

# RAPPORT

Datum	Projekt ID/Dokument ID
2019-12-09	P190924/M
Klassificering	Revision
Beställare	Slutgiltig 1.1
Författare	Granskad
Ulf Svedberg	Karl-Johan Raggl
Peter Ottosson	



## Nautisk/teknisk utvärdering av simuleringar med dimensionerande containerfartyg i fördjupad farled i Göteborg

Föreliggande rapport innehåller en nautisk/teknisk analys och en utvärdering av de simuleringar som genomförts för att undersöka seglats med dimensionerande containerfartyg vid in- och utsegling i fördjupad farled till Göteborg.

Ulf Svedberg  
Sjöfartsverket

Peter Ottosson  
SEAMADE

Karl-Johan Raggl  
SEAMADE

## Sammanfattning

### Syfte och målsättning

I avsikt att studera förutsättningarna för säker in- och utsegling av ett framtida containerfartyg i maxstorlek till och från Skandiahamnen har en simuleringsstudie genomförts vid Sjöfartsverkets simulator på Lindholmen under fyra dagar i vecka 42 och en kompletterande dag under vecka 45. Specifikt var syftet att finna lämplig dimensionering av farleden för bibehållen säker passage från Trubaduren till Skandiahamnen för containerfartyg med större dimensioner än de av idag, samt att utreda vad som är tillräckligt vattendjup.

Förutom ett större fartyg med dimensionerna 430x65 i tre lastkonditioner med djupgående 14,5m, 16,5 och 17,5 m, omfattade studien även ett fartyg med dagens maxdimensioner 400x59 m, men med ett djupgående på 17,0 m. Det större fartyget med djupgående 16,5 m simulerades vecka 45.

Simuleringarnas primärmål var i huvudsak, men inte uteslutande, att utröna acceptabel ny farledsdesign med bibehållen säkerhet och tillgänglighet samt kvalitet på lotsningen: Under de fyra dagar som arbetet fortgick framkom även rekommendationer att efter ytterligare simuleringar undersöka behovet av ändrade begränsningar med avseende på vindstyrkor, bogserbåts kapacitet, mötesförbud m.m. Vidare gjordes en beräkning av den dynamiska bottenklarningen med avsikt att säkerställa att den föreslagna farledsdesignen erbjuder tillräckligt vattendjup.

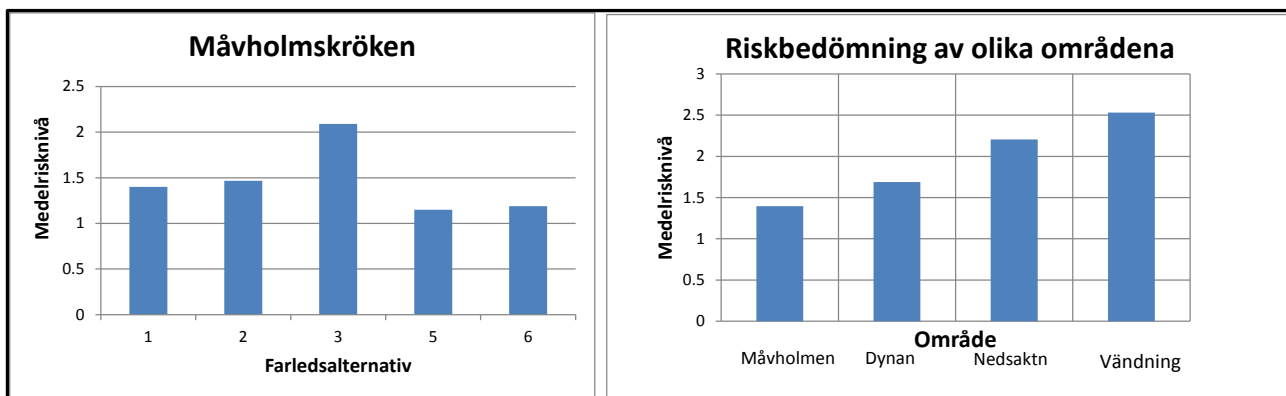
Fyra lotsar genomförde totalt 57 in- och utseglingar på två bryggor i simulatorn. Under eller efter respektive simulering bedömde och dokumenterade lotsarna risknivån för ett antal moment och några olika delar av farleden. De flesta av simuleringarna genomfördes med en vindstyrka som motsvarar 250 tons vindtryck vid sidvind, vilket med det större fartygets aktuella vindarea motsvarar 15 m/s, dvs en hög dimensionerande vindhastighet.

