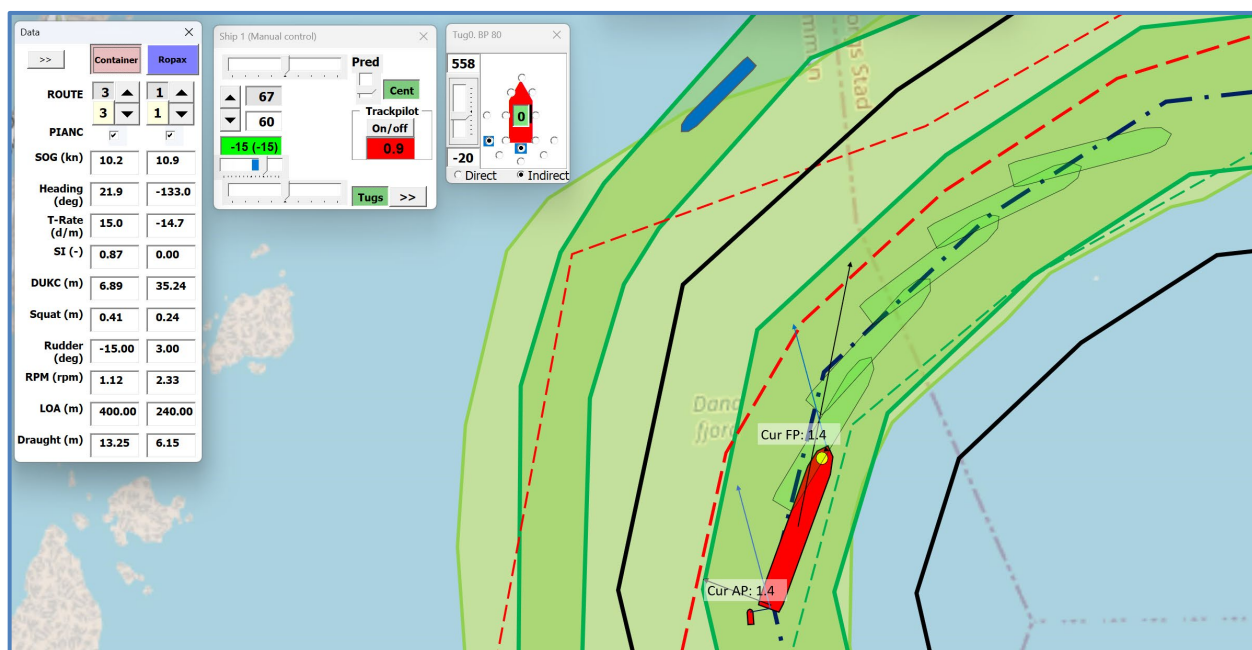
Containern väljer ruttalternativ RA 3 i östra delen av leden och ropaxen RA 1 i västra delen. Det förre är manuellt styrt och det senare är autonomt och styrs med hjälp av en "track-keeping" algoritm. De bägge fartygen möter varandra i Måvholmskröken. Startpositionerna visas i Figur 52. I den högra bilden visas både PIANC's rekommenderade farledsbredder för respektive fartyg samt farledsytan (baserat på fartygets djupgående + 10% nominell bottenklarning). I detta fall är bägge ruttalternativen väl separerade till och med hela Måvholmskröken och kan därmed mötas utan risk för närkontakt.

Simuleringen genomfördes i NV 14 m/s vins och med en maxström på ca 1.5 knop i början på Måvholmskröken.



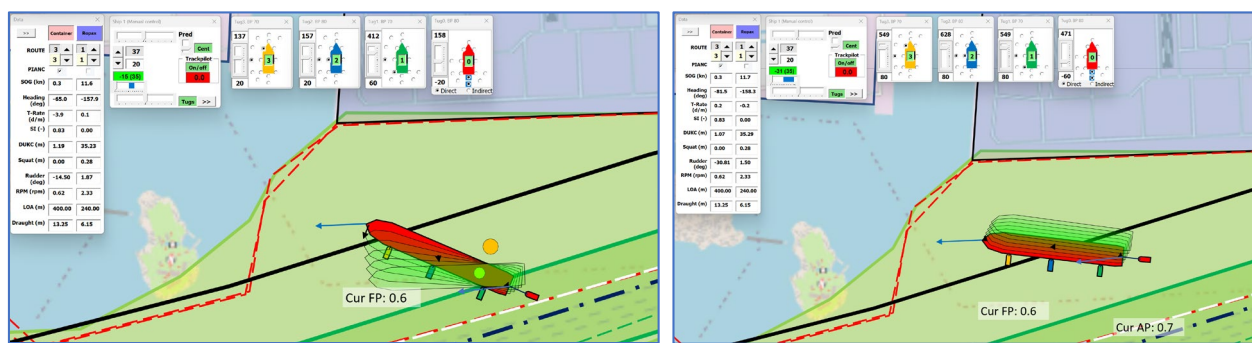
Figur 52 Simulering 5.1 - Startposition och valda ruttalternativ

Mötet fungerar bra med bägge fartygen längs sin valda rutt, se Figur 53. Giren är dock i detta fall snäv och får tidvis understödjas av att eskortbogseraren får gå ut och hjälpa till. Marginalerna till östra begränsningen i farledsytan är förhållandevis liten men ändå tillräcklig.



Figur 53 Simulering 5.1 – Möte med 240 m ropax

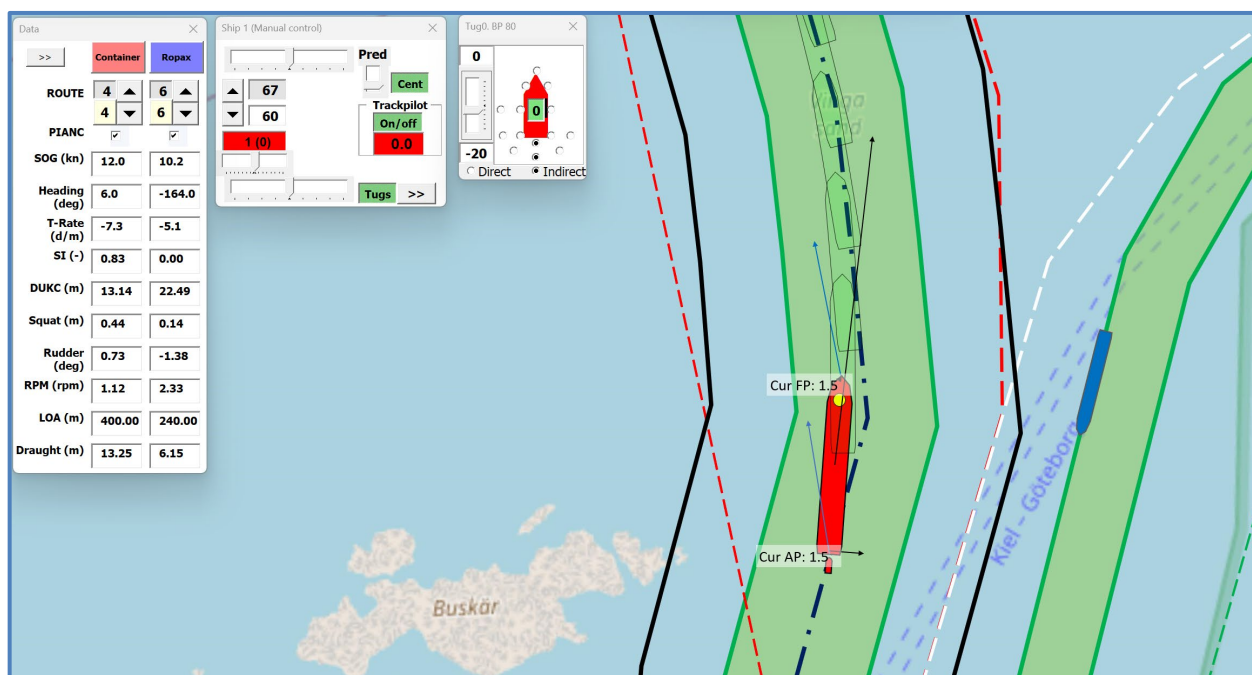
Vändningen i hamnbassängen sker utan problem och även intagning till kaj, se Figur 54.



Figur 54 Simulering 5.1 – Vändning och intagning till kaj

5.5.2. Simulering 5.2

I denna simulering går ropaxen istället ut genom Böttöleden och fartygen möts utanför Böttö.



Figur 55 Simulering 5.2 – Möte med ropax utanför Böttö

5.5.3. Sammanfattning av Scenario 5

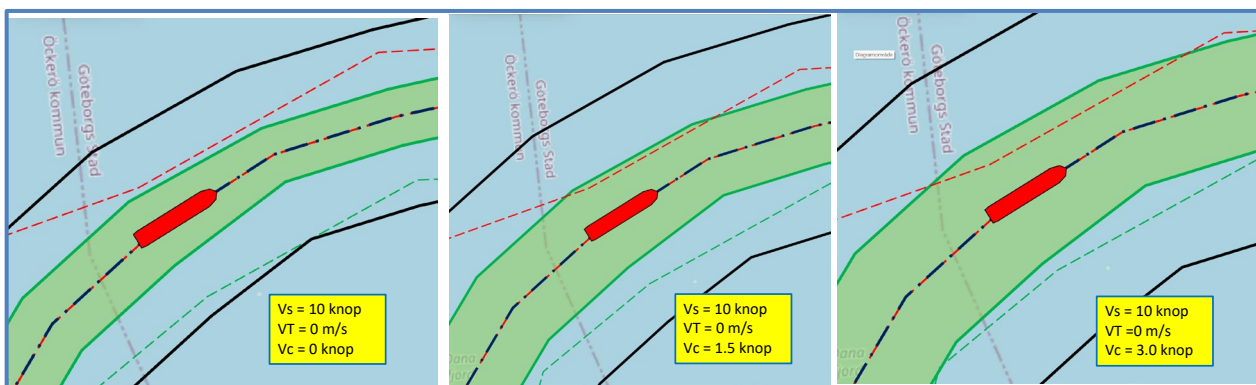
Möten mellan dessa bägge fartyg fungerar bra oavsett om ropaxfartyget tar Torshamnsleden eller Böttöleden.

6. Dynamisk farledsbredd

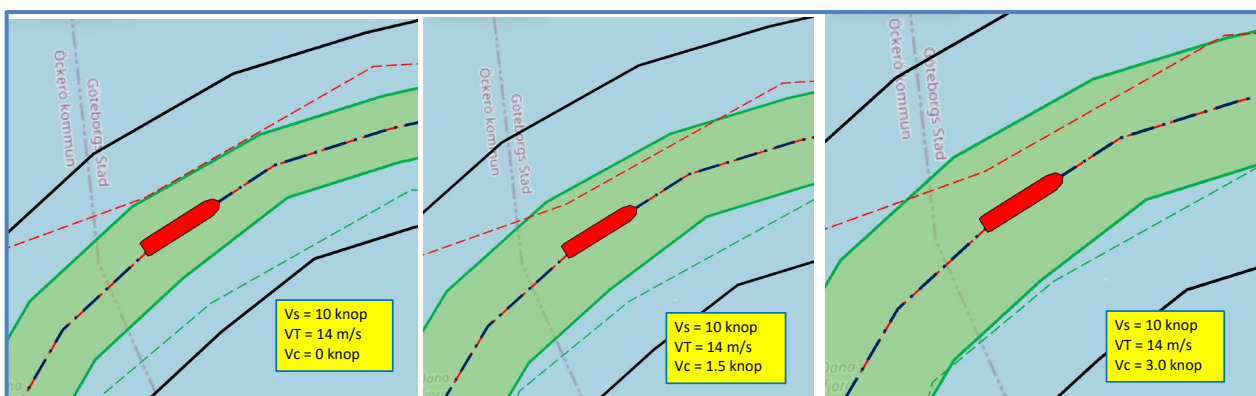
I de simuleringar som här genomförts har det grafiska interfacet omfattat, förutom fartygens momentana positioner och omgivande landkontur även farledsyta och av PIANC rekommenderad farledsbredd. Denna bestäms av ett antal olika parametrar, t.ex:

- Fartygets fart
- Aktuell vind
- Aktuell ström (tvärs fartyget och längs
- Navigeringshjälpmedel
- Farledsdjup
- Karaktär på botten och sidobankar
- Krökningsradier

Genom att låta de för den specifika inseglingen rådande vind- och strömförhållandena ligga till grund för rekommenderad bredd, skulle den för den 320 m långa VLCC', se ut som i Figur 56 och Figur 57.



Figur 56 Rekommenderad farledsbredd för nollvind



Figur 57 Rekommenderad farledsbredd för 14 m/s

I figurerna ovan presenteras både rekommenderad bredd för enkeltrafik (grönt område) och för tvåvägstrafik (svarta linjer på ömse sidor av farleden. Vid en jämförelse mellan lugnt väder (ingen vind och ingen ström) med en situation där både vind och ström är maximal (14 m/s respektive 3 knop) ökar den rekommenderade bredden med ca 100%.

7. Slutsatser

Ett stort antal simuleringar och beräkningar har genomförts inom ramen för detta projekt. Följande slutsatser och kommentarer kan, med hänvisning till de punkter som definierades som syfte i den inledande sammanfattningen till rapporten, presenteras.

Olika typer av fartyg i dynamiska farleder

Studien omfattar simulering av fem olika fartyg med längder från ca 80 m upp till 400 m. Simuleringarna indikerar att en presenterad farledsyta tillsammans med en rekommenderad farledsbredd (t.ex. PIANC) kan utgöra ett bra underlag för säker och effektiv manövrering i en farled.

Nyttan av att definiera farledsytor utan begränsande sjömärken

Istället för att som idag utgå från en fördefinierad farled som begränsas av fasta sjömärken, kan man genom interpolation av djupkurvor i kombination med ett fartygs aktuella djupgående, dynamiskt skapa en farledsyta som definierar den area inom vilken fartyget har tillräcklig bottenklarning. Andra parametrar som kan påverka ett fartygs unika farledsyta kan vara; aktuellt vattenstånd, ström, vind eller miljöskyddsområden.

De simuleringar som genomförts illustrerar väl hur ett sådant förfarande kan öka både effektivitet och säkerhet. Fartyg med mindre djupgående får med dynamiska farledsytor större manöverutrymme, vilket också innebär att möten kan ske med större marginaler.

Olika alternativa rutter i en och samma farled

En presentation av den av PIANC rekommenderade farledsbredden för det aktuella fartyget ger ett bra understöd till fartygsbefälet och/eller lotsen för säker manövrering, även med hänsyn till eventuell interaktion med mötande fartyg.

En presentation av den, för det specifika fartyget, tillgängliga farledsytan ger också ytterligare information av tillgängligt manöverutrymme i speciella situationer (kraftiga vindbyar, ändrade strömförhållanden etc.)



Bränsleförbrukning i olika ruttalternativ

För fyra av de i studien fem ingående fartygen har en beräkning av bränsleförbrukning genomförts för de sex ruttalternativen i Torshamns- och Böttölederna. VLCC'n uteslöts i denna beräkning eftersom den, beroende på sitt stora djupgående, inte kan trafikera hela rutternas längd.

För det största av de fyra övriga fartygen, den 400 m långa containern, är skillnaden mellan normal vattennivå och högvatten förhållandevis stor, se Figur 15 och Figur 16. Detta beror på den mindre relative bottenklarningen för detta fartyg än för de övriga. Anmärkningsvärt är också att Böttöleden (alternativen RA 5 och RA 6) för detta fartyg ger större bränsleförbrukning än Torshamnsleden, trots att Böttöleden är kortare. Detta indikerar att val av rutt kan ha signifikant betydelse för bränsleförbrukningen. De här redovisade resultaten indikerar att även detta kan bidra till att förbättra farlederna.

Olika typer av prediktor

Tre olika typer av prediktorer testades under simuleringarna:

Prediktor A: Baserad på ”död räkning”

Prediktor B: Dynamisk prediktor där hänsyn till ström och bogserbåtseffekter **ej** tas

Prediktor C: Dynamisk prediktor där hänsyn tas även till eventuell ström och till bogserbåtseffekt

Den sistnämnda är den som ger mest information och därmed är bäst. Den är dock samtidigt den som är svårast att realisera. Med avancerad och detaljerad ströinformation kan möjligen manövreringen under fart i strömutsatta ställen förbättras. Bogserbåtseffekten är dock, i dagens läge, svårare att ta hänsyn till. För att klara detta erfordras mätning av kraft i bogserbåtslinorna och eventuellt tryckkrafter i bogserbåtens för.

Prediktor B fungerar bra så länge som fartyget **ej** är exponerat för ström eller bogserbåtskrafter. Är detta fallet, kan det enklare prediktoralternativet vara att föredra, eftersom det då ger en robustare och mer rättvisande prediktering.

Dynamisk farledsbredd

Vid beräkning av dynamisk farledsyta utgår man från fartygets aktuella djupgående relativt bottenpografi och aktuellt vattenstånd. Inom denna yta kan en dynamisk farled beräknas, där hänsyn tas till både ström och vind i form av uppskattade typiska värden för området i fråga. Genom att låta momentana uppmätta värden i stället ingå i beräkningen, skulle en mer dynamisk farled kunna presenteras. Den dynamiska farleden kan även påverkas av fartygets typ, storlek, utrustning och manöveregenskaper.

Ett exempel på en dynamisk farled är att utgå från PIANC's rekommendationer, såsom exemplifierats i Figur 56 och Figur 57.

APPENDIX 1

Datum

2024-06-10

Projekt ID/Dokument ID

P220812/A1

Klassificering

FoI

Revision

Final

Författare

Peter Ottosson

Granskad

Karl-Johan Raggl

Resultat från simulerade girprov med de fem valda fartygen

Projekt ”Förutsättningar för framtidens farleder”

Simuleringar med fartyg i olika scenarier av in- och utsegling till/från Göteborg

320 m Tankerfartyg

Main data

Length over all	Loa	(m)	320
Perpendicular length	Lpp	(m)	304
Beam	B	(m)	62.0

Load condition

Design draught	Tm	(m)	18.48
Displacement	Disp	(m3)	282 000
Block coefficient	CB	(-)	0.81
Longitudal centre of buoyancy rel L/2	LCB	(m)	8.22
Vertical centre of gravity	KG	(m)	14.79
Metacentric height	GM	(m)	2.97
Lateral wind area	Ald	(m2)	3 646
Transverse wind area	Atd	(m2)	1 024

Propulsion

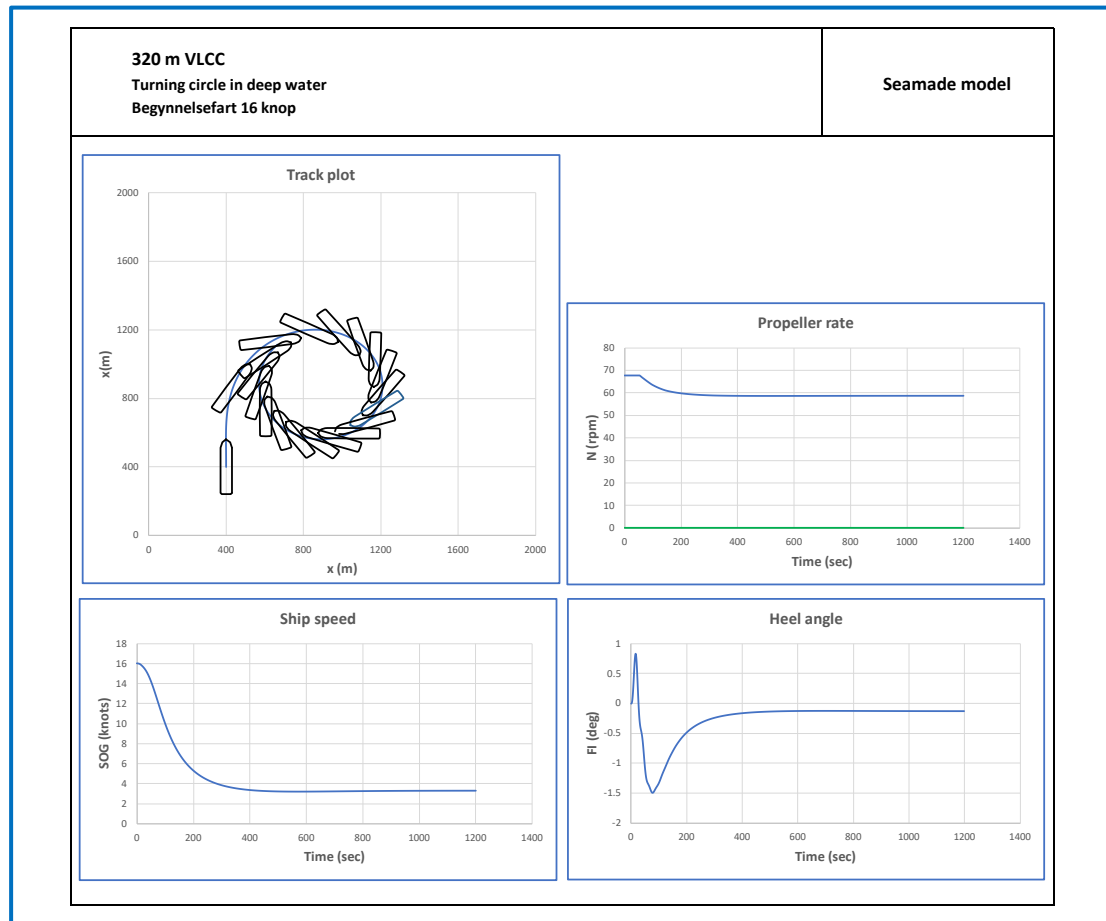
Type of propeller	ptype	(-)	1
No of propellers	iprop	(-)	1
Design speed	Vdes	(knots)	16
Propeller diameter	D	(m)	8.60
Pitch ratio	P/D	(-)	0.8
Wake fraction	wf	(-)	0.3
Thrust deduction factor	tdf	(-)	0.19
Advance speed	VA	(m/s)	5.76
Density of water	row		1 025
Design propeller rate	ndes	(rpm)	77
Propeller x-coord	xp	(m)	-145.92
Propeller y-coord, port	yp(1)	(m)	0
Propeller y-coord, stbd	yp(2)	(m)	14.44
Total power	MCR	(kW)	28 857

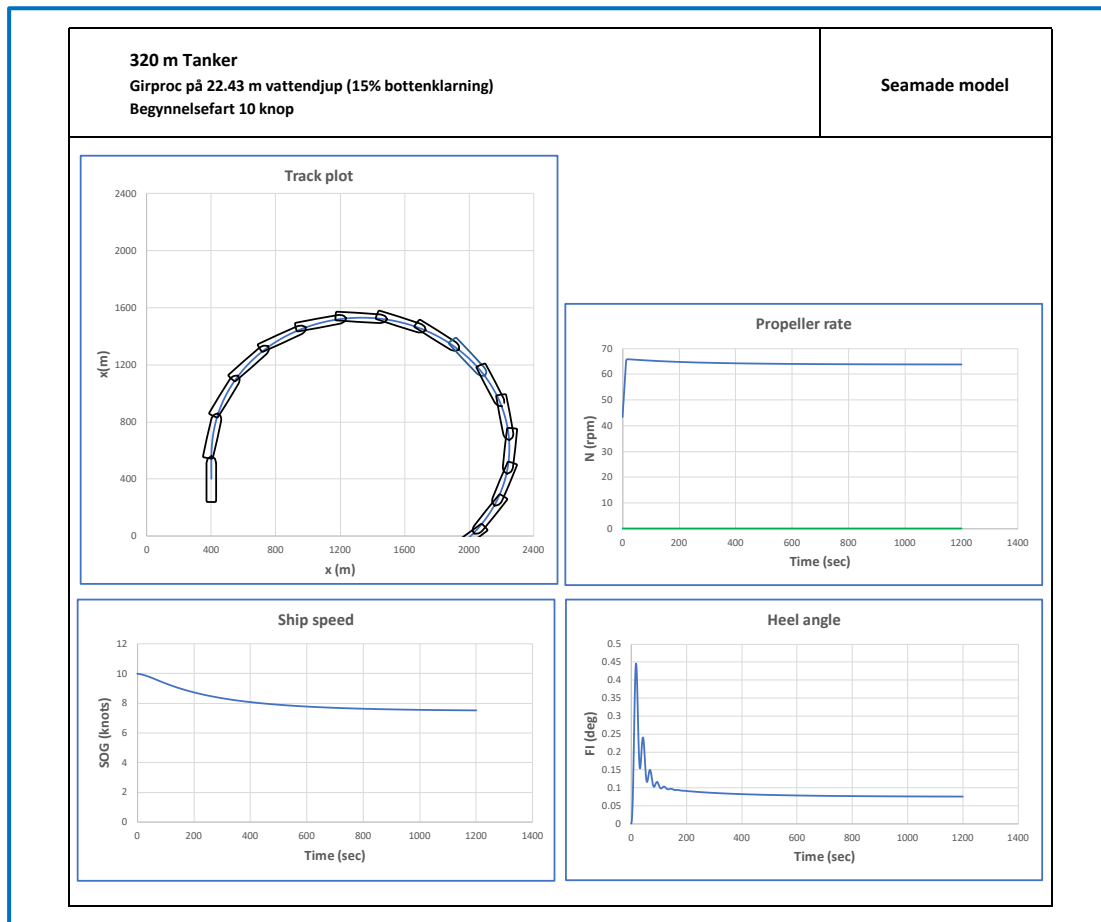
Rudders

No of rudders	irud	(-)	1
Type of rudder	rtype	(-)	1
Rudder area, per rudder	Ar	(m2)	112.4
Rudder height at stock	RH	(m)	14.22
Rudder rate	rr	(deg/s)	2.33
Max rudder angle	maxhelm	(deg)	35
Aspect ratio	AR	(-)	1.8

Tunnel thruster

Number of thrusters	itt	(-)	0
Power of thruster 1	pdtt	(kW)	0
x-coord of thruster 1	xbt	(m)	0
Power of thruster 2	pdtt	(kW)	0
x-coord of thruster 2	xtt	(m)	0





400 m Containerfartyg

Main data

Length over all	Loa	(m)	400
Perpendicular length	Lpp	(m)	384
Beam	B	(m)	57.6

Load condition

Design draught	Tm	(m)	13.25
Displacement	Disp	(m3)	190 466
Block coefficient	CB	(-)	0.65
Longitudal centre of buoyancy rel L/2	LCB	(m)	-11.92
Vertical centre of gravity	KG	(m)	15.90
Metacentric height	GM	(m)	2.10
Lateral wind area	Ald	(m2)	12 557
Transverse wind area	Atd	(m2)	2 039

Propulsion

Type of propeller	ptype	(-)	1
No of propellers	iprop	(-)	1
Design speed	Vdes	(knots)	20
Propeller diameter	D	(m)	8.09
Pitch ratio	P/D	(-)	0.9
Wake fraction	wf	(-)	0.26

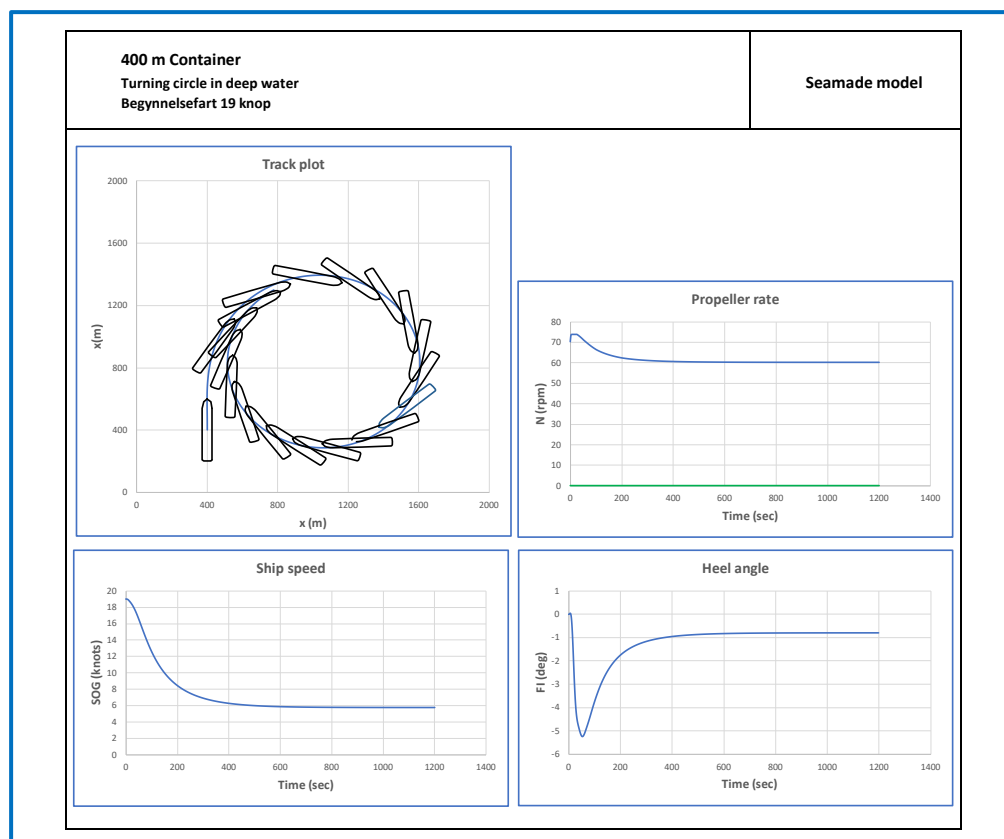
Thrust deduction factor	tdf	(-)	0.19
Advance speed	VA	(m/s)	7.61
Density of water	row		1 025
Design propeller rate	ndes	(rpm)	97
Propeller x-coord	xp	(m)	-184.32
Propeller y-coord, port	yp(1)	(m)	0
Propeller y-coord, stbd	yp(2)	(m)	14.40
Total power	MCR	(kW)	37 442

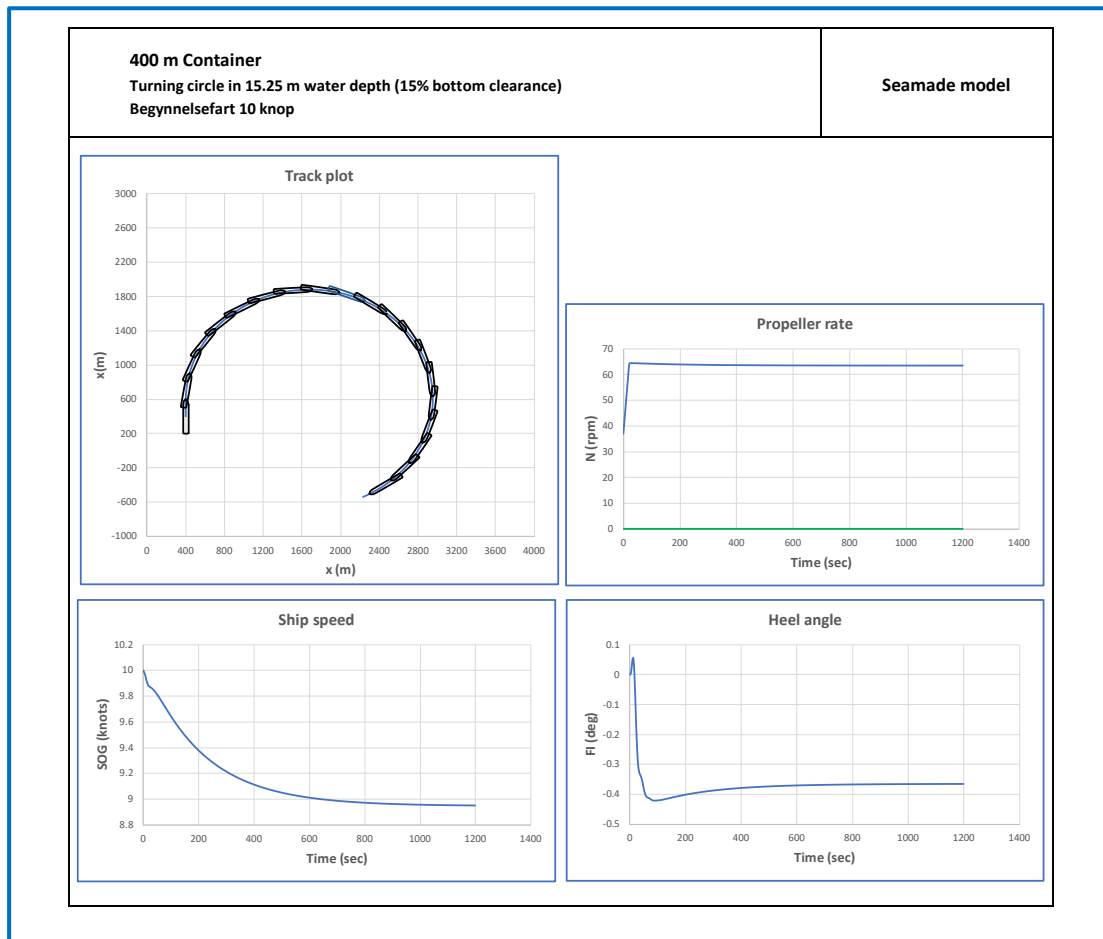
Rudders

No of rudders	irud	(-)	1
Type of rudder	rtype	(-)	1
Rudder area, per rudder	Ar	(m2)	101.7
Rudder height at stock	RH	(m)	13.53
Rudder rate	rr	(deg/s)	3.33
Max rudder angle	maxhelm	(deg)	35
Aspect ratio	AR	(-)	1.8

Tunnel thruster

Number of thrusters	itt	(-)	1
Power of thruster 1	pdtt	(kW)	5 000
x-coord of thruster 1	xbt	(m)	161.28
Power of thruster 2	pdtt	(kW)	0
x-coord of thruster 2	xtt	(m)	0





87 m Vänermaxfartyg

Main data

Length over all	Loa	(m)	87
Perpendicular length	Lpp	(m)	82.65
Beam	B	(m)	15.7035

Load condition

Design draught	Tm	(m)	5.03
Displacement	Disp	(m3)	5 283
Block coefficient	CB	(-)	0.81
Longitudal centre of buoyancy rel L/2	LCB	(m)	2.25
Vertical centre of gravity	KG	(m)	4.02
Metacentric height	GM	(m)	2.97
Lateral wind area	Ald	(m2)	237
Transverse wind area	Atd	(m2)	76

Propulsion

Type of propeller	ptype	(-)	1
No of propellers	iprop	(-)	1
Design speed	Vdes	(knots)	14.9
Propeller diameter	D	(m)	3.28
Pitch ratio	P/D	(-)	0.8
Wake fraction	wf	(-)	0.3

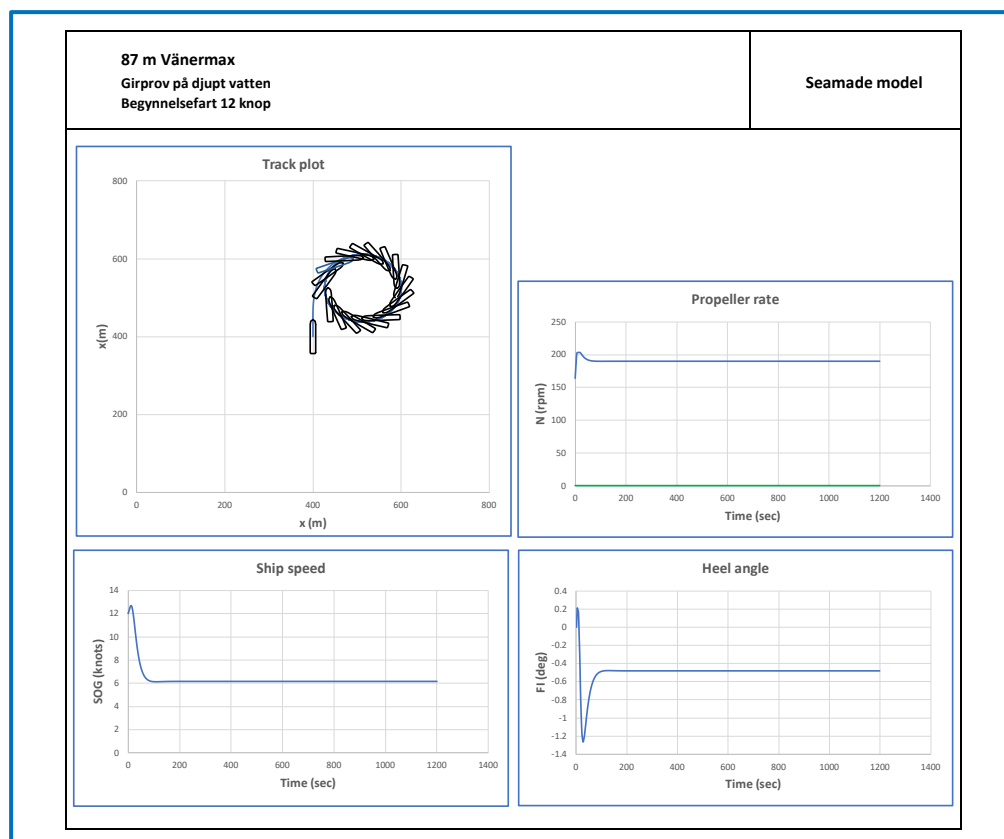
Thrust deduction factor	tdf	(-)	0.19
Advance speed	VA	(m/s)	5.37
Density of water	row		1 025
Design propeller rate	ndes	(rpm)	247
Propeller x-coord	xp	(m)	-39.6
Propeller y-coord, port	yp(1)	(m)	0
Propeller y-coord, stbd	yp(2)	(m)	3.93
Total power	MCR	(kW)	8 801

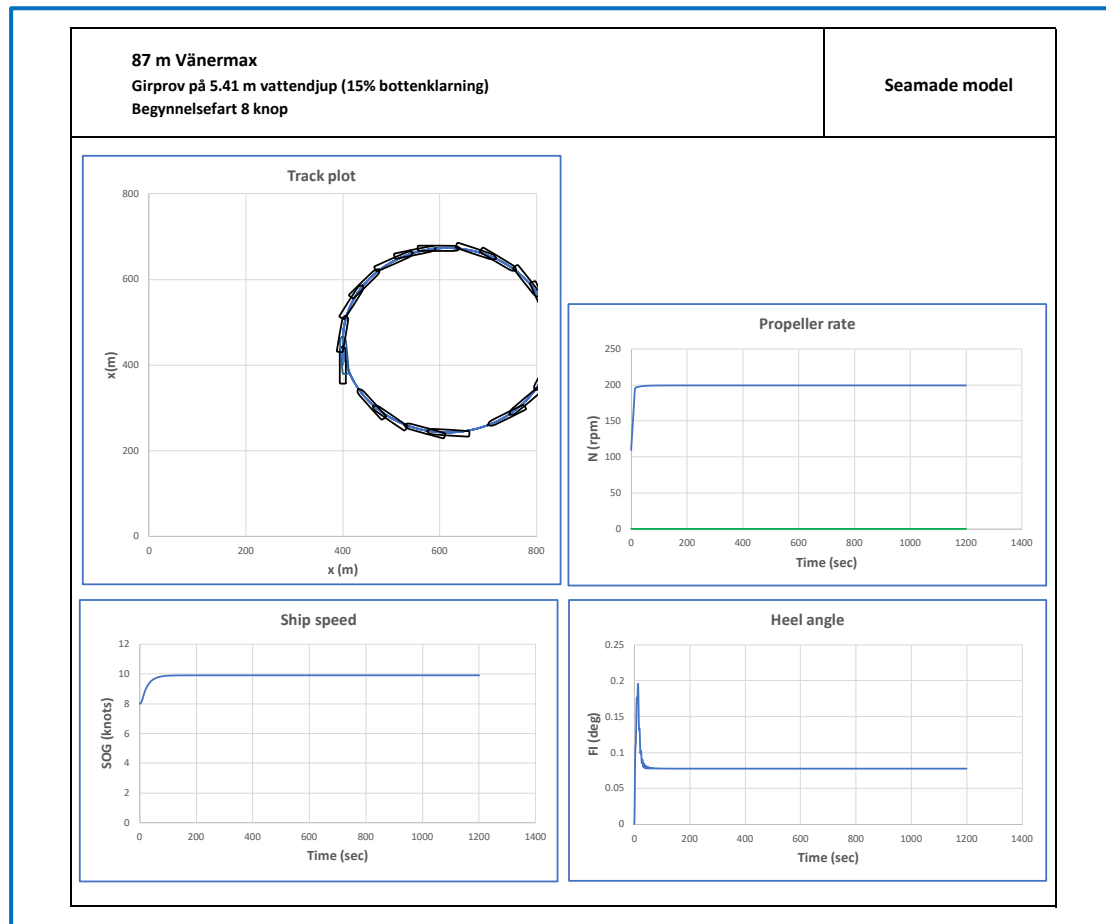
Rudders

No of rudders	irud	(-)	1
Type of rudder	rtype	(-)	1
Rudder area, per rudder	Ar	(m2)	8.3
Rudder height at stock	RH	(m)	3.87
Rudder rate	rr	(deg/s)	2.33
Max rudder angle	maxhelm	(deg)	35
Aspect ratio	AR	(-)	1.8

Tunnel thruster

Number of thrusters	itt	(-)	1
Power of thruster 1	pdt1	(kW)	400
x-coord of thruster 1	xbt	(m)	34.713
Power of thruster 2	pdt2	(kW)	0
x-coord of thruster 2	xct	(m)	0





240 m Ropaxfartyg

Main data

Length over all	Loa	(m)	240
Perpendicular length	Lpp	(m)	223.2
Beam	B	(m)	31.248

Load condition

Design draught	Tm	(m)	6.15
Displacement	Disp	(m3)	29 163
Block coefficient	CB	(-)	0.68
Longitudal centre of buoyancy rel L/2	LCB	(m)	-10.78
Vertical centre of gravity	KG	(m)	6.15
Metacentric height	GM	(m)	2.11
Lateral wind area	Ald	(m2)	4 100
Transverse wind area	Atd	(m2)	1 180

Propulsion

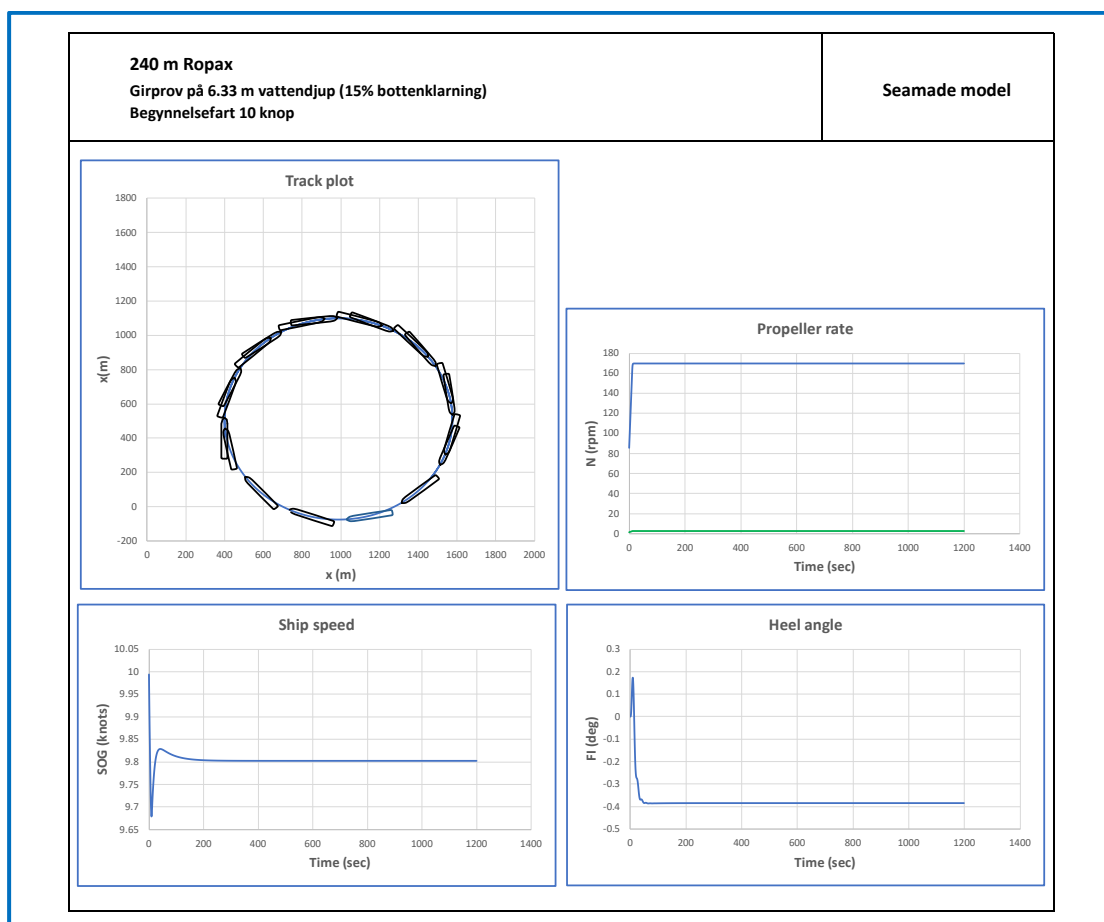
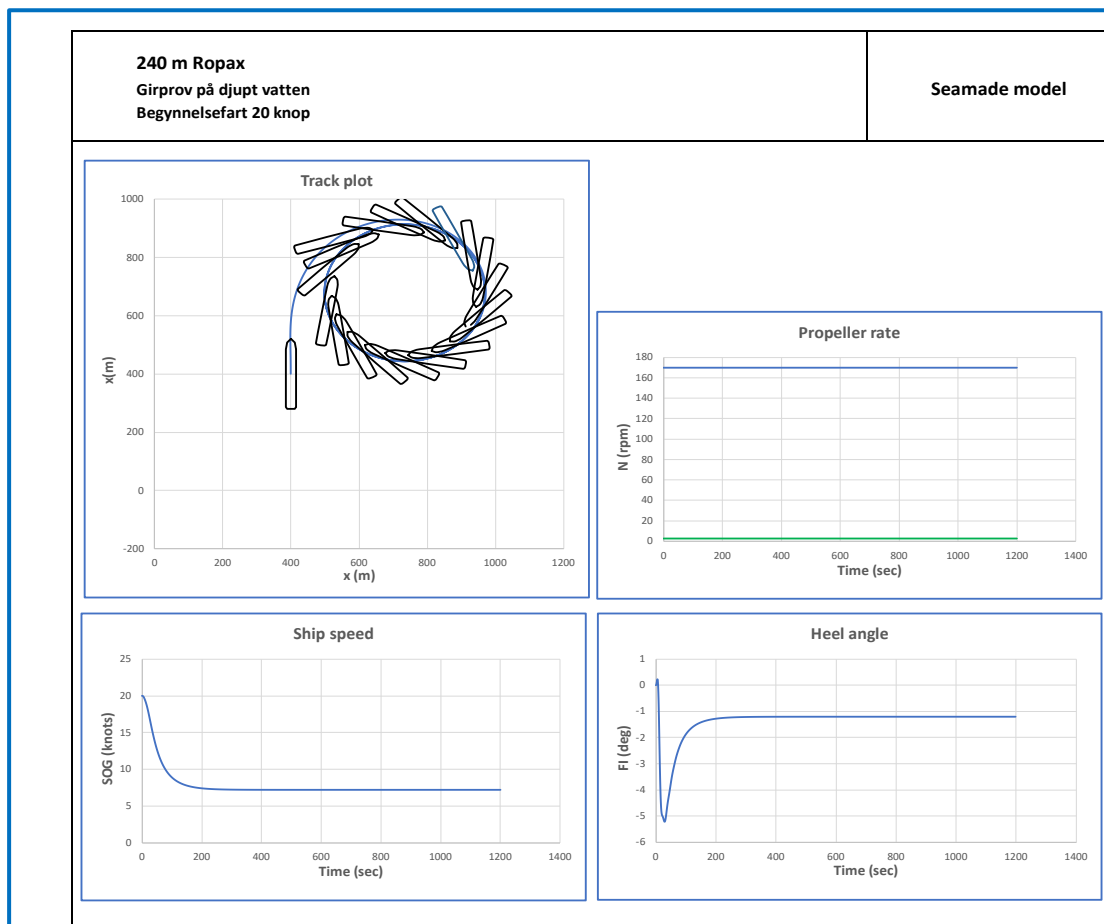
Type of propeller	ptype	(-)	2
No of propellers	iprop	(-)	2
Design speed	Vdes	(knots)	20.00
Propeller diameter	D	(m)	4.30
Pitch ratio	P/D	(-)	1.1
Wake fraction	wf	(-)	0.22
Thrust deduction factor	tdf	(-)	0.19
Advance speed	VA	(m/s)	8.02
Density of water	row		1 025
Design propeller rate	ndes	(rpm)	171
Propeller x-coord	xp	(m)	-107.2
Propeller y-coord, port	yp(1)	(m)	-7.812
Propeller y-coord, stbd	yp(2)	(m)	7.81
Total power	MCR	(kW)	18 580

Rudders

No of rudders	irud	(-)	2
Type of rudder	rtype	(-)	2
Rudder area, per rudder	Ar	(m2)	13.7
Rudder height at stock	RH	(m)	4.97
Rudder rate	rr	(deg/s)	5
Max rudder angle	maxhelm	(deg)	45
Aspect ratio	AR	(-)	1.8

Tunnel thruster

Number of thrusters	itt	(-)	1
Power of thruster 1	pdt1	(kW)	3 000
x-coord of thruster 1	xbt	(m)	93.744
Power of thruster 2	pdt2	(kW)	0
x-coord of thruster 2	xct	(m)	0



200 m Tankerfartyg

Main data

Length over all	Loa	(m)	200
Perpendicular length	Lpp	(m)	190
Beam	B	(m)	36.1

Load condition

Design draught	Tm	(m)	11.55
Displacement	Disp	(m3)	64 180
Block coefficient	CB	(-)	0.81
Longitudal centre of buoyancy rel L/2	LCB	(m)	5.15
Vertical centre of gravity	KG	(m)	9.24
Metacentric height	GM	(m)	2.97
Lateral wind area	Ald	(m2)	1 359
Transverse wind area	Atd	(m2)	400

Propulsion

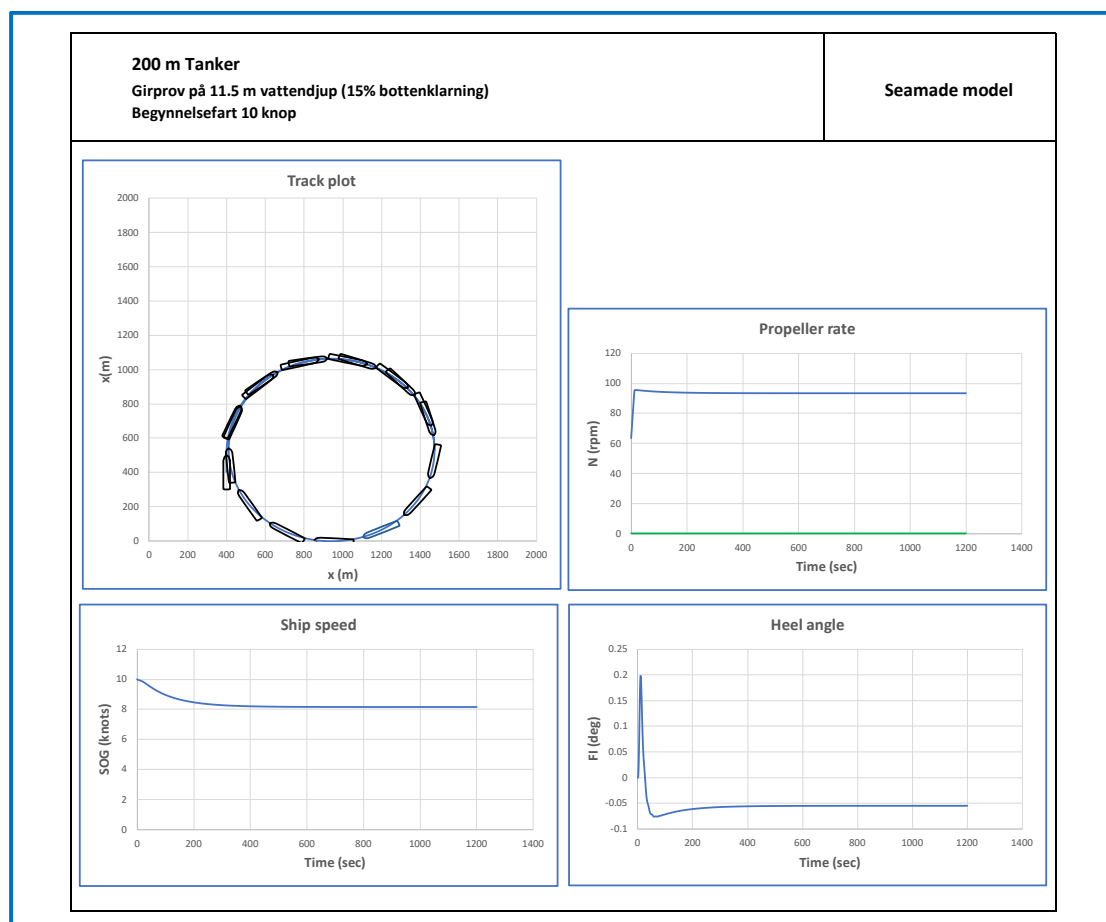
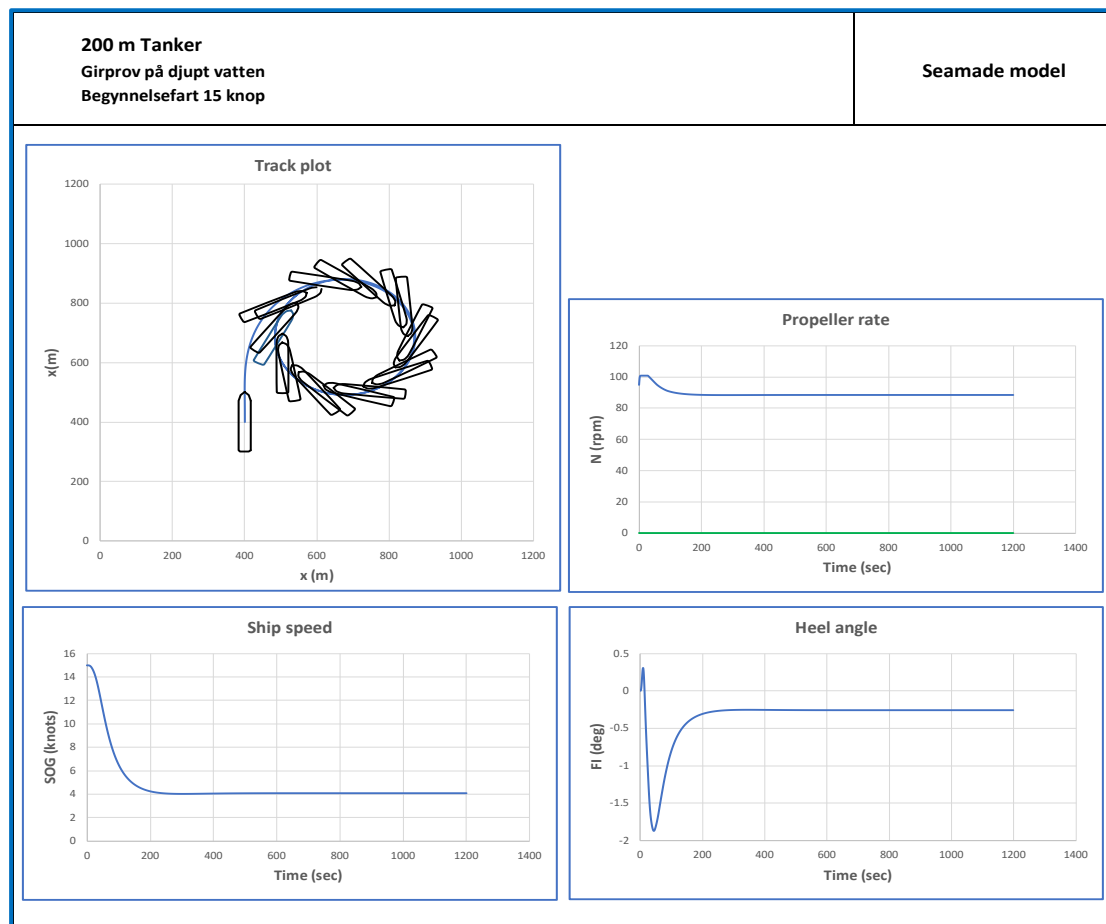
Type of propeller	ptype	(-)	1
No of propellers	iprop	(-)	1
Design speed	Vdes	(knots)	16
Propeller diameter	D	(m)	5.86
Pitch ratio	P/D	(-)	0.8
Wake fraction	wf	(-)	0.3
Thrust deduction factor	tdf	(-)	0.19
Advance speed	VA	(m/s)	5.76
Density of water	row		1 025
Design propeller rate	ndes	(rpm)	124
Propeller x-coord	xp	(m)	-91.2
Propeller y-coord, port	yp(1)	(m)	0
Propeller y-coord, stbd	yp(2)	(m)	9.03
Total power	MCR	(kW)	18 494

Rudders

No of rudders	irud	(-)	1
Type of rudder	rtype	(-)	1
Rudder area, per rudder	Ar	(m2)	43.9
Rudder height at stock	RH	(m)	8.89
Rudder rate	rr	(deg/s)	2.33
Max rudder angle	maxhelm	(deg)	35
Aspect ratio	AR	(-)	1.8

Tunnel thruster

Number of thrusters	itt	(-)	0
Power of thruster 1	pdtt	(kW)	0
x-coord of thruster 1	xbt	(m)	0
Power of thruster 2	pdtt	(kW)	0
x-coord of thruster 2	xtt	(m)	0



APPENDIX 2

Datum

2024-06-10

Projekt ID/Dokument ID

P220812/A2

Klassificering

FoI

Revision

Final

Författare

Peter Ottosson

Granskad

Karl-Johan Raggl

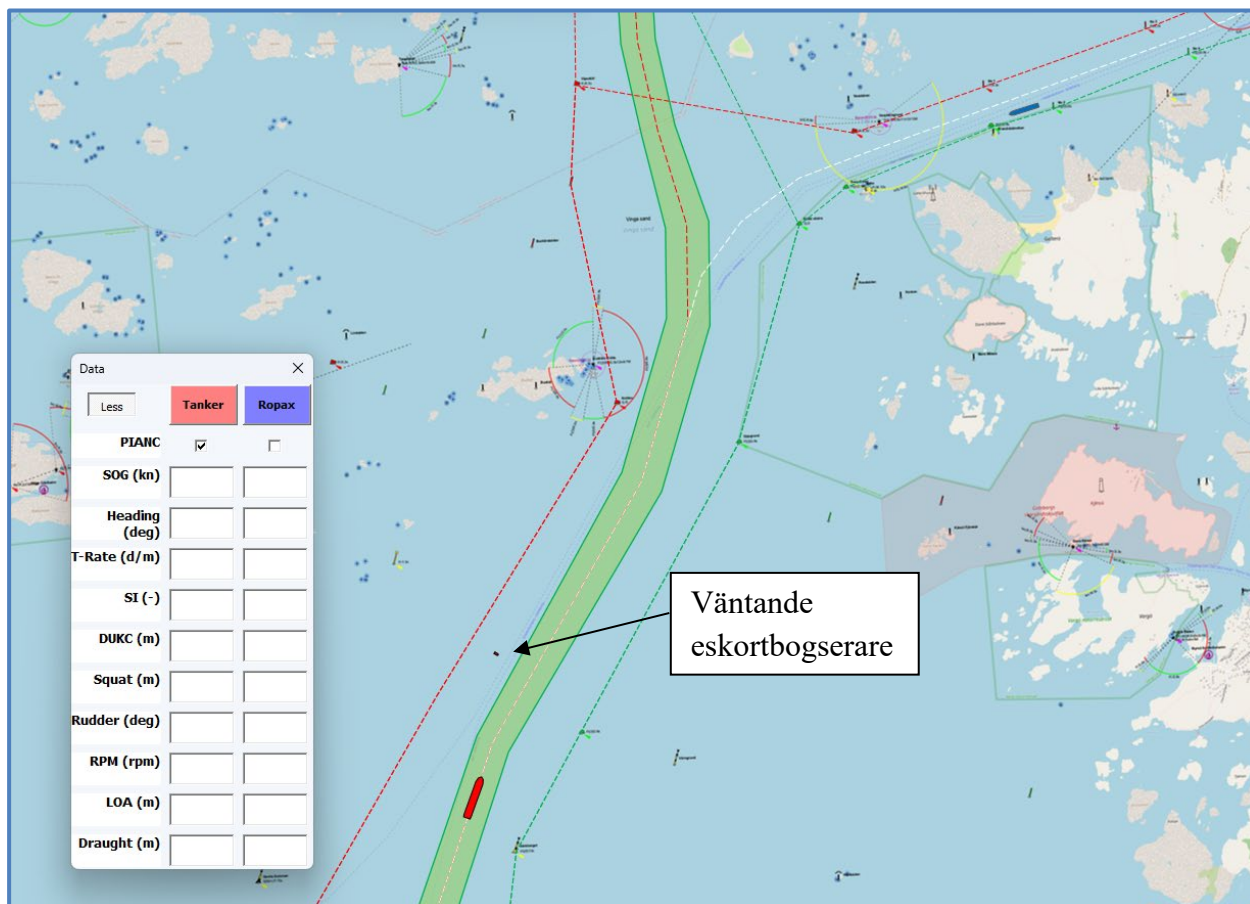
Plottar från simulering av de olika scenarierna

Projekt ”Förutsättningar för framtidens farleder”

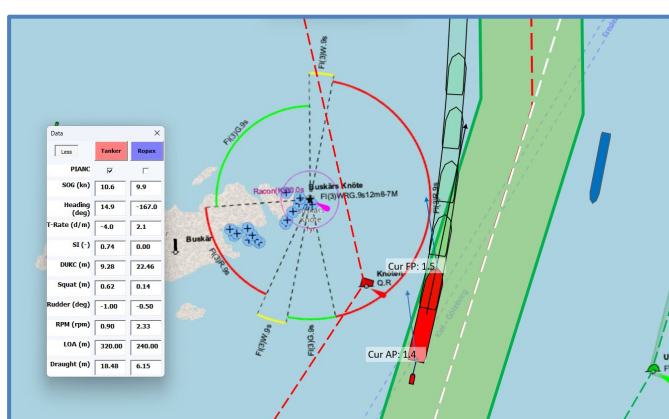
**Simuleringar med fartyg i olika scenarier av in- och utsegling till/från
Göteborg**

Scenario 1

Simulering 1.1

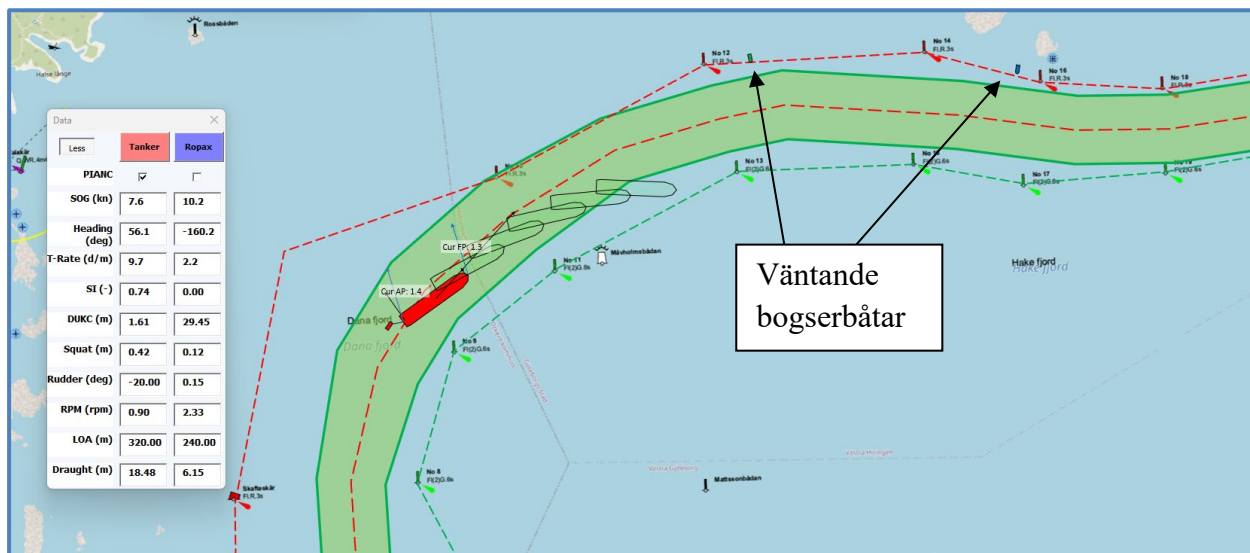


Figur 1 Scenario 1a – Startpositioner

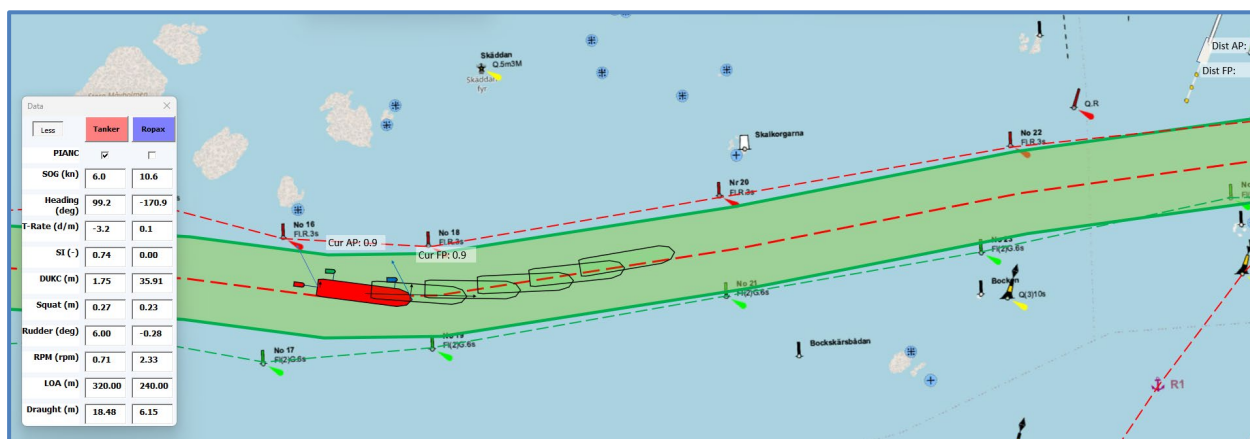


Figur 2 Simulering Nr 1.1 – Möte vid Buskärs Knöte

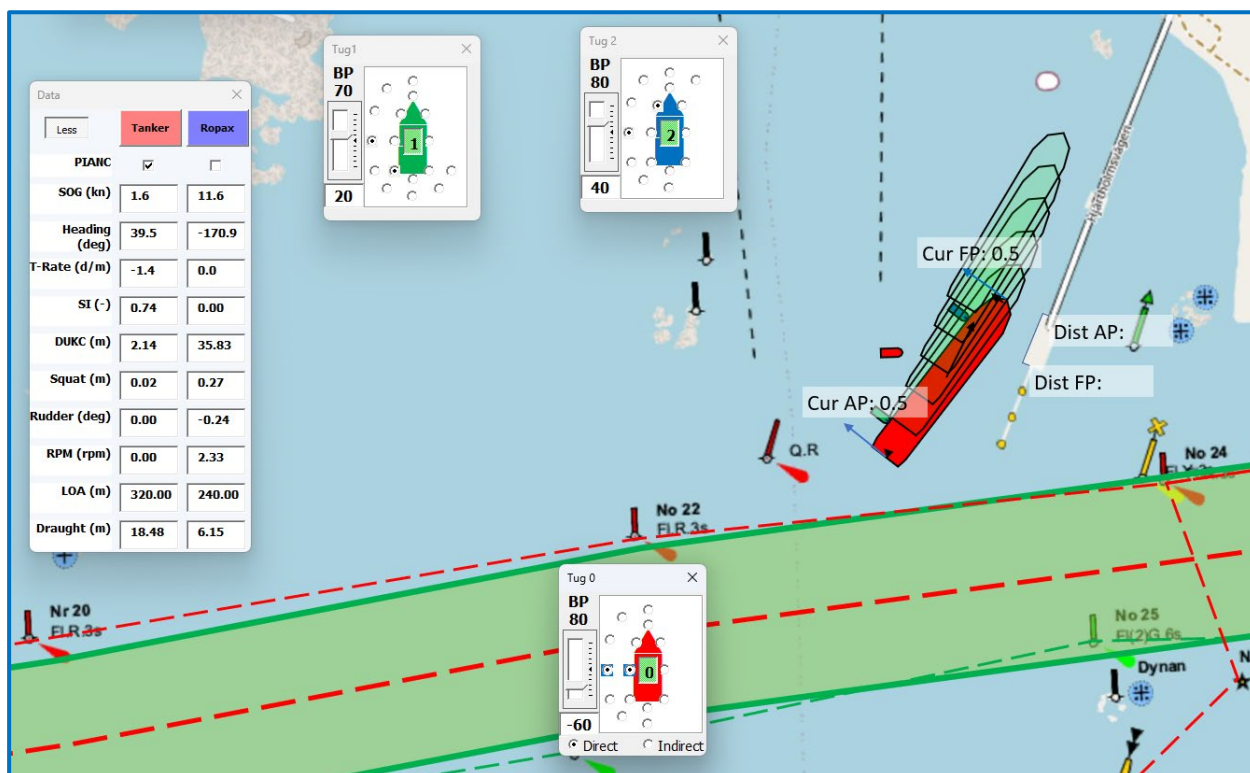
I Måvholmskröken driver fartyget ganska mycket, delvis beroende på giren, men framförallt till följd av den nordgående strömmen. Notera också de två väntande bogserbåtarna längst upp.



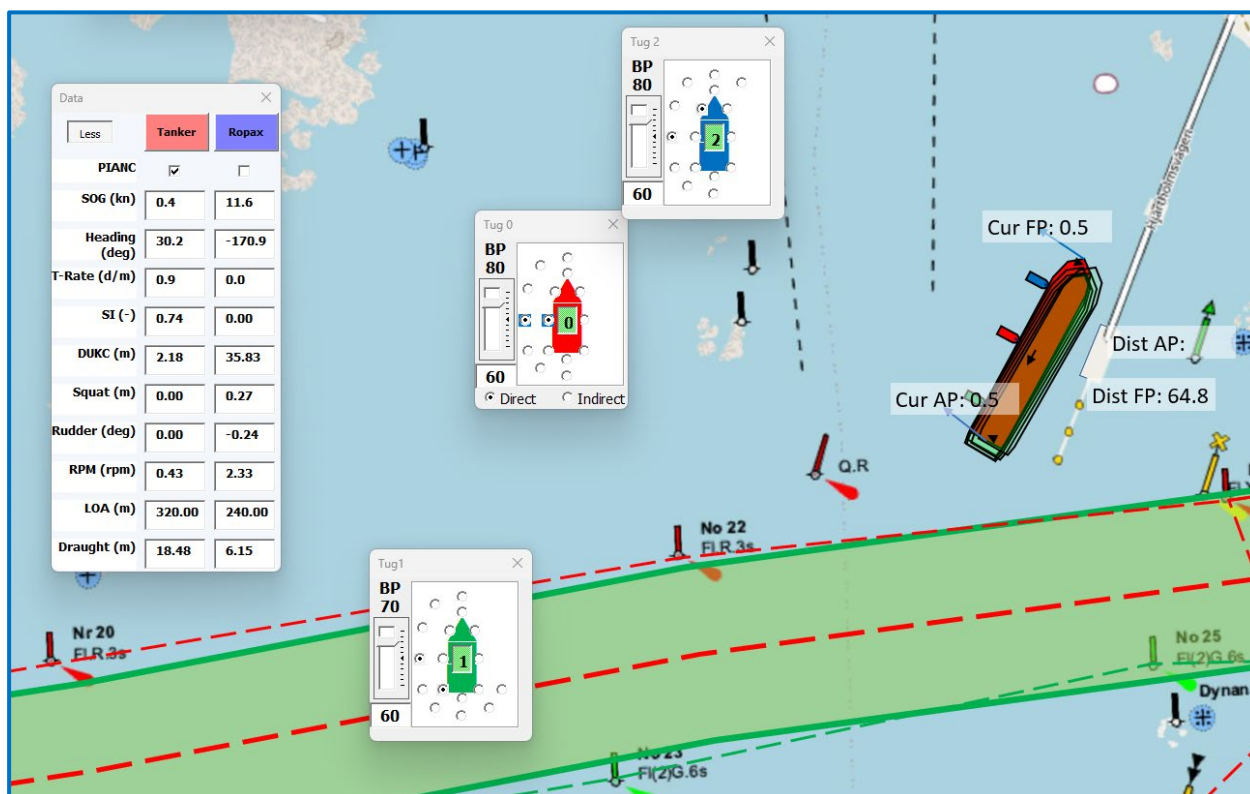
Figur 3 Simulering 1.1 – Genom Mävholmskröken



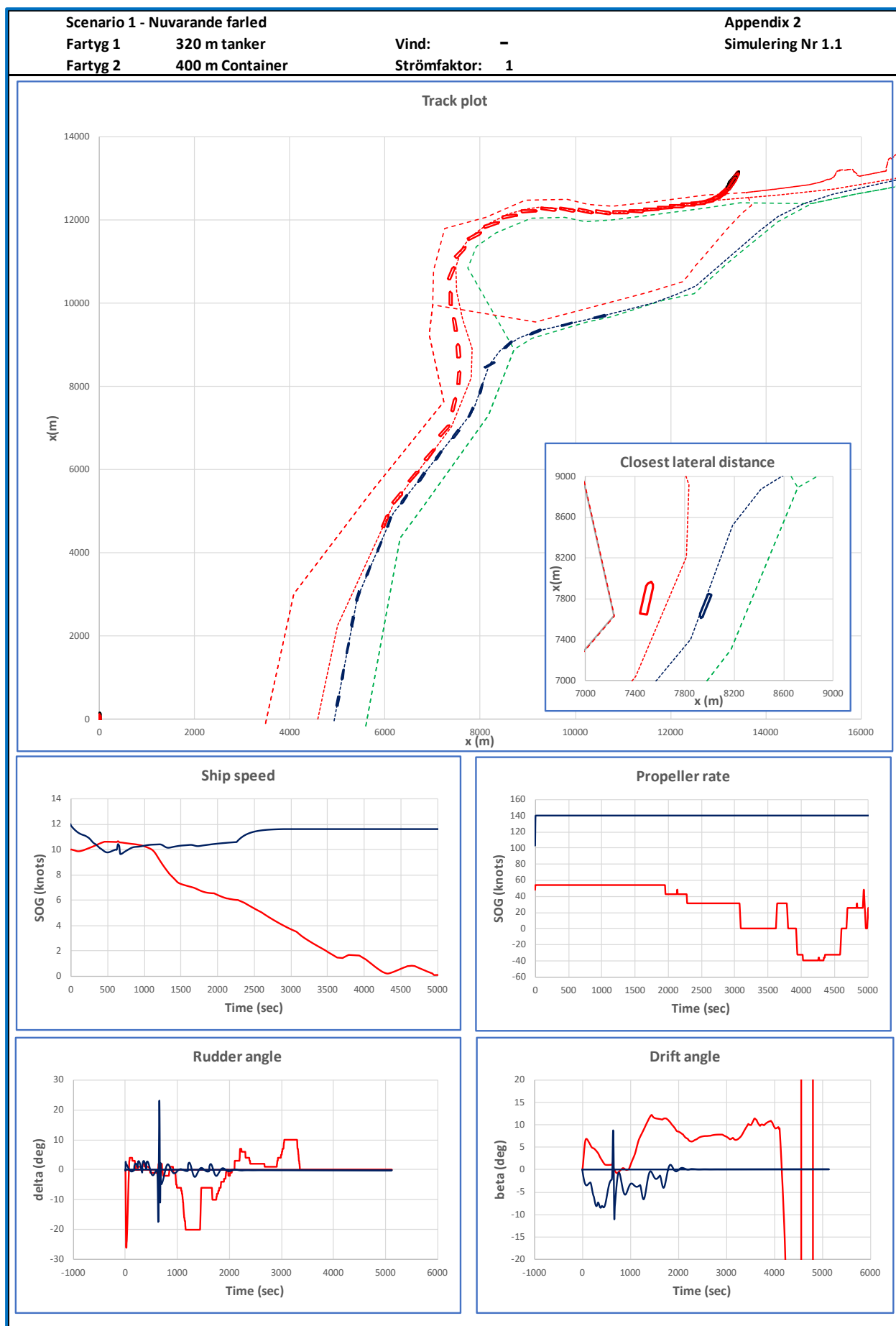
Figur 4 Simulering 1.1 – Efter Mävholmskröken



Figur 5 Insegling till Torshamnens

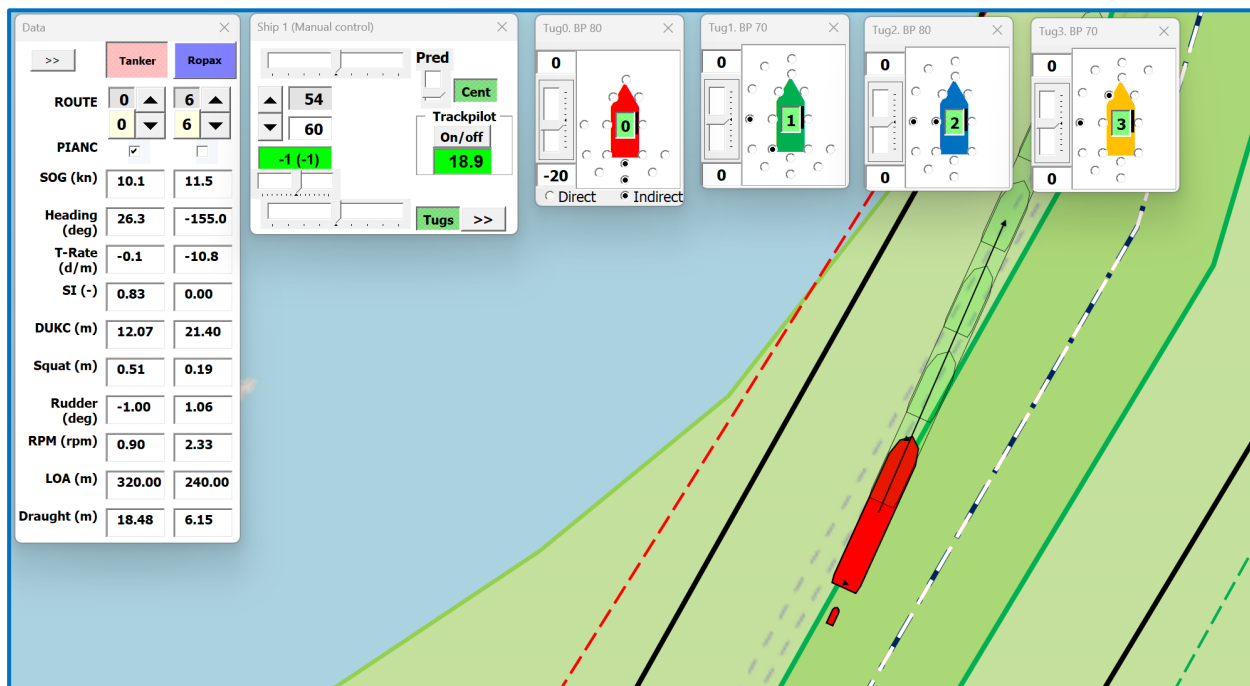


Figur 6 Med bogserbåt in mot kaj i Torshamnens

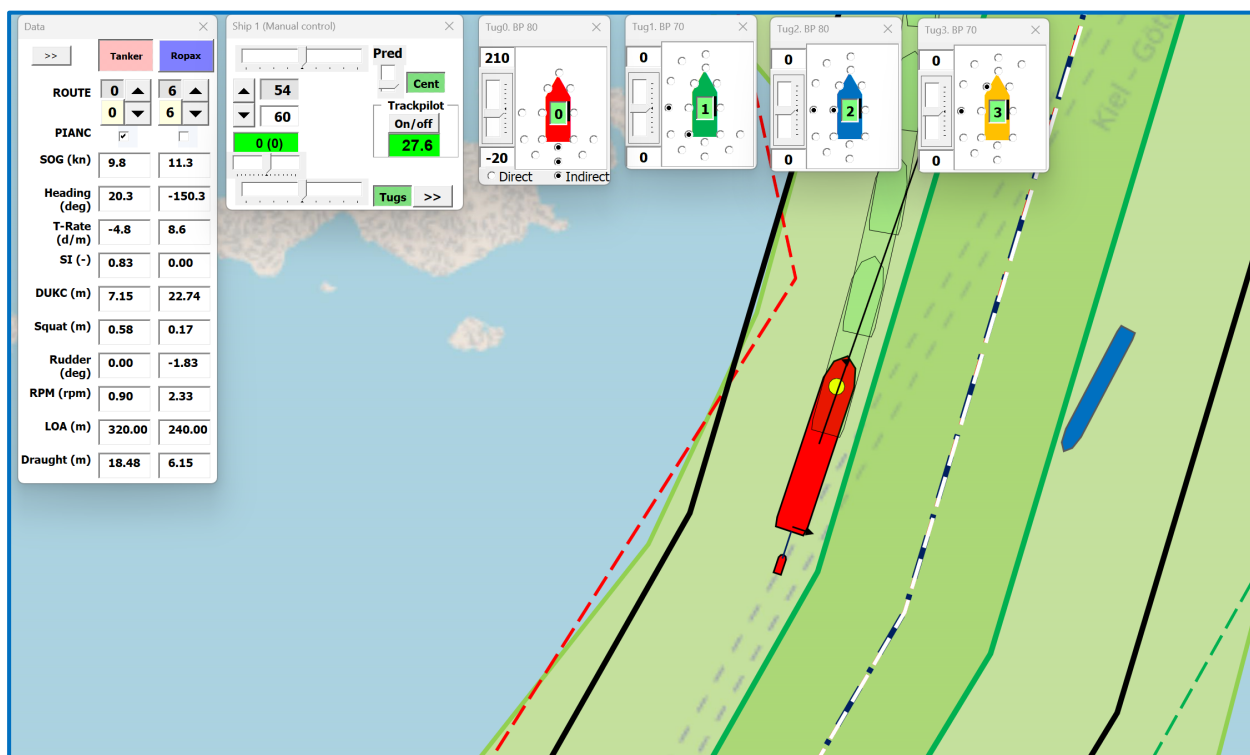


Figur 7 Simulering 1.1 – Banplott och tidshistorier

Simulering 1.2



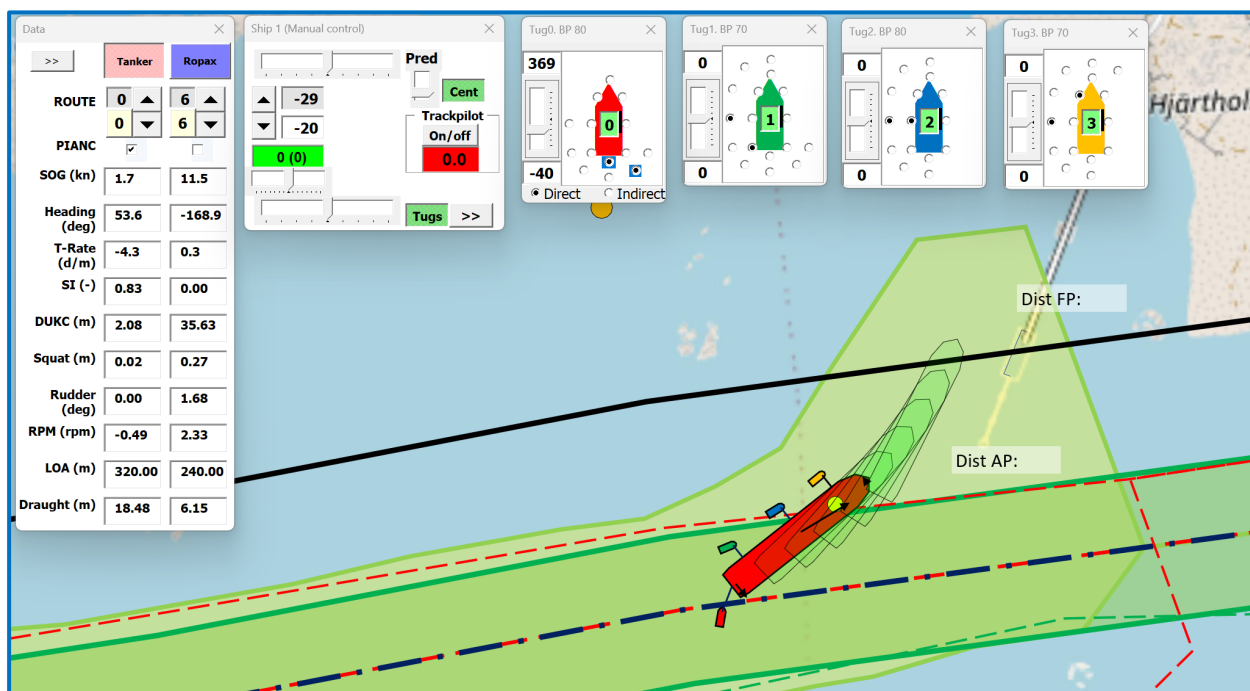
Figur 8 Simulering 1.2 - Kopplar bogserbåt center akter för eskortbogsering



Figur 9 Simulering 1.2 – Möte med Ropax



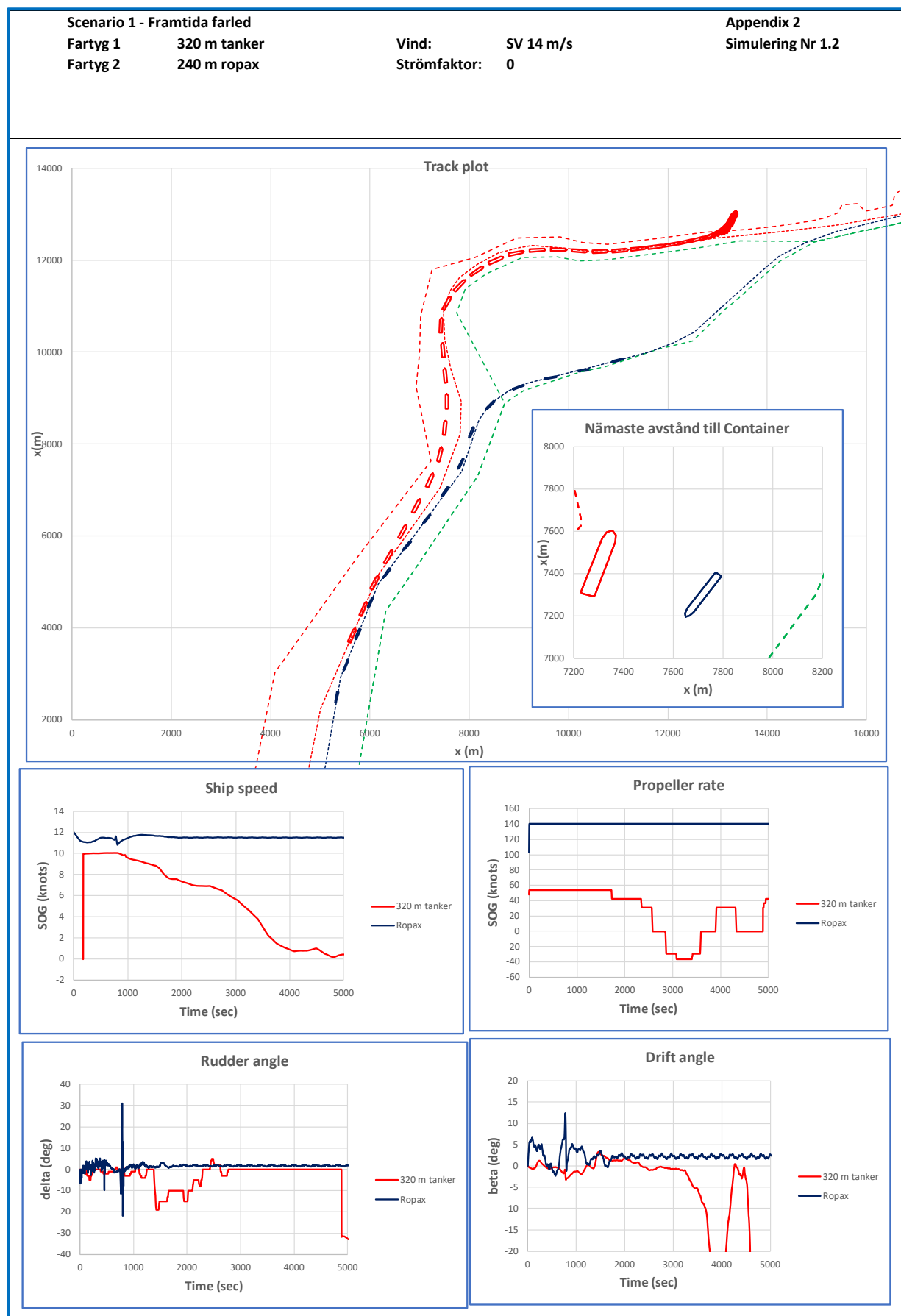
Figur 10 Simulering 1.2 – Koppling av tre bogserbåtar på babord sida



Figur 11 Simulering 1.2 – Insegling mot Torshamnen

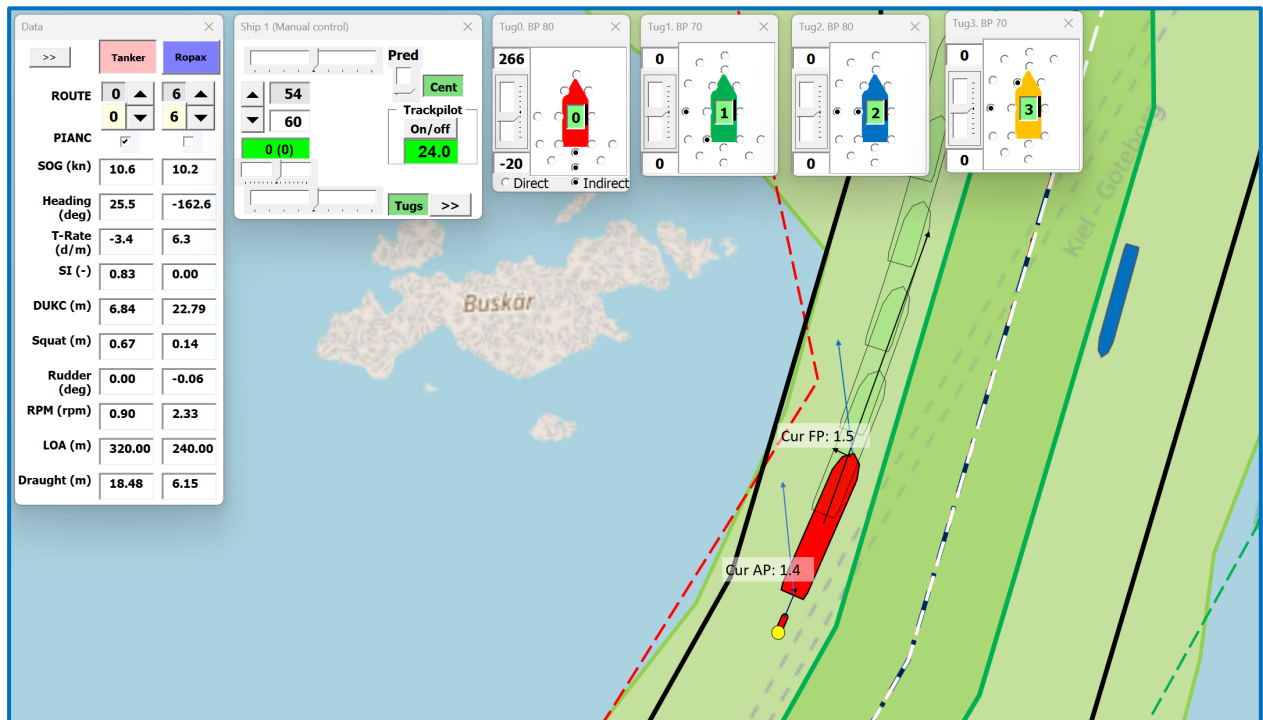


Figur 12 Simulering 1.2 – Insegling till kaj

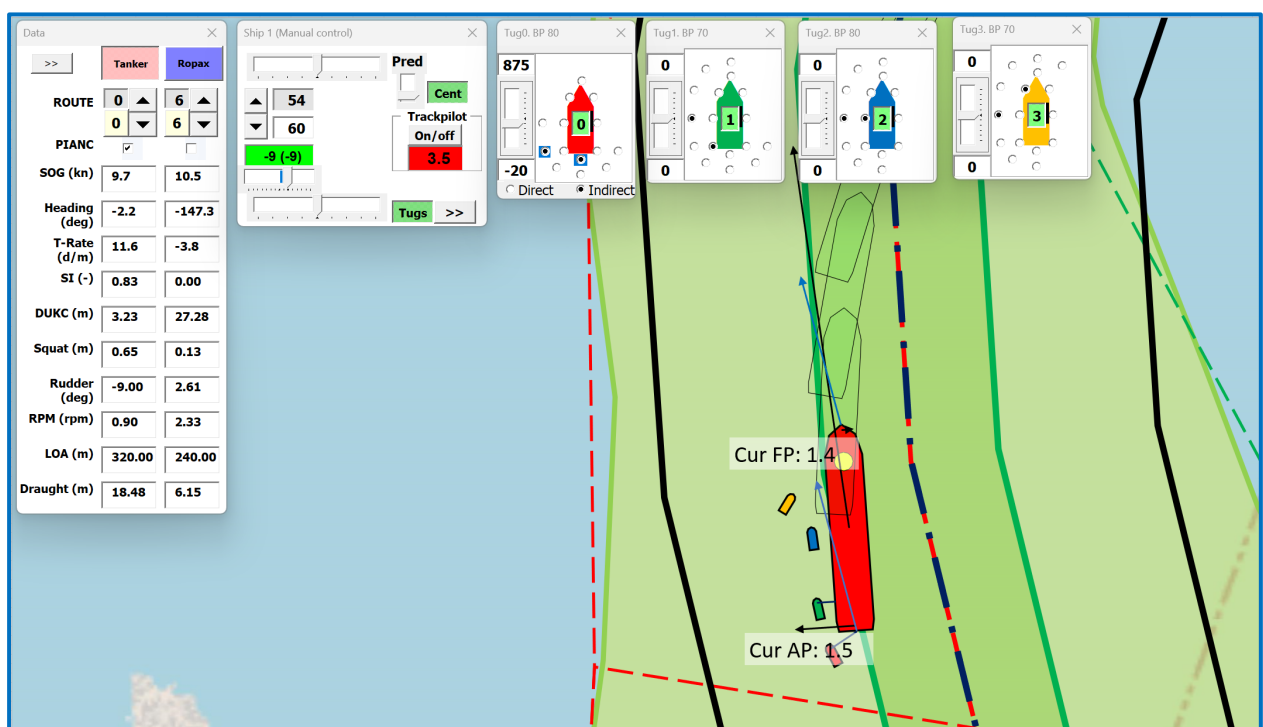


Figur 13 Simulering 1.2 – Banplott och tidshistorier

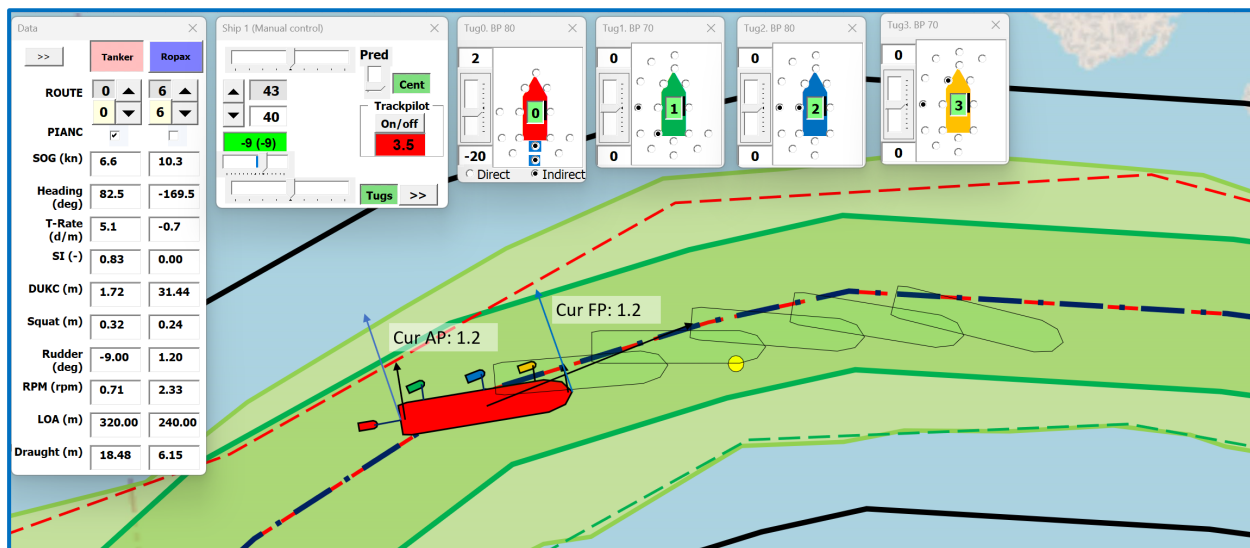
Simulering 1.3



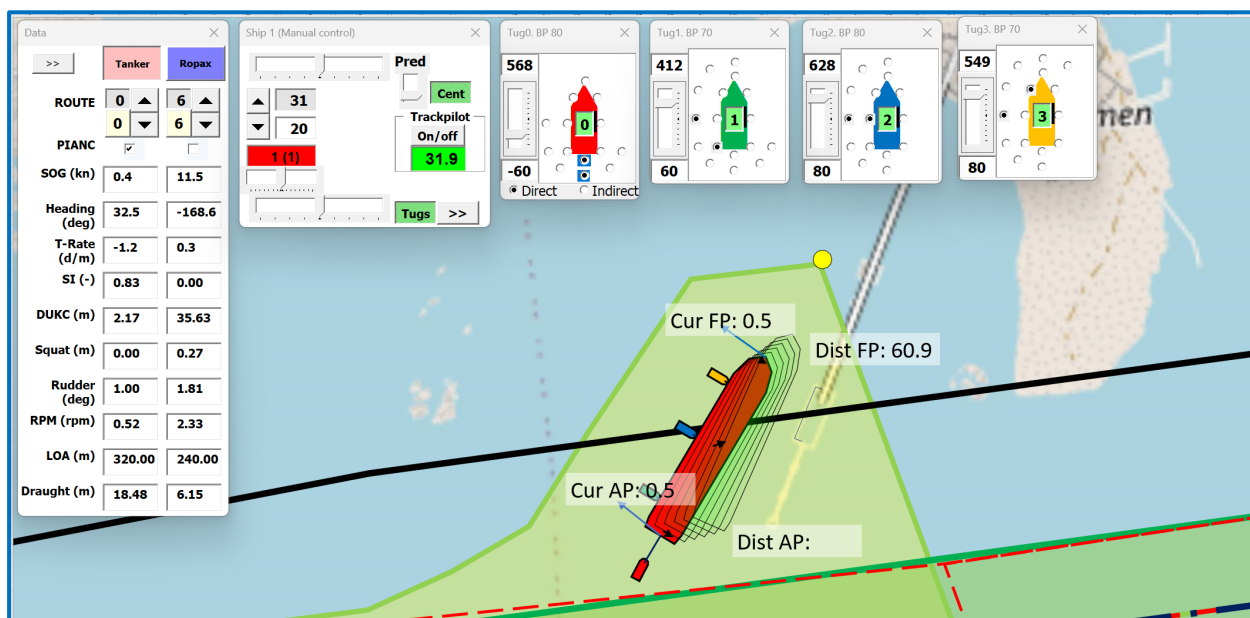
Figur 14 Simulering 1.3 – Möte med Ropax



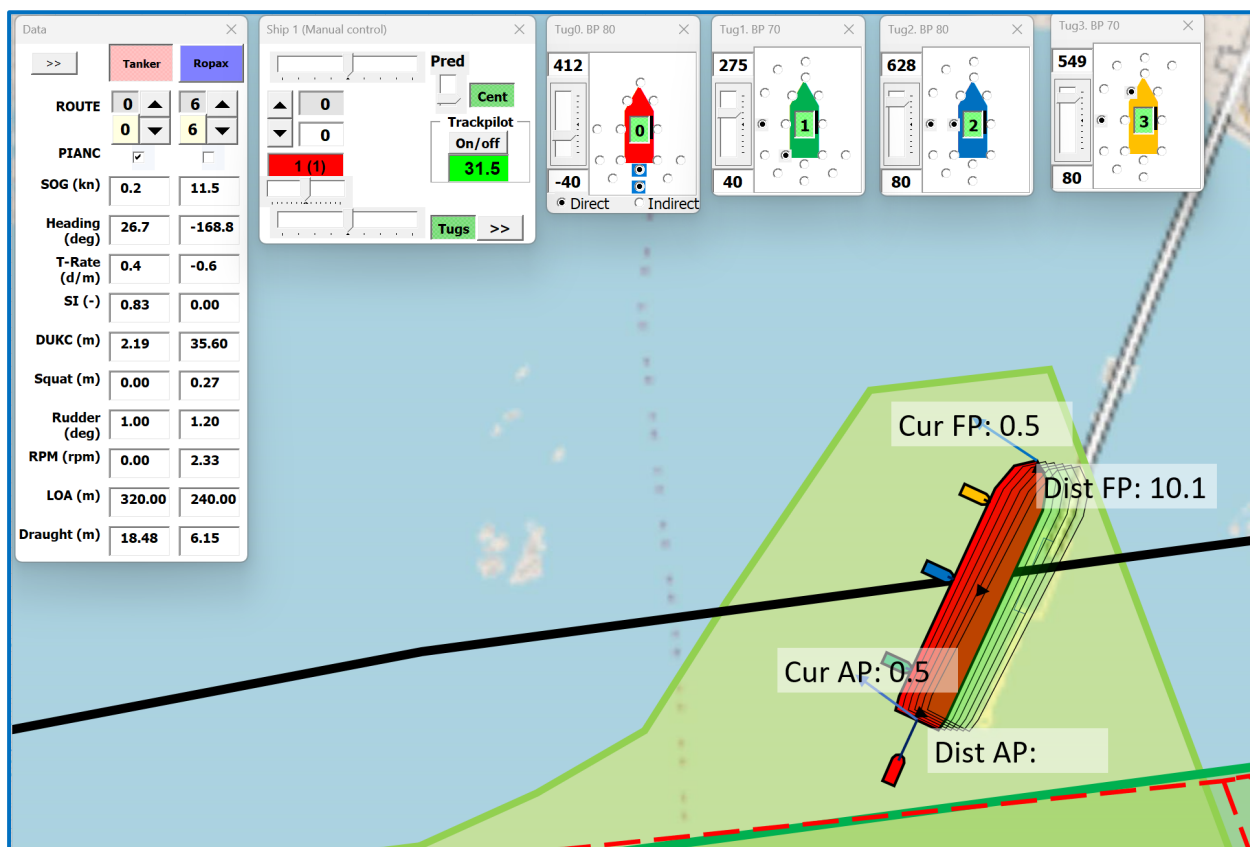
Figur 15 Simulering 1.3 – Initiering av styrbordsgir med hjälp av eskortbogserare (indirekt mod)