### Nautisk riskutvärdering

I riskutvärderingen bedömdes ett antal moment: "hålla kursen", "starta/häva gir", "avdrift", "fart" och "närhet till farledsgräns". Av dessa bedömdes det andra, "starta/häva gir", som mest riskutsatt, både i Måvhomskräken och längre in i leden. Fartyget upplevdes som trögt. Fartygsmodellerna modifierades inför simuleringar i vecka 45 (se avsnitt 6). De farledsalternativ som testades i simuleringarna berörde i första hand Måvholmsskröken, dvs området mellan Vipeskär och Måvholmsskären. En sammanvägning av riskbedömningarna pekar ut Alternativen 5 och 6 som de minst riskutsatta. Det senare valdes för de fortsatta simuleringarna.

Av de olika områden/moment i farleden var vändningen inne i Skandiahamnen det som bedömdes som mest riskutsatt. Anledningen till detta var:

- Vindens påverkan på fartyget är som störst vid mycket låga farter och särskilt under rotationsmomentet då den laterala vindkraften är i ständig förändring.
- Det är många bogserbåtar som agerar med varierande krafter och vinklar, samtidigt med fartygets egna resurser (bogpropeller, maskinpådrag och roder).
- Uppträdande centrifugalkrafter till följd av rotation och svängningscentrum långt förut eller akterut.



## Resultat – simuleringar

Den nautiska riskutvärderingen pekade bl.a. på svårigheter att "starta och häva" gir, vilket också stämmer överens med de stora rodervinklar som periodvis registrerats i simuleringarna. Med tanke på att det i samtliga simuleringar varit betydande klarningar till farledsbegränsningarna, vilket också bekräftas av lotsarnas riskbedömning, kan dock konstateras **att simuleringarna har visat att det är fullt möjligt att genom begränsade förändringar av nuvarande farled möjliggöra för fartyg av den simulerade storleken att säkert angöra Skandiahamnen.**

De simulerade fartygsstorlekarnas tröghet är på intet sätt överraskande. Lotsarnas erfarenhet av denna storlek av displacement står endast att finna på tankfartyg typ VLCC/ULCC. De två stora girarna kunde ändå både påbörjas och hävas, dock med utnyttjande av förhållandevis stora rodervinklar.

Vid passage Dynan upptar det simulerade fartyget, med beaktande av avdrift, ca 30% av farledsbredden och då med bogserbåt kopplad.

Med fullt roder, kortare ökning av varvtalet (för att undvika för hög framfart) och motdragnings av akterkopplad bogserbåt kunde kurserna in mot vändytan med små marginaler hållas inom sina gränsvärden.

Manövreringen i hamnbassängen upplevdes som mest riskutsatt. Detta pga ett större antal faktorer att ta hänsyn till som påverkar fartygets manöverförmåga. Den utökning av vändytan som arbetats fram bedömdes vid utvärderingar vara tillräcklig.

En fråga som aktualiseras i resonemang kring acceptabla marginaler är definitionen av "säker marginal". Hur bred bör en farled vara för att den skall anses som säker? Frågeställningen är komplex och låter sig inte så lätt besvaras. Farledens utformning, längd, trafikens mängd, farledskaraktär (kultur, farter, vind, strömmar, is m.m.) storleken av fartyg och typen av tonnage är några av de faktorer som är avgörande.

Exempel: Stora kryssningsfartyg överstigande 300 meters längd med kraftfulla maskiner, starka bogpropellrar, azipod framdrivning m.m. bedöms kunna säkert framföras i mycket trånga farleder (150 meter där fartyget upptar 30% av farledsbredden) med girradier så låga som 0,3M.

ULCC med bogserbåtar som angör Brofjorden har sin smalaste passage om ca 400 m (där fartyget upptar 18% av farledsbredden).