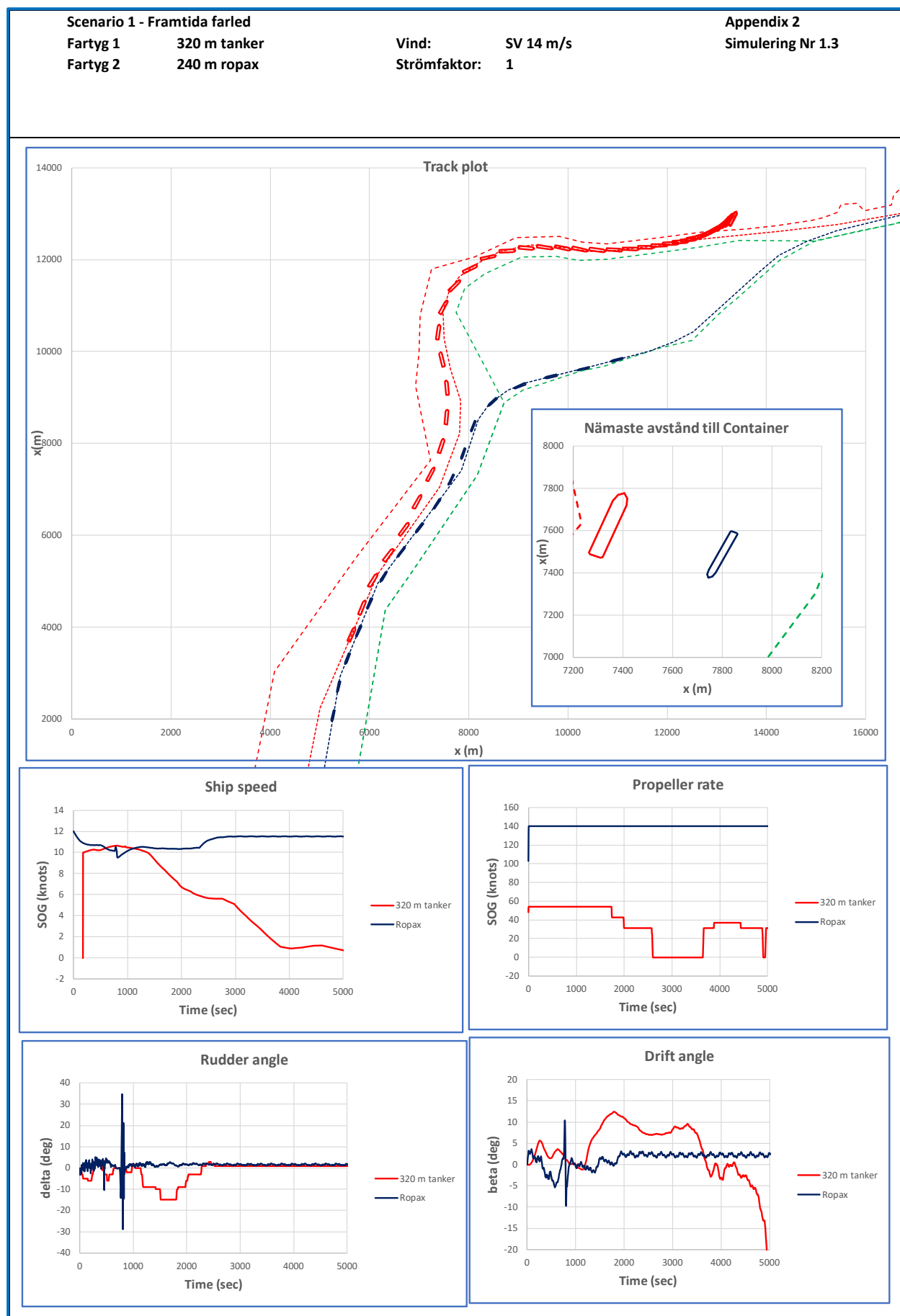
Figur 16 Simulering 1.3 – Mävholmskröken



Figur 17 Simulering 1.3 – Intagning till kaj

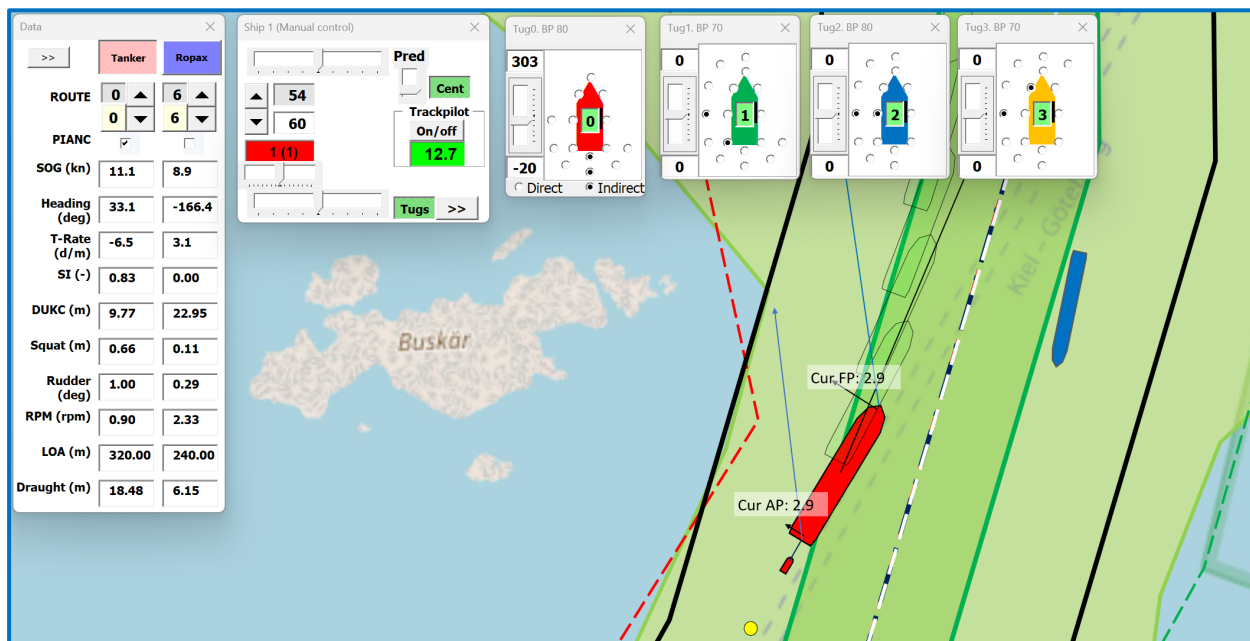


Figur 18 Simulering 1.3 – Intagning till kaj

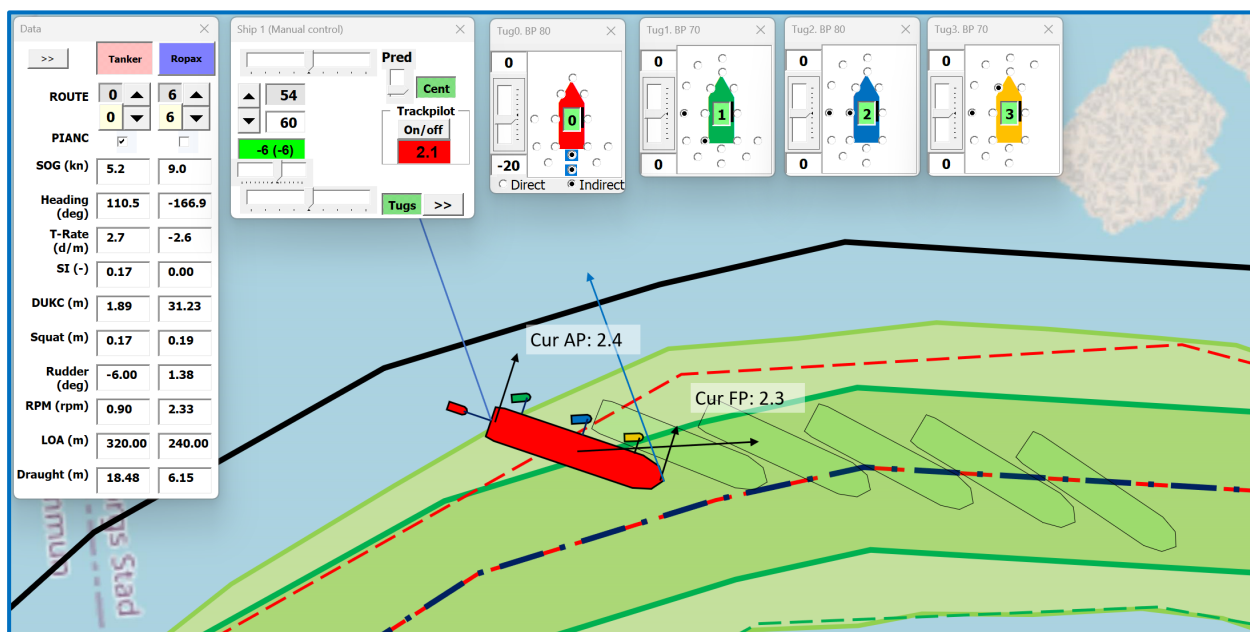


Figur 19 Simulering 1.3 – Banplott och tidshistorier

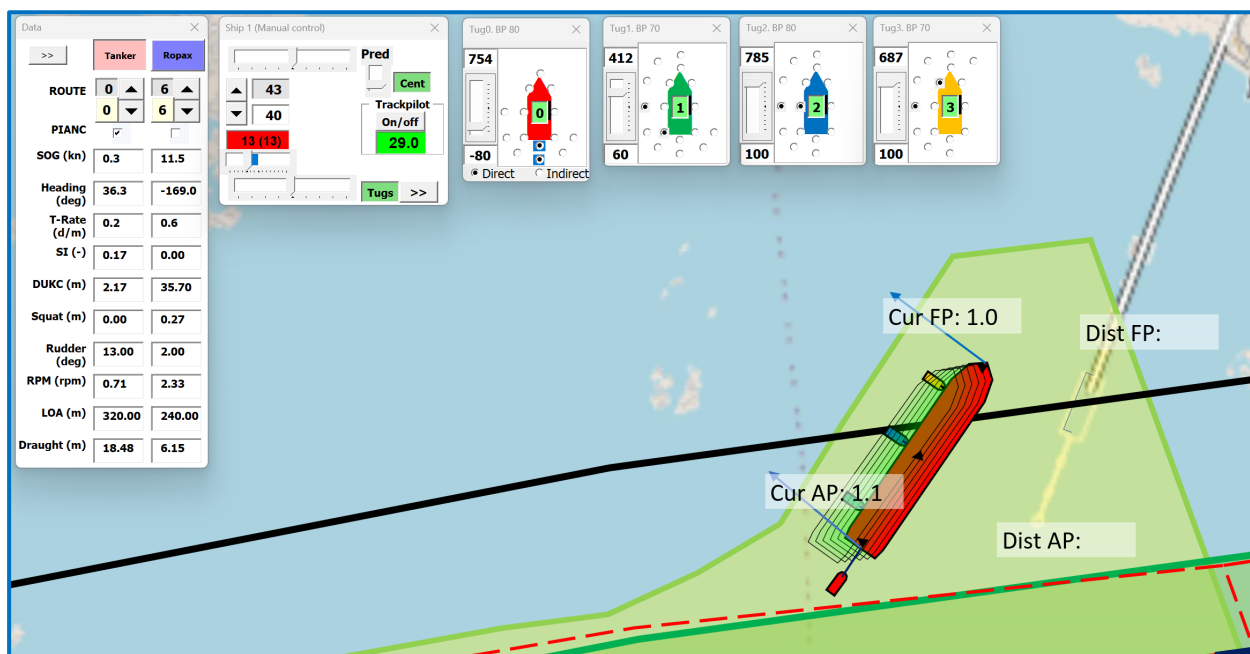
Simulering 1.4



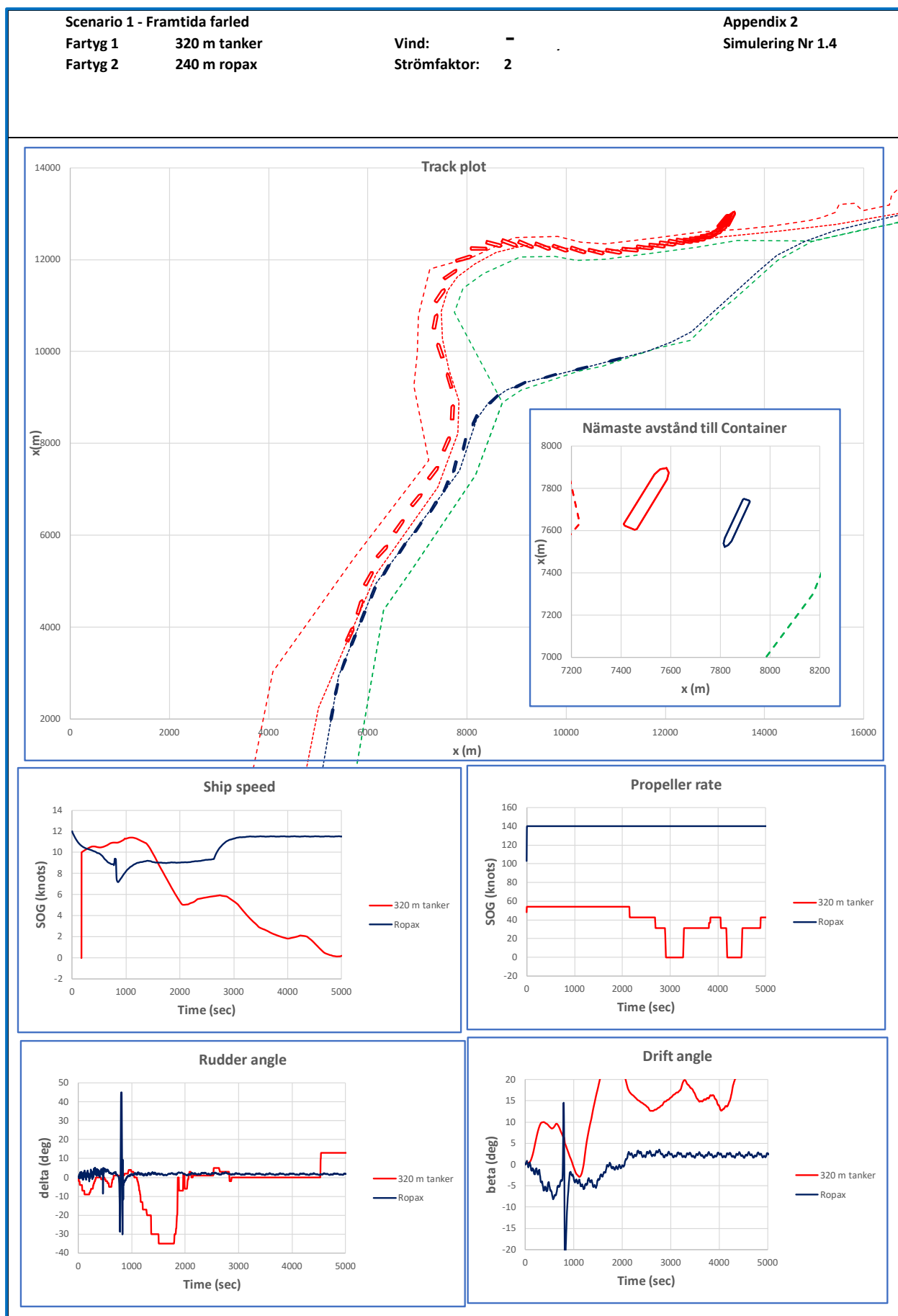
Figur 20 Simulering 1.4 - Möte med Ropax



Figur 21 Måvholmskröken i stark nordgående ström

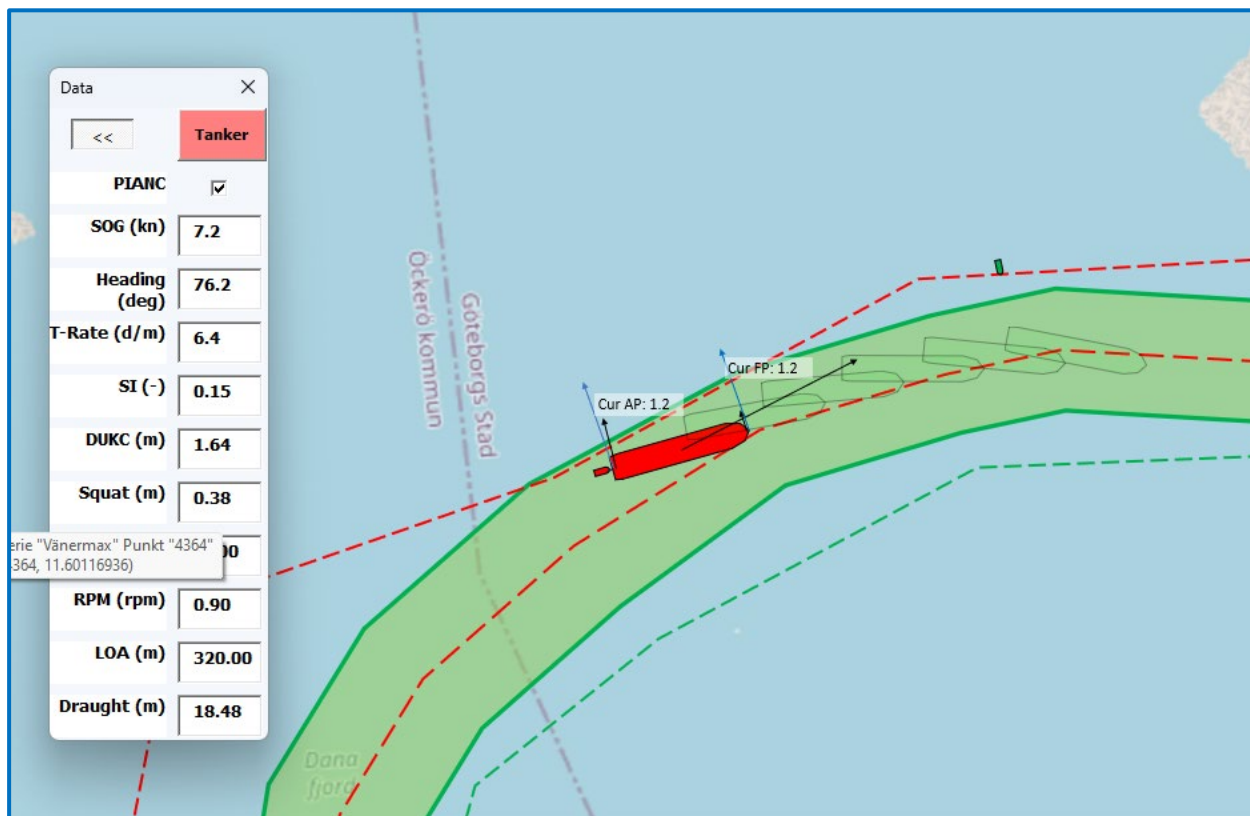


Figur 22 Bogserbåtarna förmår inte hålla fartyget mot ström och vind

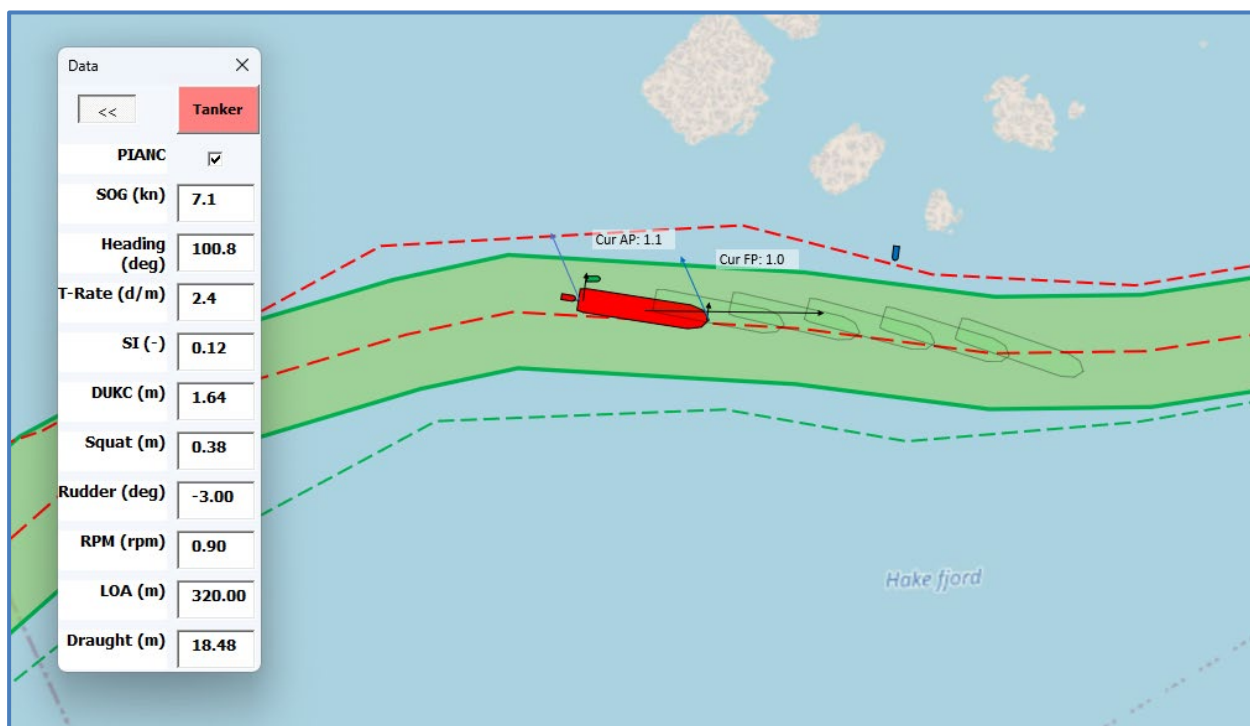


Figur 23 Simulering 1.4 – Banplott och tidshistorier

Simulering 1.5

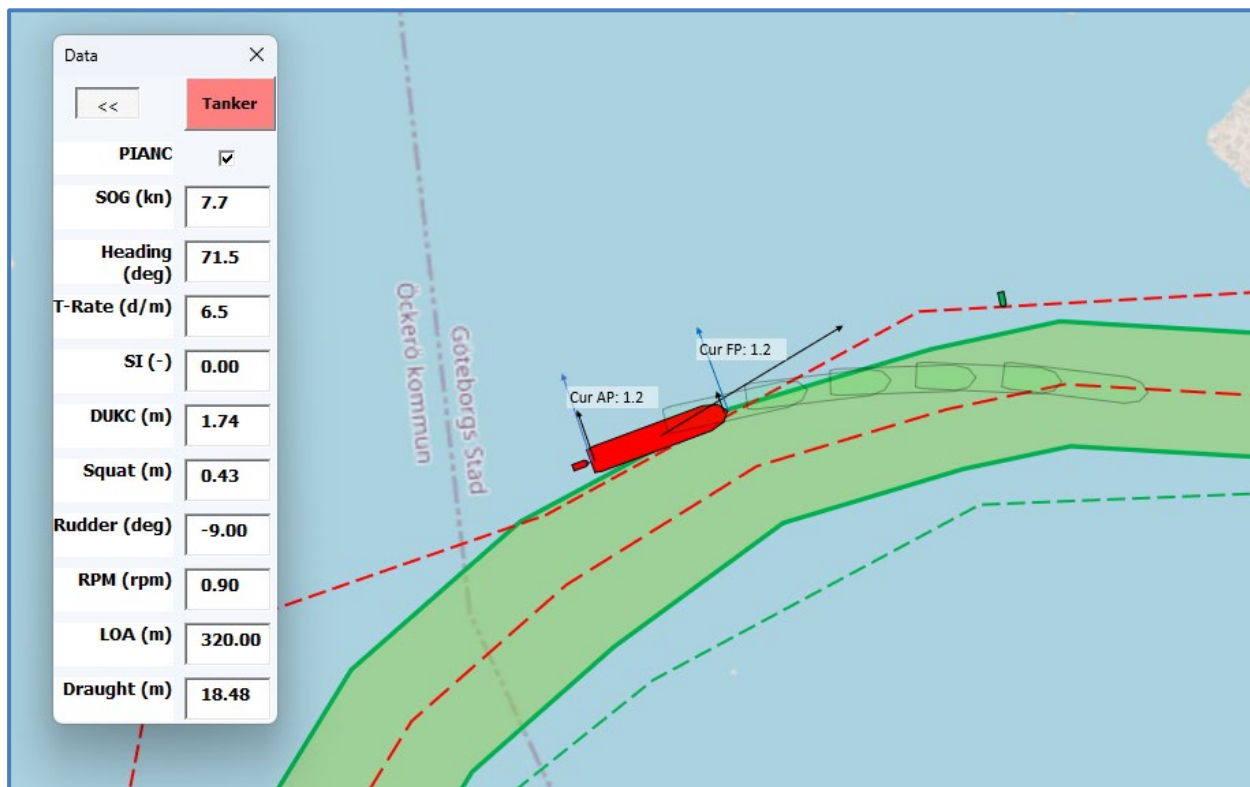


Figur 24 Simulering 1.5 - Måvholmskröken

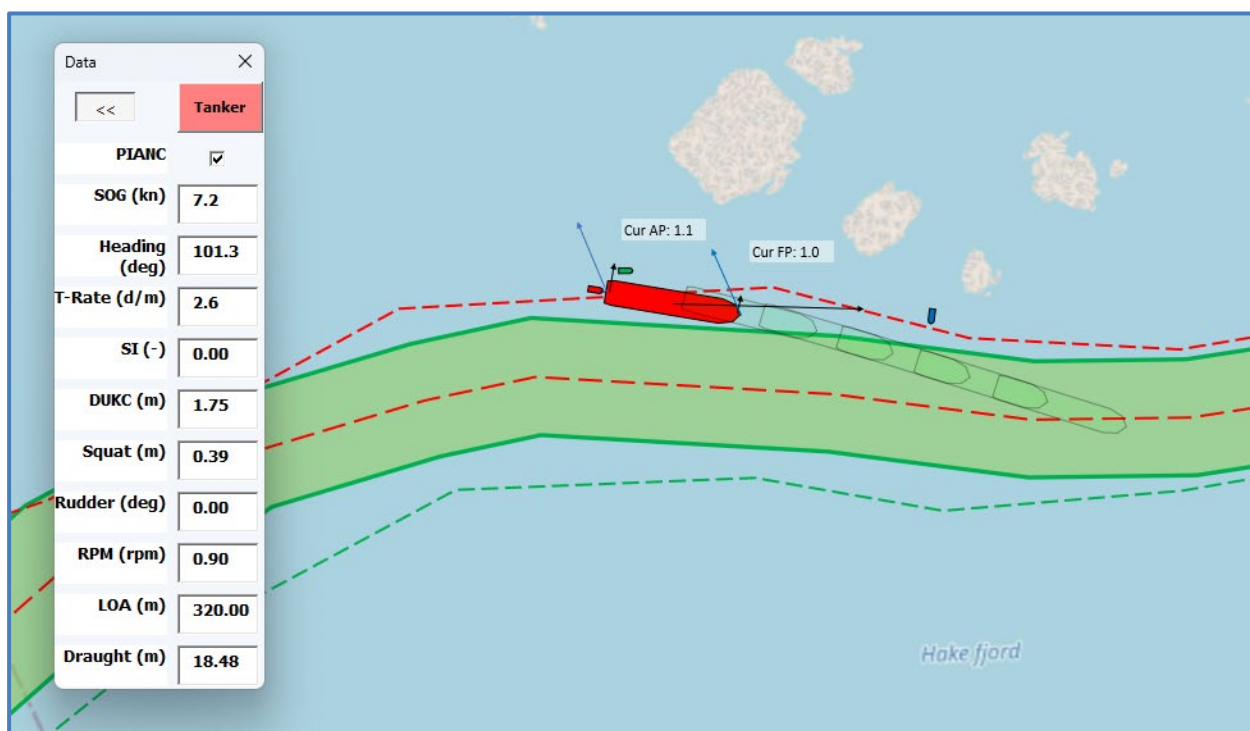


Figur 25 Simulering 1.5 - Måvholmskröken

Simulering 1.6

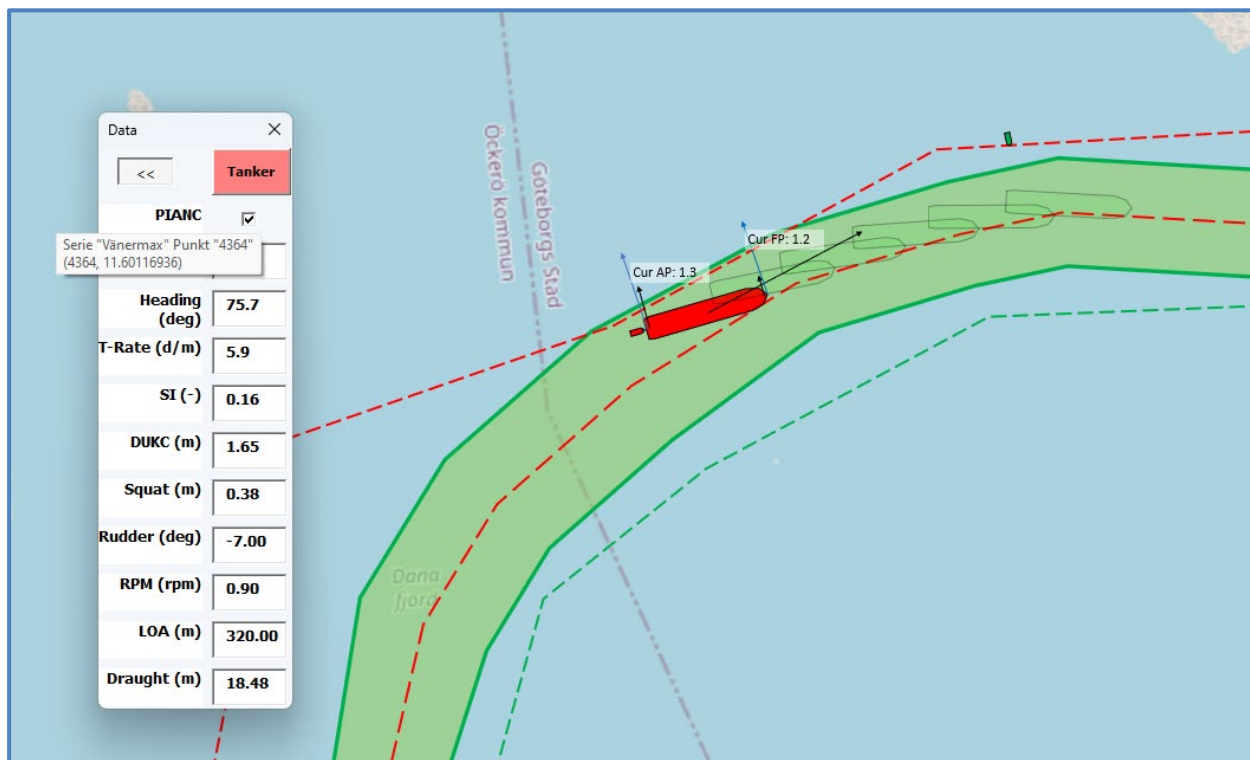


Figur 26 Simulering 1.6 – Måvholmskröken

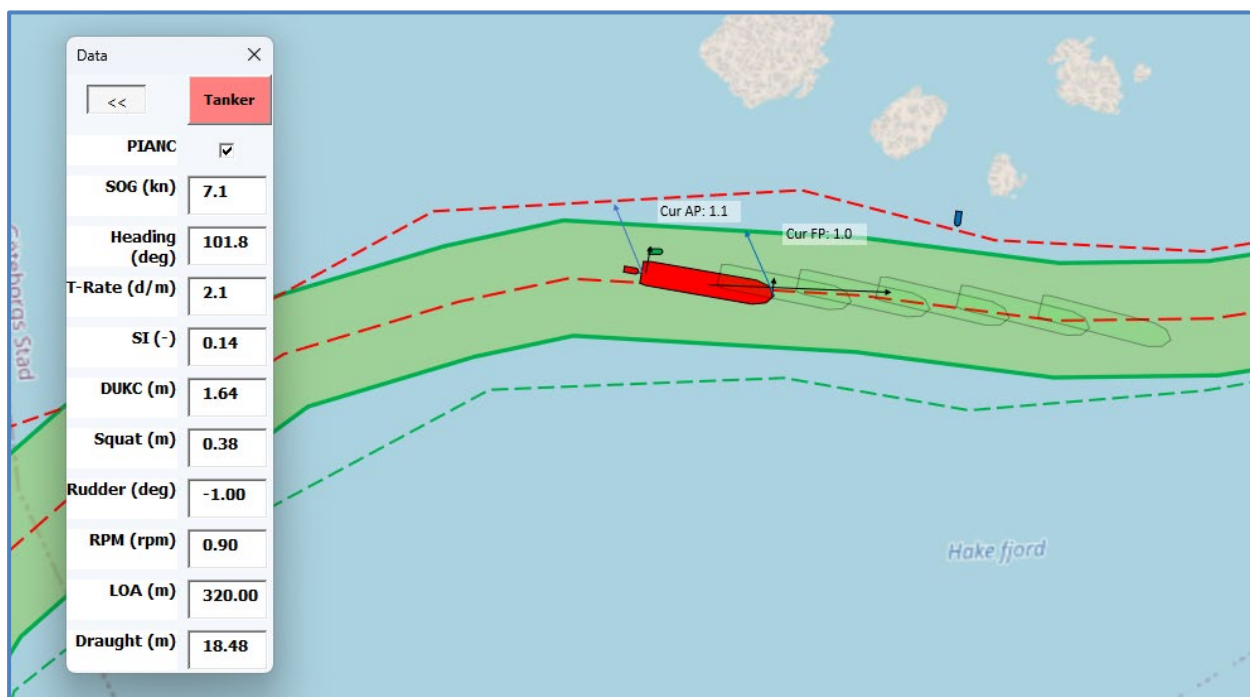


Figur 27 Simulering 1.6 – Måvholmskröken

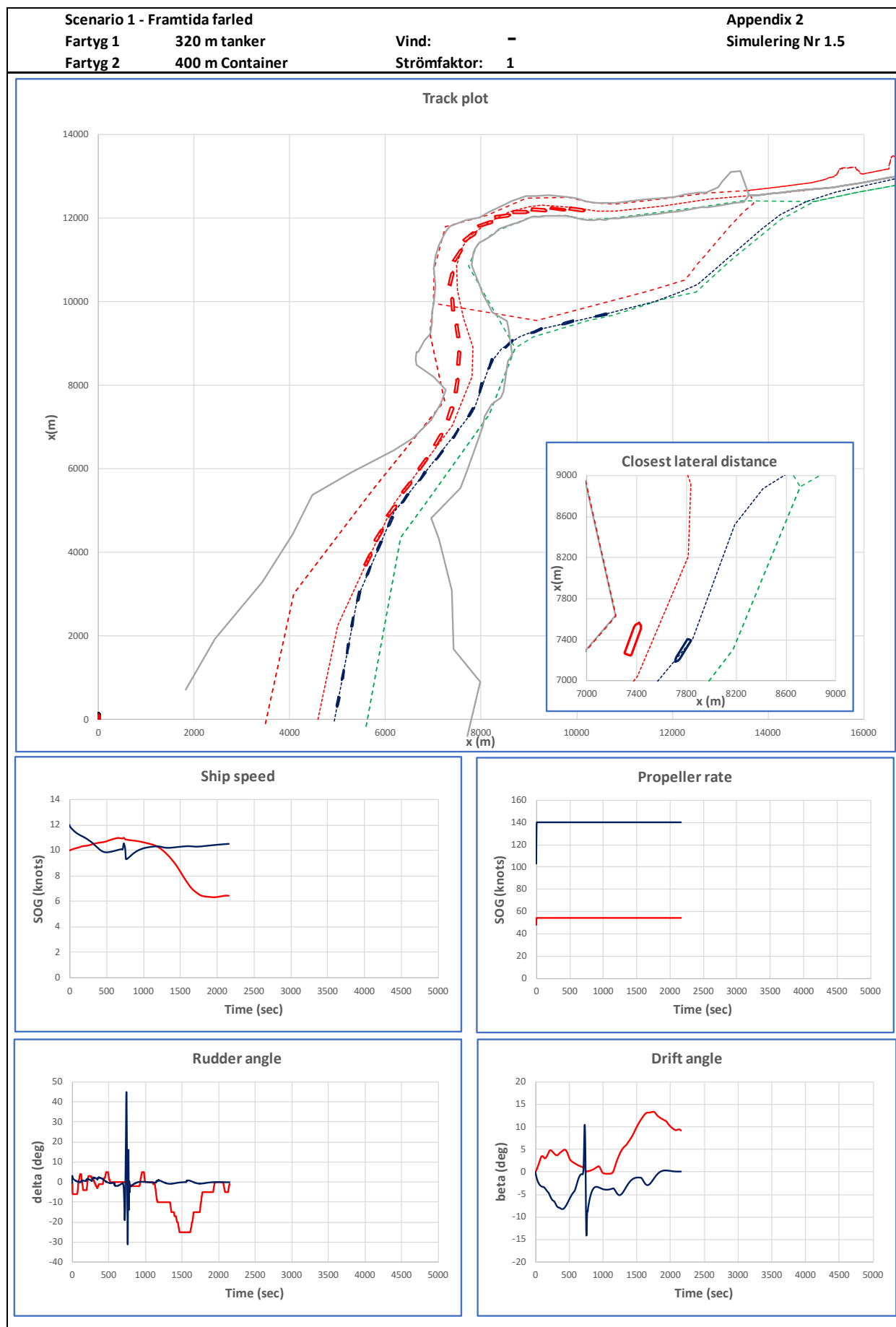
Simulering 1.7



Figur 28 Simulering 1.7 – Måvholmskröken

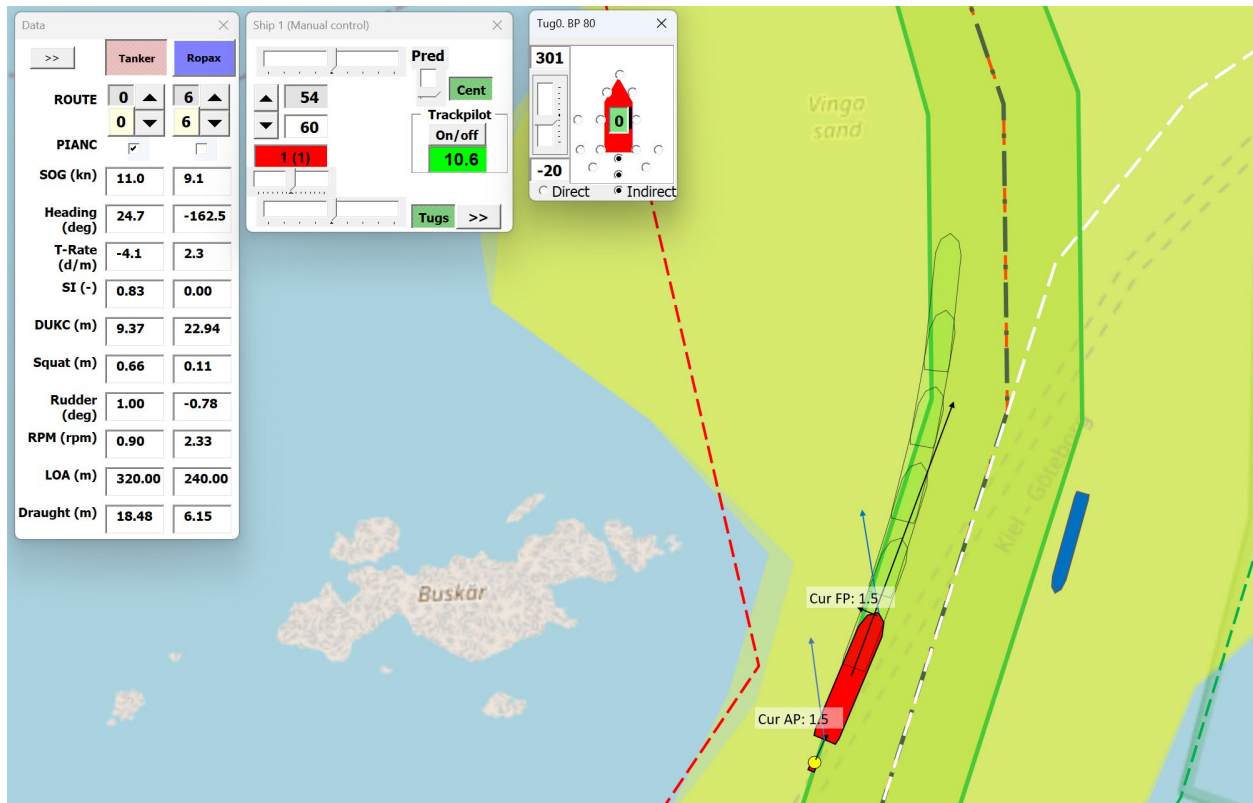


Figur 29 Simulering 1.7 – Måvholmskröken



Figur 30 Simulering 1.7 – Banplott och tidshistorier

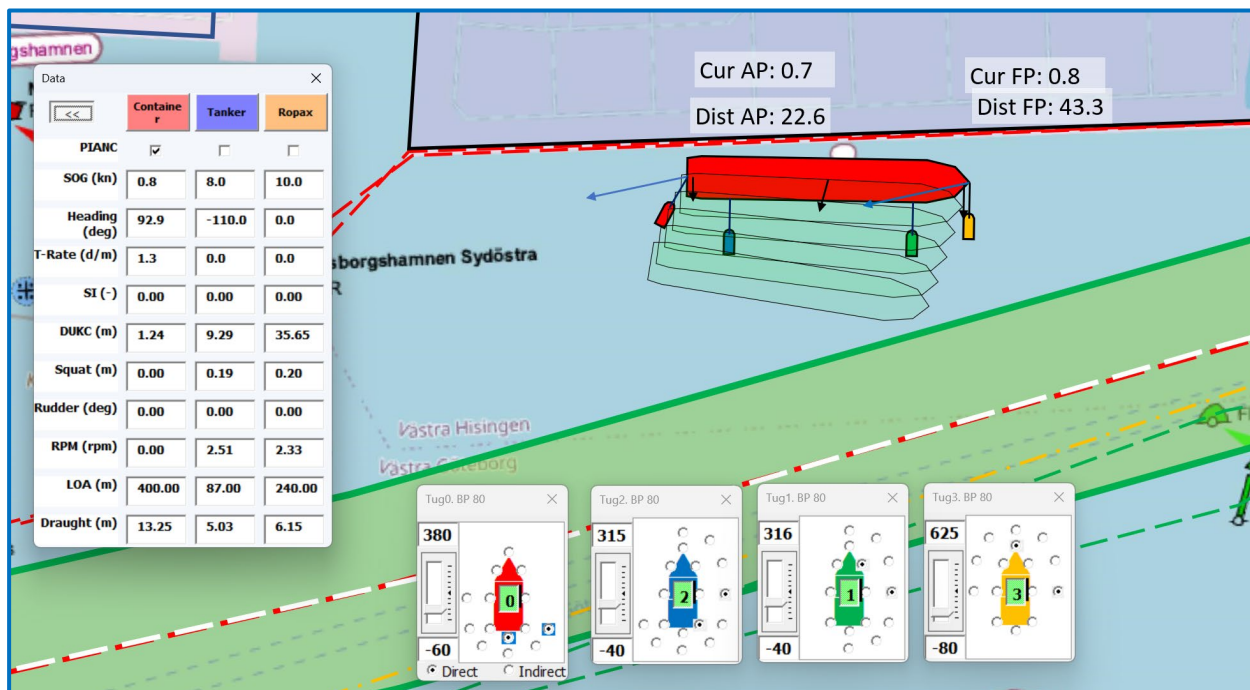
Simulering 1.8



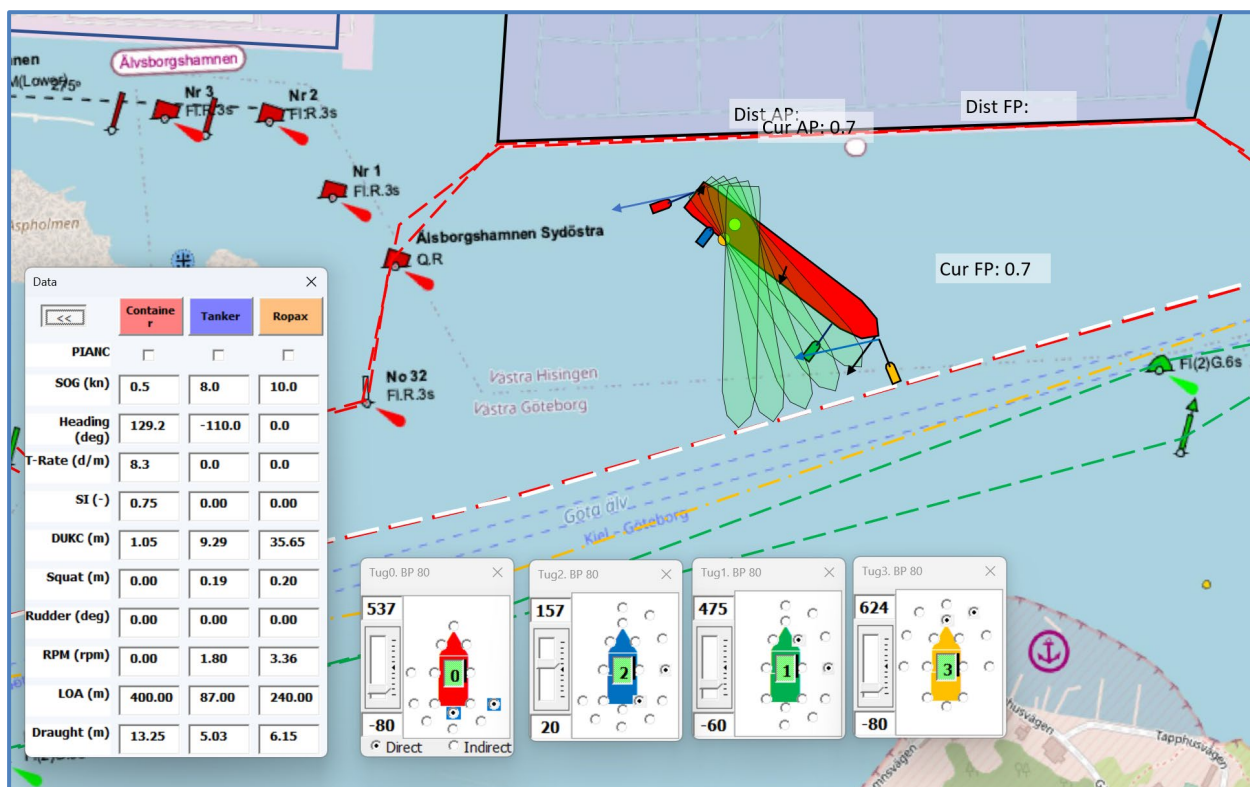
Figur 31 Simulering 1.8 – Möte med Ropax

Scenario 2

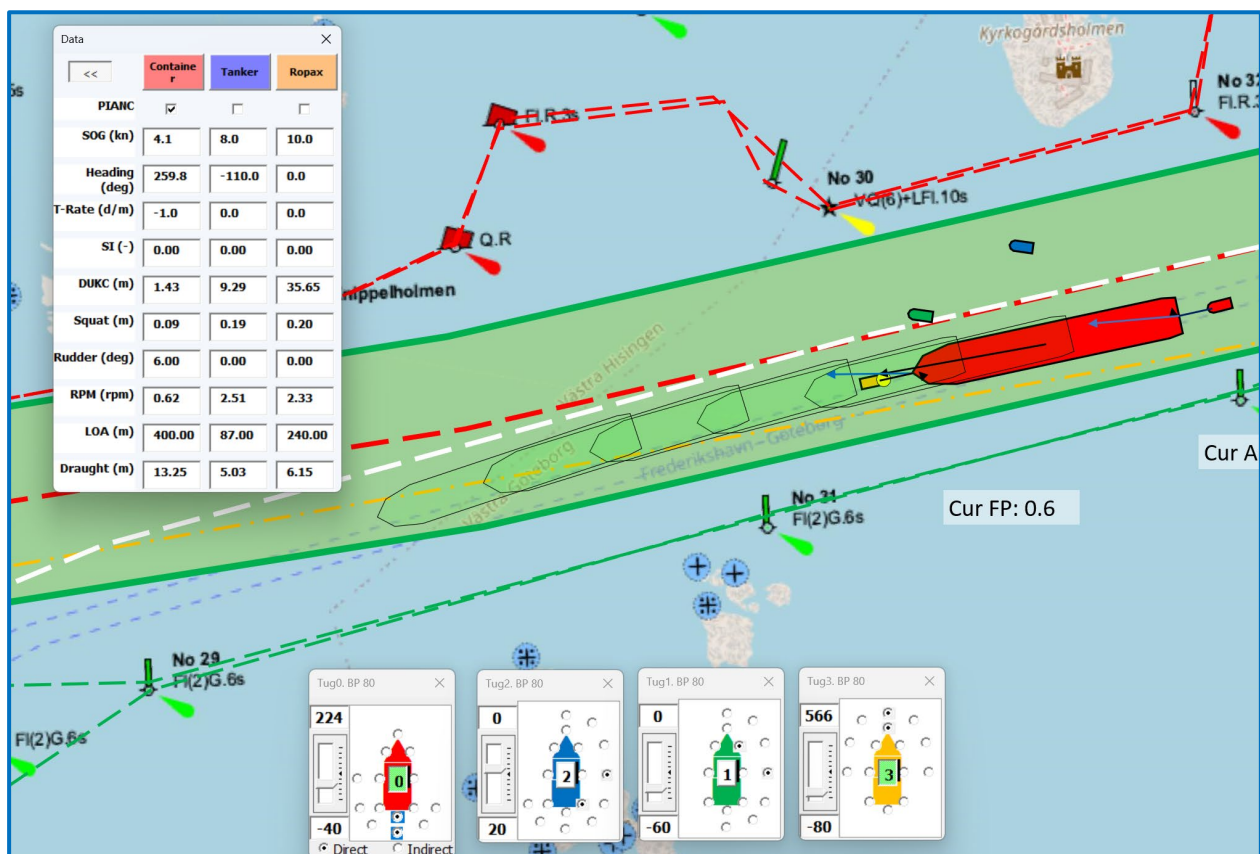
Simulering 2.1



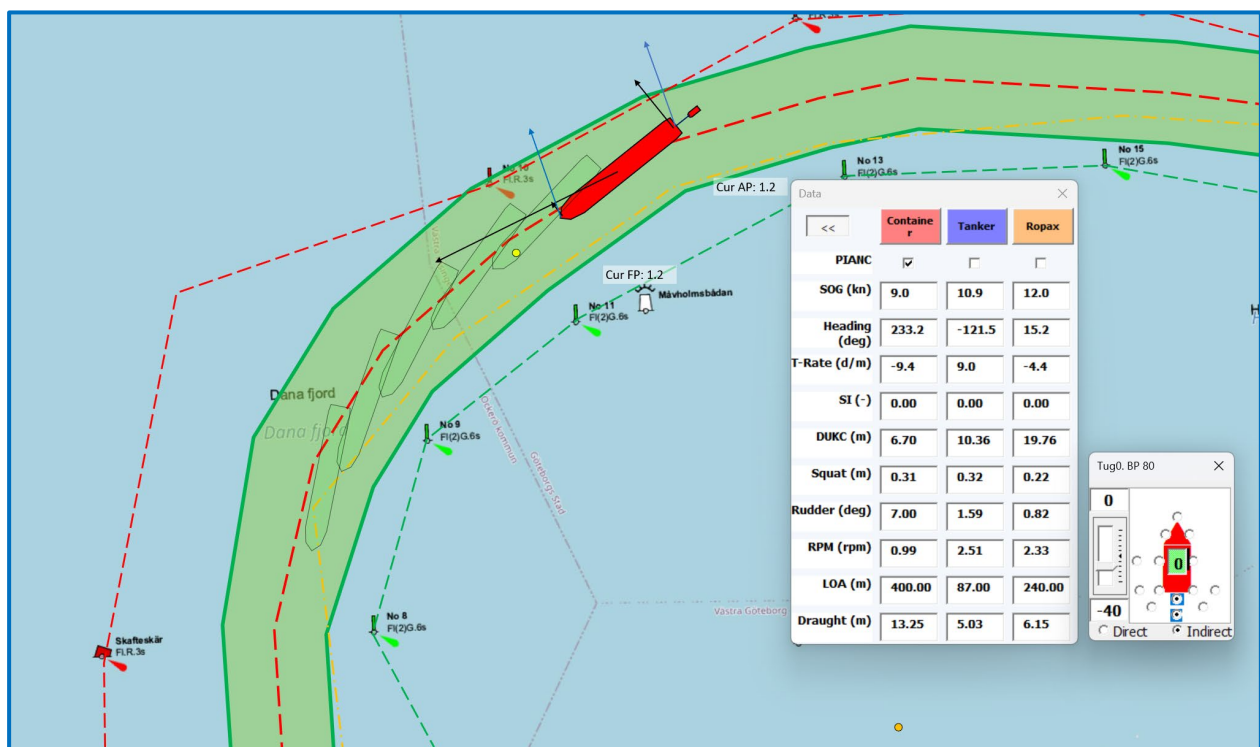
Figur 32 Simulering 2.1 Avgång från kaj i Skandiahamnen



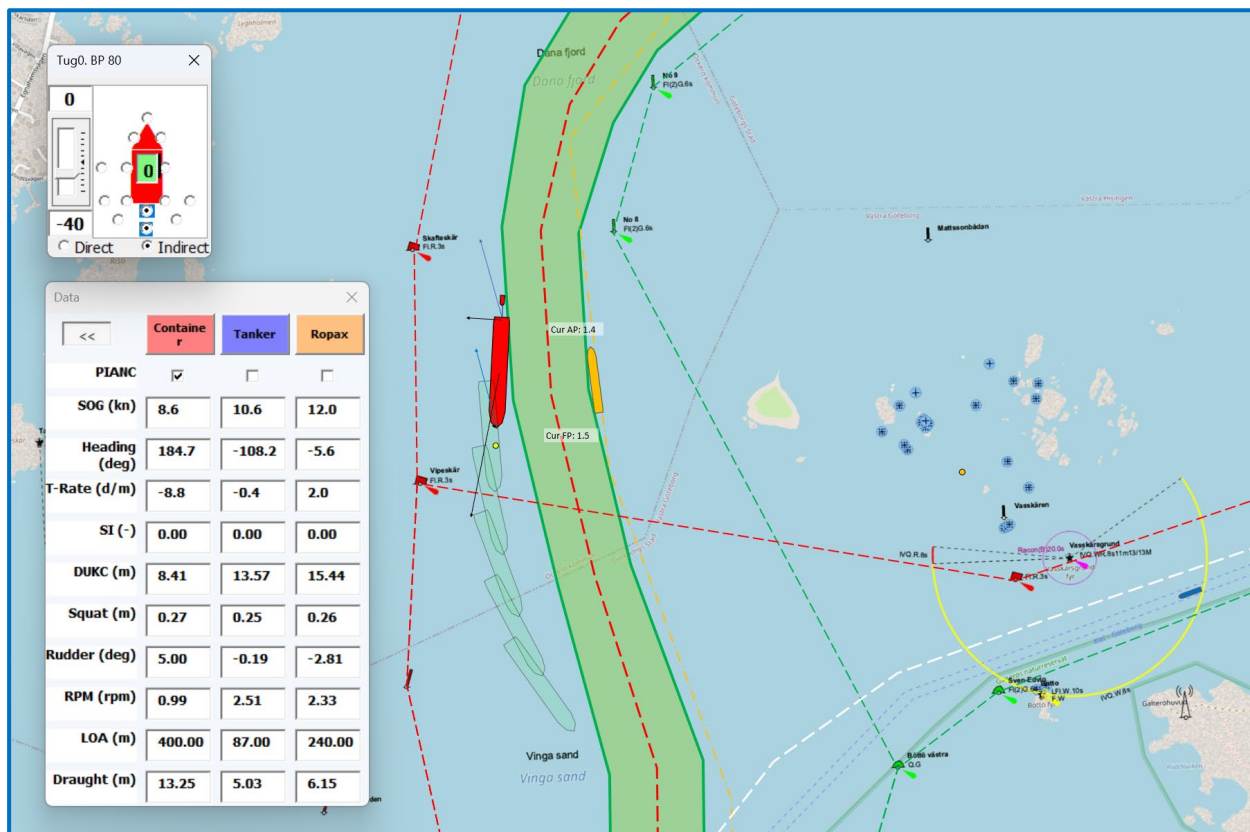
Figur 33 Simulering 2.1 – Vändning. Notera pivotpunkt och svängningscentrum



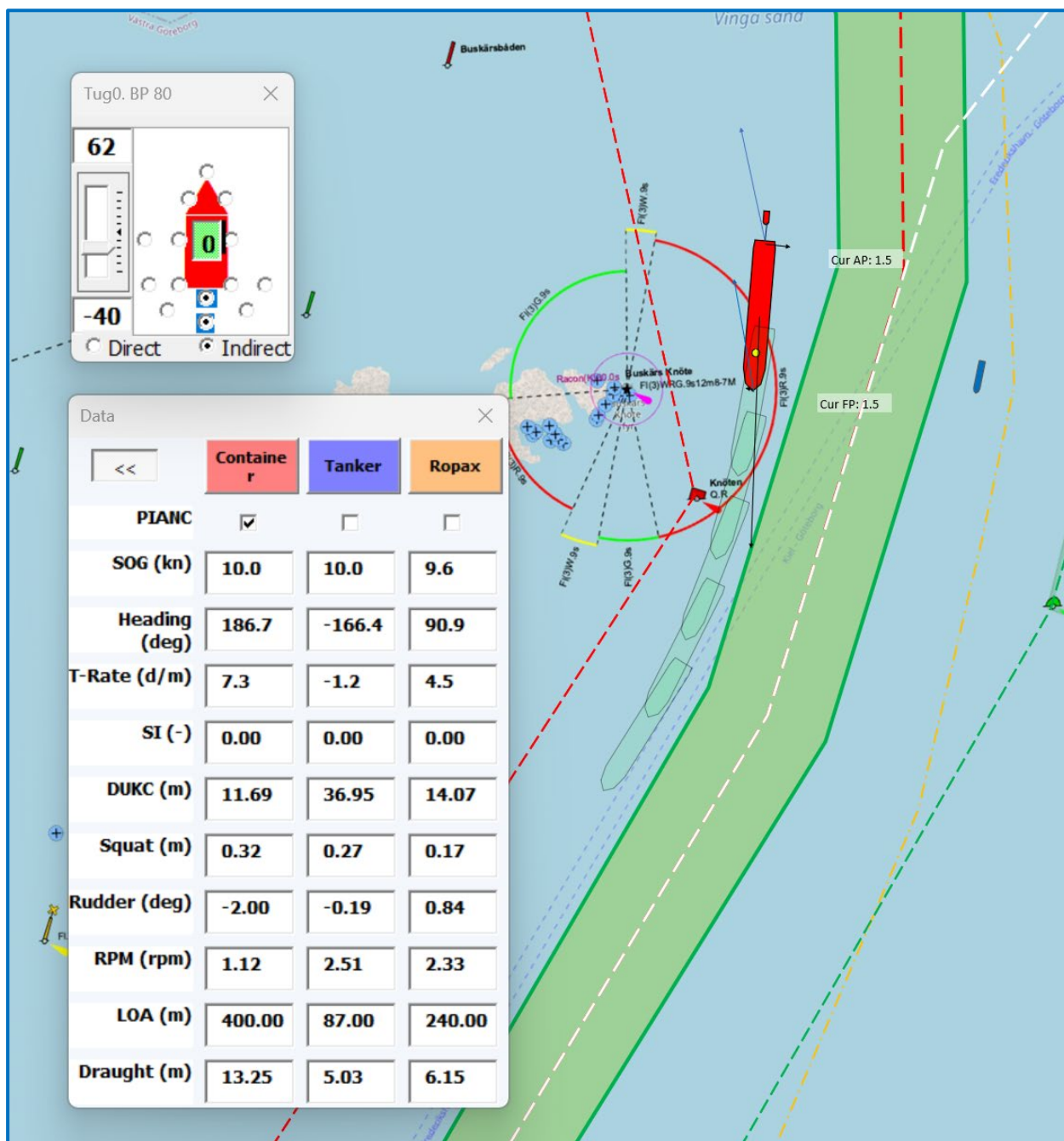
Figur 34 Simulering 2.1 – De två bogserbåtarna på sidan kopplas loss och lämnar



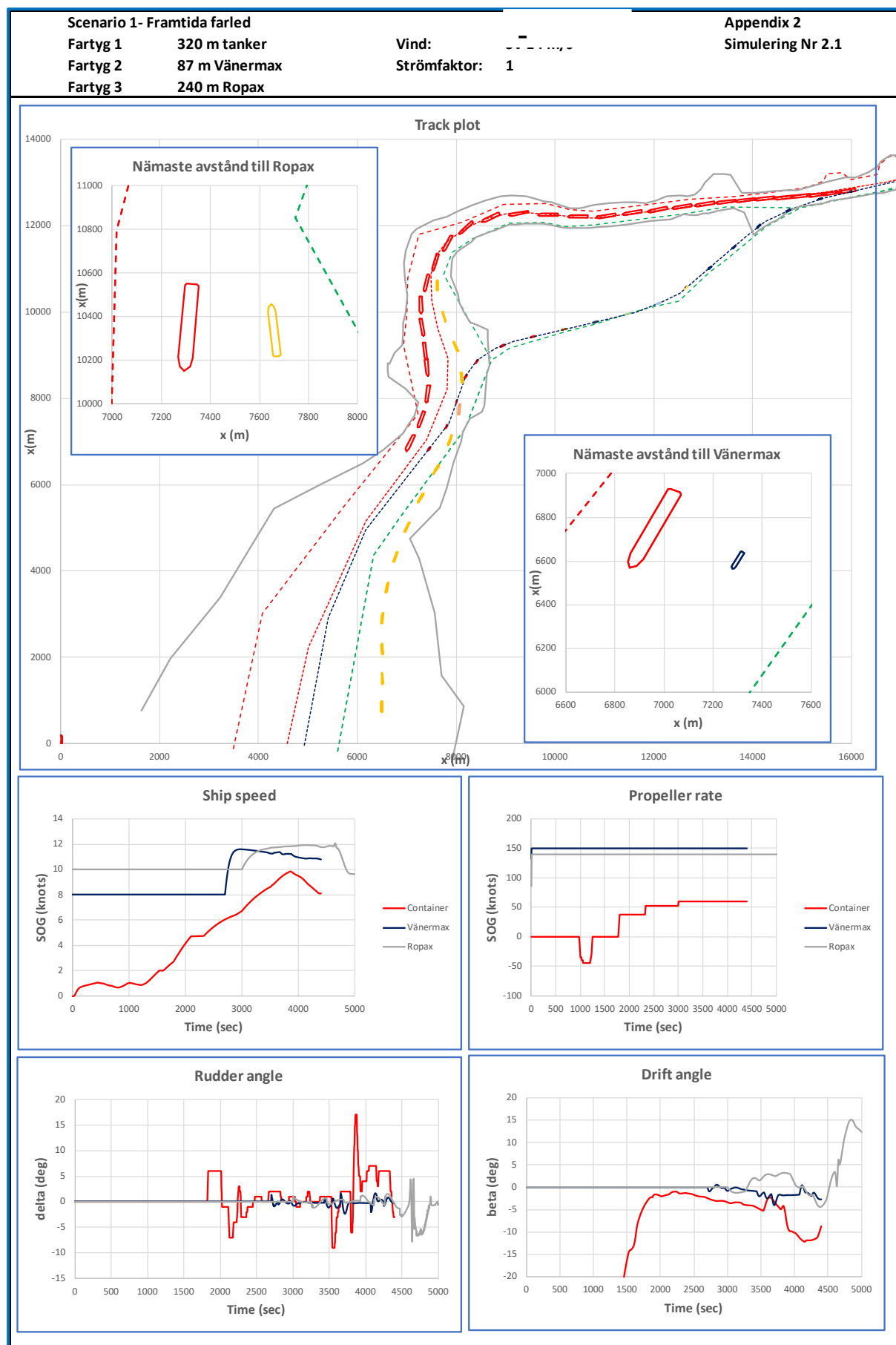
Figur 35 Simulering 2.1 - Mävholmskröken



Figur 36 Möte med Ropax och annalkande Vänermax i Böttöleden

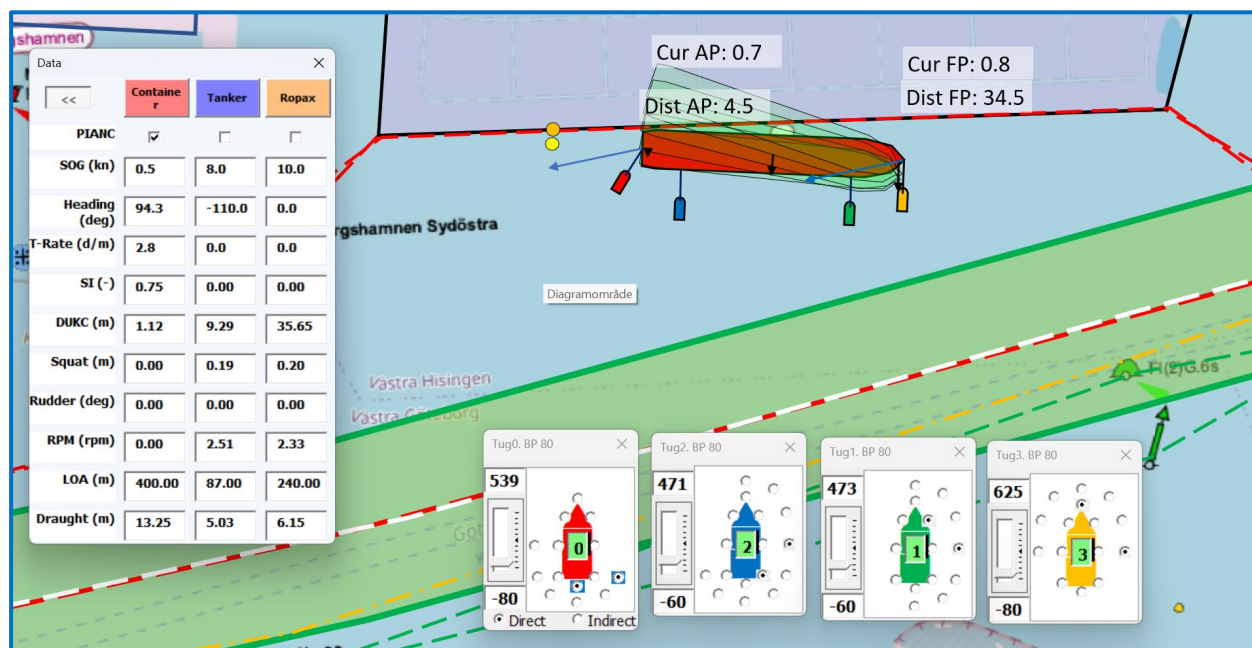


Figur 37 Passage av Buskärs Knöte och med Vänermax gående parallellt

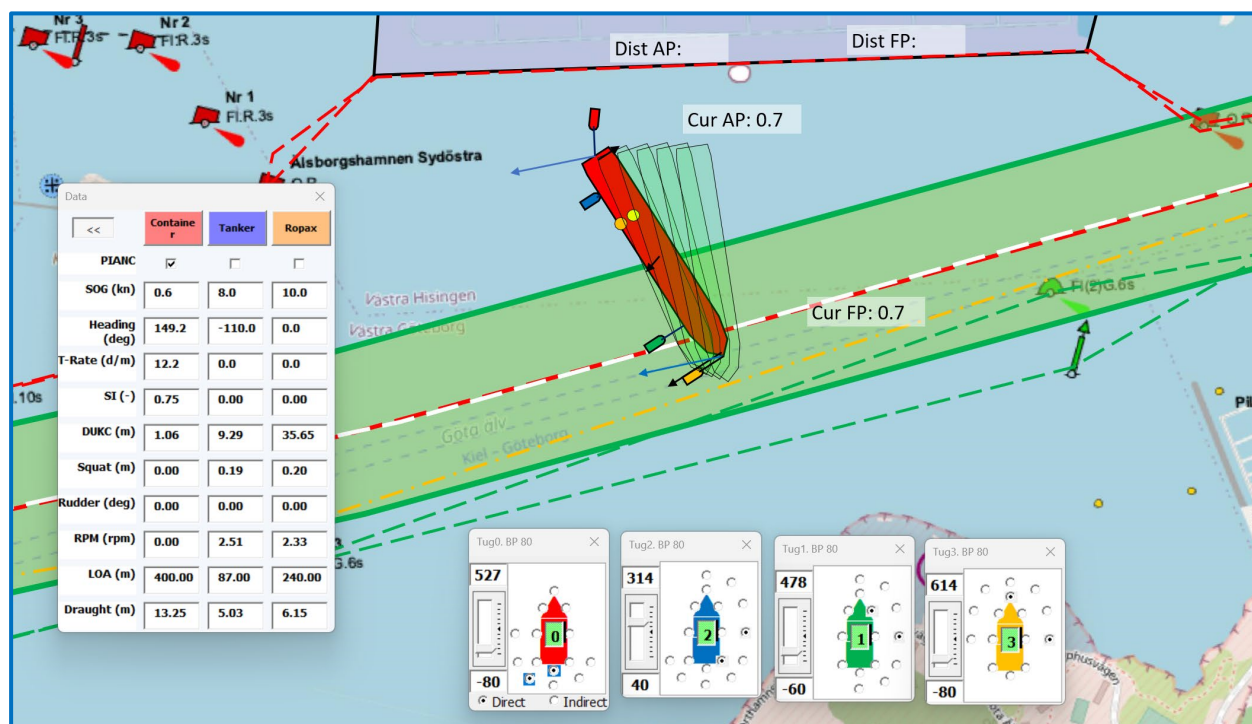


Figur 38 Simulering 2.1 – Banplott och tidsdiagram

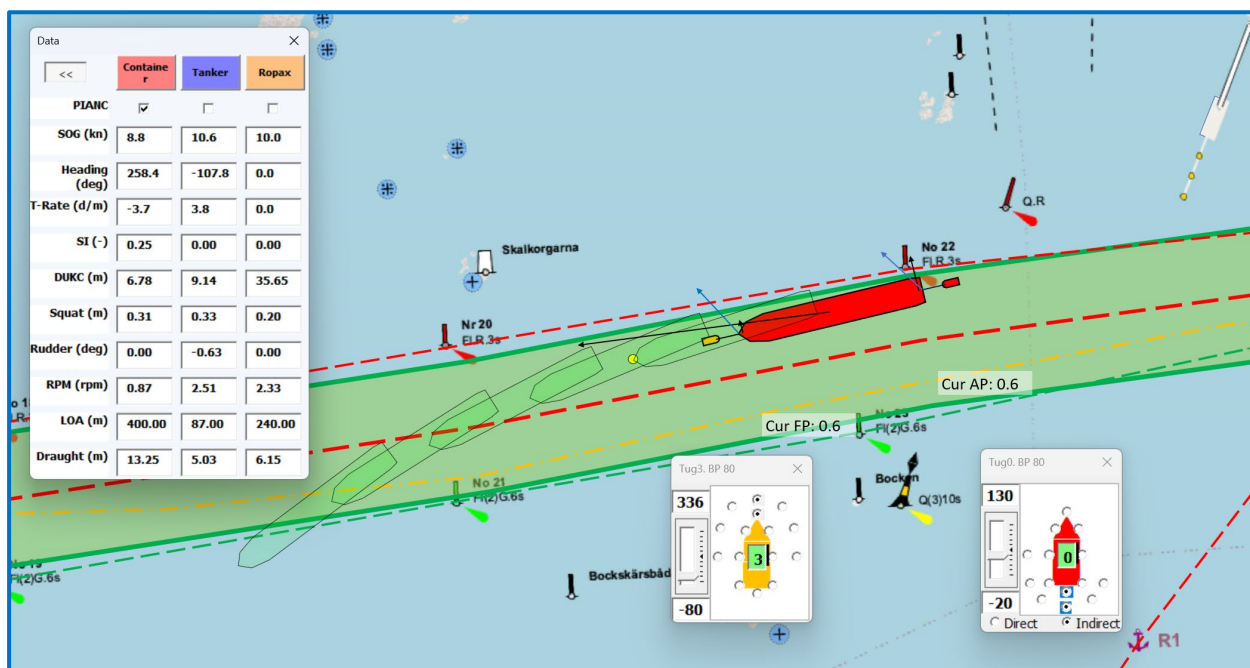
Simulering Nr 2.2



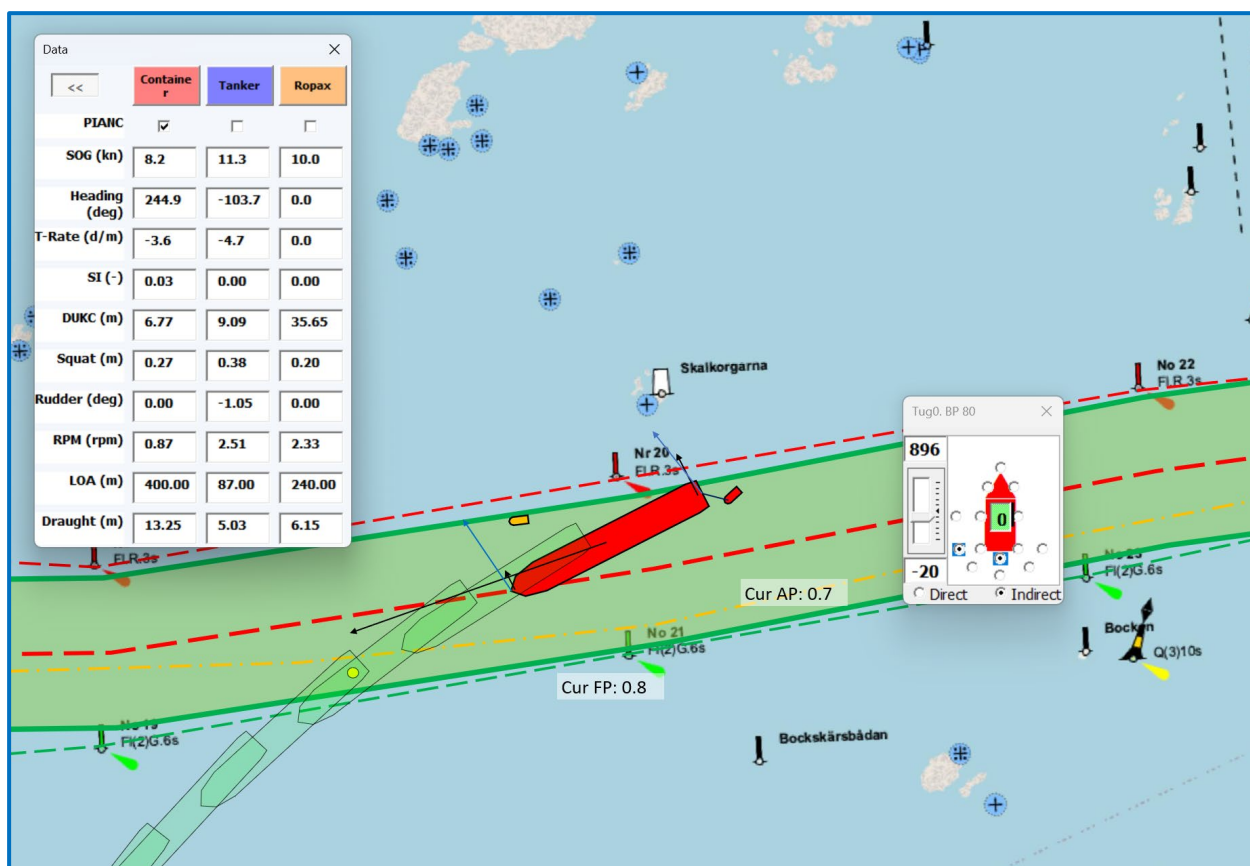
Figur 39 Simulering 2.2 – Utsegling från kaj



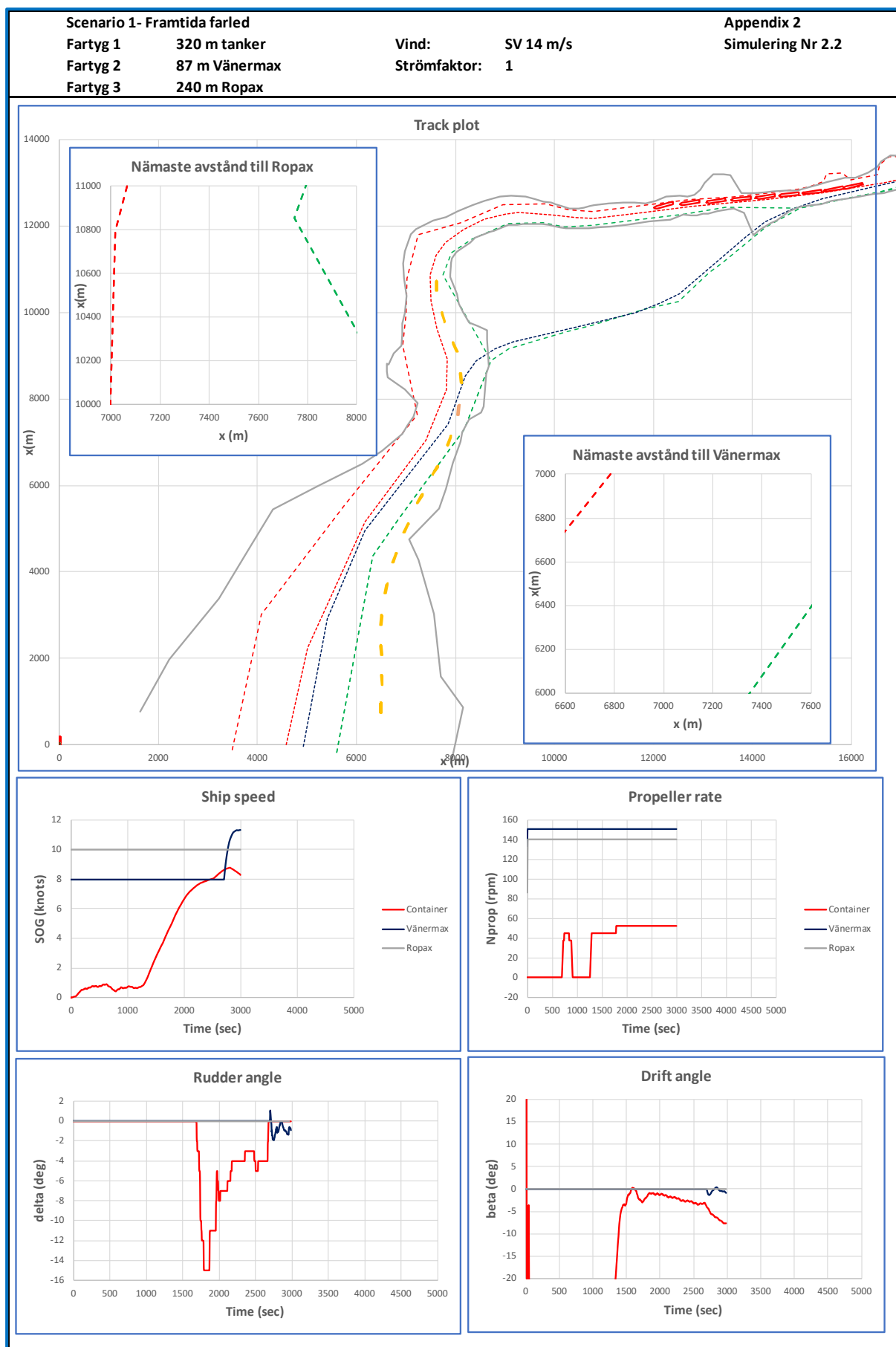
Figur 40 Simulering 2.2 – Vändning



Figur 41 Simulering 2.2 – Acceleration

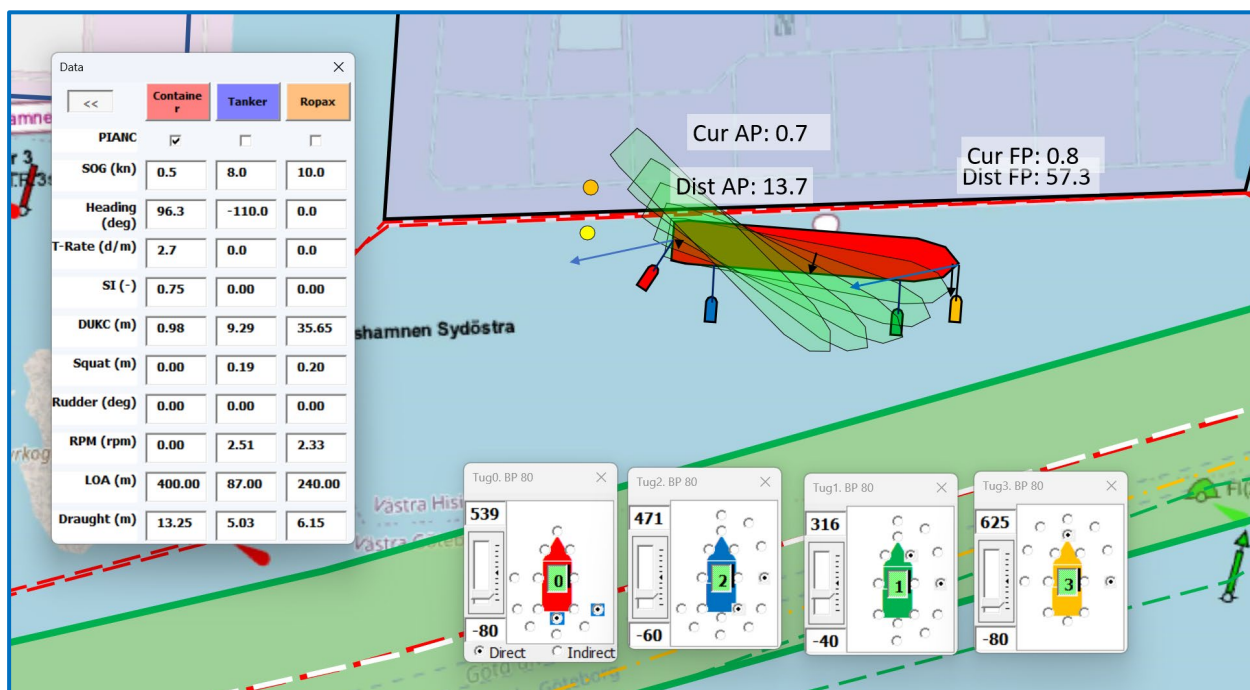


Simulering 2.2 – Drift ut mot babords farledsgräns.

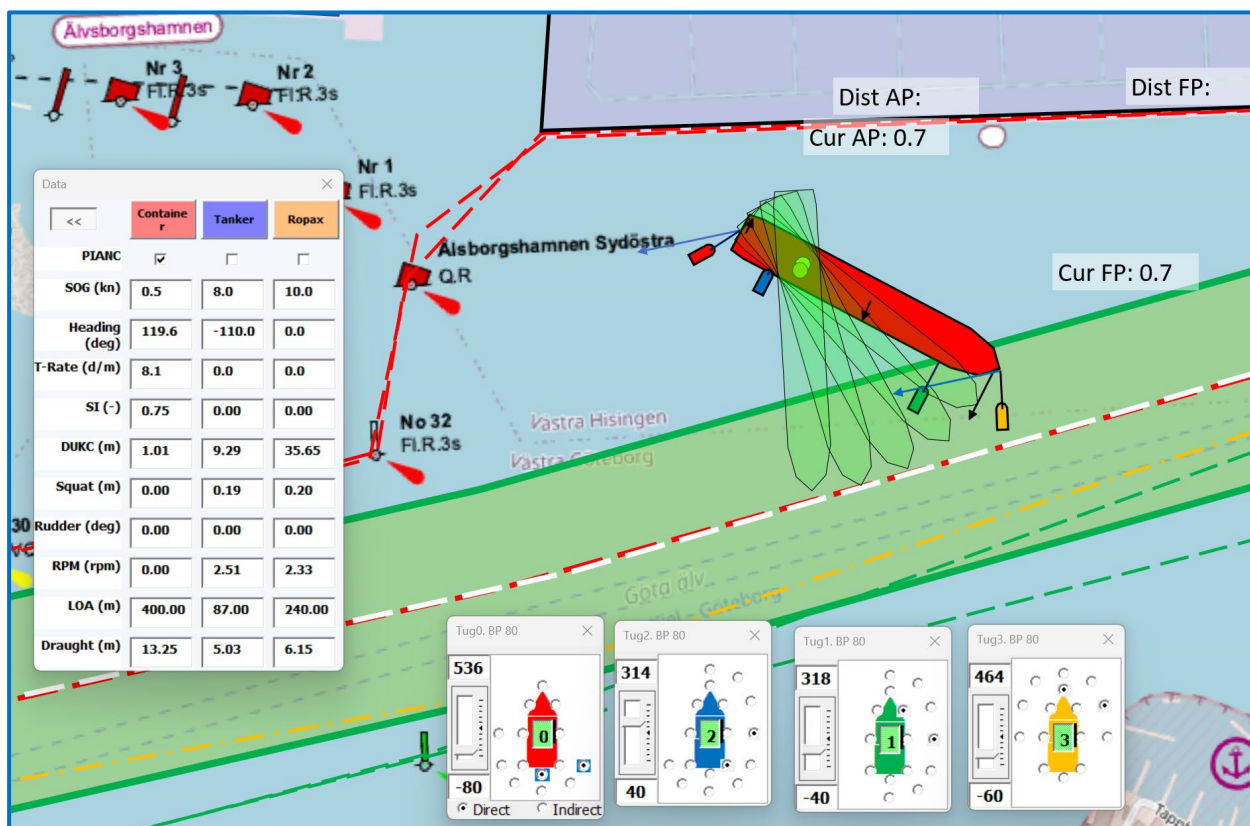


Figur 42 Simulering 2.2 – Banplot och tidshistorier

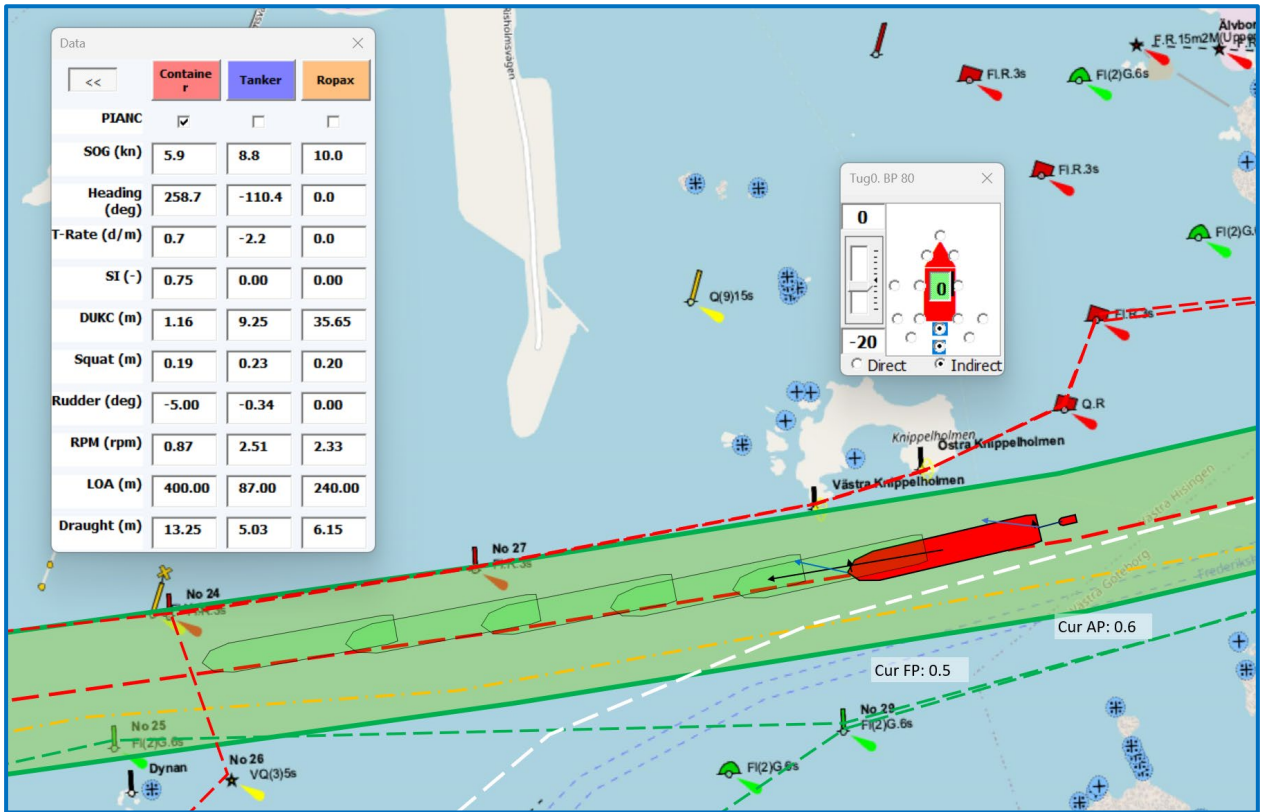
Simulering 2.3



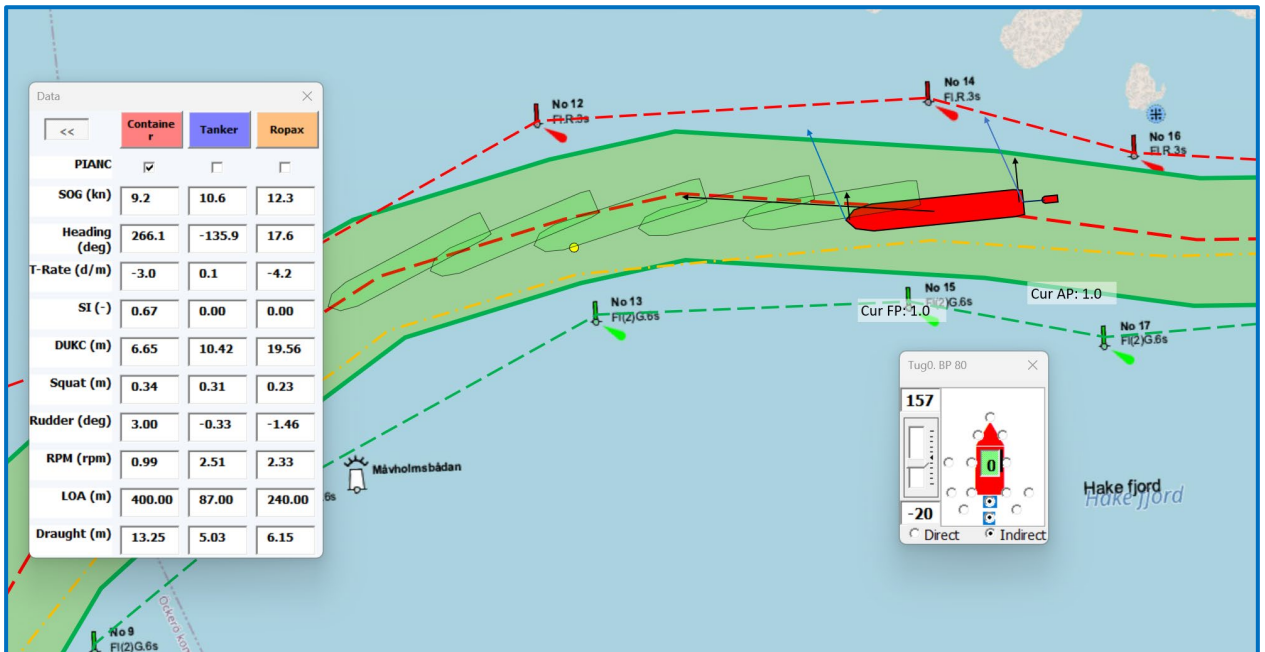
Simulering 2.3 – Avgång från kaj



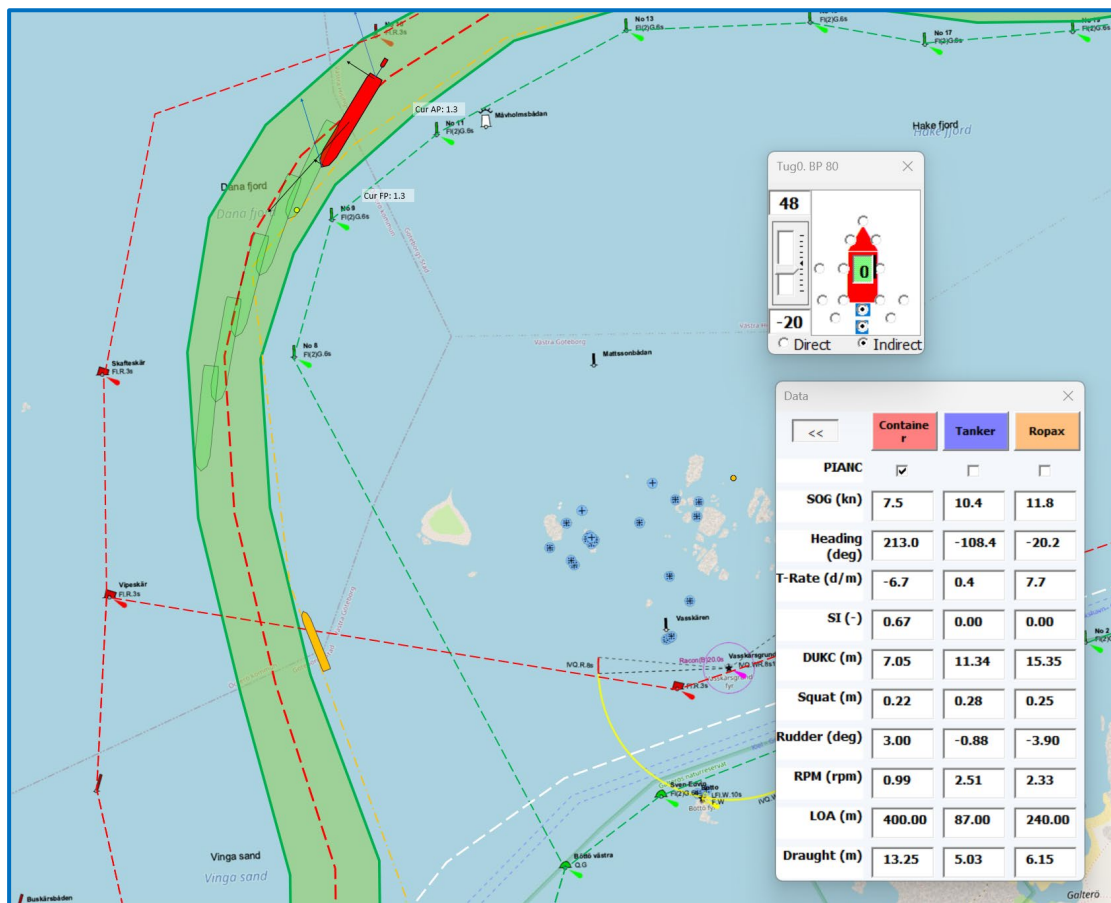
Figur 43 Simulering 2.3 – Vändning av fartyget



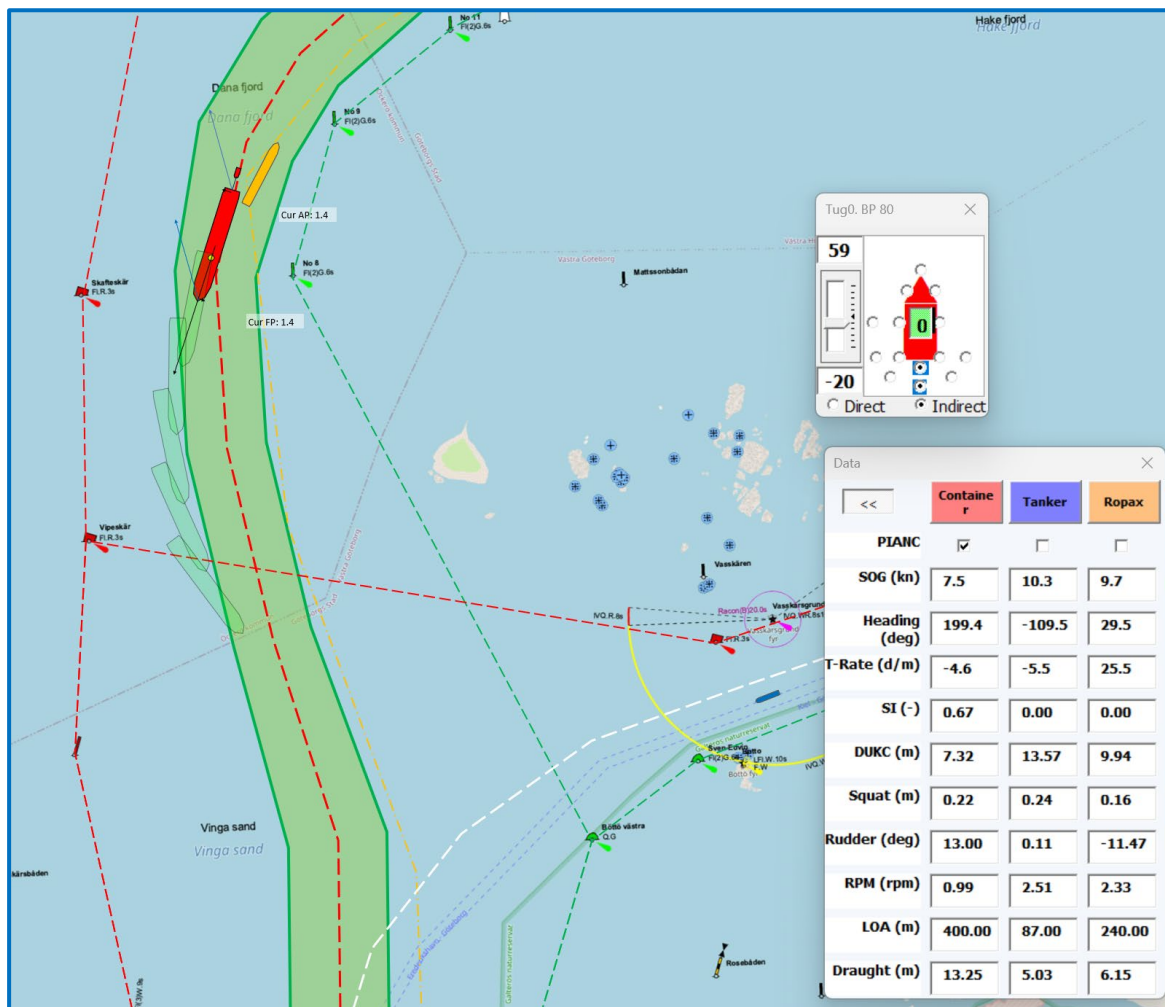
Figur 44 Simulering 2.3 – Acceleration förbi Knippelholmarna



Figur 45 Simulering 2.3 - Måvholmskröken



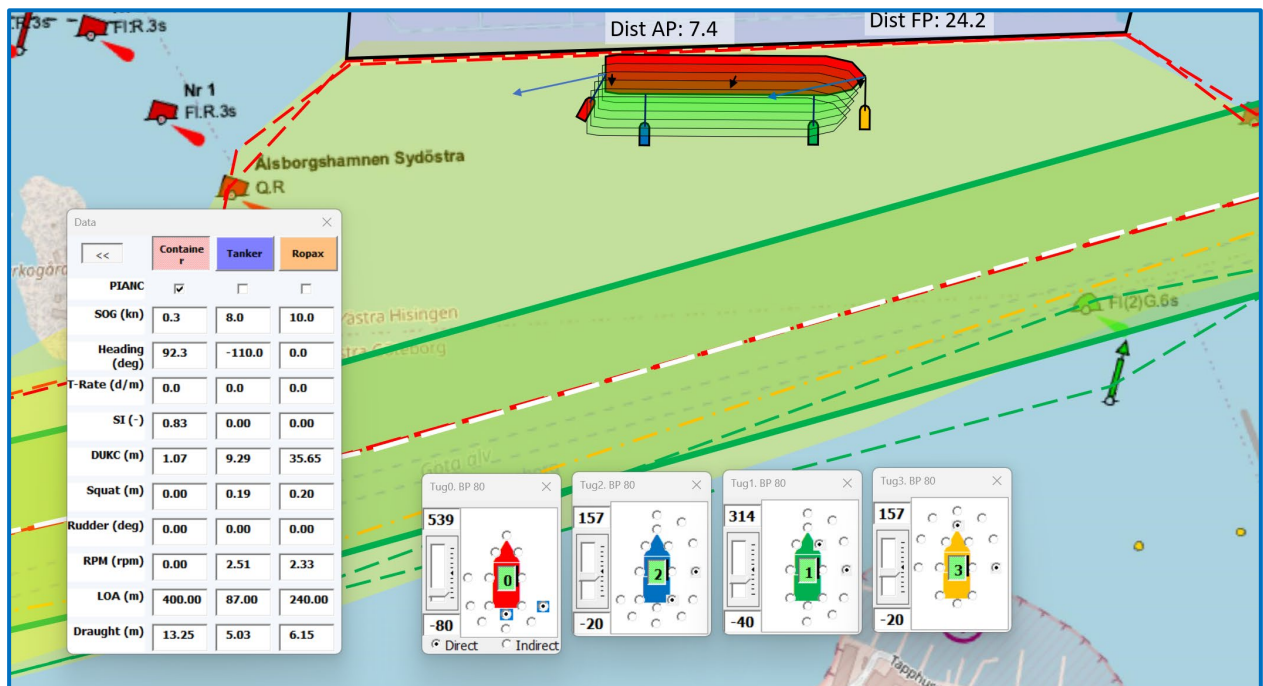
Figur 46 Simulering 2.3 – Möte med Ropax



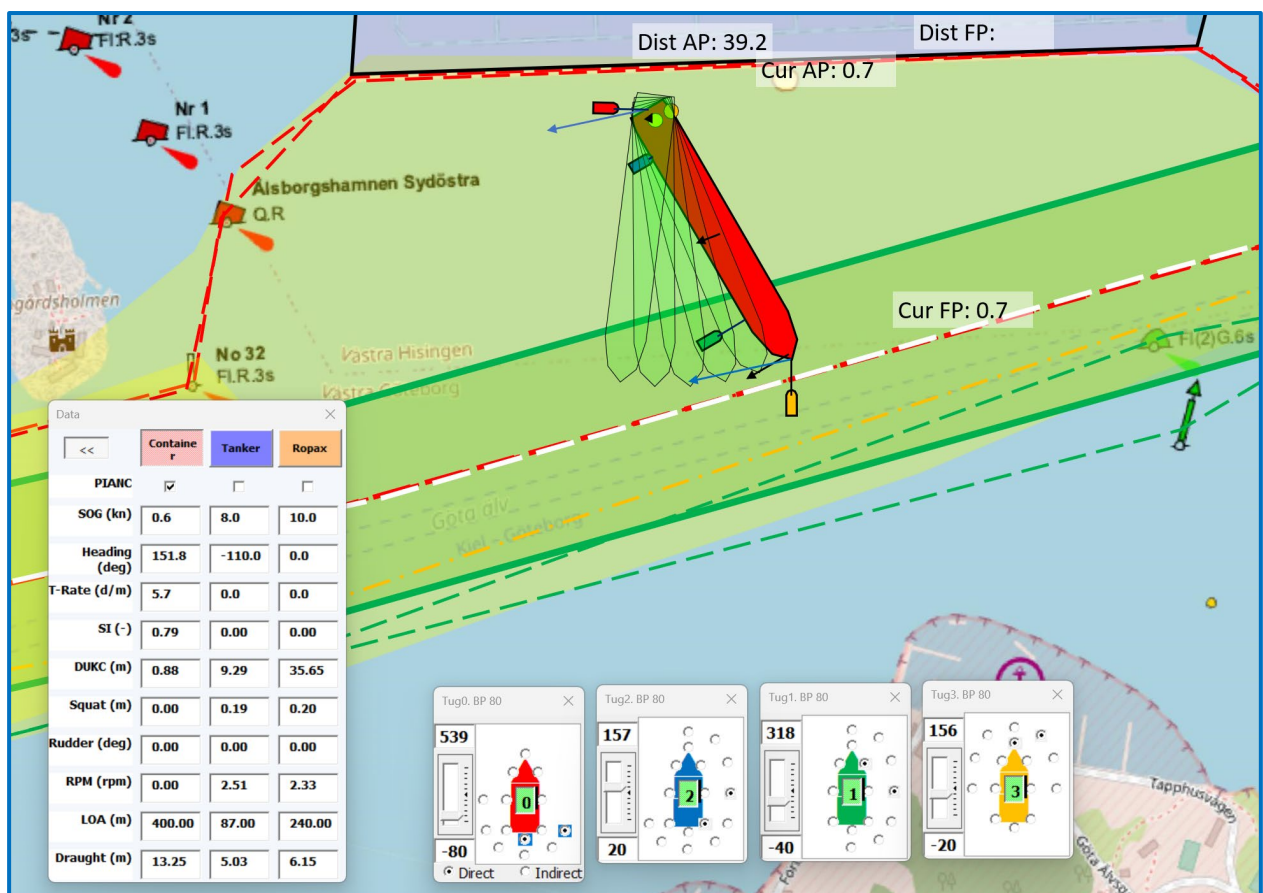
Figur 47 Simulering 2.3 – Möte med Ropax