Dessa fakta och som lotsarna under simuleringar mycket riktigt påpekade; Att öka farledens bredd ytterligare än farledsalternativ 6 för att ge ännu mer marginal bedömdes ändå inte öka säkerheten i fartygets framförande. Problematiken i själva lotsningen kunde mer hänföras till fartygets betydande tröghet än till hur bred farleden utformas.

Frågeställningen kring vad som orsakar trögheten i fartyget (modellen) är föremål för vidare utredning. Flera faktorer kan spela in men främst UKC samt det faktum att över 300 000 ton displacement är en stor massa med enormt inneboende tröghet. Ytterligare simuleringar har genomförts i vecka 45 där fartygsparametrar har justerats samt prov med förändrad maskinstyrka och olika UKC och displacement har testats.

Vindstyrkan under nästan samtliga körningar lades på 250 tons lateralt tryck (ca 15 m/s) vid sidvind vilket motsvarar dagens vindbegränsning på 200 ton för nuvarande maximala fartyg (400x59x12,5).

Marginalerna bedömdes acceptabla vid farter över 10 knop men sjönk avsevärt i lägre farter. Särskilt blev detta tydligt under fartreduktioner och med sidovindar. Avdriften resulterade i föga förvånande 5-10 grader med påföljande ökad svepbredd vilket i princip gjorde att marginalerna att justera fartygets läge i farleden sjönk avsevärt.

Efter att i några simuleringar ha sänkt vindtrycket till 200 ton, kunde konstateras att hanteringen blev något lättare och en rekommendation lyftes fram att en lägre vindbegränsning är något som bör provas ut mer ingående.

De tre bogserbåtarna som användes i de första 36 simuleringarna hade 70, 80 respektive 90 tons BP (bollard pull) och i de resterande 22 ökades de upp till 2 st 70 ton BP samt 2 st 100 ton BP. Anledningen till uppgraderingen låg i lotsarnas samlade bedömning om problematiken att med de mindre bogserbåtarna bromsa upp eller öka farten, hålla kurs på fartyget in och ut ur hamnbassängen samt att vända runt tryggt inne i själva hamnbassängen. Särskilt tydligt blev vikten av bogserbåtarnas dragkraft vid avgång från och ankomst till kaj när vinden hade maximalt tryck i sidan.

## Rekommendation

På samma sätt som med resonemanget kring vindrestriktioner är bogserbåtarnas kapacitet något som bör lyftas fram i kommande simuleringar och rapporter kring förutsättningar för säker sjötrafik.

I sammanhanget bör nämnas att vindstyrkan i simuleringsarbetet lades konstant på 250 tons tryck, vid sidvind, genomgående längs hela farledens längd från Trubaduren ända fram till kaj. Tidigare mätningar av vind -styrka och -riktningar samt lotsarnas empiriska erfarenhet inom sitt lotsningsområde ger vid handen att vindstyrkan faller och förändras i karaktär från Trubaduren in till Skandiahamnen. Så t.ex. motsvarar en vindhastighet på 15 m/s vid Måvholmsbådan en vindhastighet på 12-14 m/s vid Skandiahamnen.

Någon detaljerad hänsyn till strömmarna i landskapet kring farleden har inte tagits med i simuleringarna och en närmare analys och då speciellt området runt Torshamnen bör ägnas viss uppmärksamhet i ett vidare arbete. Vidare bör de i detta område uppträdande interaktionseffekterna mellan ett passerande containerfartyg och ett eventuellt ineliggande förtöjt fartyg studeras närmre.

Tilläggs bör även att lotsarna under alla simuleringarna hade utöver radar, ECDIS och lod, via separata conning displays tillgång till särskilt nödvändig information som girhastighet, prediktor, sann och relativ vind, fartygets långskepps förflyttning samt även sidhastighet i för och akter med 0,1 knops noggrannhet. Även bogserbåtarnas drag eller tryckkraft fanns redovisade på lättavlästa skärmar.

Huruvida denna mycket vitala information (decision support tools) för ett fartygs framförande i verkligheten, alltid finns tillgängligt i samma omfattning som under simuleringen är okänt.