Banplott saknas för Simulering 2.3

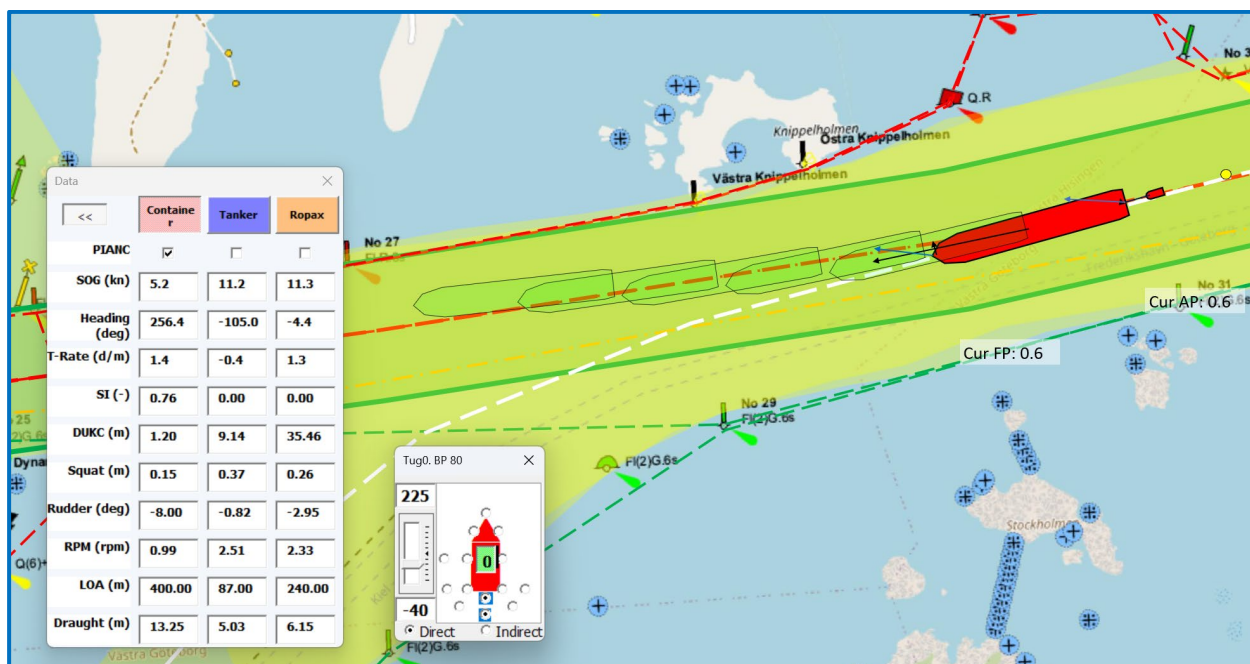
Simulering 2.4



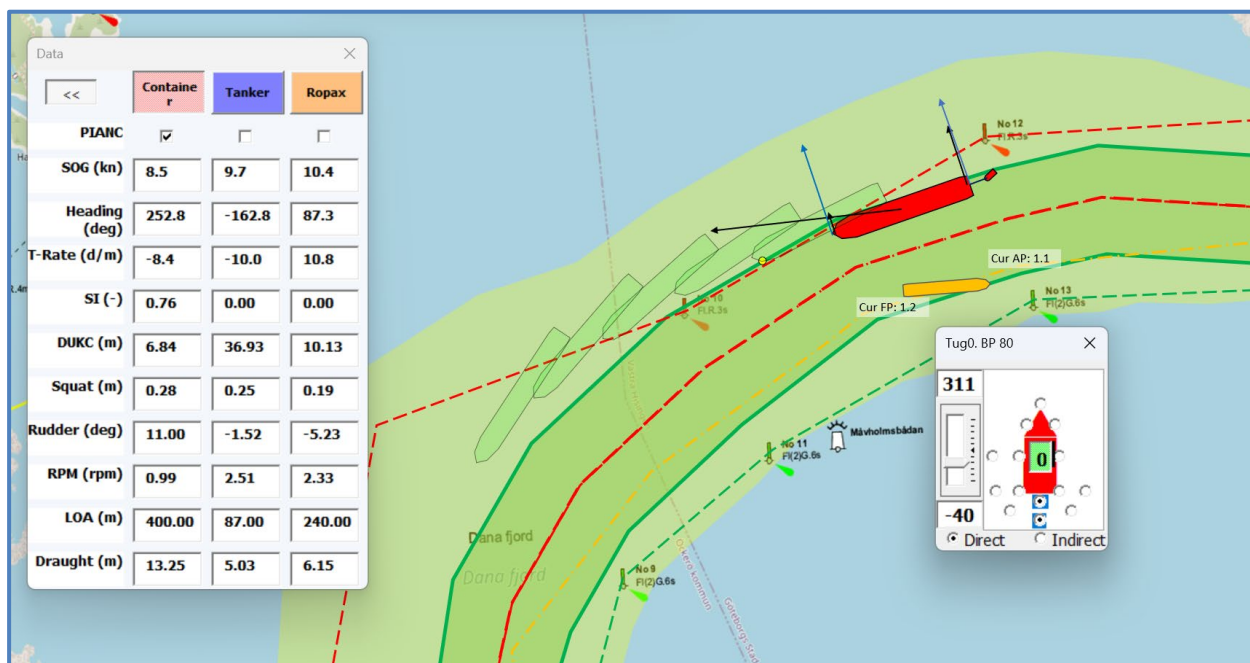
Figur 48 Simulering 2.4 – Avgång från kaj



Figur 49 Simulering 2.4 – Vändning



Figur 50 Acceleration förbi Knippelholmarna



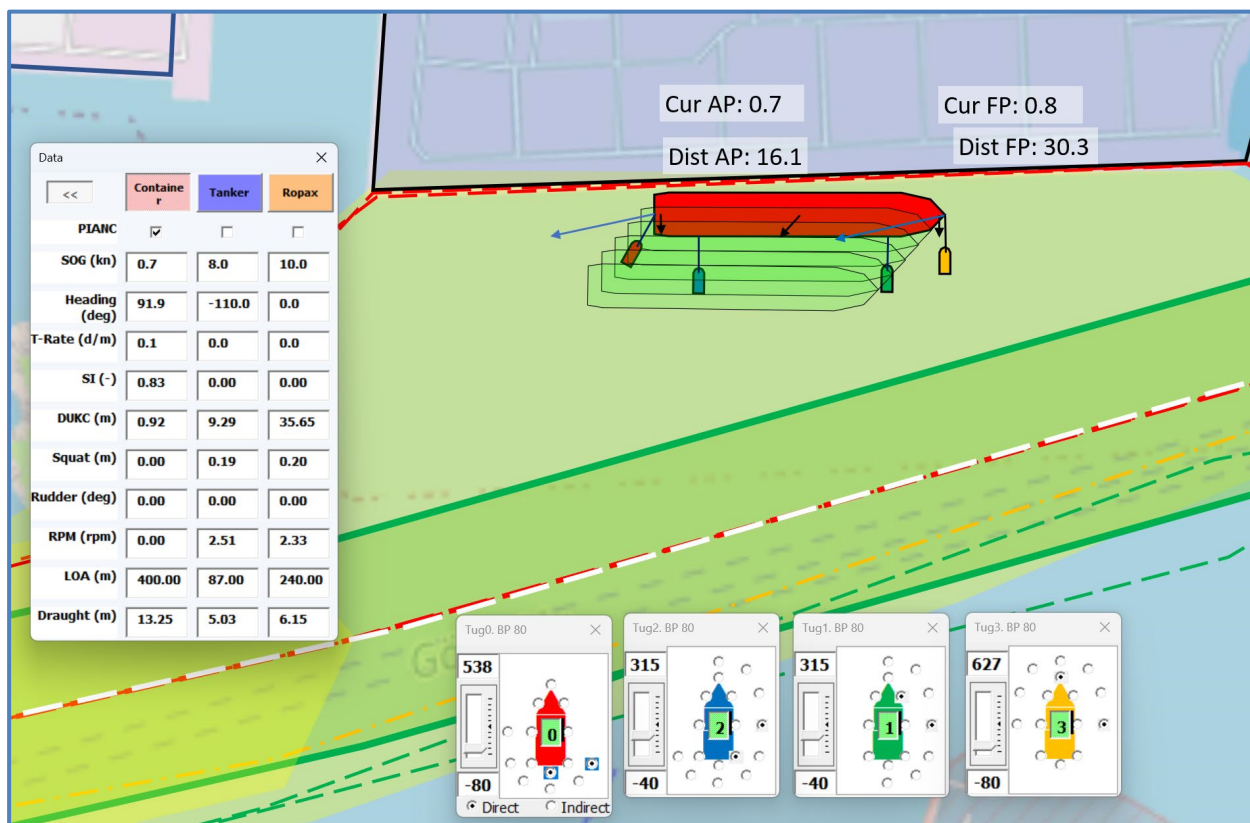
Figur 51 Simulering 2.4 - Möte med Ropax i Mävholmskröken



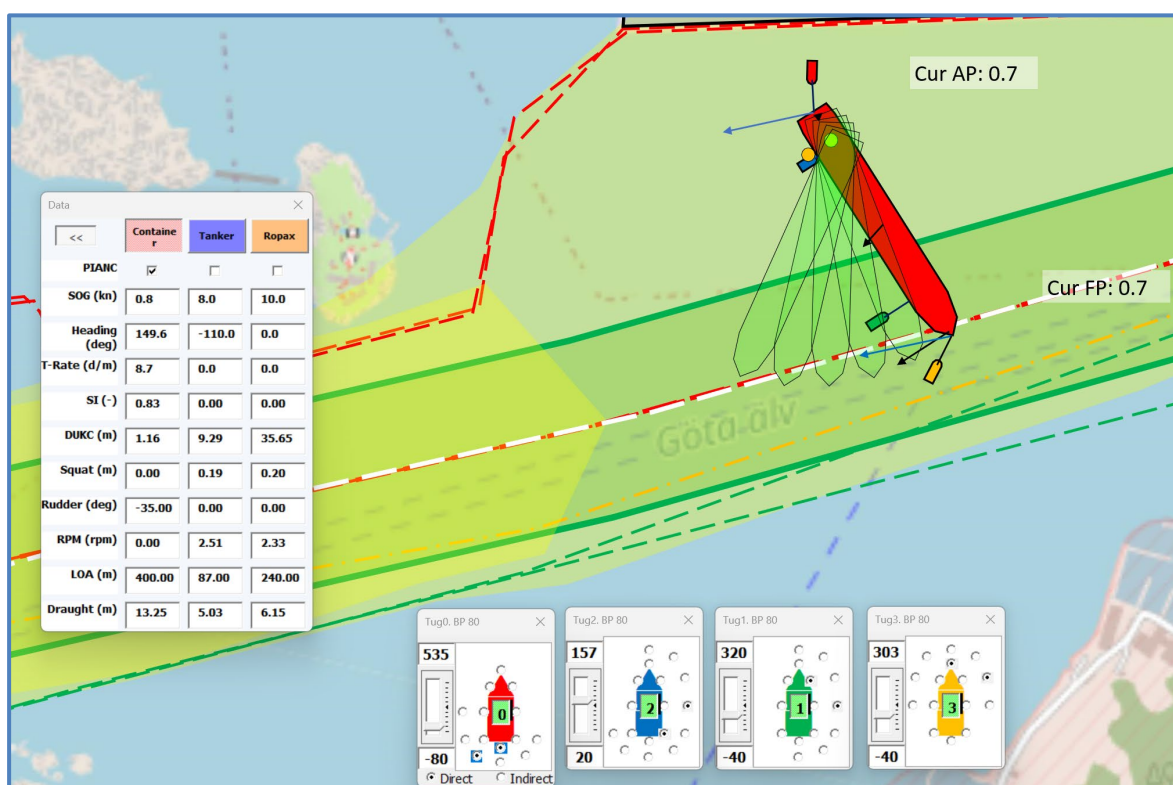
Figur 52 Simulering 2.4 – Efter möte med ropax

Banplott saknas för simulering 2.4

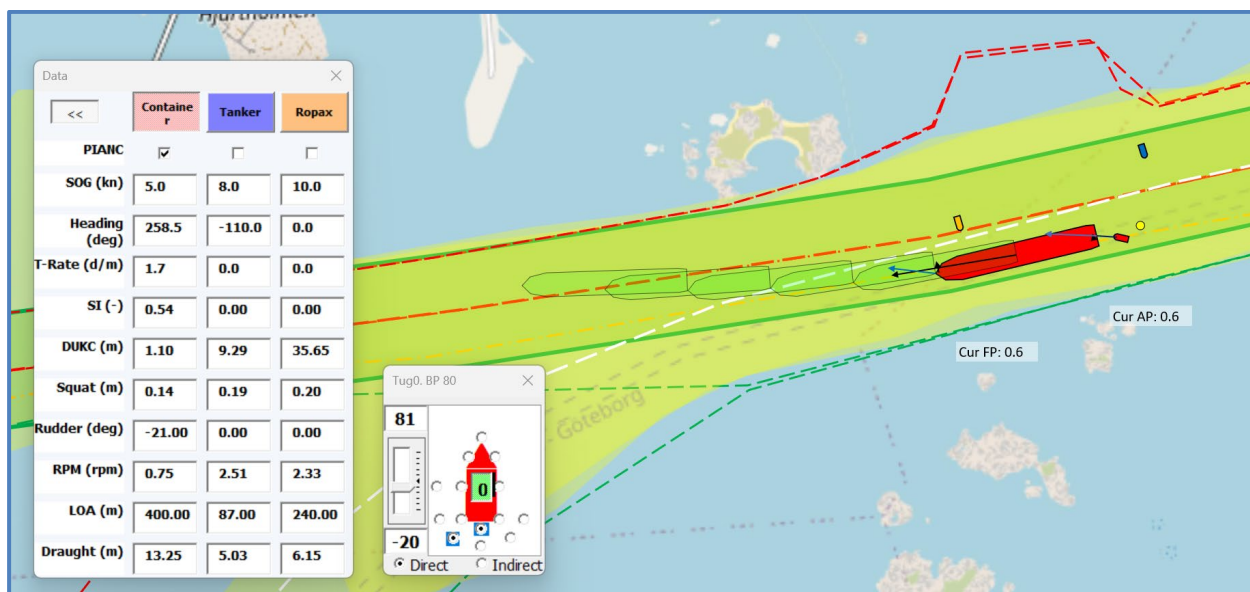
1.1. Simulering 2.5



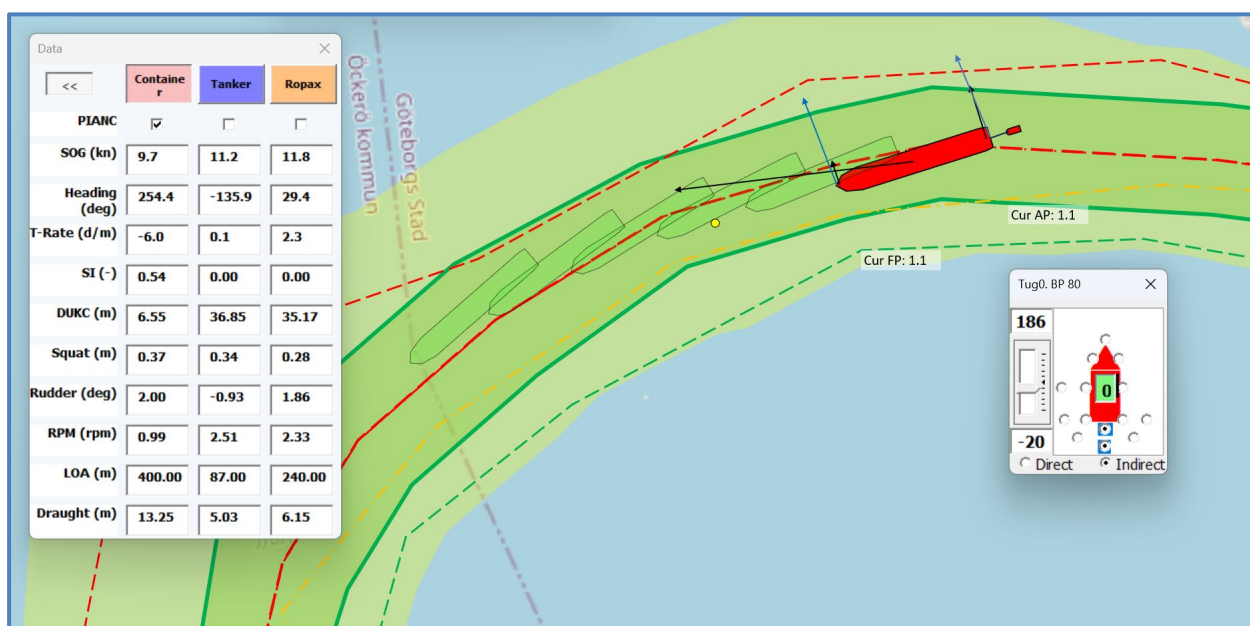
Figur 53 Simulering 2.5 – Avgång från kaj



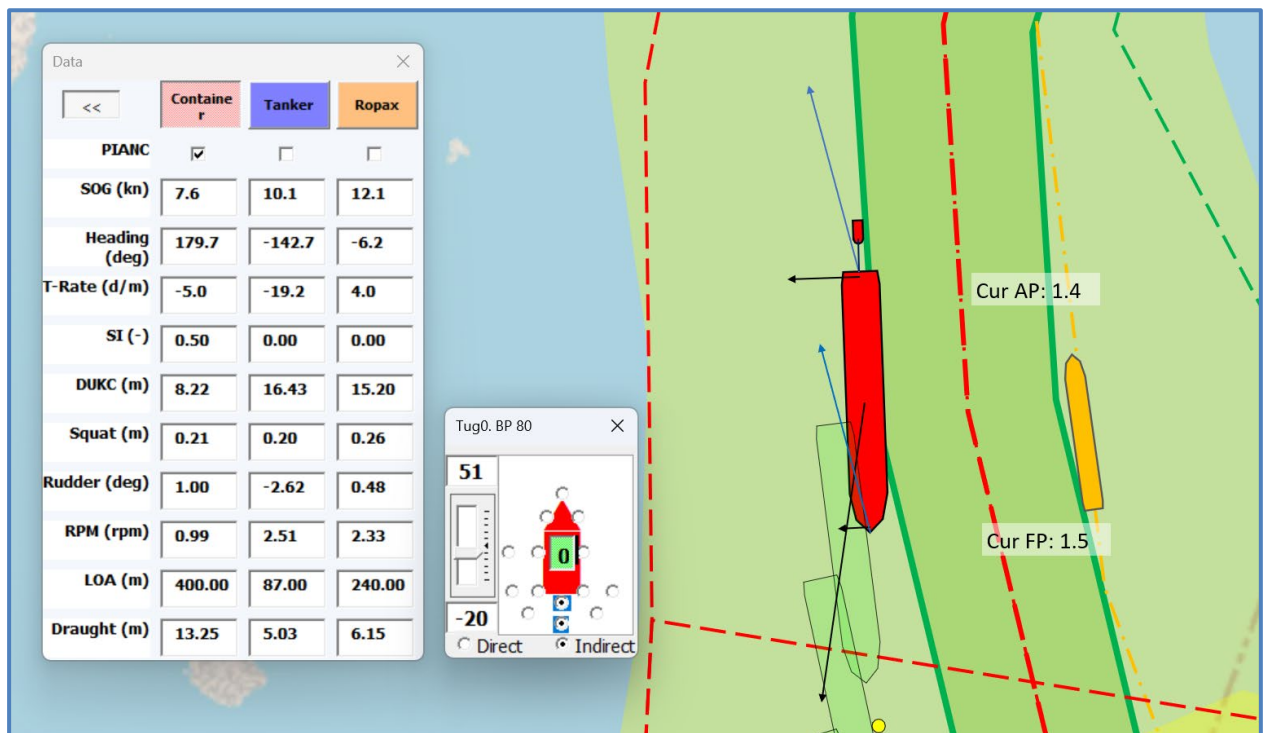
Figur 54 Simulering 2.5 – Vändning



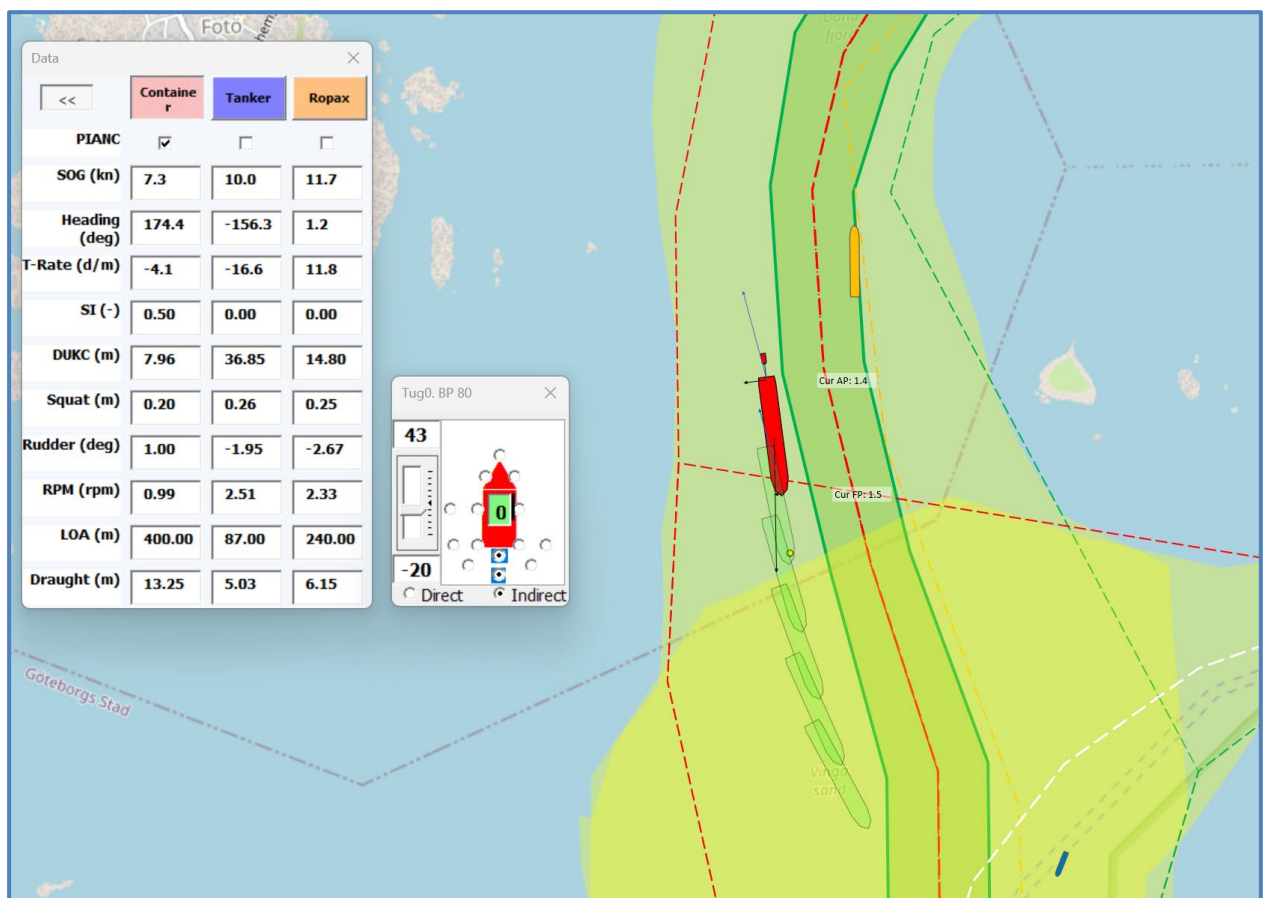
Figur 55 Simulering 2.5 – Acceleration förbi Knippelholmarna



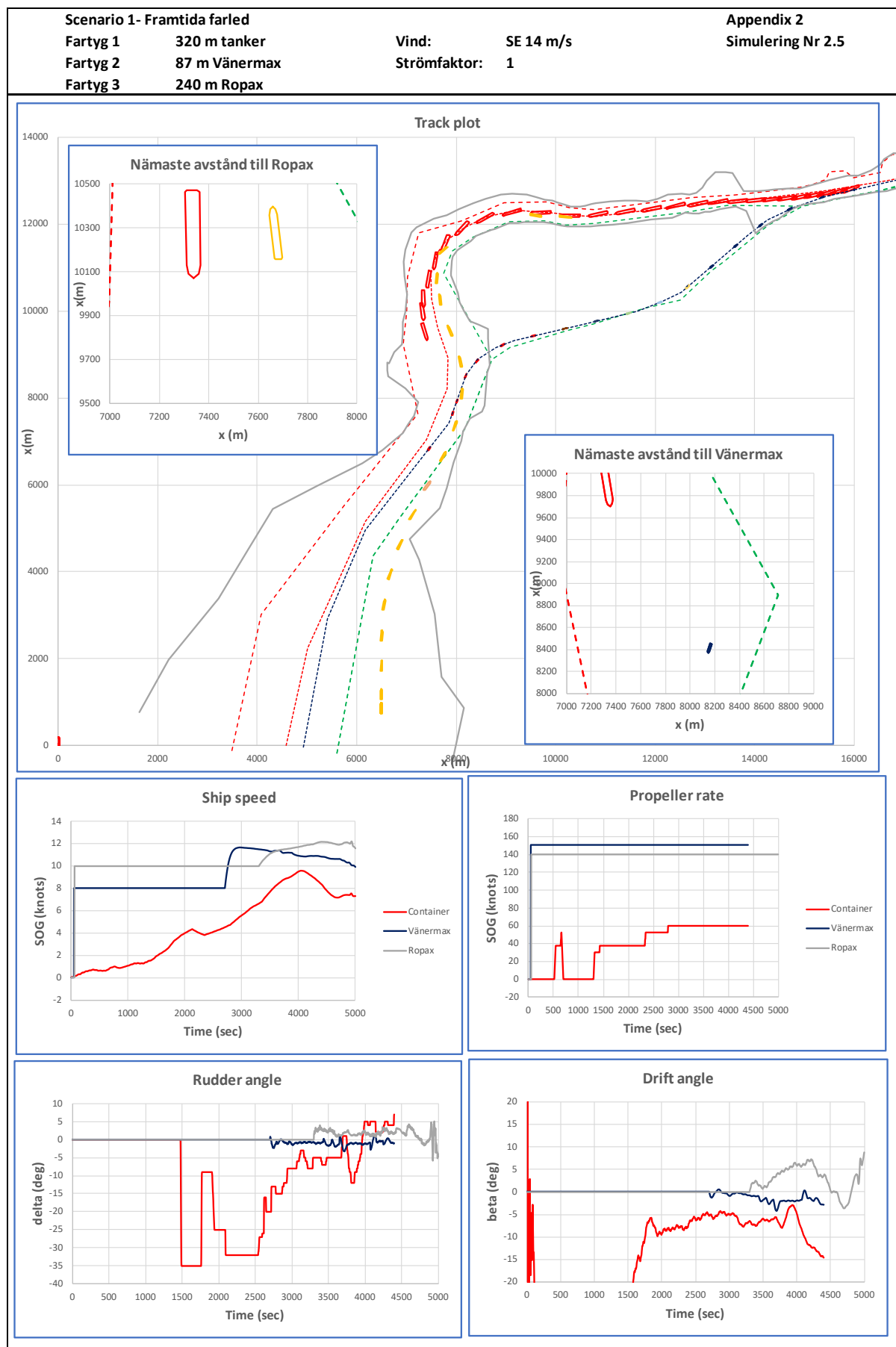
Figur 56 Simulering 2.5 – Måvholmskröken



Figur 57 Simulering 2.5 – Möte med ropax



Figur 58 Simulering 2.5 – Möte med 200 m tanker och med Vänermax



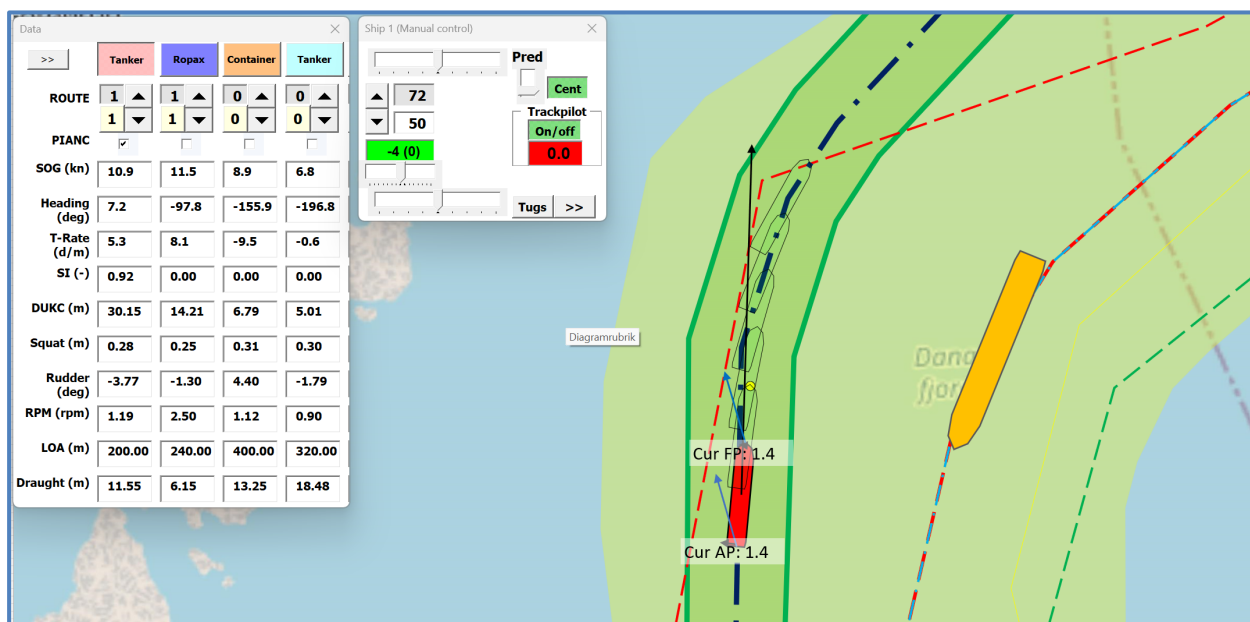
Figur 59 Simulering 2.5 – Banplott och tidshistorier

Scenario 3

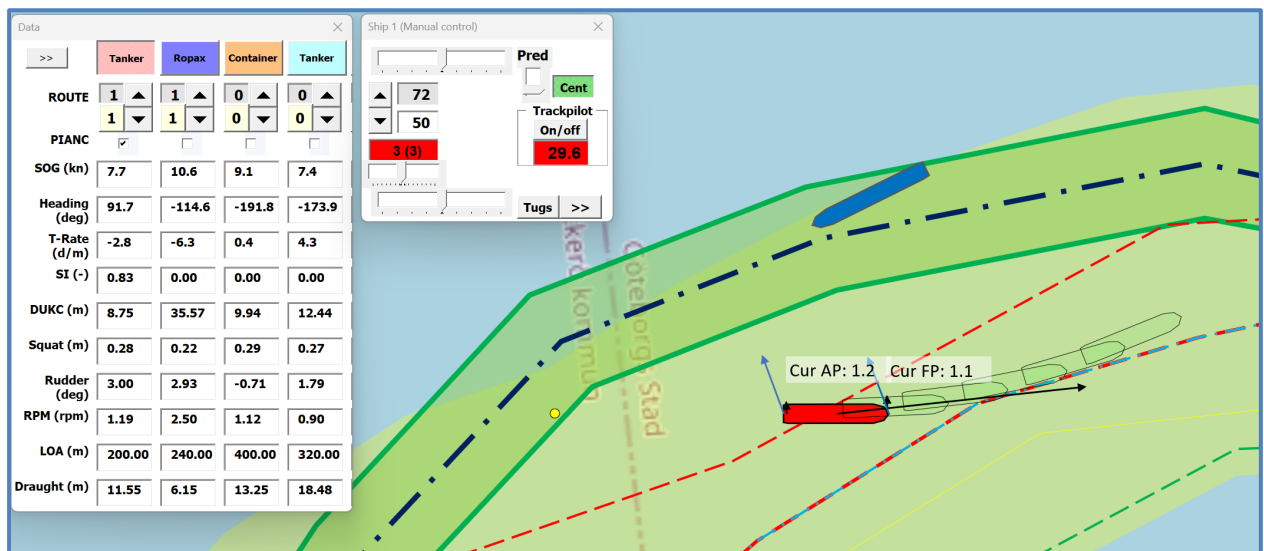
Simulering 3.1



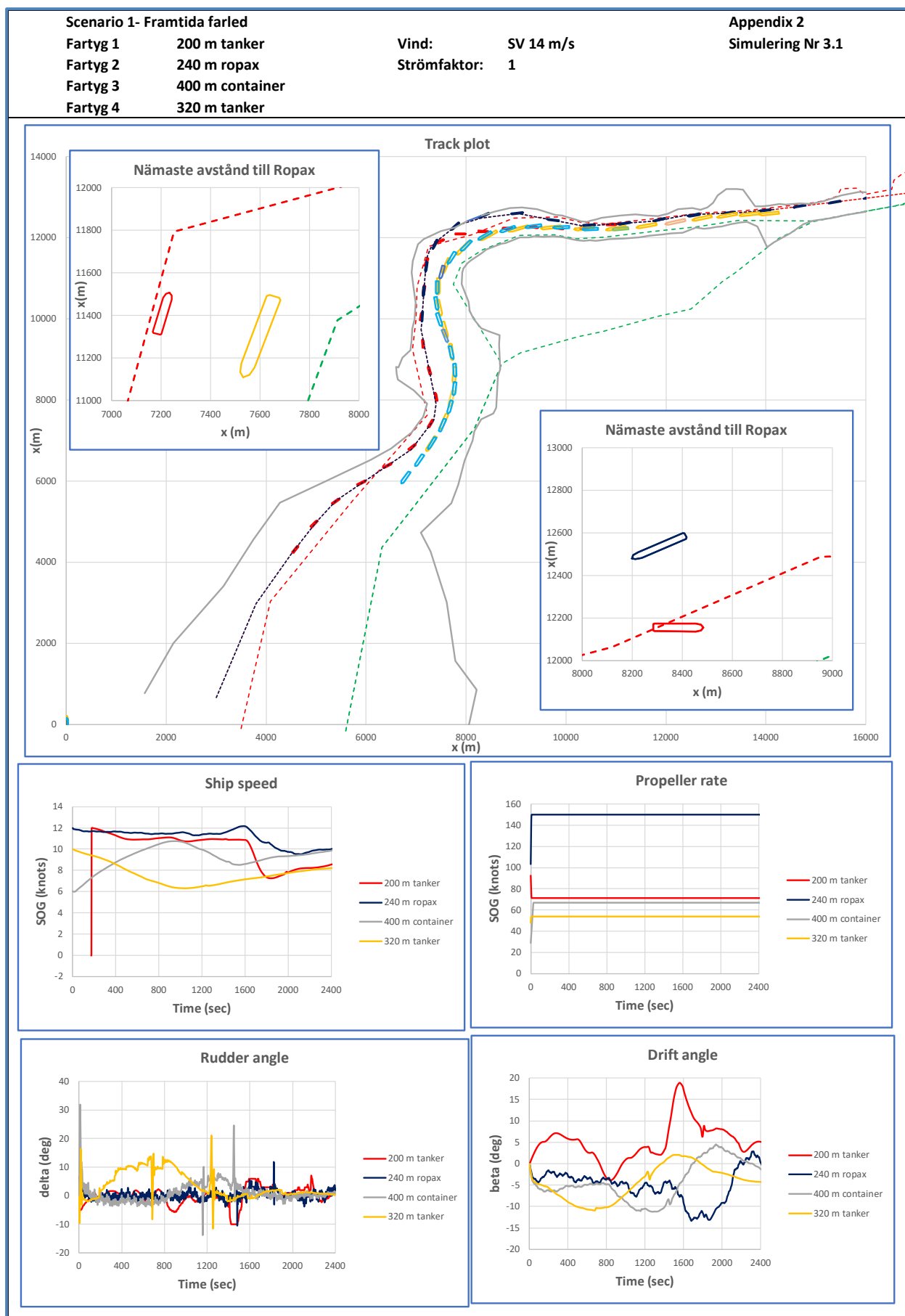
Figur 60 Scenario 3.1 – Möte med 320 m VLCC



Figur 61 Scenario 3.1 – Möte med 400 m container

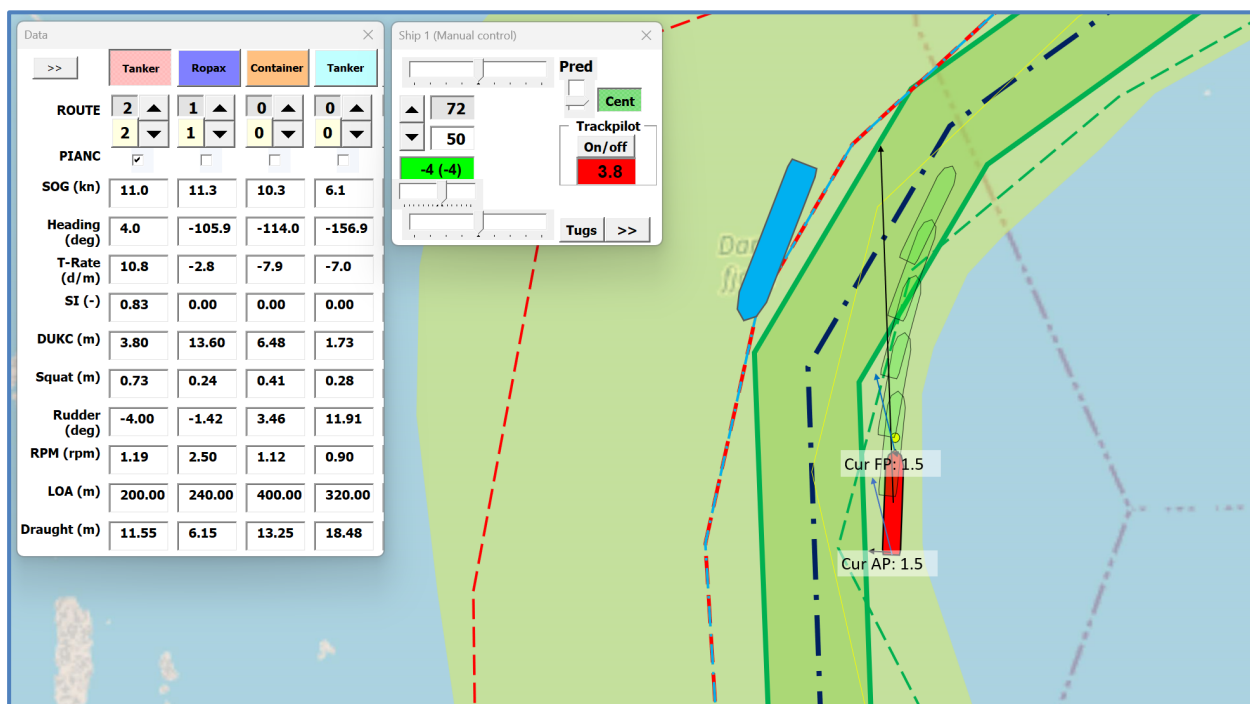


Figur 62 Möte med 240 m ropax



Figur 63 Simulering 3.1 – Banplot och tidsdiagram

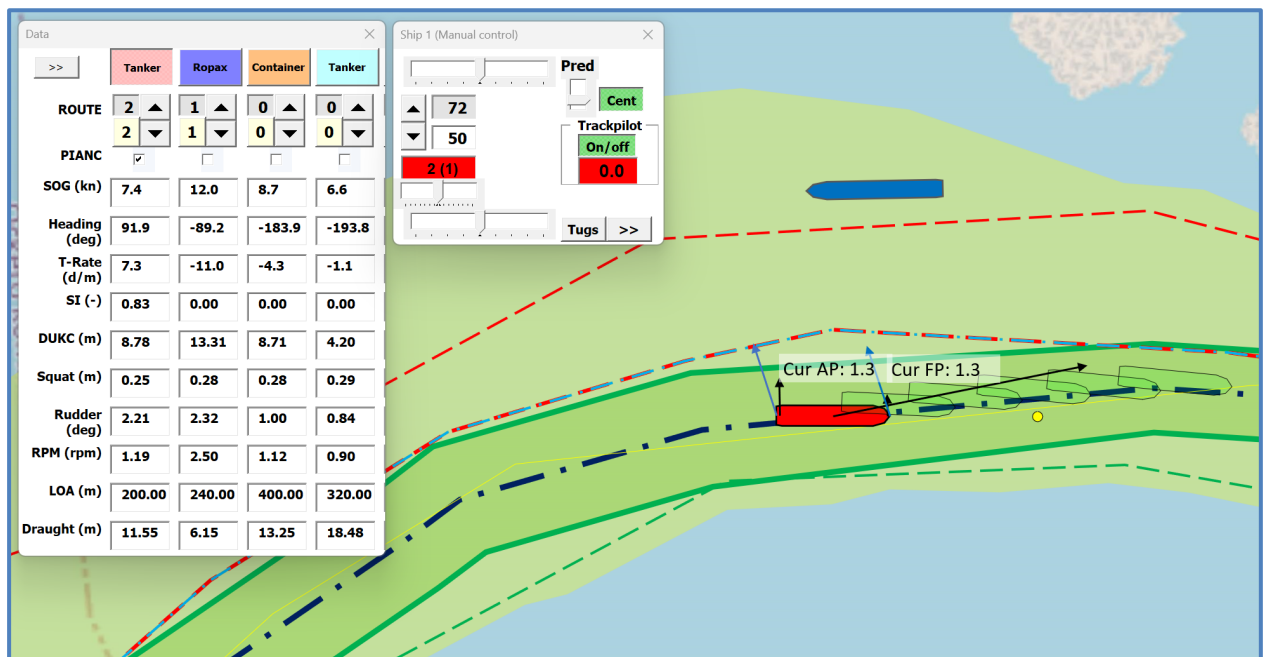
Simulering 3.2



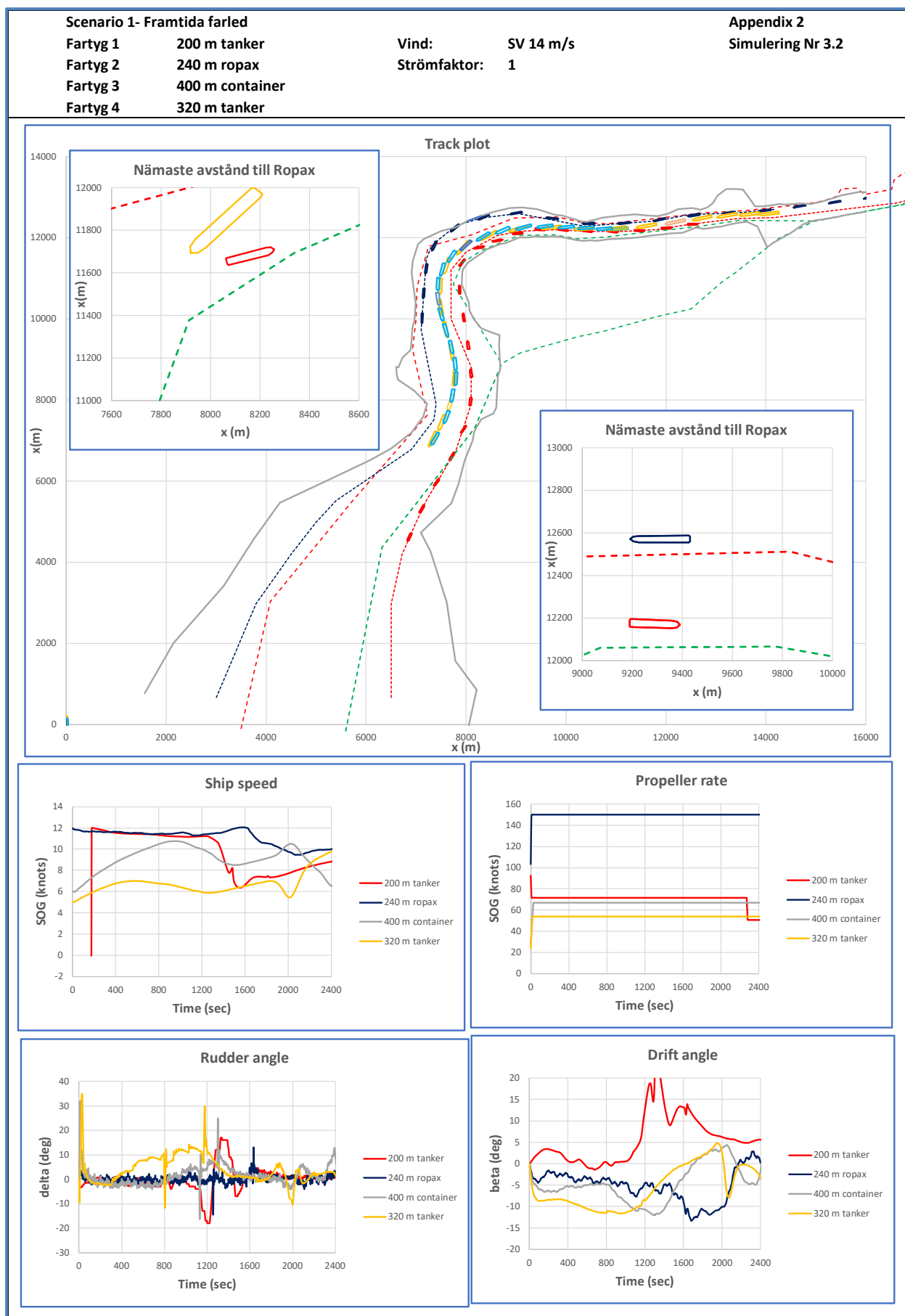
Simulering 3.2 – Möte med 320 m tanker



Simulering 3.2 – Möte med 400 m container



Simulering 3.2 – Möte med ropax



Figur 64 Simulering 3.2 – Banplott och tidsdiagram

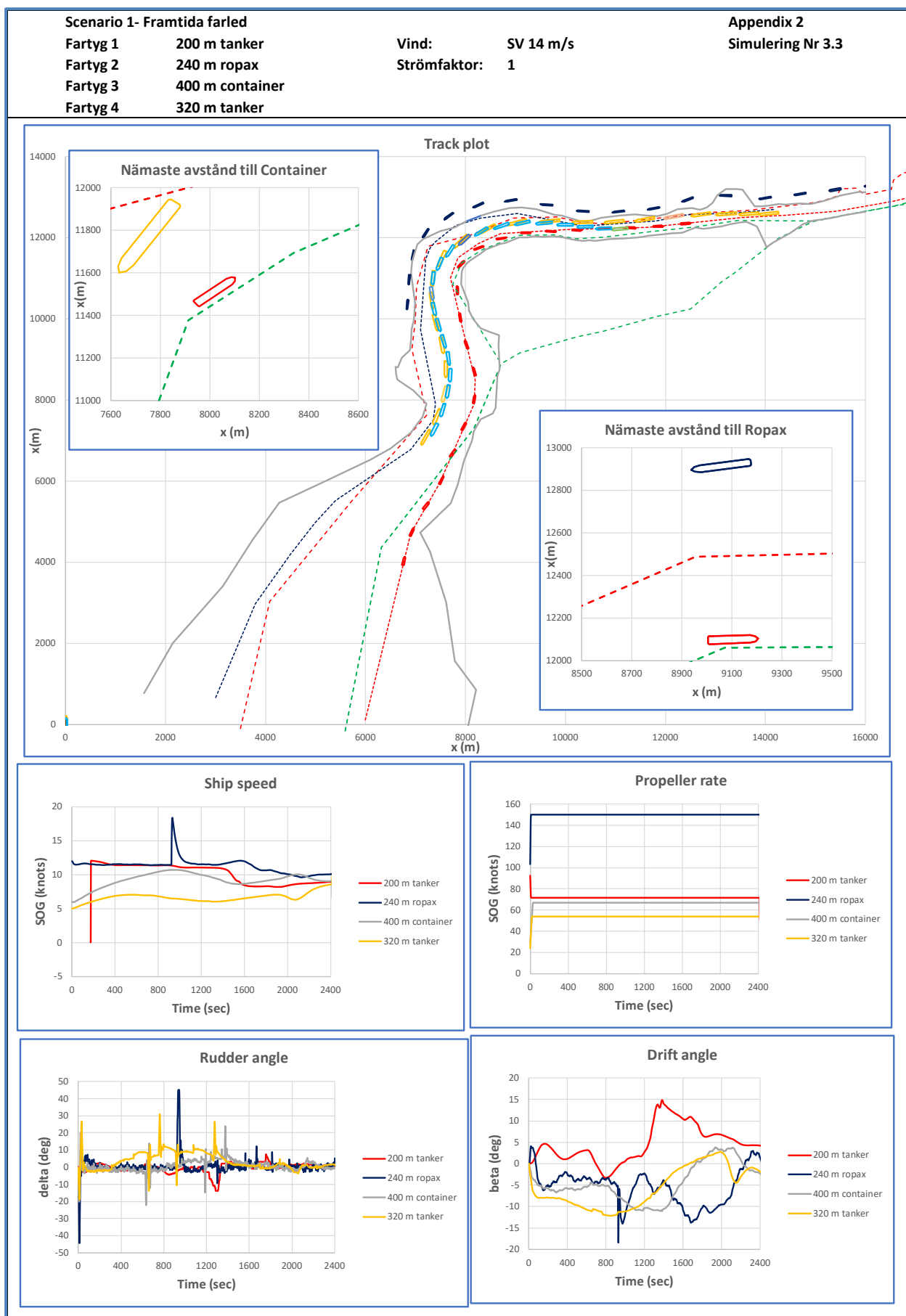
Simulering 3.3



Figur 65 Simulering 3.3 – Möte med 320 m tanker (VLCC)



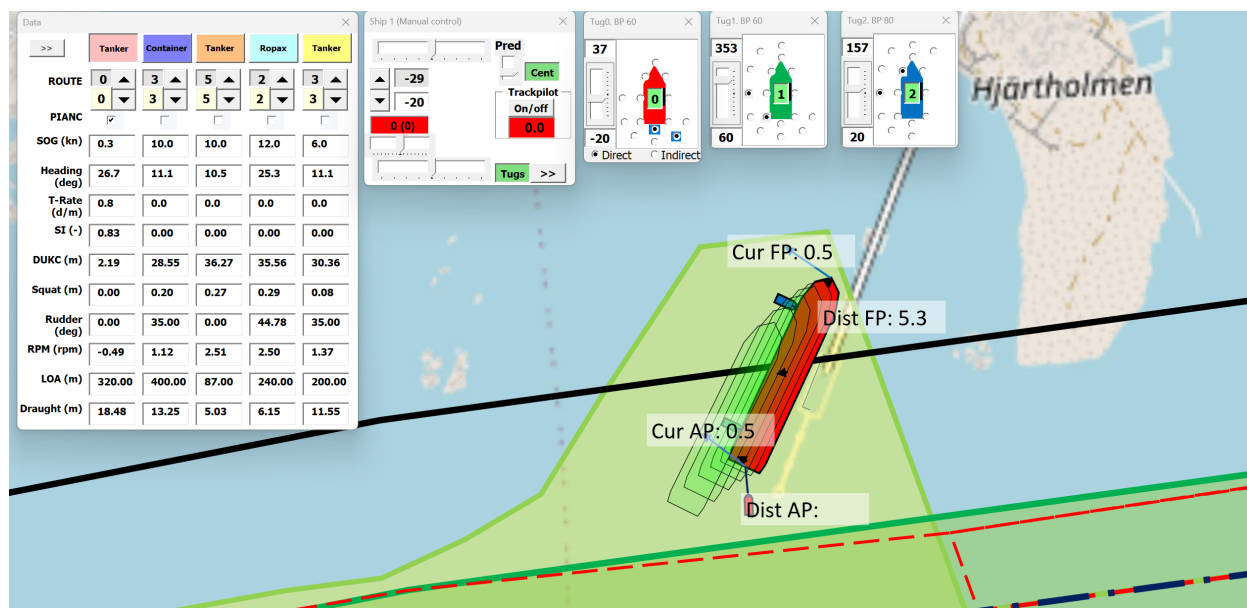
Figur 66 Simulering 3.3 – Möte med 400 m container (VLCC)



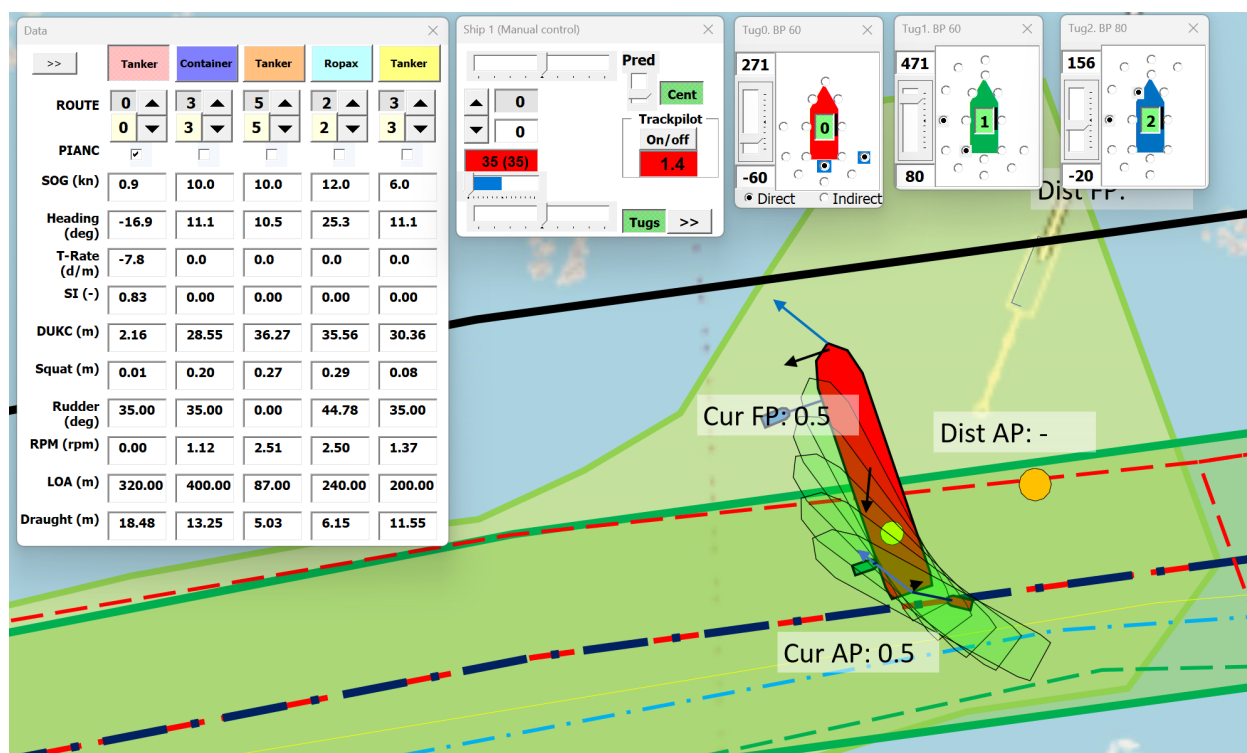
Figur 67 Simulering 3.3 – Banplot och tidsdiagram

Scenario 4

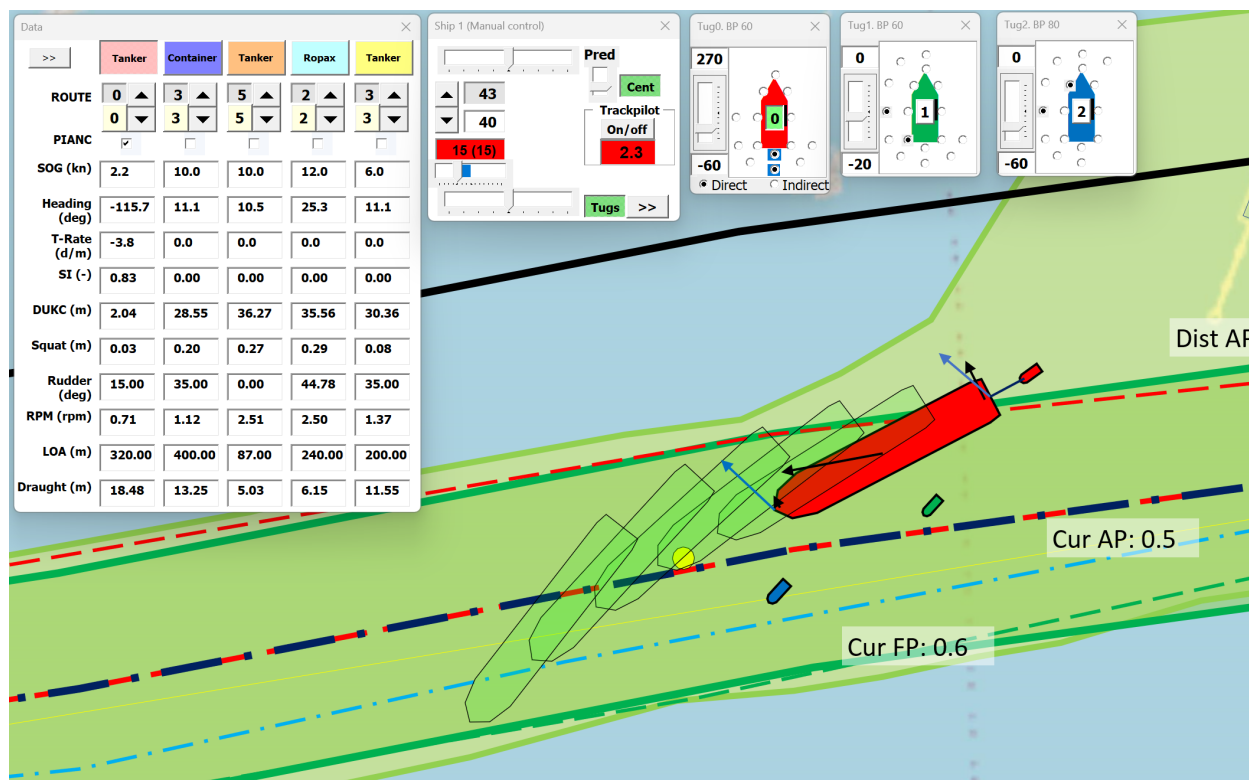
Simulering 4.1



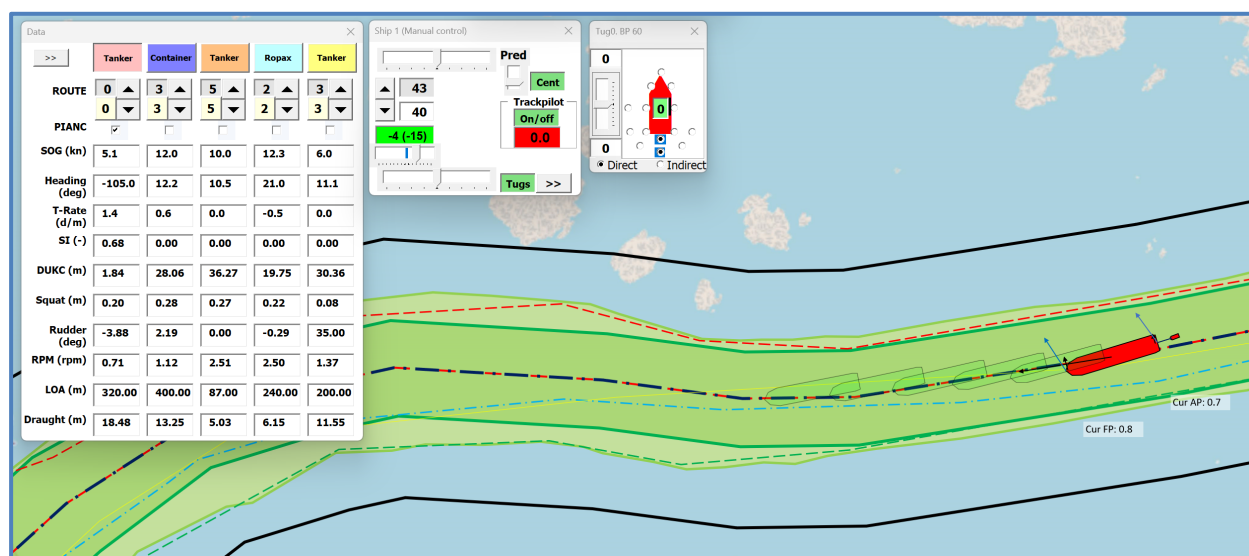
Figur 68 Simulering 4.1 – Avgång från kaj



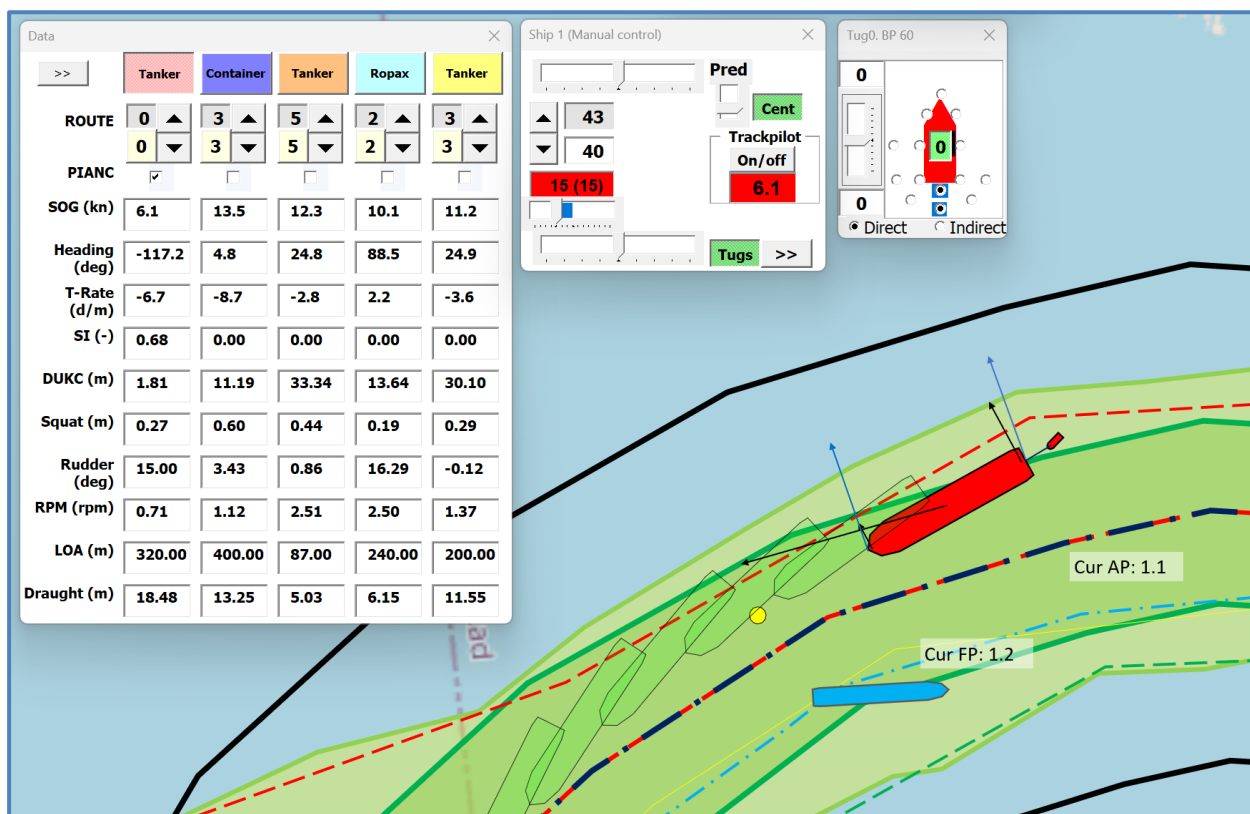
Figur 69 Simulering 4.1 – Vridning av fartyget ute i farleden



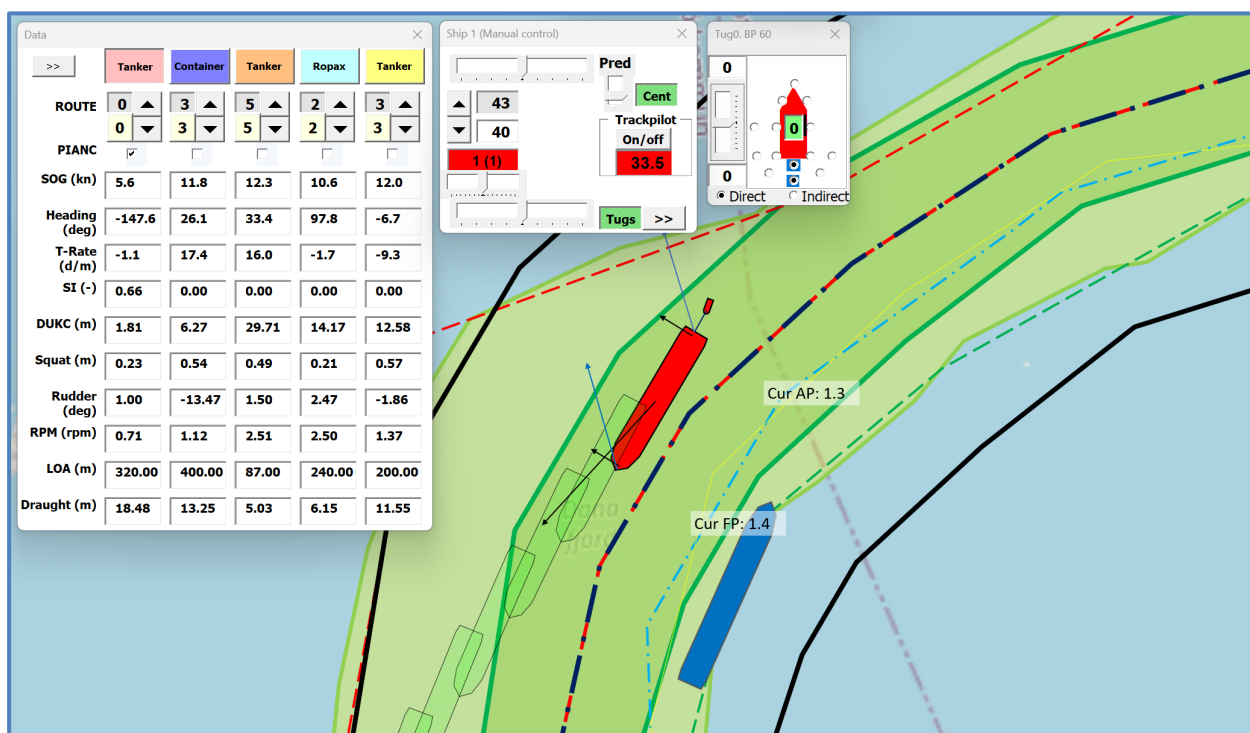
Figur 70 Simulering 4.1 – Acceleration under kraftig avdrift. Bogserbåtarna på babord sida under fränkoppling.



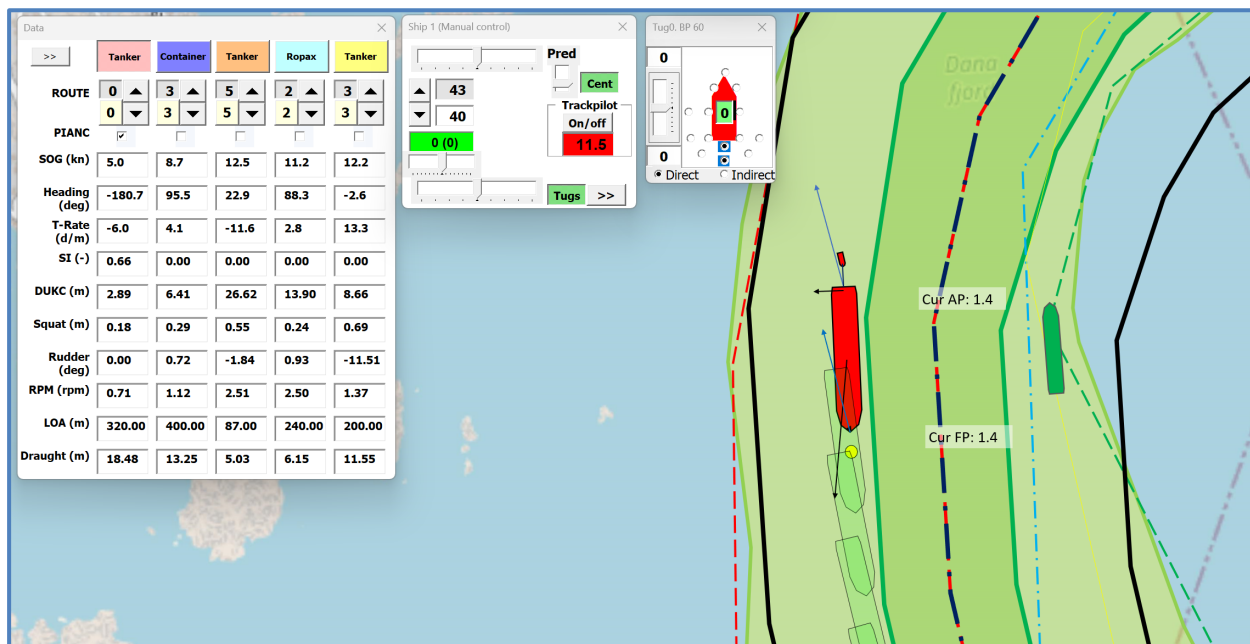
Figur 71 Simulering 4.1 – Innan Måvholmskröken



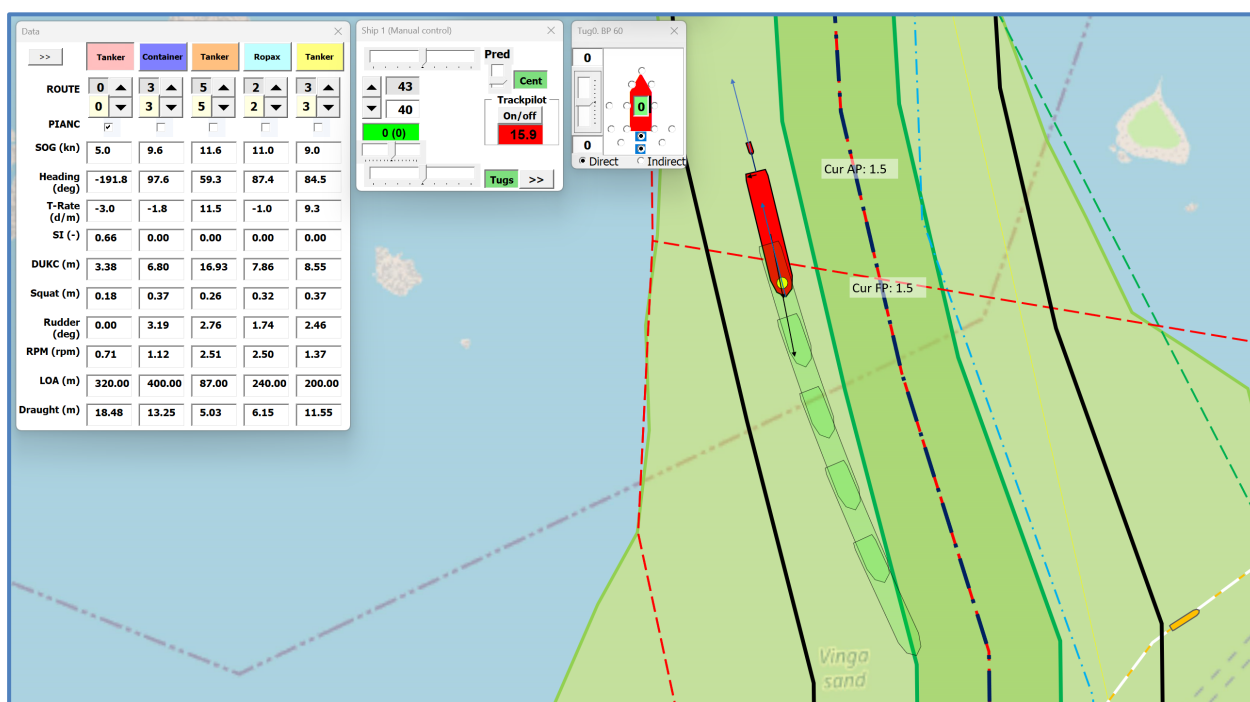
Figur 72 Simulering 4.1 – Möte med ropax



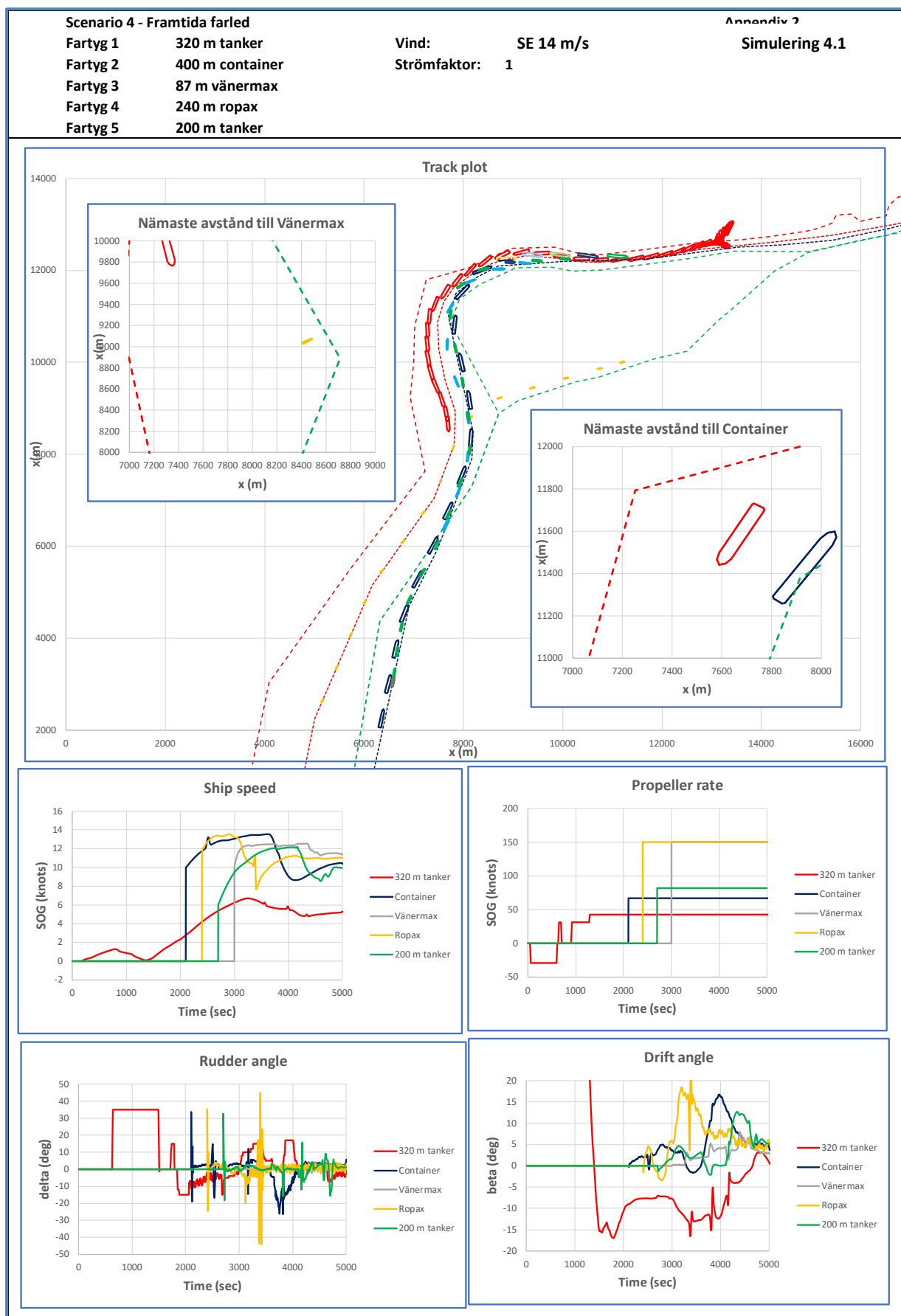
Figur 73 Simulering 4.1 – Möte med 400 m container



Figur 74 Simulering 4.1 – Möte med 200 m tanker

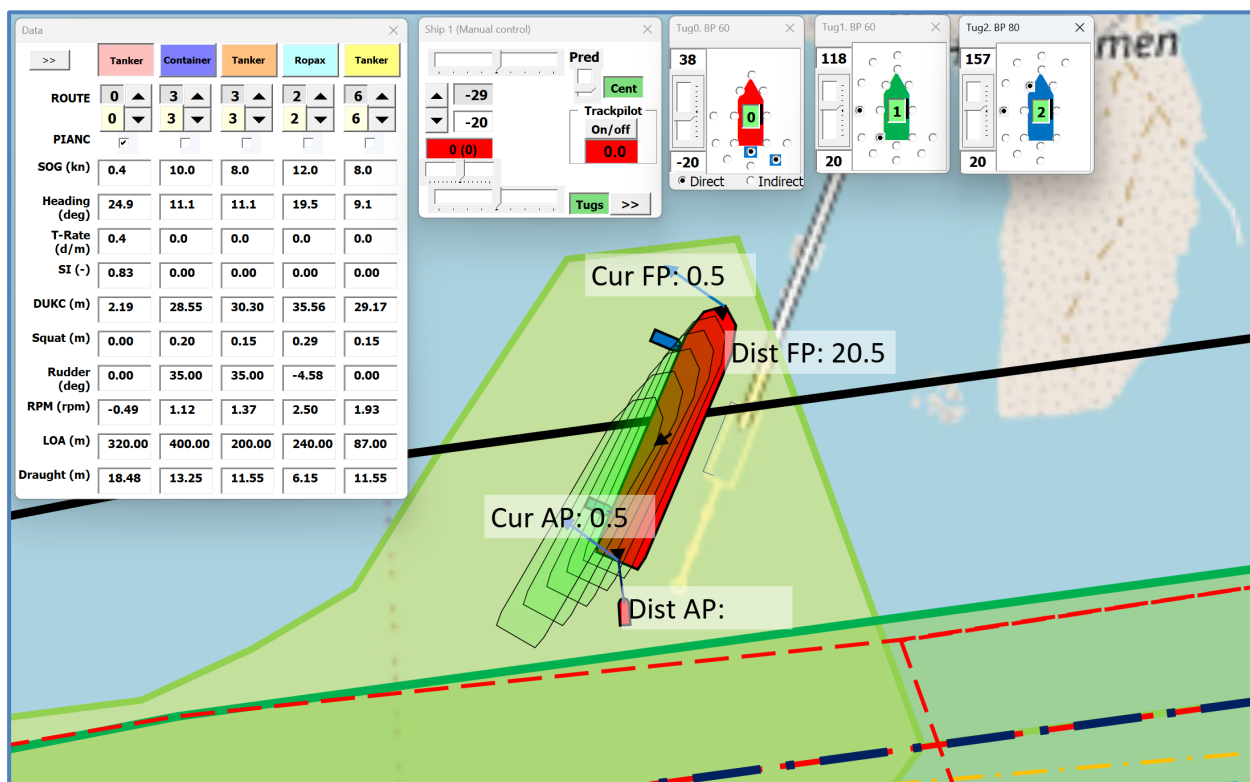


Figur 75 Simulering 4.1 – Möte med vänstermax

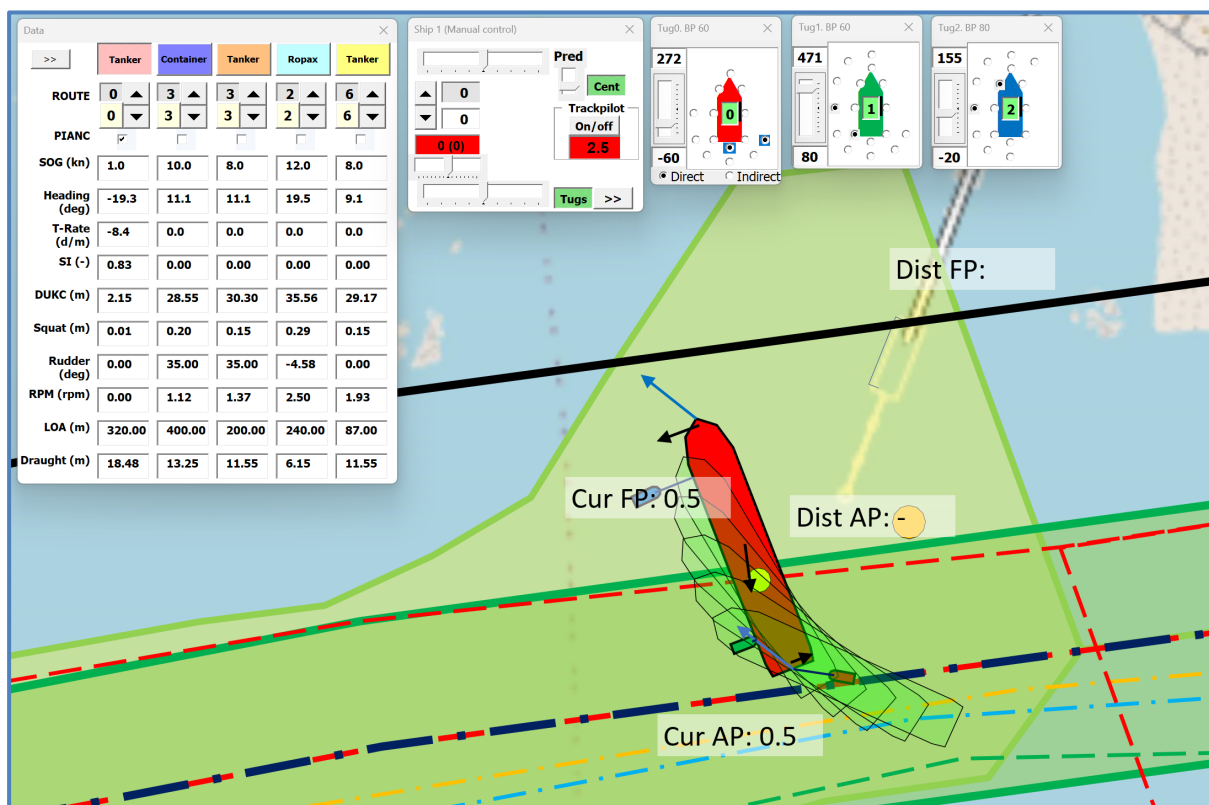


Figur 76 Simulering 4.1 – Banplot och tidsdiagram

Simulering 4.2



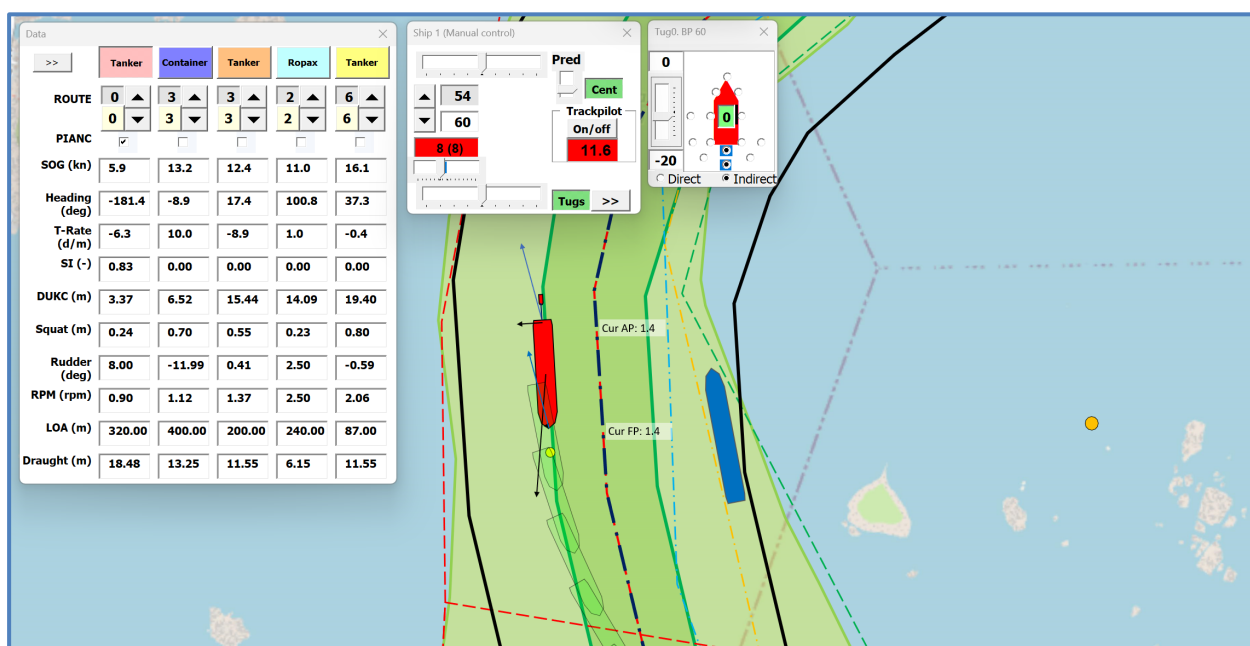
Figur 77 Simulering 4.2 – Avgång från kaj med tre bogserbåtar



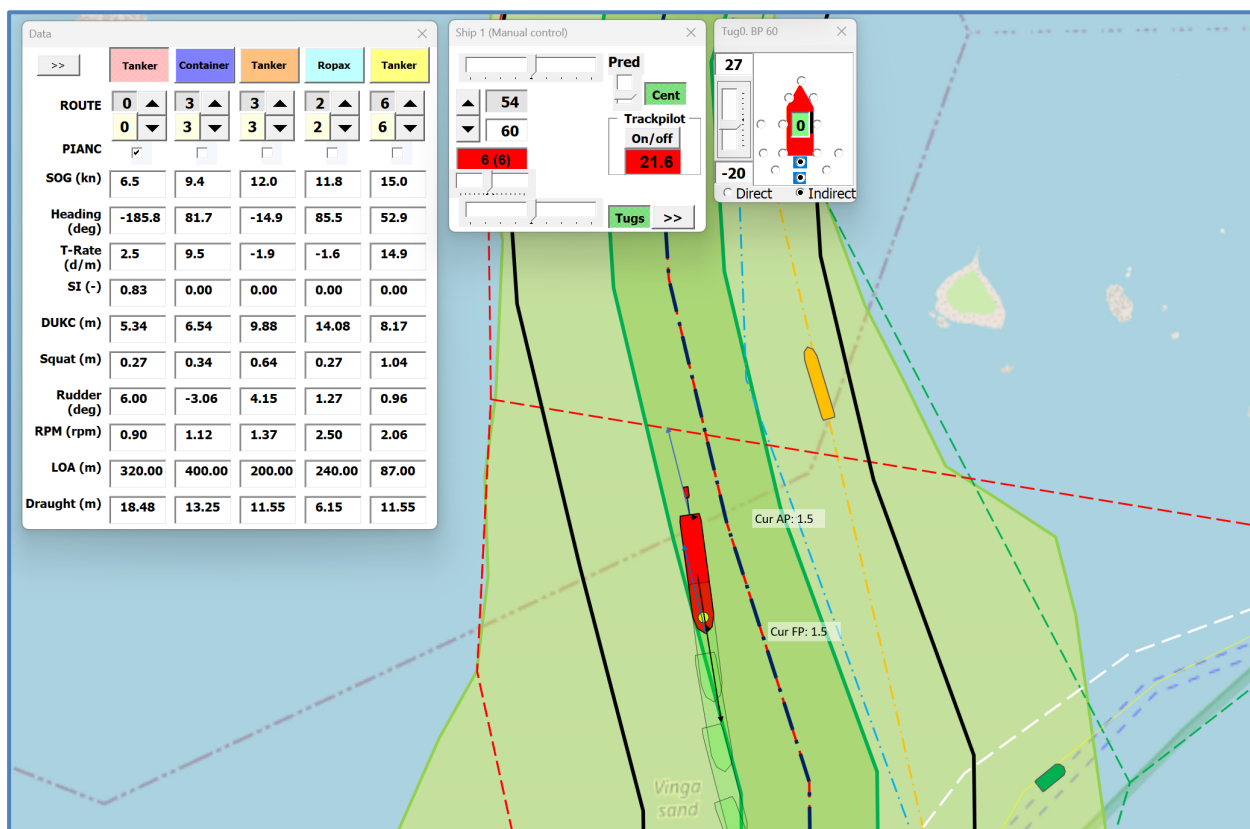
Figur 78 Simulering 4.2 – Avgång från kaj med tre bogserbåtar



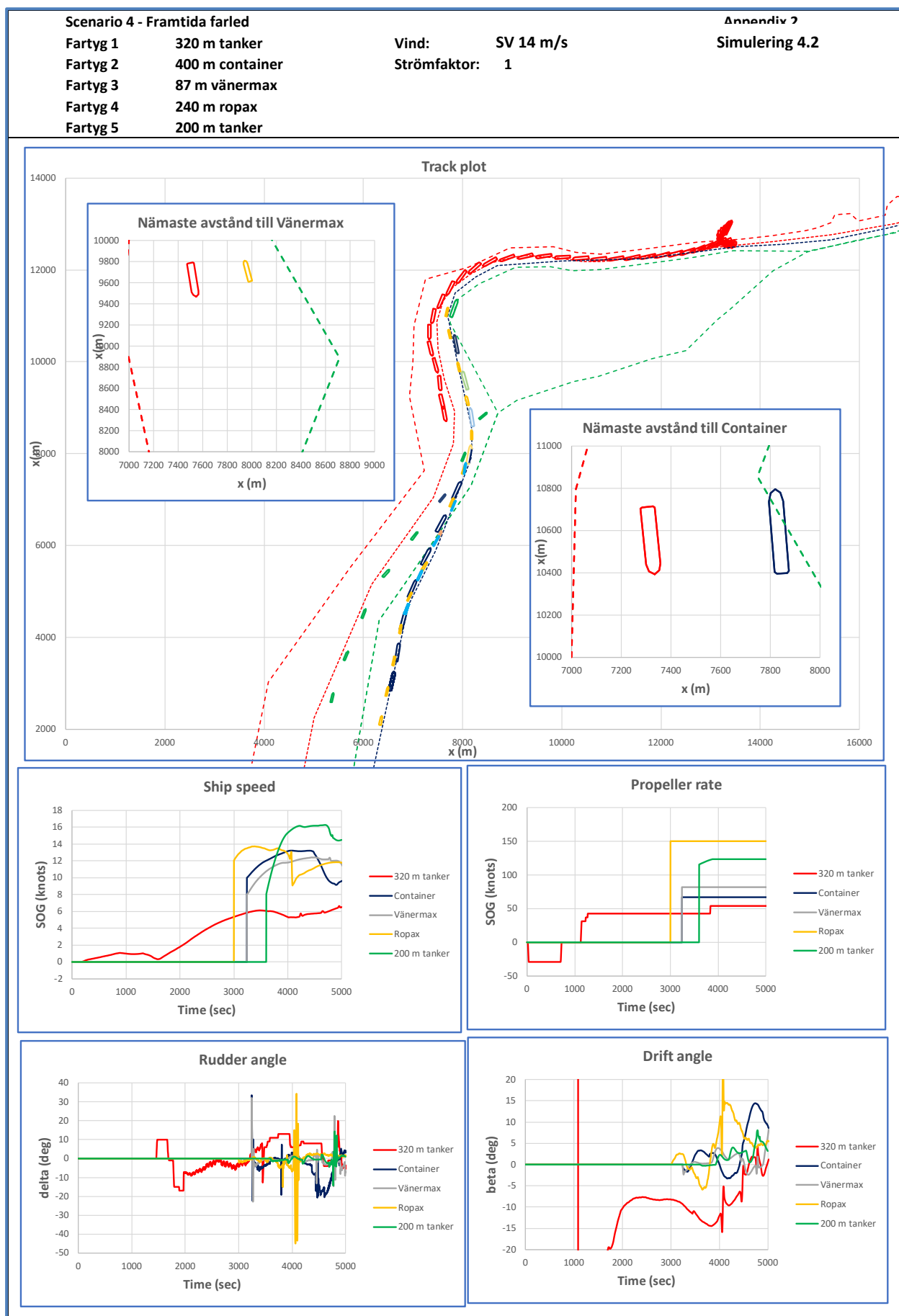
Figur 79 Simulering 4.2 – Möte med ropax i Måvholmskröken



Figur 80 Simulering 4.2 – Möte med 400 m container i Måvholmskröken

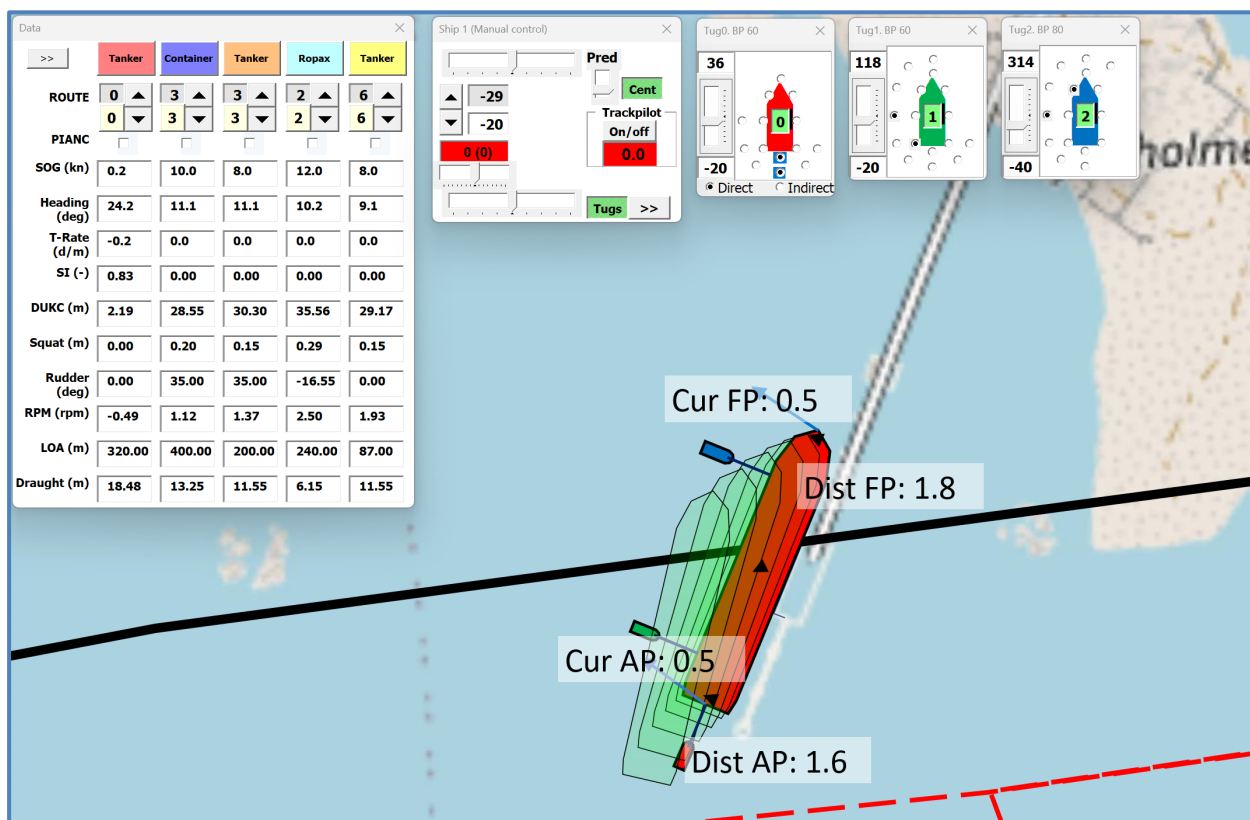


Figur 81 Simulering 4.2 – Möte med 200 m tanker och vänstermax



Figur 823 Simulering 4.2 – Banplott och tidsdiagram

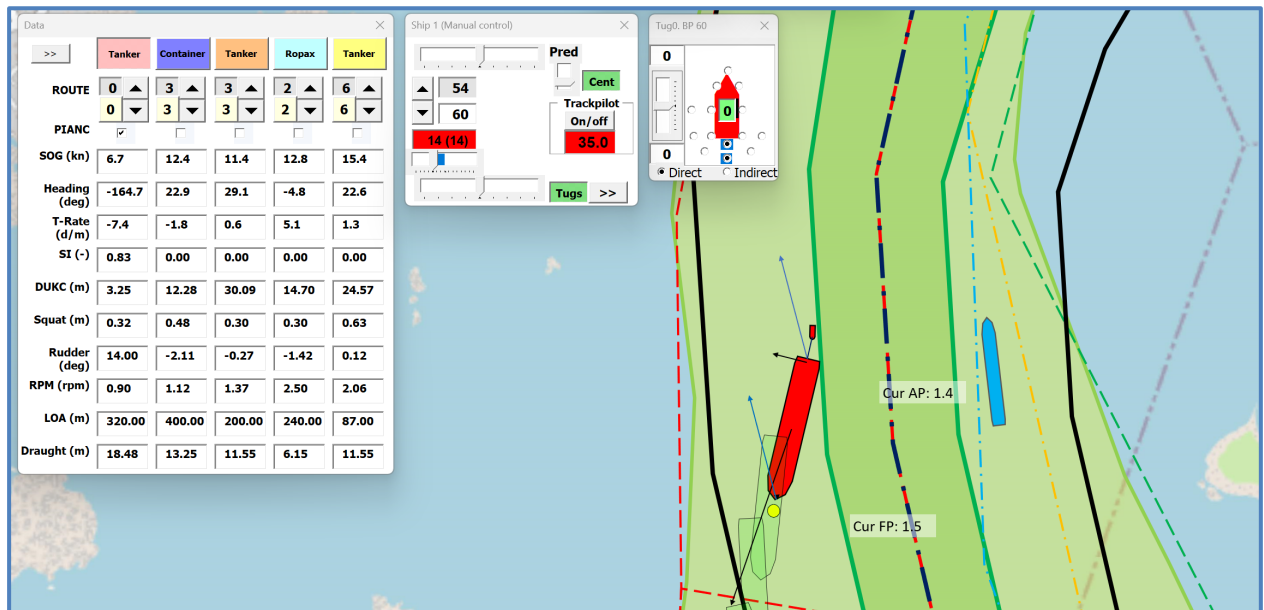
Simulering 4.3



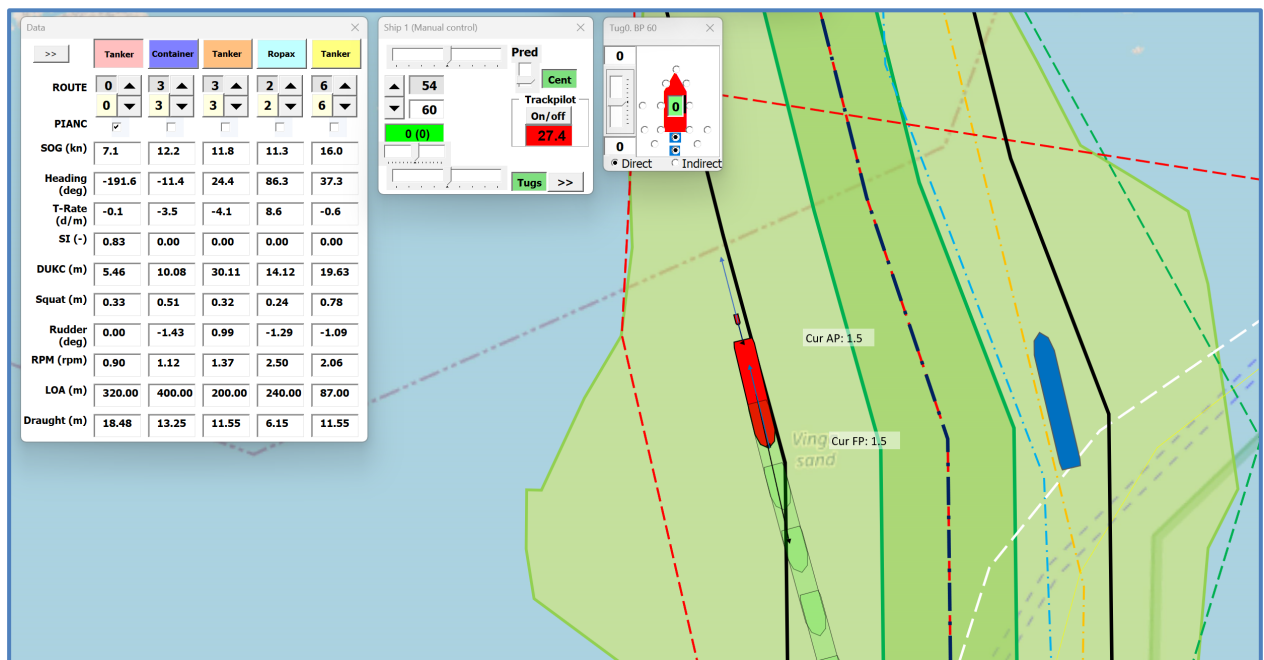
Figur 83 Simulering 4.3 – Avgång från kaj med tre bogserbåtar