Lotsarnas egna PPU (Portable Pilot Unit) (användes ej under simuleringarna) är ett värdefullt komplement och kan till en viss del kompensera vid avsaknad av komplett infostöd men inte fullt ut i den omfattning som simulatoren tillhandahöll.

### Resultat – UKC analys

Utifrån de resultat som erhöles från simuleringarna genomfördes en beräkning av den dynamiska bottenklarningen (DUKC – Dynamic Under Keel Clearance). Denna baserades på:

- tidshistorik från respektive simulering av fart, vattendjup och krängningsvinkel
- variation av vattnets densitet längs inseglingleden
- beräkning av nedsänkningen (squat)

Följande resultat erhöles:

- Krängningsvinkel som genereras av dels vindtryck och dels av att en gir har en starkt bidragande effekt på den dynamiska bottenklarningen. Vattendjupet utanför Torshammen är minst 20,5 m, vilket innebär en nominell klarning på 3,0 m och är därmed inte några problem för bottenklarningen.
- Med det antagna vattendjupet på 19,25 m i hela området innanför Dynan påvisar analysen inte i något fall en bottenklarning under 1,0 m, det minsta värdet var 1,04 m. Beräkningen baserades på vattendjup, fart, krängning och squat.
- Den minsta klarningen, 1,04 m, beräknades uppstå då fartyget precis hade kommit in på det grundare området, 19,25 m, innanför Dynan och innan farten, som normalt här låg vid ca 6 knop, ytterligare hade reducerats.
- Ovanstående beräknade dynamiska klarning gäller för ett antaget GM på 2,5 m. För ett eventuellt mindre GM på 1,5 m skulle istället den minsta bottenklarningen minska till 0,78 m.

Utgående från Transportstyrelsens rekommendation om en minsta bottenklarning på 0,7 m kan den föreslagna farleden sägas uppfylla detta, även vid eventuellt lägre GM än vad som antagits vid modellering av fartygsmodell. Dock gäller detta ej vid mycket låga GM varför en vidare verifiering av sannolika GM och hur de kan hanteras rekommenderas.

### Resultat från kompletterande simuleringar i vecka 45

Då fartyget, i de simuleringar som genomfördes i vecka 45, upplevdes trögt, både i att starta och häva gir samt att accelerera upp i fart, bestämdes att komplettera med några ytterligare simuleringar i vecka 45. Dessa genomfördes då i avsikt att:

- undersöka effekterna av en modifierad maskingränskurva och med en något högre maskineffekt (72 000 kW jämfört med tidigare 65 000 kW)
- undersöka effekterna av en större bottenklarning, åstadkommen både med större vattendjup och med mindre djupgående på fartyget

Resultaten från dessa sammanfattas enligt följande:

- En större bottenklarning underlättar inte manövreringen.
- Med ett mindre djupgående/deplacement förbättras accelerationsförmågan något, om än marginellt. Förmågan att initiera och häva gir förändrades inte märkbart.