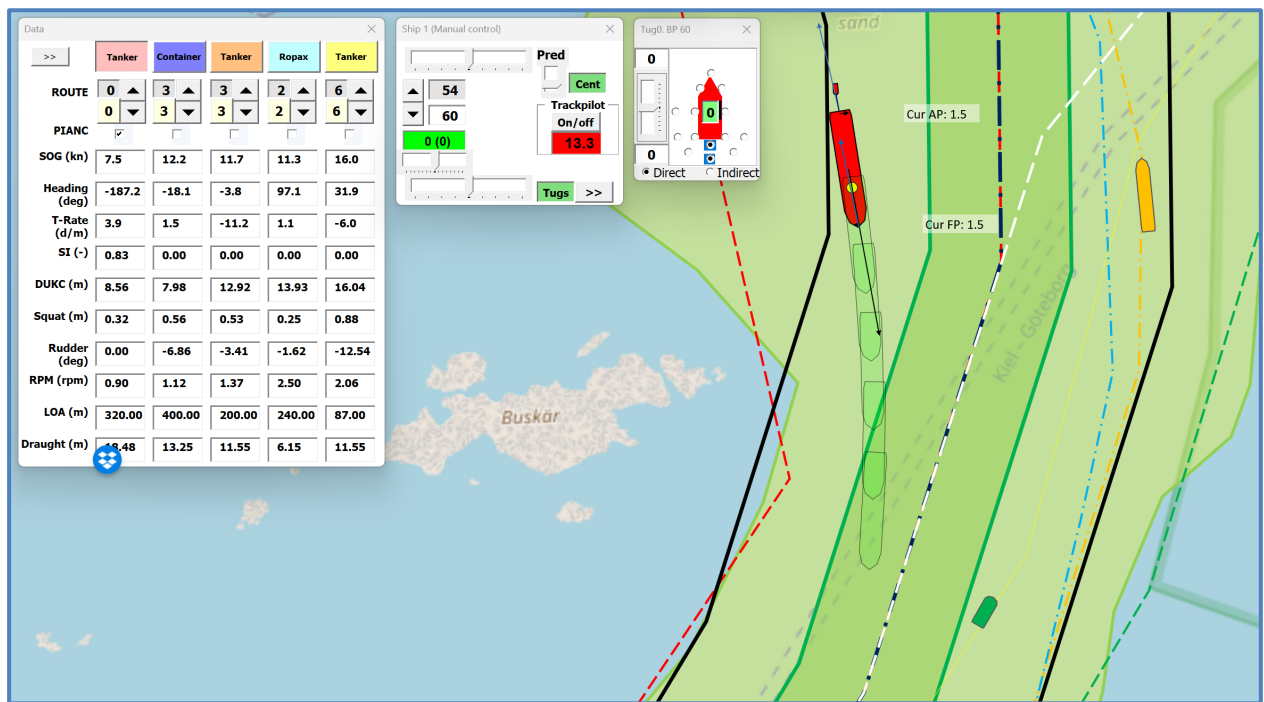
Figur 84 Simulering 4.3 – Mävholmskröken



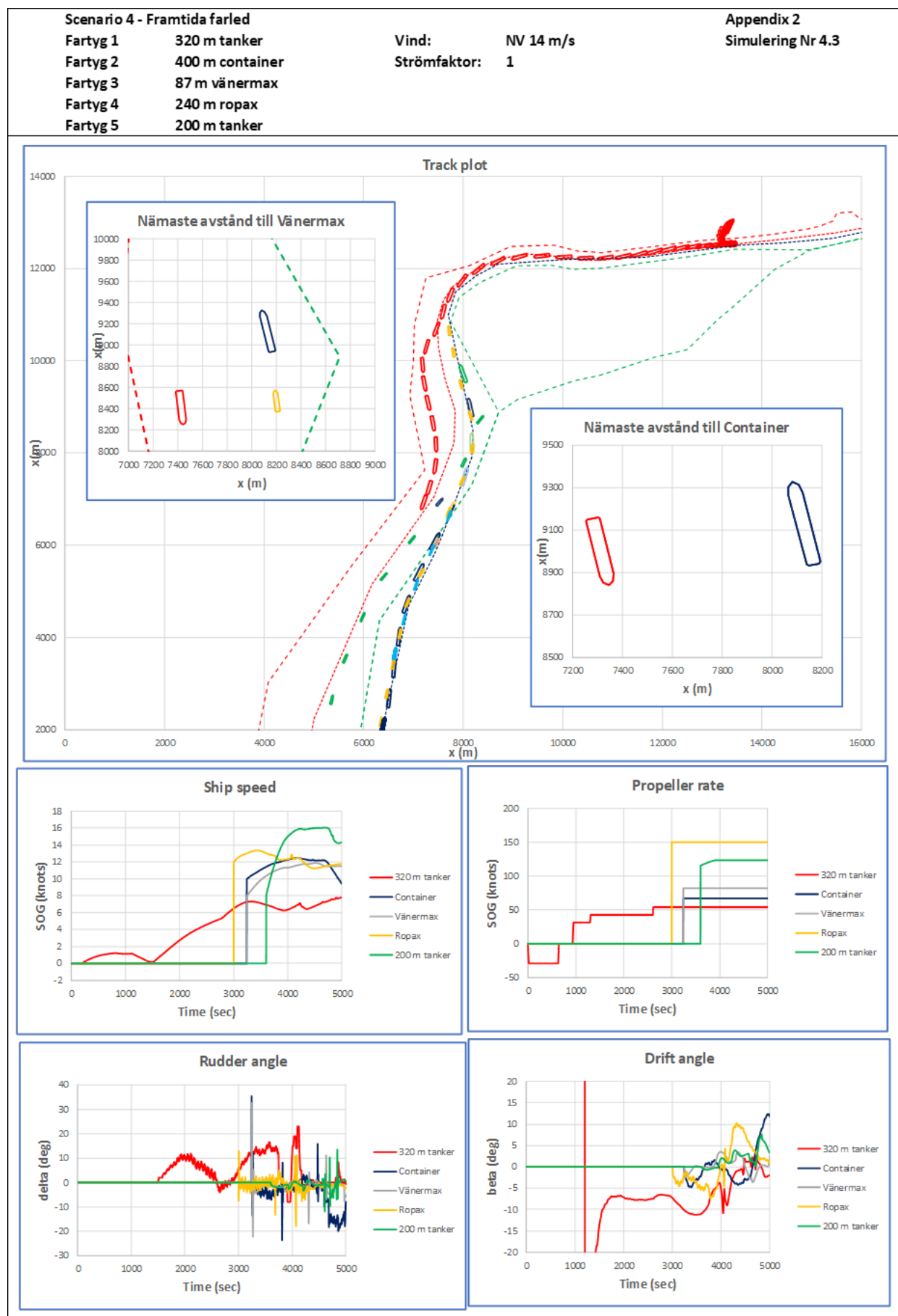
Figur 85 Simulering 4.3 - Möte med ropax



Figur 86 Simulering 4.3 – Möte med 400 m container



Figur 87 Simulering 4.3 – Möte med 200 m tanker och vännermax



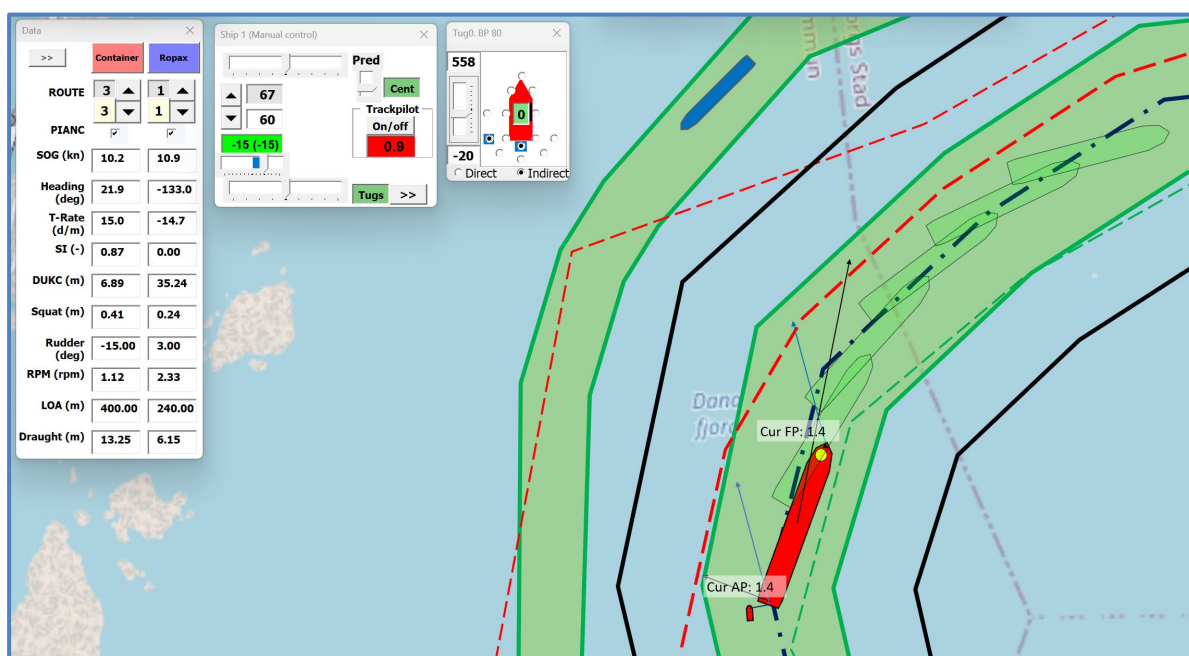
Figur 88 Simulering 4.3 – Banplot och tidsdiagram

Scenario 5

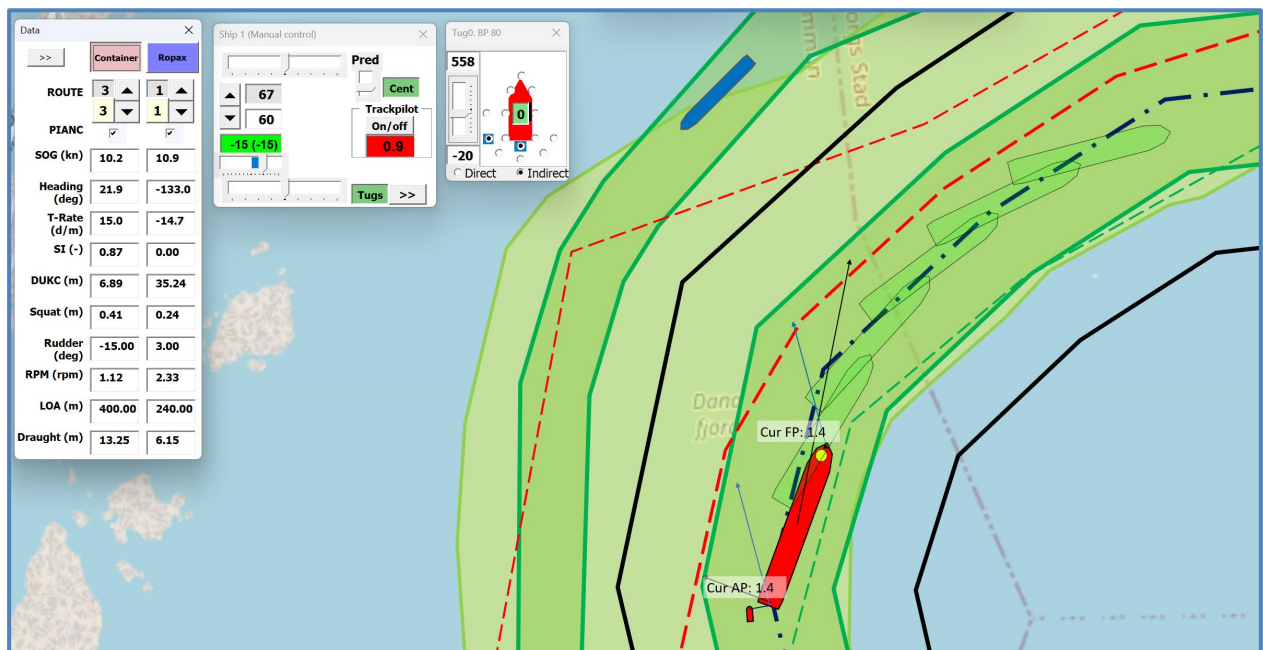
Simulering 5.1



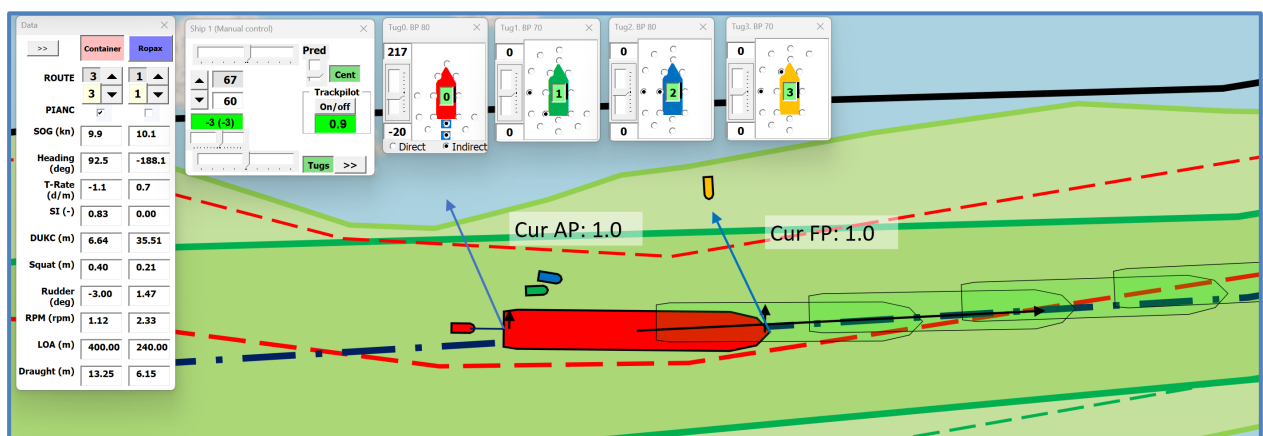
Figur 89 Simulering 5.1 – Startpositioner med farledsyta plottad i höger bild



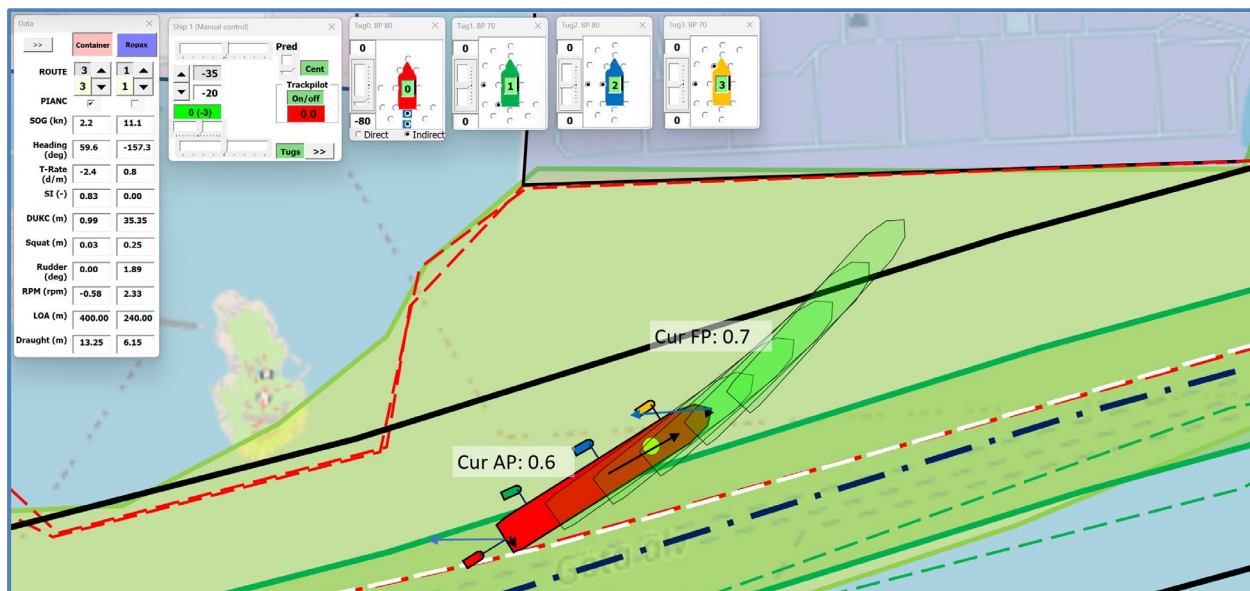
Figur 90 Simulering 5.1 – Möte med ropax



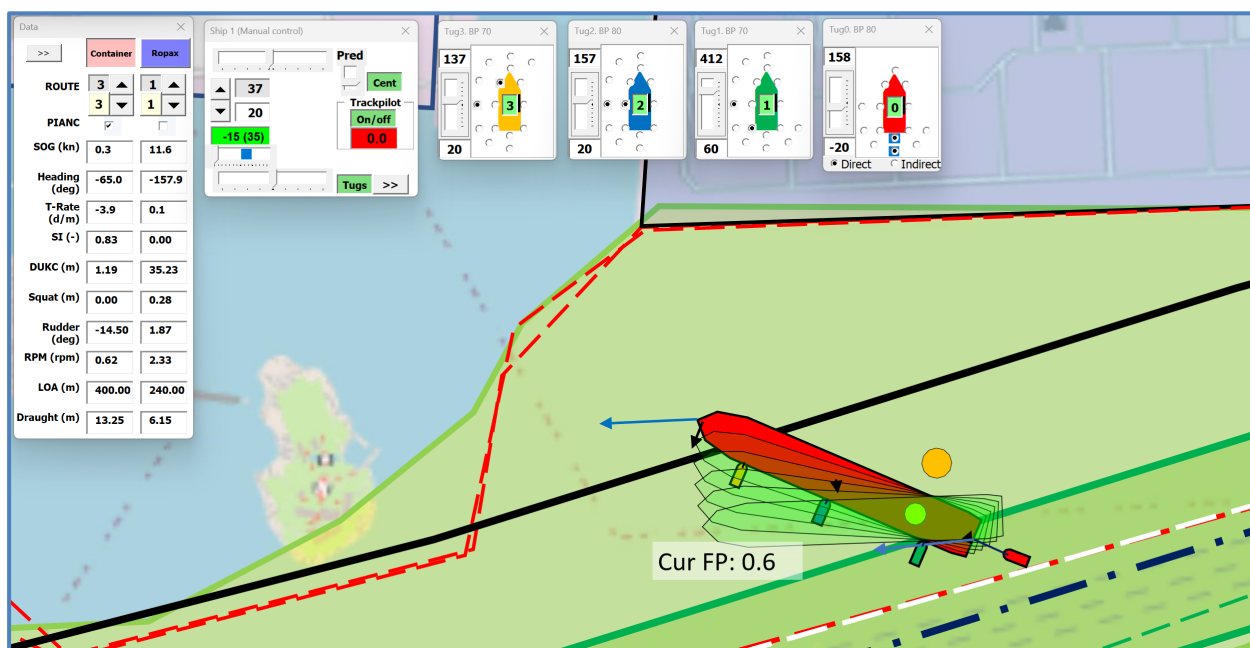
Figur 91 Simulering 5.1 – Möte med ropax och med farledsyttan för containern plottad



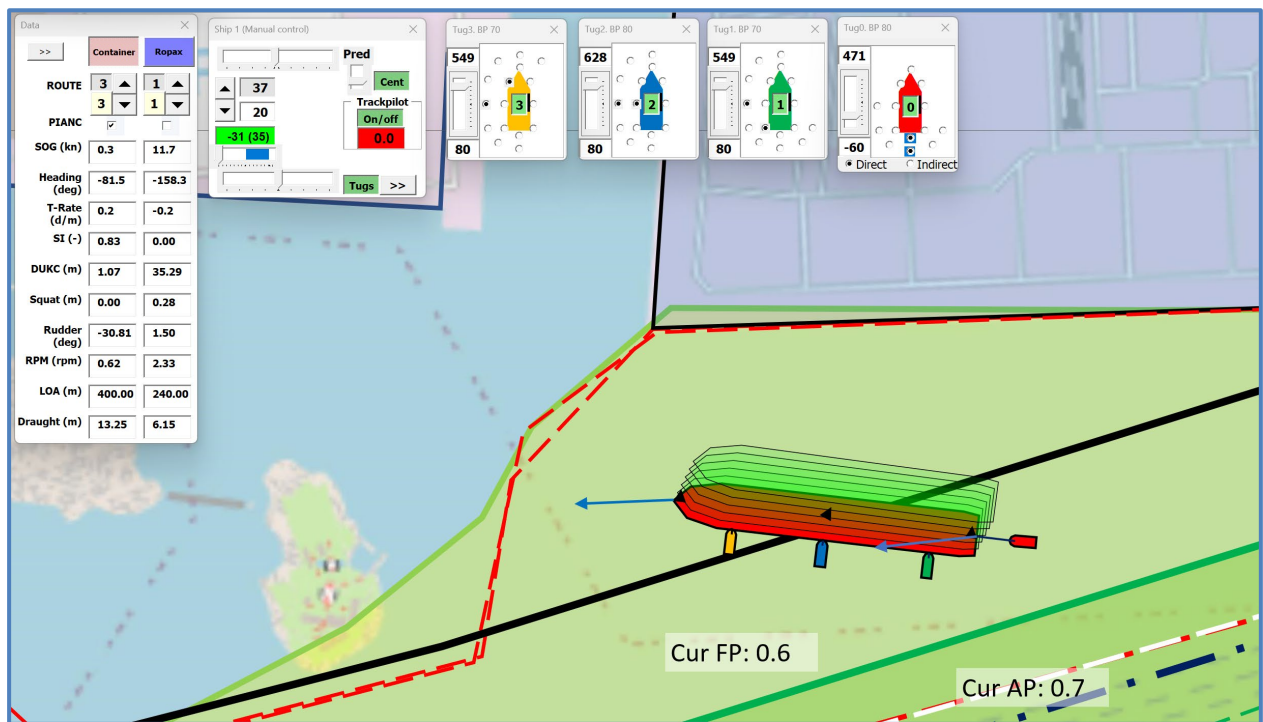
Figur 92 Simulering 5.1 – Koppling av de tre resterande bogserbåtarna



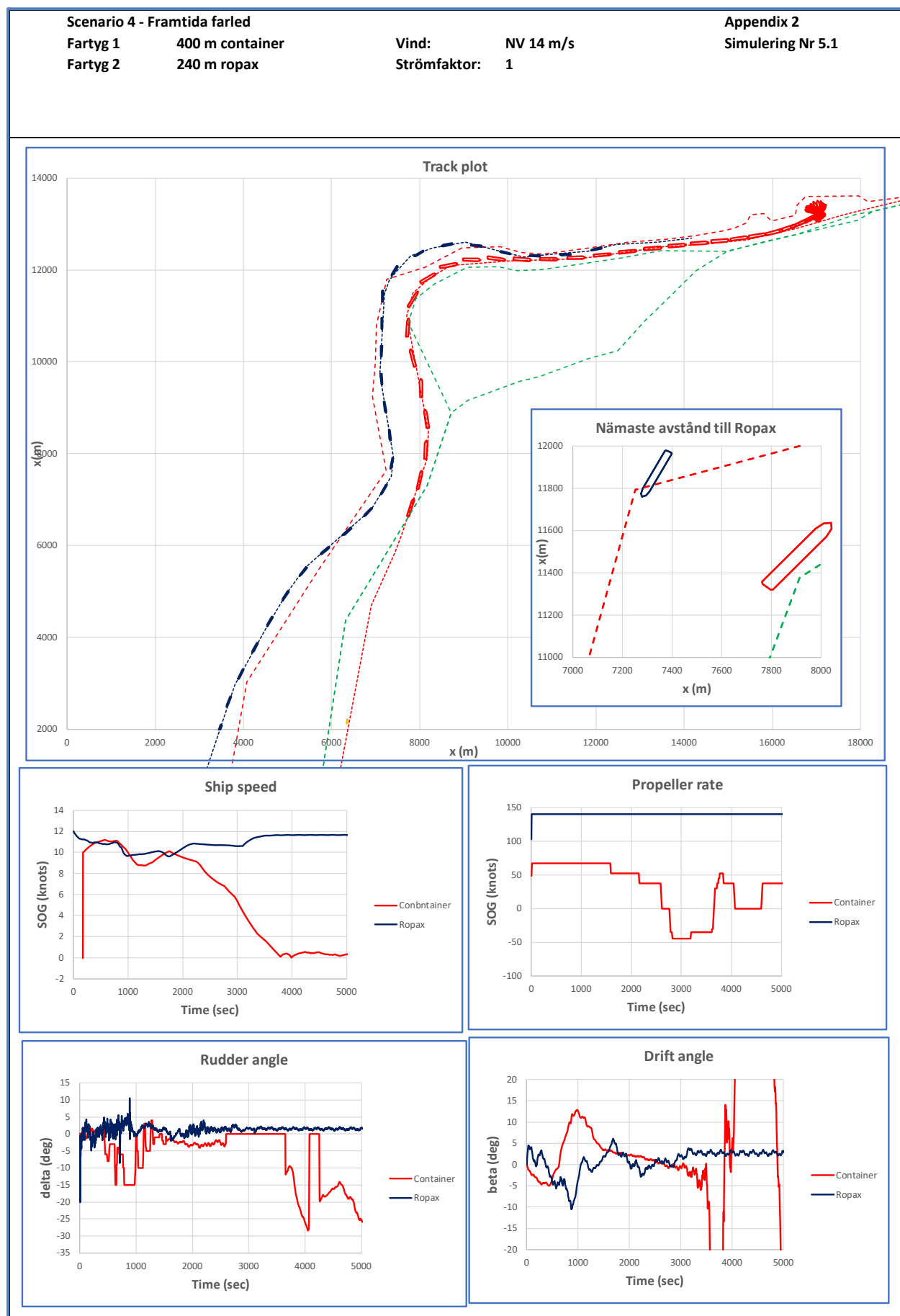
Figur 93 Simulering 5.1 – Ingång i hamnbassängen



Figur 94 Simulering 5.1 – Intagning till kaj

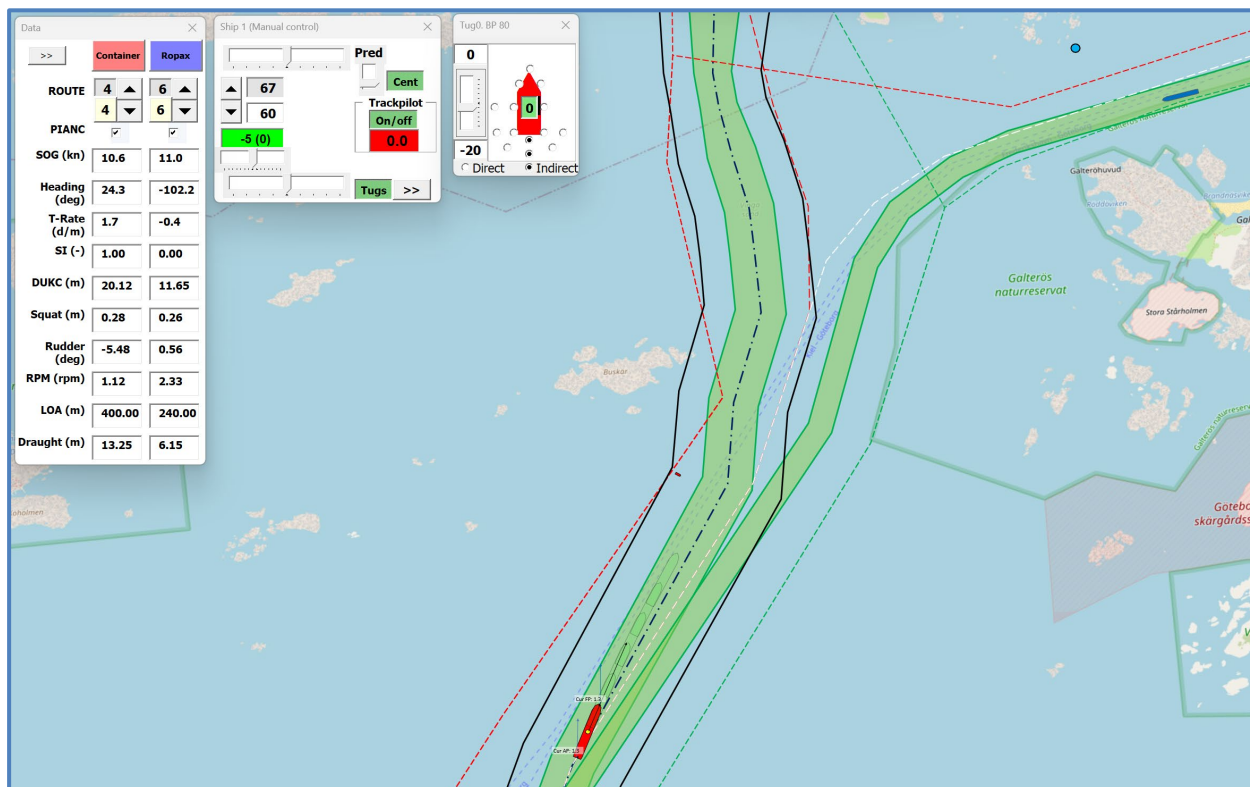


Figur 95 Simulering 5.1 – Intagning till kaj

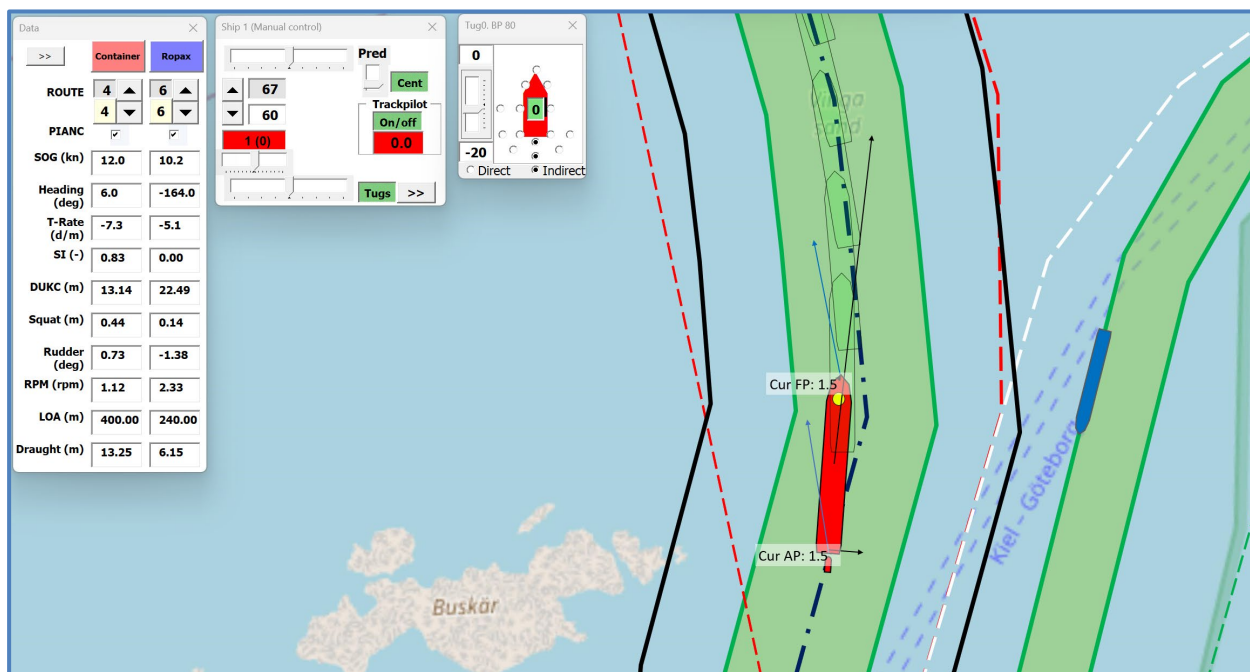


Figur 96 Simulering 5.1 – Banplot och tidsdiagram

Simulering 5.2



Figur 97 Simulering 5.2 – Startpositioner



Figur 98 Simulering 5.2 – Möte med ropax

APPENDIX 3

Datum

2024-06-10

Projekt ID/Dokument ID

P220812/A3

Klassificering

FoI

Revision

Final

Författare

Peter Ottosson

Granskad

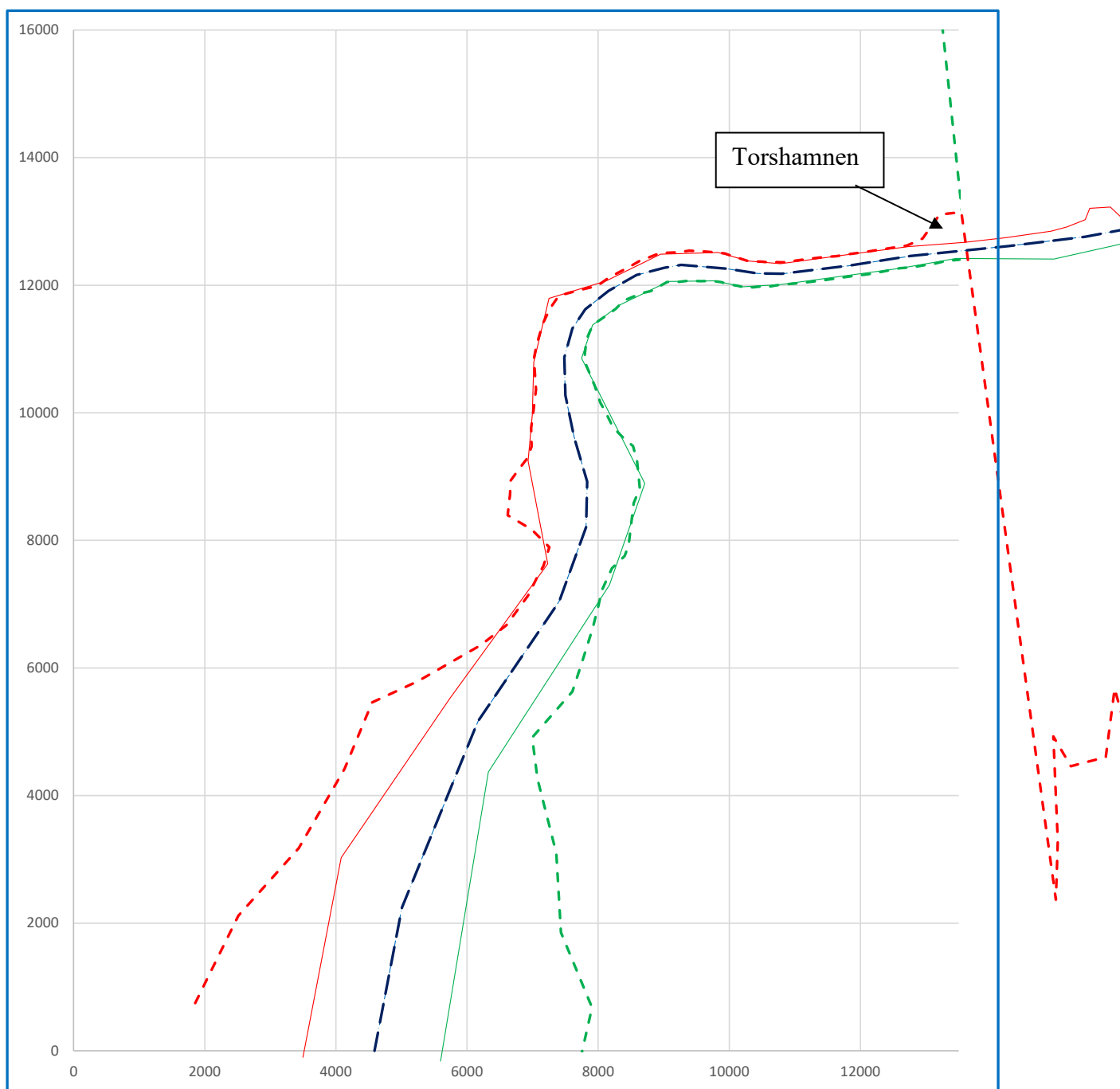
Karl-Johan Raggl

De olika ruttalternativen

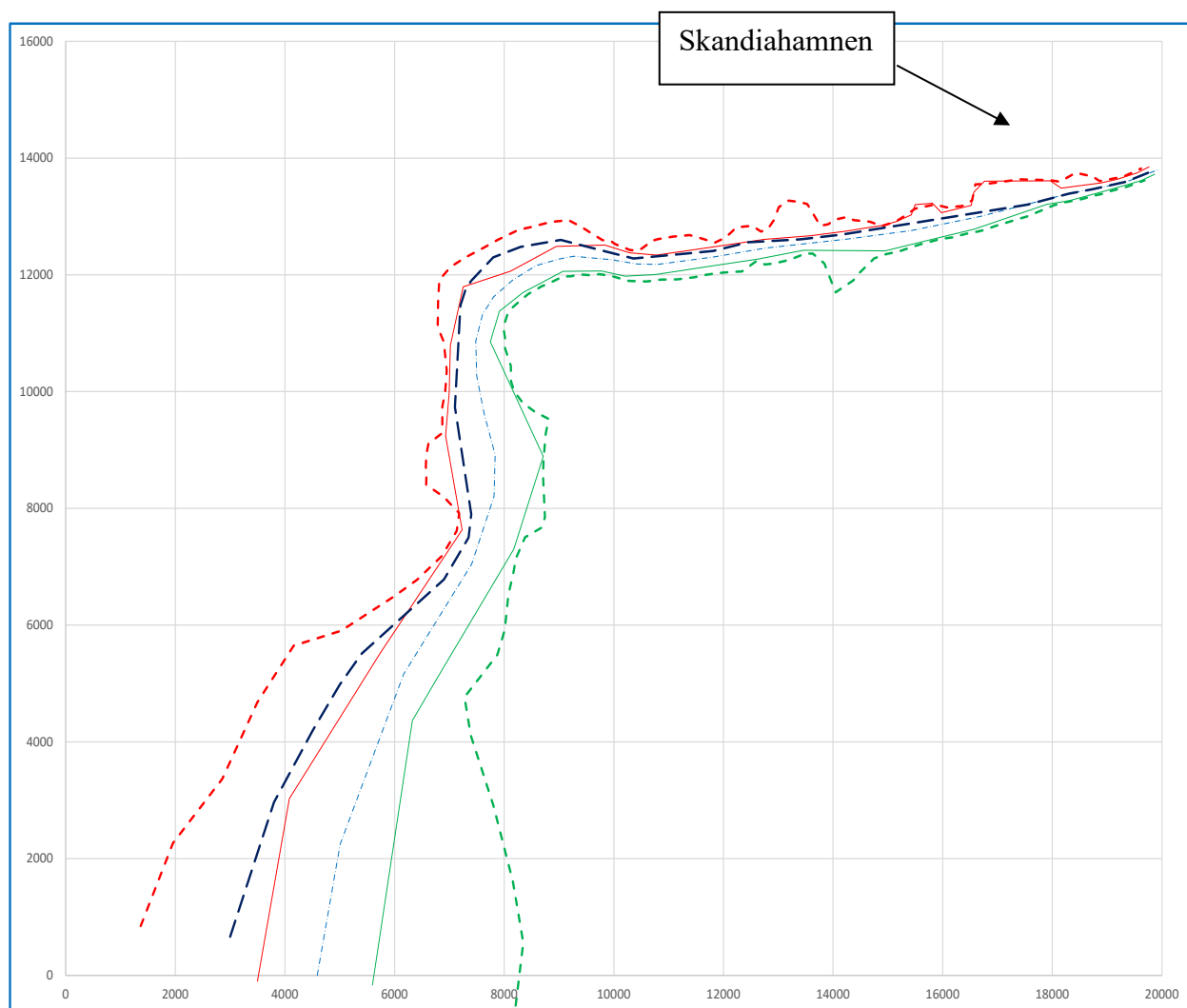
Projekt ”Förutsättningar för framtidens farleder”

**Simuleringar med fartyg i olika scenarier av in- och utsegling till/från
Göteborg**

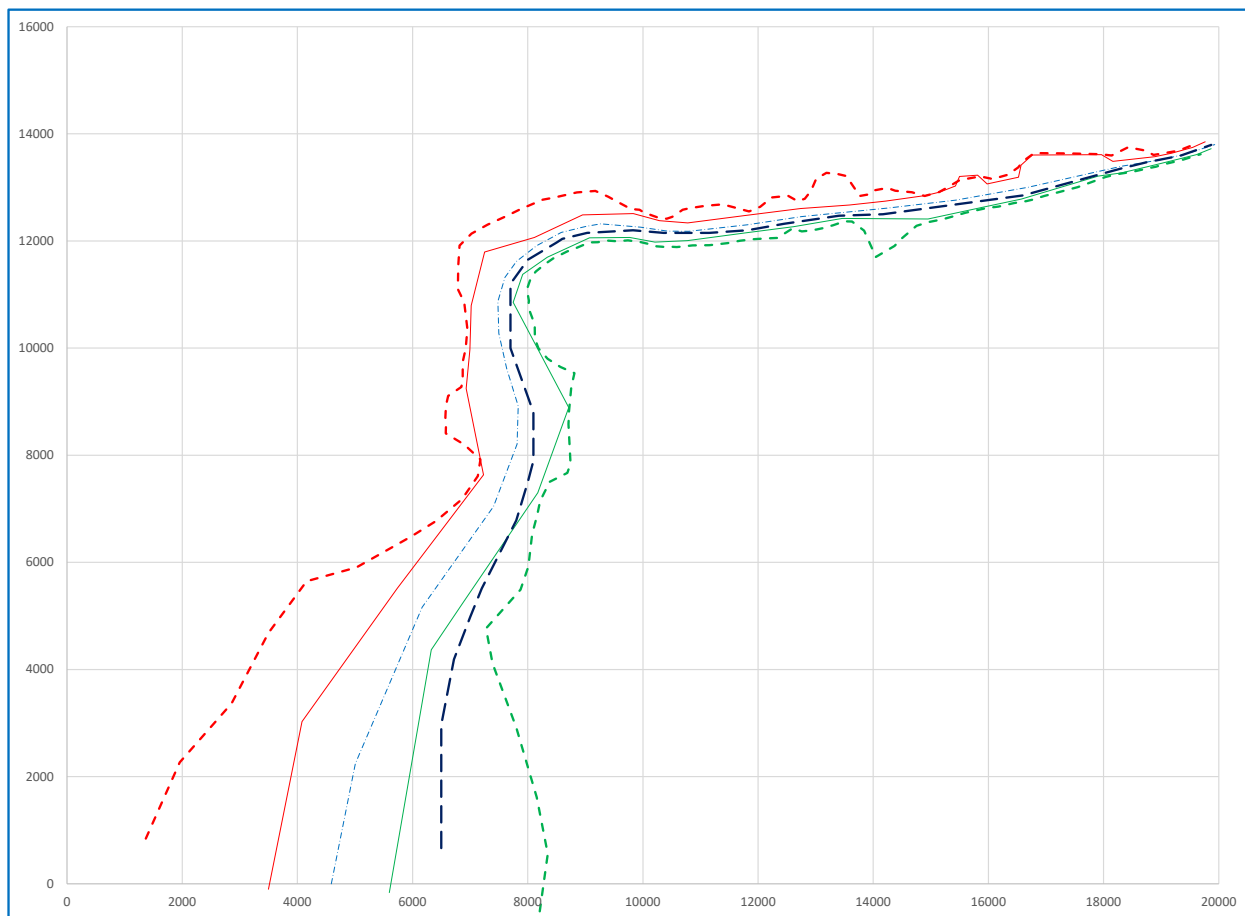
Farledsalternativ (farledslinjer)



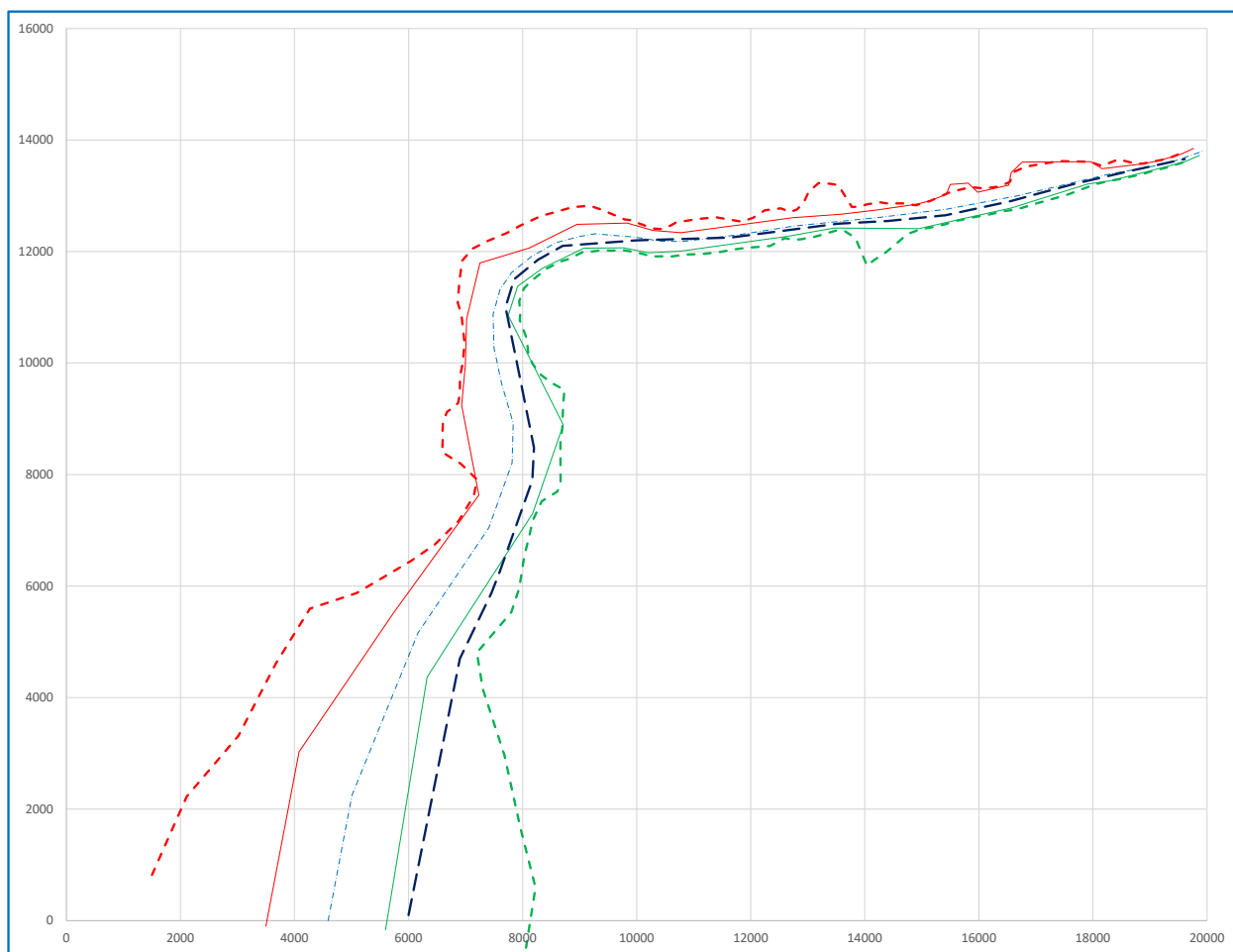
Figur 1 Farledsalternativ 0 (dagens farledsdragning)



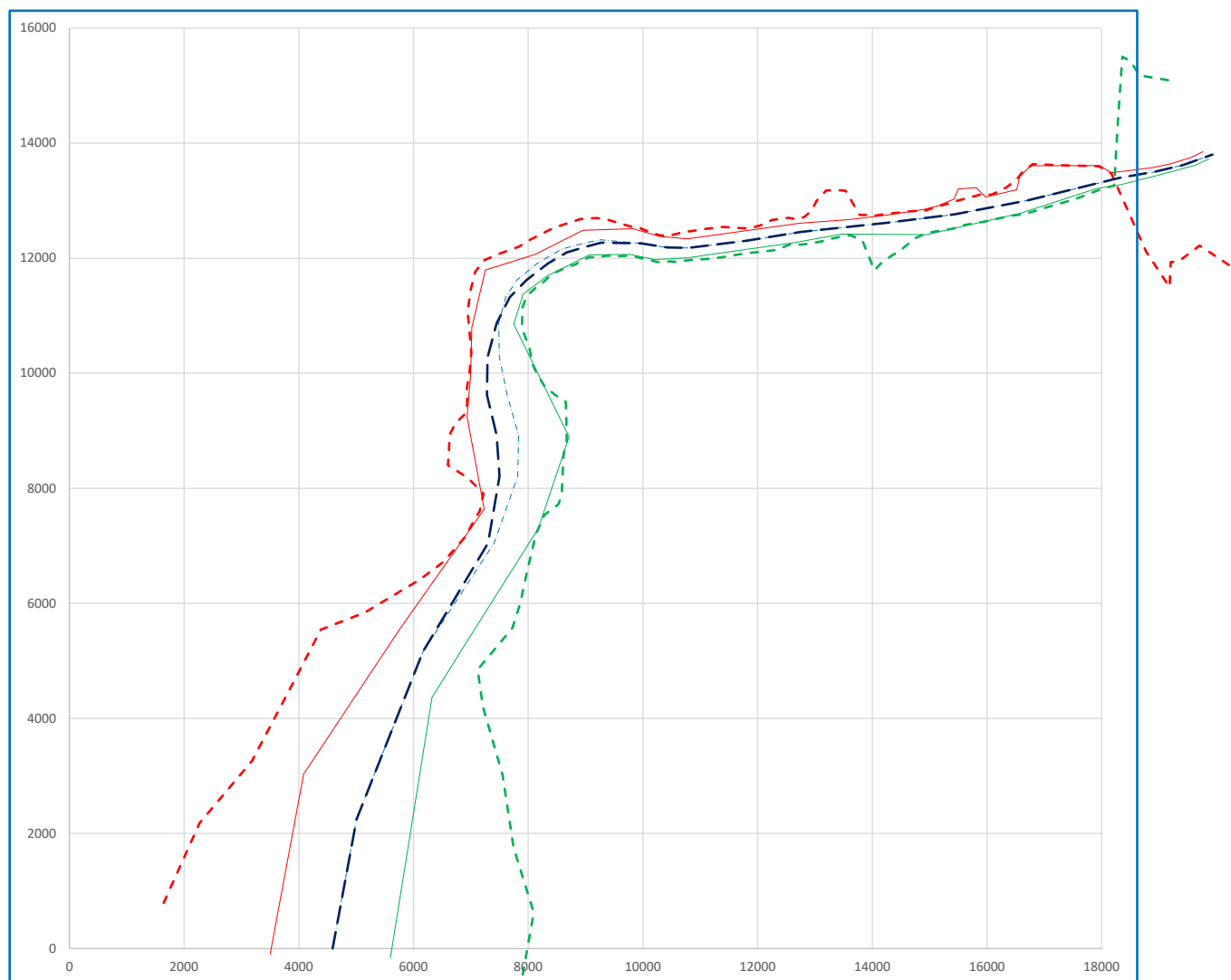
Figur 2 Farledsalternativ 1 (6 m vattendjup)



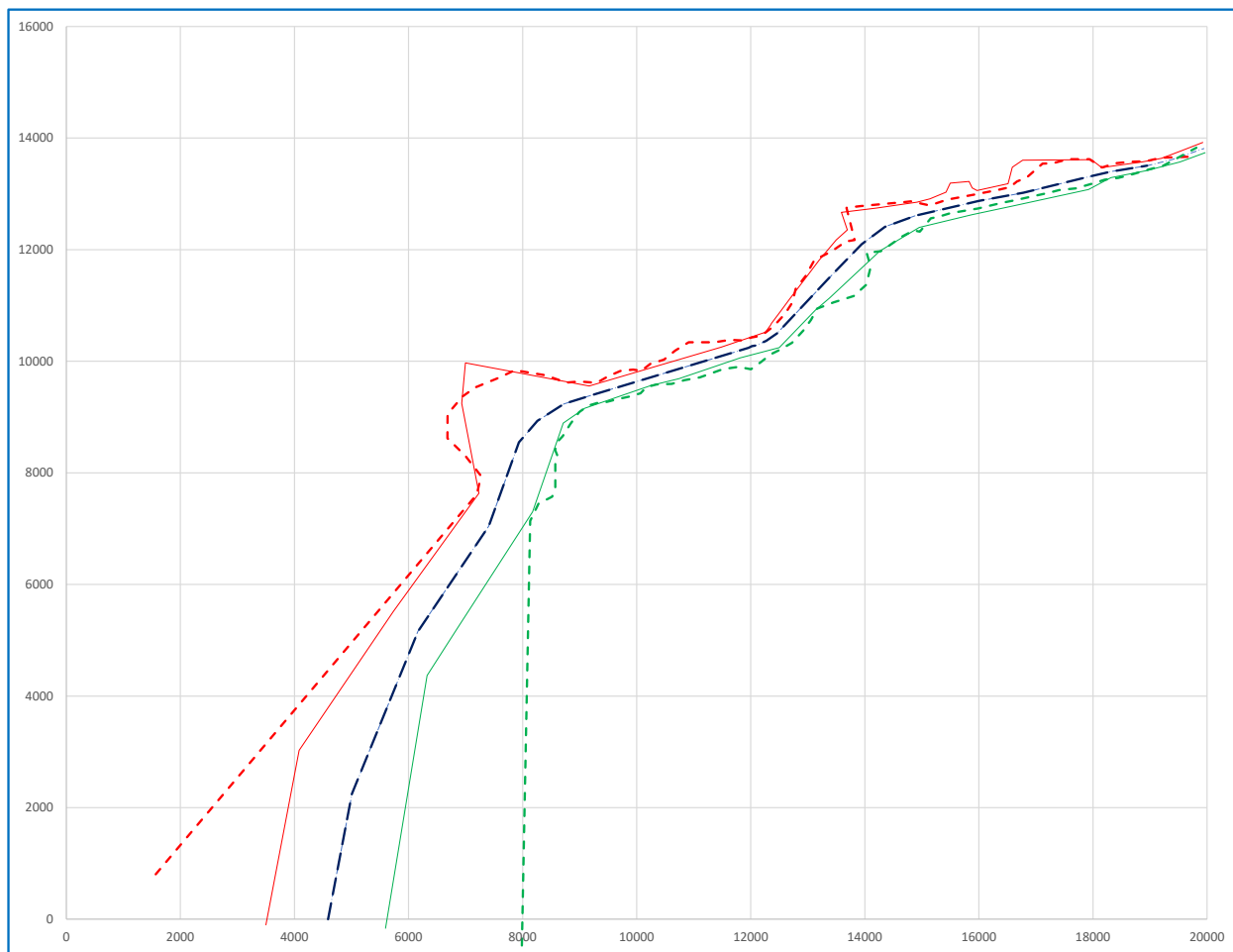
Figur 3 Farledsalternativ 2 (6 m vattendjup)



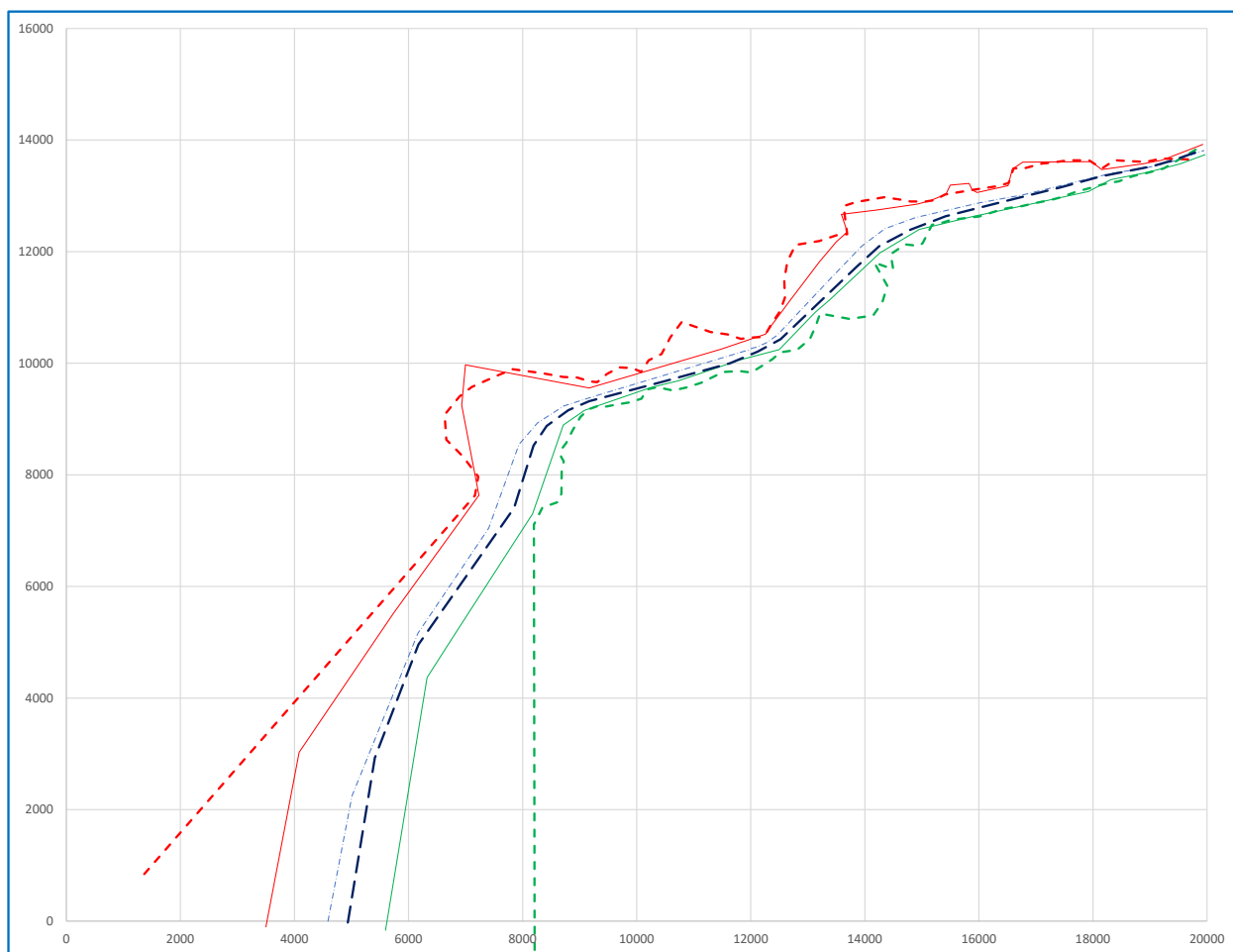
Figur 4 Farlerdsalternativ 3 (10 m vattendjup)



Figur 5 Farledsalternativ 4 (14.2 m vattendjup)



Figur 6 Farledsalternativ 5 (12 m vattendjup)



Figur 7 Farledsalternativ 6 (6m vattendjup)

APPENDIX 4

Datum

2024-06-10

Projekt ID/Dokument ID

P220812/A4

Klassificering

FoI

Revision

Final

Författare

Peter Ottosson

Granskad

Karl-Johan Raggl

Beräkning av säkerhetsindex

Projekt "Förutsättningar för framtidens farleder"

**Simuleringar med fartyg i olika scenarier av in- och utsegling till/från
Göteborg**

Beräkning av säkerhetsindex

Simuleringsprogrammet omfattar en beräkning av ett så kallat säkerhetsindex, som är tänkt att representera den risk ett fartyg utsätts för när det seglar genom en farled. Detta index har i de simuleringar som avser befintlig utmärkning beräknats enligt:

$$SI = (0.5 SI_{rud} + 0.5 SI_{PIANC}) SI_m SI_{fa} \quad \text{Ekvation 1}$$

och för framtida utmärkning enligt:

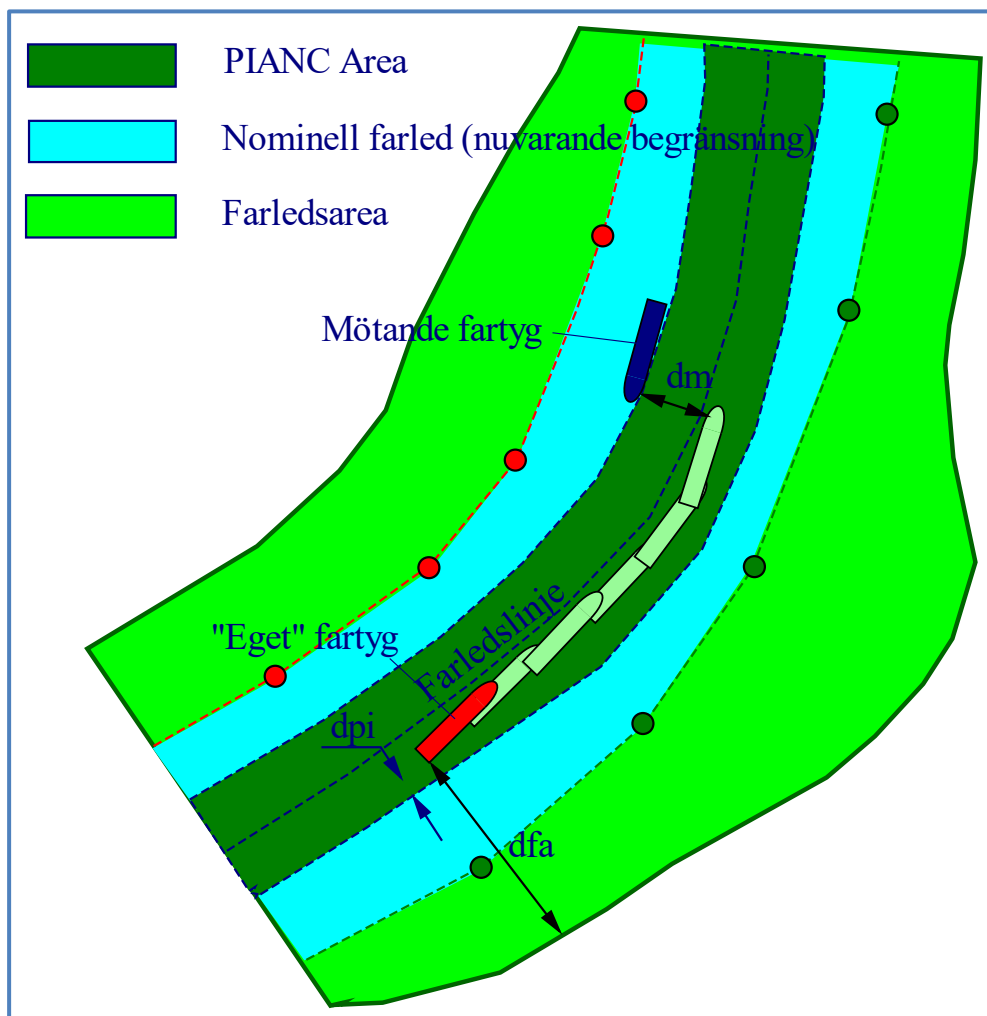
$$SI = (0.33 SI_{fa} + 0.33 SI_{rud} + 0.33 SI_{PIANC}) SI_m \quad \text{Ekvation 2}$$

SI_{fa} - minsta avstånd/klarning till farledsareans gräns eller nominell farledsgräns.

SI_{rud} - använt roderarbete

SI_{PIANC} - minsta avstånd till PIANC's rekommenderade farledsbredd

SI_m - minsta avstånd mellan predikterad position och eventuellt mötande fartyg



Figur 1 Definitionsför beräkning av säkerhetsindex SI

Initialt är samtliga index = 1.0

Om totala indexet, SI, efter den simulerade genomseglingen, fortfarande är 1.0, kan övningen betraktas som helt riskfri. Är det under 0.3 betraktas den i dessa simuleringar som underkänd.

1.1. Minsta avstånd/klarning till farledsareans gräns - SI_{fa}

Farledsarean representeras av det ljusgröna området i Figur 1 ovan, och är det område inom vilket vattendjupet är minst 1.1 x djupgåendet, dvs där den nominella bottenklarningen är minst 10%. Minsta klarningen mellan fartyg och dess gräns, dfa i figuren utgör basen för beräkningen av indexet SI_{fa} enligt

$$SI_{fa} = 1 - \frac{B - dfa}{B} \quad \text{då } |dfa| < B$$

$$SI_{fa} = 1 \quad \text{då } |dfa| > B$$

Dfa är då det minsta klarningen sim upplevs under hela resan.

I det fall då befintlig utmärkning simuleras, används avståndet till den nominella farledsgränsen i stället

1.2. Minsta klarning till PIANC's rekommenderade minsta farledsbredd

Det mörkgröna området i Figur 1, på ömse sida av den valda farledslinjen, representerar den farledsbredd som PIANC rekommenderar för envägstrafik. Delindexet SI_{PIANC} räknas ut enligt:

$$SI_{PIANC} = 1 - 0.5 \frac{B - d_{PIANC}}{B} \quad \text{då } |d_{PIANC}| < B$$

$$SI_{PIANC} = 1 \quad \text{då } |d_{PIANC}| > B$$

Detta delindex bedöms ej så "straffande" och blir alltså aldrig mindre än 0.5

1.3. Index för använt roderarbete

Roderindexet SI_{rud} påverkas först då absolutvärdet av rodervinkeln är större än 20° och minskar då successivt från värdet 1.0 under en viss tid, som beror på storleken av fartyg enligt:

$$T_{lim} = \left(\frac{L_{pp}}{300} \right)^2 \times 300$$

Dvs om $L_{pp} = 300$ blir $T_{lim} = 300$, om $L_{pp} = 100$ blir tiden istället $T_{lim} = 173$ sek

Roderindex SI_{rud} beräknas då enligt:

$$SI_{rud} = 1 - \frac{\sum_{t=t_1}^{t_2} (|\delta| - \delta_{lim}) dt}{(\delta_{max} - \delta_{lim}) T_{lim}}$$

δ = rodervinkel

δ_{lim} = gränsvinkel över vilken indexet påverkas (här = 20°)

t_1 = tidpunkten då rodervinkeln överskrider gränsvinkeln, dvs då $\delta > \delta_{lim}$

t_2 = tidpunkten då rodervinkeln åter minskar under gränsvinkeln

$\delta_{\max}$ = maximal rodervinkel (ofta = 35°)

1.4. Mötesindex

I de fall då fartyget möter ett annat beräknas ett index baserat på det minsta klarningen mellan den sista (femte) predikterade positionen och det mötande fartyget, d_m , se Figur 1.

$$SI_m = 1 - \frac{B - d_m}{B} \quad \text{då } |d_m| < B$$

$$SI_m = 1 \quad \text{då } |d_m| > B$$

Detta delindex betraktas här som mer betydelsefullt och multipliceras därför med summan av de övriga.

APPENDIX 5

Datum

2024-06-10

Projekt ID/Dokument ID

P220812/A5

Klassificering

FoI

Revision

Final

Författare

Peter Ottosson

Granskad

Karl-Johan Raggl

Bränsleförbrukning

Projekt "Förutsättningar för framtidens farleder"

**Simuleringar med fartyg i olika scenarier av in- och utsegling till/från
Göteborg**

Beräkning av bränsleförbrukning

Bränsleförbrukningen för hela inseglingen har här beräknats genom att dela upp hela sträckan i totalt 40 lika långa delsträckor och för varje delsträcka beräkna ett medeldjupgående, som erhålls ur aktuella djupdata. Baserat på vattendjupet beräknas motståndet för fartyget, för en viss antagen fart, och därefter den propellertryckkraft och maskineffekt som erfordras för att hålla den antagna farten. Detta ger i sin tur, med ett antagande om en specifik bränsleförbrukning på 180 g/kWh bränsleförbrukningen. Matematiskt kan detta uttryckas som:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{40} P_D(i) \sigma t(i)}{1000}$$

F = bränsleförbrukningen i kg

σ = specifik bränsleförbrukning i g/kWh

$P_D(i)$ = Effektåtgång för delsträcka i

$t(i)$ = tiden att tillryggälägga delsträcka i = $L_{seg}(i)/V$

$L_{seg}(i)$ = Längd på delsträcka i

V = farten i m/s

För vart och ett av fartygen, som med hänsyn till dess djupgående kan trafikera hela sträckan, erhålls då, för en fart på 10 knop följande bränsleförbrukning:

400 m container

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	1543	153.9
1	10.91	61.93	1627	157.7
2	10.45	59.34	1529	154.6
3	10.43	59.22	1548	156.9
4	10.48	59.47	1532	154.6
5	9.35	53.05	2250	254.5
6	9.24	52.47	2230	255.1

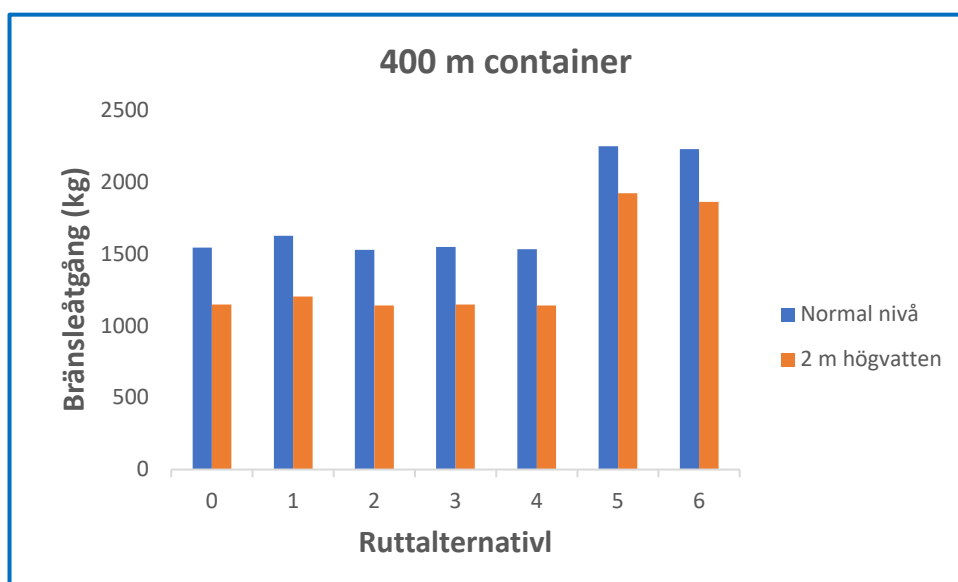
Tabell 1 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 400 m Container (Fartyg B) – Normal vattennivå

Ruttalternativ	0	1	2	3	4	5	6
Längd	10.6	10.91	10.45	10.43	10.48	9.35	9.24

Tabell 2 Ruttlängder

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	1149	114.6
1	10.91	61.93	1204	116.7
2	10.42	59.16	1142	115.8
3	10.43	59.22	1147	116.2
4	10.48	59.51	1141	115.0
5	9.35	53.05	1921	217.3
6	9.24	52.47	1861	212.9

Tabell 3 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 400 m Container (Fartyg B) – 2 m högvatten



Figur 1 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 400 m Container

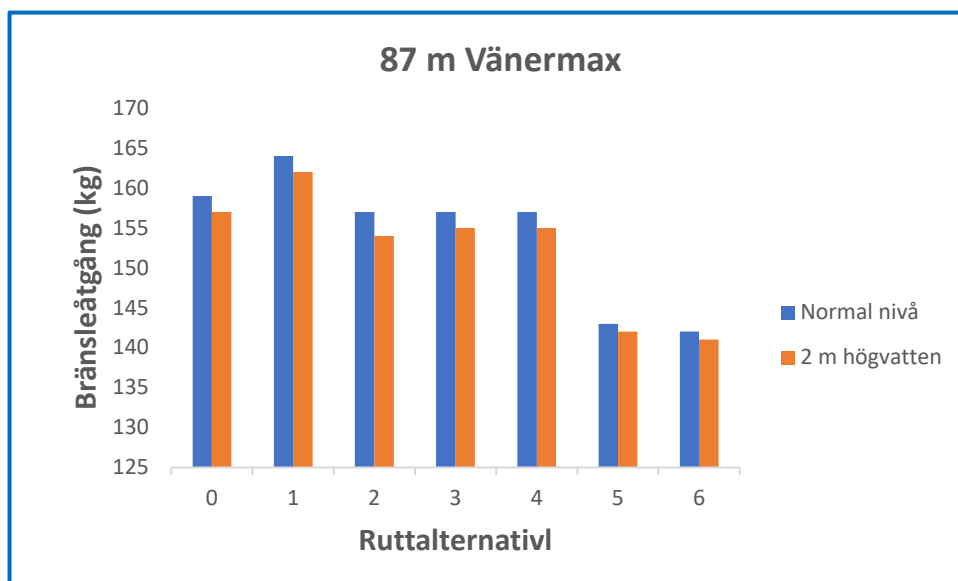
87 m Vänermax

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	159	15.8
1	10.91	61.93	164	15.9
2	10.45	59.34	157	15.9
3	10.43	59.22	157	15.9
4	10.48	59.47	157	15.8
5	9.35	53.05	143	16.2
6	9.24	52.47	142	16.2

Tabell 4 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 87 m Vänermax (Fartyg C) – Normal vattennivå

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	157	15.6
1	10.91	61.93	162	15.7
2	10.42	59.16	154	15.7
3	10.43	59.22	155	15.7
4	10.48	59.51	155	15.6
5	9.35	53.05	142	16.1
6	9.24	52.47	141	16.1

Tabell 5 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 87 m Vänermax (Fartyg C) – 2 m högvatten



Figur 2 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 87 m Vänermax

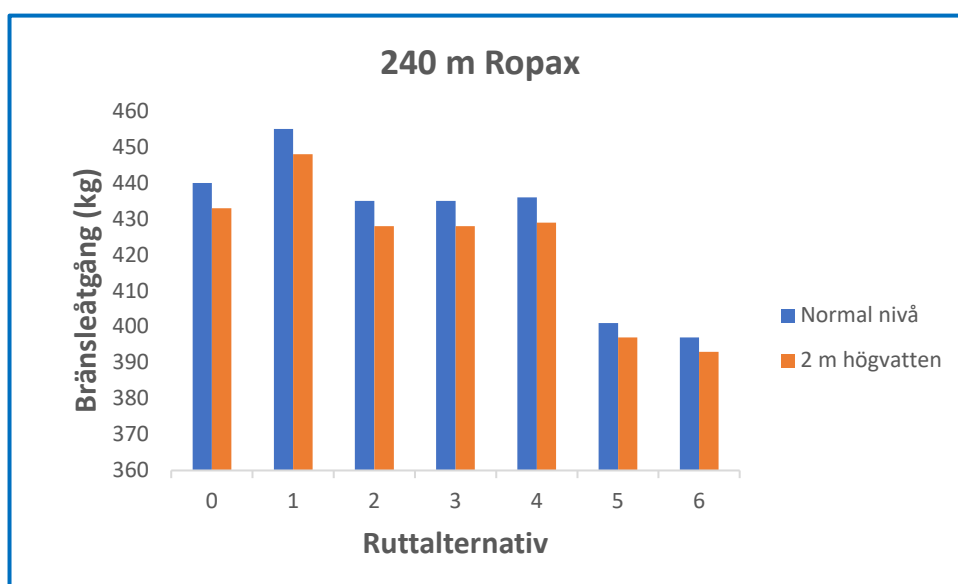
240 m Ropax

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	440	43.9
1	10.91	61.93	455	44.1
2	10.42	59.16	435	44.1
3	10.43	59.22	435	44.1
4	10.48	59.49	436	44.0
5	9.35	53.05	401	45.4
6	9.24	52.47	397	45.4

Tabell 6 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 240 m Ropax (Fartyg D) – Normal vattennivå

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	433	43.2
1	10.91	61.93	448	43.4
2	10.42	59.16	428	43.4
3	10.43	59.22	428	43.4
4	10.48	59.49	429	43.3
5	9.35	53.05	397	44.9
6	9.24	52.47	393	44.9

Tabell 7 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 240 m Ropax (Fartyg D) – 2 m högvatten



Figur 3 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 240 m Ropax

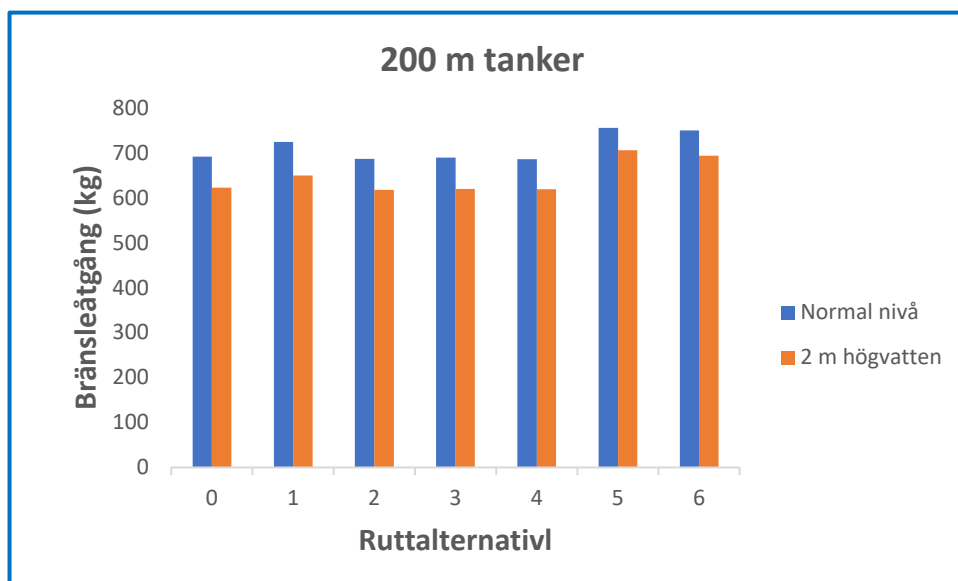
200 m Tanker

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	692	69.0
1	10.91	61.93	725	70.2
2	10.45	59.34	687	69.5
3	10.43	59.22	690	69.9
4	10.48	59.47	686	69.2
5	9.35	53.05	756	85.6
6	9.24	52.47	750	85.8

Tabell 8 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 200 m Tanker (Fartyg E) – Normal vatten nivå

Farled (-)	Längd (nm)	Tid (min)	Bränsle (kg)	Bränsle (kg/m)
0	10.60	60.15	623	62.2
1	10.91	61.93	650	63.0
2	10.42	59.16	618	62.7
3	10.43	59.22	620	62.9
4	10.48	59.51	619	62.4
5	9.35	53.05	706	79.9
6	9.24	52.47	694	79.4

Tabell 9 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 200 m Tanker (Fartyg E) – 2 m högvatten



Figur 4 Bränsleförbrukning mellan punkterna A och B för 200 m Tanker

Fartyg A har för stort djupgående för att klara hela sträckan in till Punkt B.

Den (nästan) underhållsfria och miljövänliga farleden

Sjöfartsverket

Författare: Tommy Skarpling, Mikael Gröön och Anton Dahl

Vision för Farledsunderhåll 2035

Detta arbetspaket är ett exempel där vi illustrerar hur underhållet av Sjöfartsverkets farleder och sjösäkerhetsanordningar (SSA) skulle kunna se ut år 2030 där vi har minskat utsläppen från fossila bränslen med minst 80%, tiden för underhållsarbete har minskat med 50% med minskade risker för personalens olyckor och minskat buller i skärgården med bibehållen eller ökad tillgänglighet i alla farleder.

I dagsläget planeras för årliga underhållsbesök på alla Sjöfartsverkets fasta och flytande sjösäkerhetsanordningar. Med hjälp av ett effektivt system med visuell planering med AI-stöd, reviderade arbetssätt, effektiv logistik samt UAS:er med AI-stöd i form av Machine Vision och ett behovsanpassat underhållsintervall kan underhållsaktiviteter genomföras effektivare, säkrare och mer miljövänligt. Med dessa förändringar minskar vi användning av fossila bränslen samt kan öka tillgängligheten och kvalitet. Självklart kommer det nya farledsunderhållet också överensstämma med befintliga lagar, förordningar, föreskriven internationell standard och Sjöfartsverkets egen uppbyggda erfarenhet och sätta mål.

Vision för nytt systematiskt underhållsarbete

Efter en grundlig studie av Sjöfartsverkets alla SSA:er har man utarbetat ett nytt system för underhåll. Detta bygger på att underhållet delas upp i två olika aktiviteter:

- Tillsyn – vilket innebär att man fysiskt utför underhållsåtgärder, såsom rengöring och byte av kätting eller motsvarande på en prick, påfyllnad av batterivatten eller byte till litiumbatterier samt rengöring av lykta och solpanel på en fyr. Tillsyn utförs av Sjöfartsverkets tekniker och farledsfartyg som går på fossilfritt bränsle.
- Inspektion – vilket innebär att man endast visuellt inspekterar SSA:n för att detektera avvikelser som kräver åtgärd. En inspektion kan därmed automatiskt skapa en tillsynsåtgärd. Inspektionen utförs med hjälp av en eldriven UAS (drönare) eller annat hjälpmedel som t ex en båt i annat ärende som passar på att utföra en inspektion.

Beroende på varje individuell SSA:s förutsättningar, med avseende på teknik och yttre faktorer som t ex salinitet, strömmar, trafik och is, blir den tilldelad en underhållsklass. Underhållsklassen anger sedan hur ofta tillsyn behöver utföras. De år som tillsyn inte utförs genomförs istället en inspektion. Detta medför att mängden underhåll, kostnader och miljöpåverkan kopplat till tillsynstillfället minskar avsevärt eftersom mindre fartygstid krävs samtidigt som objektens skick och nautiska funktion säkerställs.

Årets arbete planeras centralt och grovt utifrån verksamhetens uppbyggda erfarenhet i kombination det nya och visuella planeringsprogrammet. Vartefter isen släpper och årets planerade underhåll kan påbörjas startar efterföljande aktiviteter. Nedan följer ett antal scenarion som visar hur tillsyn och inspektion skulle kunna se ut.

Inspektion av flytande sjösäkerhetsannordningar

Medarbetare från Sjöfartsverkets UAS-enhet ger sig ut för att genomföra vår-inspektion av flytande utmärkning. Dagens rutt och logistik är optimerad med hjälp av Sjöfartsverkets visuella planeringsverktyg.

Enheten packar in sin utrustning i en elbil och kopplar på en trailer med mindre båt. Man transporterar sig till dagens första område och parkerar bilen vid en mindre hamn. Väl på plats packar man ur och gör sin UAS (drönare) redo för avfärd. Rutten är redan förberedd och genereras utifrån data hämtad från underhållssystemet.

UAS:en flygs autonomt och övervakas endast av Sjöfartsverkets UAS-pilot och observatör. Dagens arbete går ut på att visuellt inspektera och positionsbestämda ett antal prickar och bojar som är del av Sjöfartsverkets flytande utmärkning i farleden.

Flytande utmärkningar i viktiga farleder är utrustade med GPS-positioneringsutrustning vilket innebär att positionen kontinuerligt övervakas i systemet med larmfunktionalitet.

UAS:en kan med hjälp av inbyggd positioneringsutrustning, kamera och instrument positionsbestämma utmärkningen med mycket stor noggrannhet. Med hjälp av kamera och AI-programvara mha Machine Vision görs en automatisk bedömning av den flytande utmärkningens skick.

Efter avslutad flygning konstateras att all utmärkning står på sina angivna positioner och är i gott skick. Om position eller skick skulle avvika från satta gränsvärden och kräva en fysisk åtgärd genereras en arbetsorder automatiskt i underhållssystemet och planeras för utförande av en ”incident manager” med målsättning att åtgärden kan utföras i samband med något senare ordinarie arbete och rutt.

En utvecklingsmöjlighet vidare kan vara att fast stationera UAS:er i självförsörjande hangarer/lådor vid vissa farleder lokaliserade vid lotsstationer eller exempelvis större landbaserad fyr eller liknande. Dessa skulle sedan kontrolleras från lämpligt kontor och därmed minska behovet av personer på plats. Dessa stationära UAS:er skulle även kunna användas av andra SjöVs verksamheter så som Lotsning (Fjärrlotsning), Sjötrafikinformation, SAR, Isrekognosering och spillspårning för att ytterligare öka användandet och effektivitet.

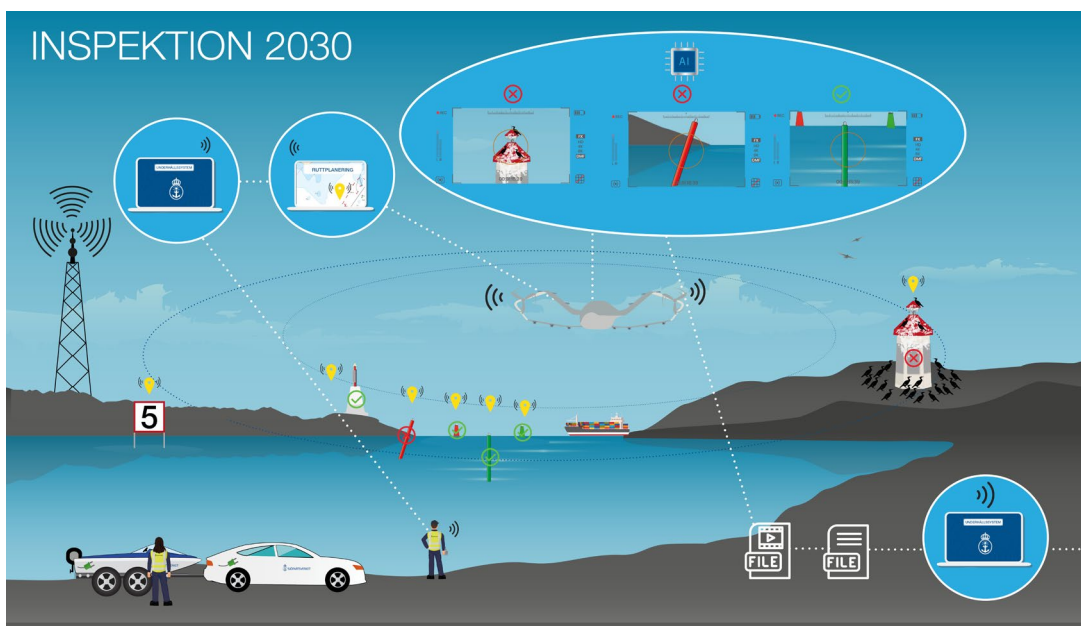


Bild 1. Framtida inspektion av flytande och fasta SSA samt Fyr.

Tillsyn av flytande sjösäkerhetsanordning

Sjöfartsverkets arbetsfartyg lämnar kaj för att utföra tillsyn på Sjöfartsverkets flytande utmärkning. Rutten är lagd med hjälp av det visuella planeringsverktyget som hämtar sin information från Sjöfartsverkets underhållssystem. Då man bytt till ett nyare förankringsmaterial som upphandlats av aktörer på marknaden genom innovationsupphandlingar med nyutvecklad bojkonstruktion samt att utrustningen står i relativt skyddat vatten möjliggörs att tillsyn endast behövs genomföras vart fjärde år.



Bild 2. Bild över pågående tillsyn av SSA och Fyrar i framtiden

Författare: Tommy Skarpling, Mikael Gröön och Anton Dahl

Utöver de SSA:er som skall underhållas enligt underhållsschemat har man genom det visuella planeringsverktyget identifierat två prickar i ett närliggande område som är ur position på grund av islossningen. Dessa prickar har inte GPS-positionering eftersom de inte står i en prioriterad farled. Felen upptäcktes av UAS-enheten vid den årliga inspektionen. Fartyget optimerar rutten, åtgärdar felen och åker vidare till det planerade arbetsområdet. Väl på plats genomförs tillsyn av Sjöfartsverkets prickar och bojar. Uttjänt material byts, prick och bojkroppar rengörs och övriga underhållsaktiviteter utförs för att säkerställa driften tills nästa tillsynsbesök och alla åtgärder dokumenteras i samband med tillsynen i mobila enheter som är kopplade till underhållssystemet.

Inspektion av Fyrar

Efter att medarbetarna från Sjöfartsverkets UAS-enhet avslutat arbetet med vår-inspektion av flytande sjösäkerhetsanordningar transporterar de sig med elbil till ett närliggande område för inspektion av Sjöfartsverkets fyrar. Väl på plats förbereds UAS:en för avfärd. Rutten, som är baserad på data från Sjöfartsverkets underhållssystem, matas in i UAS:en som sedan genomför inspektionen autonomt, piloten och observatören övervakar endast flygningen. UAS:en flyger med hög fart och med hög säkerhet till den första fyren.

Inspektion genomförs genom en noggrann filmning av fyrens exteriör. Med hjälp av en högupplöst kamera i kombination med AI-programvara bedöms skicket på fyren. Faktorer som bedöms är till exempel nedsmutsning av fyrlykta, lanterninglas och solpanel samt yttre påverkan så som skadegörelse eller inbrott. Om en avvikelse detekteras genereras en arbetsorder för tillsyn av fyren som sedan utförs av driftenheten.

Under inspektionsrundan konstateras att majoriteten av fyrarna inte kräver någon åtgärd. Dock identifieras två fyrar som är kraftigt ansatta av fåglar. För att säkerställa fyrens nautiska funktion behöver ett tillsynsbesök göras för att rengöra solpaneler och fyrlykta.

Arbetsorder genereras automatiskt av systemet och skickas till underhållssystemet och det nya planeringssystemet för optimerad ruttplanering.

Tillsyn av fyrar

Sjöfartsverkets farledsfartyg, som går på fossilfritt miljöbränsle, lämnar kaj för att genomföra ett arbetspass med tillsyn av fyrar. Rutten är optimerad med hjälp av Sjöfartsverkets grafiska planeringsverktyg.

Man har utöver det arbete som är schemalagt enligt underhållsplan även identifierat tre ytterligare objekt i närområdet. En fyr som är försedd med integrerad övervakning via GSM nätet har larmat för låg batterispänning. Övervakningen är sammankopplad med Sjöfartsverkets underhållssystem och har automatiskt genererat en arbetsorder. Denna har bedömts av en "incident manager" och automatiskt planerats och fördelats till den utförande enheten.

Vid tillsynsbesöket konstaterar farledsfartyget att fyrens solpanel skadats vid en storm. Panelen byts till ny och man passar även på att genomföra tillsynsbesök av fyren. Man transporterar sig sedan vidare till två andra fyrar där UAS-inspektionen har genererat tillsynsbesök. Fyrarna är på grund av sitt geografiska läge hårt ansatta av smuts och fågelspillning. Fyrarna rengörs och övriga tillsynsaktiviteter genomförs.

Författare: Tommy Skarpling, Mikael Gröön och Anton Dahl

Farledsfartyget genomför sedan ordinarie underhåll på övriga fyrar enligt plan. Fyrarna städas, fyrlyktor, lanterninglas och solpaneler rengörs, batterivatten fylls på, utrustningen kontrolleras och funktionsprovas. Arbetet avrapporteras i underhållssystemet och farledsfartygen återvänder till kaj efter ett väl utfört arbete.

Inspektion av övriga fasta anordningar

Med övriga fasta anordningar menas sjösäkerhetsannordningar som har en fast position på land, men som inte är försedd med fyrljus. Exempel på övriga fasta anordningar är kummel, belysta kummel, stänger, båkar och skyltar.

Tidigare planerades årlig tillsyn av fasta anordningar, genomfört av ett farledsfartyg, samt besiktning vart sjätte år, genomfört av en byggprojektledare. På grund av resursbrist har detta dock sällan genomförts.

Medarbetare från Sjöfartsverkets UAS-enhet ger sig ut för att genomföra inspektion av övriga fasta anordningar. UAS och övrig utrustning packas in i avdelningens elbil. Ett släp med mindre, effektiv eldriven båt kopplas på bilen och medarbetarna ger sig iväg till dagens arbetsområde.

När UAS-enheten transporterat sig till dagens arbetsområde packar man ur utrustningen och gör UAS:en redo för avfärd. Dagens rutt är baserad på data från Sjöfartsverkets underhållssystem och optimerad med hjälp av visuell planering.

UAS:en lämnar kaj och beger sig till dagens första objekt, ett kummel bestående av en målad stenkonstruktion. Med hjälp av kamera och AI-programvara bedöms kumlets skick. Under inspektionen konstateras att kumlet är i behov av målning. En arbetsorder genereras automatiskt och planeras för utförande i underhållssystemet.

Filmer från inspektionen skickas även till Sjöfartsverkets byggprojektledare. Projektledare kan då göra en bedömning på objektets skick och avgöra när ett platsbesök behöver utföras för att säkerställa den strukturella integriteten. UAS:en flyger vidare enligt sin planerade rutt och genomför inspektion av dagens resterande objekt.

Tillsyn av övriga fasta anordningar

I samband med övrigt arbete i området beger sig Sjöfartsverkets farledsfartyg till ett kummel för att utföra tillsyn. Kumlets konstruktion är av sådan typ att underhåll inte behöver genomföras efter ett bestämt tidsintervall utan tillståndsbaserat underhåll används. Detta innebär att ett tillsynsbesök endast genomförs om en avvikelse detekteras vid inspektionen.

Vid senaste inspektionen detekterad AI-programvara en avvikelse vilket resulterade i ett tillsynsbesök. Farledsfartygen anländer till kumlet och genomför underhållsaktiviteter i form av siktröjning, kontroll av material och målning vilket också dokumenteras i mobila enheter direkt till underhållssystemet.

Program för Vision Underhåll 2030

För att kunna genomföra visionen om detta förändrade sättet att arbeta med underhåll genom ny teknik och nya system har vi identifierat ett större antal projekt av både verksamhets- och teknikkaraktär.

Det som dock ligger till grund för möjligheten av dessa förändringar är att vi utnyttjar den kunskap som finns i nuvarande verksamhet som genom en förstudie tar fram material för bedömning av nya underhålls- och inspektionsklasser. Till detta pågår nu parallellt arbeten med att se hur Sjöfartsverket kan införa UAS:er i flera olika verksamheter (SAR, Isbrytning, Sjömätning) och hantera detta centralt. I samband med att ett nytt affärssystem införs hoppas vi på att kunna utnyttja detta till att dokumentera förvaltningsinformation på ett effektivare sätt än idag.

Genom ny teknik med UAS, GPS-positionering, SSA:er som infrastrukturbärare och kommunikation skapar vi möjlighet att dokumentera och övervaka. Detta i sin tur minskar antalet fysiska resor med fartyg och arbetsmoment som kan vara riskfyllda för personalen.

Då dessa projekt är sammankopplade men av olika karaktär så ser vi att det bör startas ett program för att hantera planering och framdrift.

Programmet bidrar till effektivare underhåll och minskad miljöpåverkan genom förändrade arbetssätt, förbättrat IT stöd och implementering av ny teknik.

VERKSAMHETS-utveckling

- Förstudie och införande av *Underhållsklasser* och *Inspektionsklasser* för SSA:er och färleder
- UAS-organisation i Sjöfartsverket för förvaltning och projekt till verksamheter samt underhåll (av UAS:er)
- ”UAS on demand” lämplighetsstudie gällande koncept om fast UAS stationering s.k. ”Drone in a Box” där UAS finns tillgänglig på fasta platser i skärgårdsmiljö, exempelvis på större fyrar eller lotsplatser och kan anropas vid behov. Samutnyttjande med bland annat SAR, Sjötrafikinformation, Lotsning, isrekognosering, spillspårning mm för ökad användande av UAS resurs. Utökad dokumentering av material, hållbarhet och oplanerat underhåll. Koppling till nytt affärssystem (IFS)
- Utveckling och implementering av kommunikationsinfrastruktur som möjliggör användande av tillämpbara S-100standarder för AtoN:s (Aids to Navigation) och stöttar det ökade UAS utnyttjandet.
- Ny logistik och arbetssätt för förvaltning av SSA med UAS och UAS-team med bil och trailerbar båt som komplement till befintlig bemanning.
- Innovationsupphandling av upphängning till flytande SSA:er.

Författare: Tommy Skarpling, Mikael Gröön och Anton Dahl

TEKNIK-projekt

- Positionering av flytande SSA:er. Förstudie och undersökning av teknik och förändrade underhållskrav.
- Krav på uthållighet och sensorer hos UAS för visuella inspektioner och positioner av SSA (bojar, prickar, skyltar och skyltbelysning, fyrar, fasadbelysning på fyrar).
- SSA:er som kommunikationsplattform för sensorer och mobiloperatörer. Möjlighet att samverka med Teracoms mobila lösningar.
- Underhållssystemet (IFS istf Poseidon) med kopplingar till nya underhållsklasser, teknikgrupper, inspektionsklasser och utrustning. Koppling med Logistik- och planeringssystem. Skapa automatiska arbetsordrar från t ex UAS, till LPS-system:
- Logistik-, planerings-, och simuleringssystem för test av underhållsklasser, inspektionsklasser och teknikklasser visuellt med bilder över hela kusten. Simulering av hållfasthet. Ned-zoomningsbar till områden och lättanvänt för att skapa gemensam förståelse och som grund till Arbetsorder. Tillsammans med NOSP, Visualiseringscenter och/eller LiU angående visualisering och logistik.
- Utveckling av AI-stöd i form av Machine Vision-system för (autonoma?) visuella inspektioner, positionering och inmätning av ljusvinklar hos fyrar med UAS
- Automatisk uppdatering av NIS-system (Poseidon/IFS) med info från inspektioner med UAS inkl fotografier.
- Krav och utvärdering av elbåtar och elbilar till UAS-besättningar
- Utvärdering av fossilfria arbetsbåtar
- Tester och utvärdering av fasta självförsörjande UAS stationer som fjärrstyrs från lämpligt kontor. "UAS in a box" lösning.

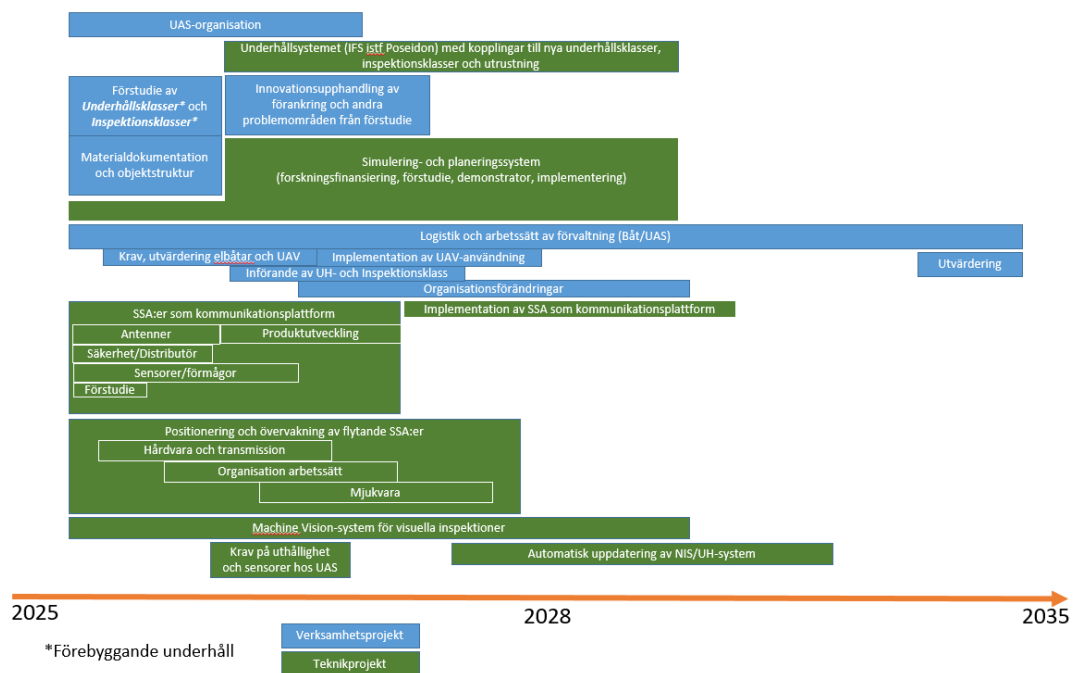
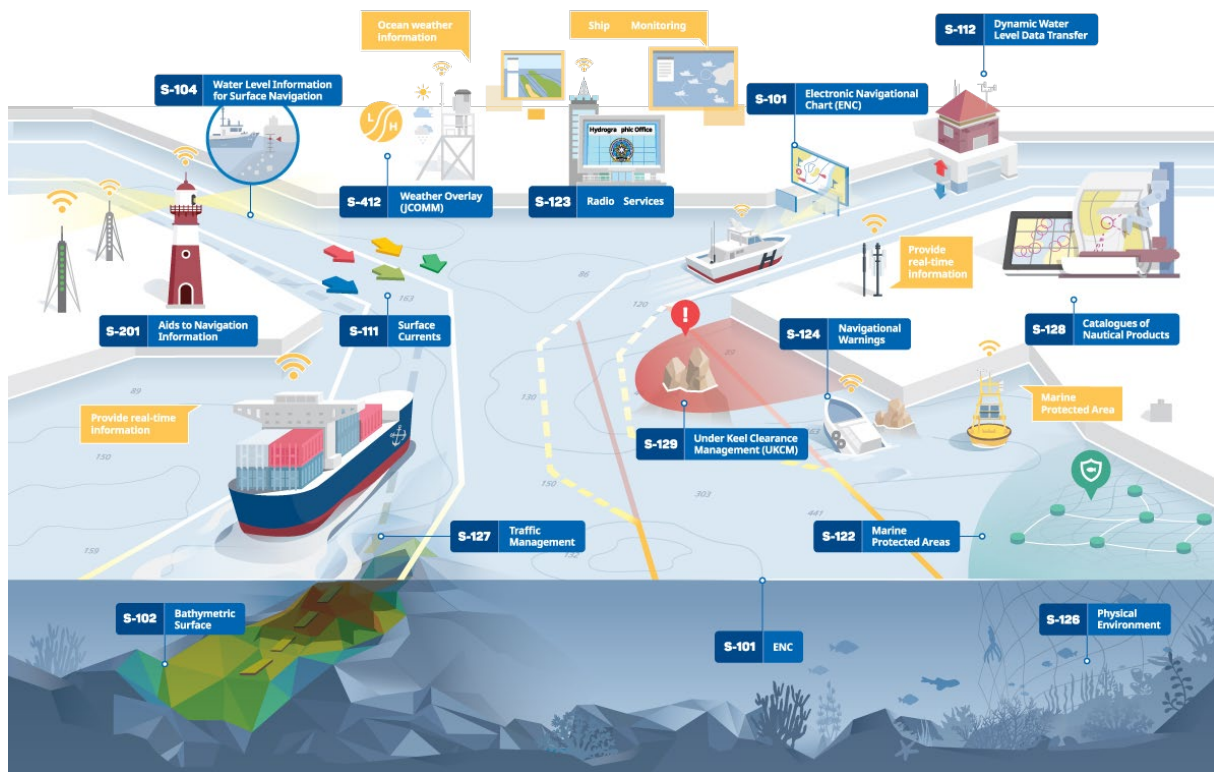


Bild 3. Översikt över Verksamhets- och Teknikprojekt för en (nästan) underhållsfri och miljövänlig farled.

Bilaga 4: S-100 based Product Specifications



An S-100 based Product Specification defines a data product, and usually includes additional resources. A list of known IHO S-100 based product specifications is provided below;

General Document

- S-97 Guidelines for Creating S-100 Product Specifications
- S-98 Data Product Interoperability in S-100 Navigational Systems
- S-99 Operational Procedures for the Organization and Management of the IHO GI registry
- S-100 IHO Universal Hydrographic Data Model

International Hydrographic Organization (IHO) (S-101 to S-199)

- S-101 Electronic Navigational Chart (ENC)
- S-102 Bathymetric Surface
- S-103 Sub-surface Navigation
- S-104 Water Level Information for Surface Navigation
- S-111 Surface Currents
- S-112 Open - (See Decision HSSC9/38)
- S-121 Maritime Limits and Boundaries
- S-122 Marine Protected Areas
- S-123 Marine Radio Services
- S-124 Navigational Warnings
- S-125 Marine Aids to Navigation (AtoN)
- S-126 Marine Physical Environment
- S-127 Marine Traffic Management
- S-128 Catalogue of Nautical Products
- S-129 Under Keel Clearance Management (UKCM)

- S-130 Polygonal Demarcations of Global Sea Areas
- S-131 Marine Harbour Infrastructure
- S-164 IHO Test Data Sets for S-100 ECDIS

International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse (IALA) (S-201 to S-299)

- S-201 Aids to Navigation Information
- S-210 Inter-VTS Exchange Format
- S-211 Port Call Message Format
- S-212 VTS Digital Service
- S-230 Application Specific Messages
- S-240 DGNSS Station Almanac
- S-245 eLoran ASF Data
- S-246 eLoran Station Almanac
- S-247 Differential eLoran Reference Station Almanac

Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) (de S-301 to S-399)

- (None proposed yet)

Inland ENC Harmonization Group (IEHG) (S-401 to S-402)

- S-401 IEHG Inland ENC
- S-402 IEHG Bathymetric Inland ENC

WMO Service Commission (SERCOM) (S-411 to S414)

- S-411 Ice Information
- S-412 Weather and Wave Hazards
- S-413 Weather and Wave Conditions
- S-414 Weather and Wave Observations

International Electrotechnical Commission - TC80 (IEC-TC80) (S-421 to S-430)

- S-421 Route Plan

NATO Geospatial Maritime Working Group (GMWG) for Additional Military Layers (AML) (S-501 to 525)

- (None proposed yet)