## Innehåll

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>2</b>
Syfte och målsättning .....	2
Nautisk riskutvärdering.....	2
Resultat – simuleringar .....	3
Rekommendation .....	4
Resultat – UKC analys .....	5
<b>1..... Inledning</b> .....	<b>7</b>
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Nuvarande läge i Projektet .....	7
1.3 Deltagare.....	8
<b>2..... Fartyg</b> .....	<b>9</b>
2.1 Dimensionerande fartyg .....	9
2.1.1 Kommentarer kring modellerna .....	9
2.1.2 Justering av modeller under simuleringarna.....	9
2.2 Bogserbåtar .....	10
<b>3..... Farled</b> .....	<b>11</b>
3.1 Vind och ström .....	12
3.2 Djup.....	12
<b>4..... Simuleringar</b> .....	<b>13</b>
4.1 Nautisk riskutvärdering .....	13
4.1.1 Metod.....	14
4.1.2 Resultat från den nautiska riskbedömningen .....	14
4.1.3 Kommentarer kring riskbedömning, Måvholmskröken .....	16
4.1.4 Kommentarer kring riskbedömning av områdena Dynan in till Skandiahamnen .....	16
4.2 Kommentarer kring val av farledsalternativ .....	17
4.2.1 Alternativ 1 .....	18
4.2.2 Alternativ 2 .....	18
4.2.3 Alternativ 3 .....	19
4.2.4 Alternativ 5 och 6 .....	19
4.2.5 Förändring av farledsutmärkning .....	20
4.3 Några kommentarer om resultaten från de enskilda simuleringarna för Farledsalternativ 6 .....	21
4.3.1 Måvholmskröken.....	21
<b>5..... "Under Keel Clearance" (UKC) analys</b> .....	<b>25</b>
5.1 Metod .....	25
5.2 Resultat från beräkning av den minsta dynamiska bottenklarningen .....	29
5.2.1 Största krängningsvinkel .....	30
5.2.2 Största squat .....	31
5.2.3 Minsta bottenklarning.....	31
5.3 Kommentarer kring UKC analysen .....	31
5.3.1 Känslighetsanalys .....	32
<b>6..... Kompletterande simuleringar vecka 45</b> .....	<b>33</b>
6.1 Körningsprogram.....	33
6.2 Nautisk riskbedömning.....	33
6.3 Kommentarer till simuleringarna i vecka 45 .....	34
6.4 Kommentarer till den kompletterade UKC analysen.....	35
<b>7..... Slutsatser</b> .....	<b>36</b>
7.1 Manövrering och lotsning.....	36
7.1.1 Girar.....	36
7.1.2 Kurshållning .....	36
7.1.3 Fartändringar.....	36
7.1.4 Övrigt.....	36
7.2 Dynamisk bottenklarning .....	37
<b>8..... Referenser</b> .....	<b>38</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Projektet *Kapacitetshöjning av Farled och Hamn – Göteborg* (för närvarande med arbetsnamnet *SkandiaPorten*) är ett samverkansprojekt mellan Göteborgs Hamn AB, Sjöfartsverket och Trafikverket.

Göteborgs hamn är Sveriges största hamn, med terminaler för container, RoRo, bilar, passagerare samt olja och andra energiprodukter. Hamnen är utpekad som Core-hamn inom Europeiska Unionens transeuropeiska transportnätverk (TEN-T) och av Trafikverket utpekad som riksintresse för transporter. Inom containersegmentet hanterar Göteborg för närvarande 50-55 procent av den totala containervolymen i svenska hamnar, och är den enda svenska hamn som idag kan erbjuda transocean direktsjöfart.

Det övergripande syftet med Projektet är att bibehålla – och i möjligaste mån framtidssäkra – förutsättningarna för de största containerfartygen att anlöpa Skandiahamnen, och därigenom bibehålla och framtidssäkra att aktörer inom svensk utrikeshandel har tillgång till transoceaniska direktanlöp. Detta uppnås genom att vidta åtgärder som medför ökad kapacitet, tillgänglighet och säkerhet för de största containerfartygen, som i dagsläget trafikerar rutten Europa–Fjärran Östern.

Bakgrund, brister och behov kopplat till projekt *Kapacitetshöjning av farled och hamn – Göteborg* beskrivs i tidigare utredningar med bilagor:

- Åtgärdsvalsstudie Kapacitetshöjning av farled och hamn – Göteborg, Trafikverket, 2016-06-15 med bilagor.
- Teknisk PM Kapacitetshöjning av farled och hamn – Göteborg, Trafikverket, 2017-02-04, ärendenummer TRV 2014/73014, med bilagor.

I studierna beskrivs två utredningsalternativ, UA 1 och UA 2. UA 1 innebär åtgärder i vattnet (i farleden, i vändytan och vid kaj) och åtgärder i kajkonstruktionen för att möjliggöra ett djupgående för fartygen på 16,5 m (simuleringar vecka 45). UA 2 innebär motsvarande åtgärder för att möjliggöra ett djupgående på 17,5 m (simuleringar vecka 42).

Sommaren 2018 meddelade regeringen att Projektet tilldelas 1 255 miljoner kronor i den nationella infrastrukturplanen för perioden 2018–2029. Dessa medel finns tillgängliga i perioden 2024-2029.

## 1.2 Nuvarande läge i Projektet

Parterna har sedan våren 2019 formerat sina organisationer och enligt en tecknad avsiktsförklaring inlett ett samarbete på bred front. Enligt den gemensamma tidplanen planerar Göteborgs Hamn AB att påbörja byggstart för kajkonstruktionen under 2022 och Sjöfartsverket att påbörja åtgärderna i farleden under 2024. Gemensamt färdigställande kan med dessa byggstarter ske under år 2026.

Den aktuella simuleringen ingår i fasen *Farledsutredning* och är ett viktigt steg i det gemensamma arbetet att fördjupa kunskapen om farledens utformning, från Trubaduren, genom Torshamnsleden till Skandiahamnens kajer 610 och 614. Parterna har gemensamt beslutat om de aktuella konceptfartygen och andra förutsättningar för simuleringens genomförande.

Resultaten från simuleringen är betydelsefulla inte enbart gällande nautiska frågor och farledens utformning. Parterna efterfrågar även kunskapsunderlag för att kunna bedöma muddringsvolym

och därigenom kostnader för åtgärder i farleden och vid kaj. Därigenom bidrar simuleringen också till underlag för att besluta om vilket Projekt som slutgiltigt kommer att genomföras. Parterna planerar för att kunna fatta ett gemensamt beslut om vattendjup och konceptfartyg under kvartal 1, 2020.

### 1.3 Deltagare

Nedan följer en lista på de personer som helt eller delvis deltog i simuleringarna

Namn	Kategori	Organisation
Bertil Skoog	Delprojektledare farledsdesign och uppdragsledare för simuleringar	Sjöfartsverket
Ulf Svedberg	Observatör och rapportförfattare	Sjöfartsverket
Henrik Sjöberg	Lots	Sjöfartsverket
Mats Malmberg	Lots	Sjöfartsverket
Stefan Nilsson	Lots	Sjöfartsverket
Magnus Lindgren	Lots	Sjöfartsverket
Leo Vidal	Lots	Sjöfartsverket
Andreas Edvall	Lots och simulatoroperatör	Sjöfartsverket
Kristoffer Antoniak	Lots och simulatoroperatör	Sjöfartsverket
Jan Henriksson	IT/GIS expert	Sjöfartsverket
Pontus Bengtsson	Trafikområdeschef, Göteborg	Sjöfartsverket
Åsa Kärnebro	Hamnkaptan	Göteborgs Hamn
Peter Ottosson	Observatör och rapportförfattare	Seamade
Karl-Johan Raggl	Rapportgranskare	Seamade
Tage Edvardsson	Seniorkonsult tekniska frågor	Port Engineering
Torbjörn Henriksson	Konsult	Maflobe AB
Siv Thorsköld	Nautisk handläggare	Transportstyrelsen

Tabell 1: Deltagare simuleringar vecka 42

Till rapporten hör följande appendix:

Appendix 1: Fartygsdata simuleringsskematyper

Appendix 2: Simuleringsschema och plottar

Appendix 3: Resultat från nautisk riskutvärdering

Appendix 4: Resultat från "Under Keel Clearance" (UKC) beräkningar



## 2 Fartyg

### 2.1 Dimensionerande fartyg

Studien omfattar simulering med två olika stora containerfartyg med dimensioner 430 x 65 x 17,5 m respektive 400 x 59 x 17,0 m, det förra tänkt att representera nästa generation större containerfartyg och det senare dagens största. Bägge är utrustade på konventionellt sätt med en fast propeller, ett halvspadroder och dubbla bogpropellrar. Det större fartyget har simulerats i två olika lastkonditioner, den ena med ovan nämnda 17,5 m djupgående och det andra med 14,5 m djupgående. I vecka 45 simulerades även det större fartyget i en lastkondition med ett djupgående på 16,5 m. I samtliga fall har fartygsmodellerna varit lastade med, för fartyget största antal containrar (vid det lägre djupgåendet ett antal tomma containrar), i syfte att representera en maximalt möjlig vindlast. I den lättaste lastkonditionen har fartyget en lateral vindarea på 19 000 m<sup>2</sup>, som vid 15 m/s sidvind ger en sidkraft på ca 250 ton. Fartygen är relativt kursstabila, vilket är representativt för de flesta containerfartyg och kräver stort utrymme vid girar, speciellt på grunt vatten. Det större fartyget är försett med två bogpropellrar på vardera 3 000 kW, som tillsammans kan ge en sidkraft på ca 80 ton, vid stillaliggande. Effekten valdes såsom varande 1 000 kW mer än dagens fartyg.

Fullständiga data och manöveregenskaper ges i tabeller respektive s.k. "Wheelhouse Posters" i Appendix 1.

#### 2.1.1 Kommentarer kring modellerna

Modellerna har manöveregenskaper som är typiska för fartyg av den aktuella storleken. Girciklar och zig-zag prov överensstämmer i stort med de som dagens största containerfartyg har, både på djupt och grunt vatten. Fartygen är tröga att med låga maskinpådrag (DEAD SLOW och SLOW), accelerera upp i fart, speciellt på grunt vatten. Detta upplevdes av lotsarna också väldigt påtagligt under simuleringarna. Exempelvis tar det 16 min att accelerera upp farten från noll till fyra knop på 19,25 m vattendjup och med maskinpådraget SLOW. En motsvarande manöver tar i *SEAMADE's* eget program, SHIPMAN, ca 13 min, d.v.s. lite snabbare. Detta indikerar möjligen att fartygens tröghet i Transas modell är något överskattad. Det bör dock observeras att en lättare lastkondition, med ett djupgående på 14,5 m, ger en betydligt snabbare respons. Skillnaderna beror dels på den lättare massan och dels på en större bottenklarning.

En annan förklaring till den upplevda trögheten är den relativt "lågt ställda" maskintelegraf, där propellervarvet vid DEAD SLOW är 20 rpm och vid SLOW 32 rpm. Avsikten med detta var att farten vid DEAD SLOW inte skulle överstiga 4,5-5 knop på djupt vatten. Maskineffekten på 65 000 kW är möjligen också lite lågt vald. En högre maskineffekt kan, med tanke på maskingränskurvan ge bättre effekt även vid låga farter och propellervarvtal.

Efter att fartygets stabilitet, som ju med tanke på krängningstendenser påverkar den dynamiska bottenklarningen, diskuterats ingående med lotsar och representanter från Maersk, valdes slutligen ett GM på 2,5 m som sannolikt värde vid full last (320 000 ton).

#### 2.1.2 Justering av modeller under simuleringarna

Vid framtagningen av de matematiska modellerna utgicks från ett roder med relativt lågt sidoförhållande, vilket medförde en lyftkraftkurva (roderkraft som funktion av roderinkel) som var mer eller mindre linjär. Efter diskussioner med lotsar och simulatorpersonal ändrades rodröret till att representera ett med ett lite större sidoförhållande, vilket innebar lite större kraft för

rodervinklar mellan 5 och 25°, men med oförändrad kraft vid dikt roder. Ändringen infördes inför tisdagens simuleringar i vecka 42.

## 2.2 Bogserbåtar

Vid insegling kopplades bogserbåtar strax efter Skalkorgarna och i utsegling vid avgång från kaj. I de första simuleringarna, till och med Nr 17B, se program i Appendix 2, utnyttjades tre bogserbåtar:

Tor - 90 ton - kopplades i "center akter"

Loke - 80 ton - kopplades i "center för"

Geo - 70 ton - kopplades i babords låring

Från och med Sim. Nr 18A utnyttjades fyra bogserbåtar enligt:

Delta - 100 ton - kopplades i "center akter"

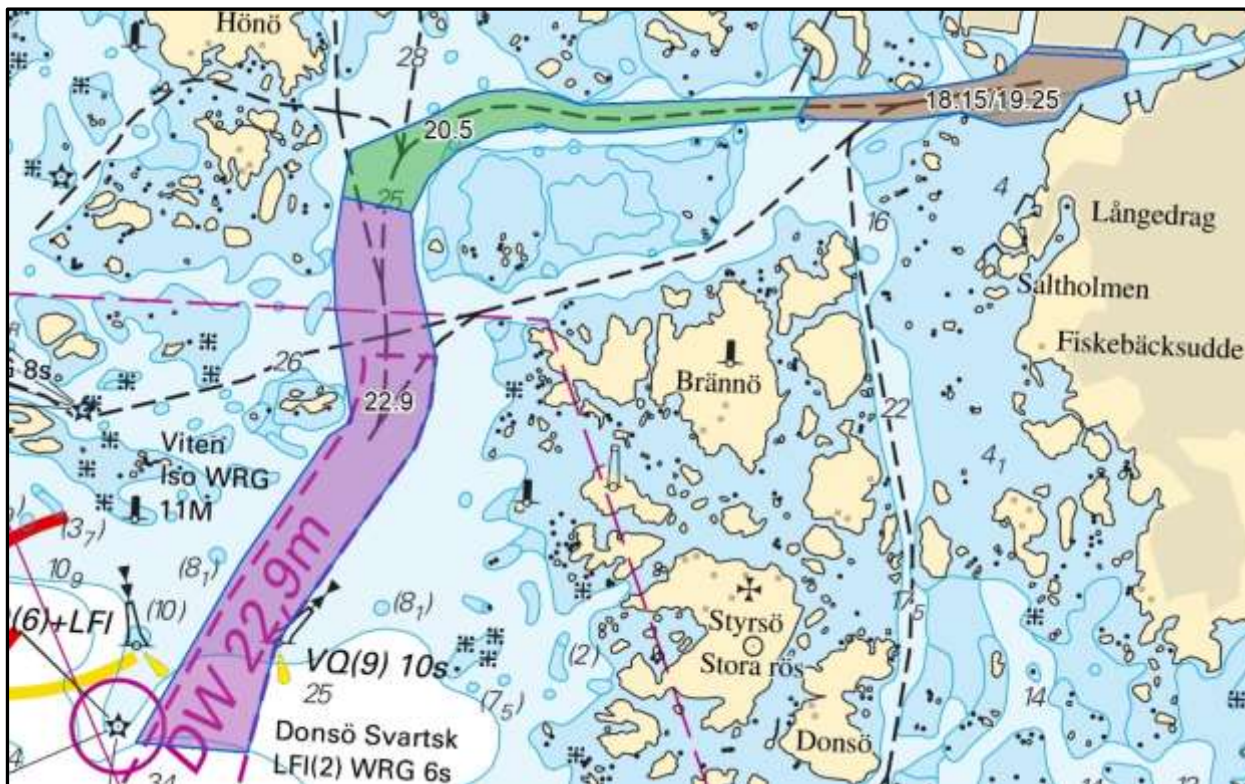
Alpha - 70 ton - kopplades i "center för"

Charlie - 100 ton - kopplades i babords låring

Bravo - 70 ton - kopplades i babords skuldra

### 3 Farled

Farledsavsnittet där simuleringarna genomförts är ca 10 M långt och består av tre huvudkurser, cirka  $030^{\circ} \rightarrow 350^{\circ} \rightarrow 80^{\circ}$  där första giren på  $40^{\circ}$  går babord med 1,2 M gir-radie och den andra giren på  $90^{\circ}$  går styrbord med 1,2 M gir-radie. Mindre kursändringar åt babord på sista huvudkursen samt vändande av fartyg i hamnbassäng och förtöjningsmoment. Total tidsåtgång ca 2 tim.



Figur 1: Farledsytan norra leden, Trubaduren – Måvholmsbådan - Skandiahammen

Sjöfartsverket hade före simuleringarna tillsammans med lotsar förberett fyra huvudalternativ för den förändrade farledens design. PIANC's (Ref 1) rekommendationer har varit vägledande men även Sjöfartsverkets omfattande erfarenheter från tidigare liknande farledsarbeten har vägts in.

En viktig styrande faktor i arbete med farledsalternativen är att möjlig girradie för denna storlek av fartyg ytterst sällan kan understiga 1 M. Dels är det svårigheten att inom rimlig tid få upp tillräckligt hög girhastighet men även att kunna häva densamma. De olika alternativen utformades därför med 1,1 respektive 1,2 M radie.

Den första babordsgiren runt Buskärs Knöte är dels rimliga 30 grader, samt att farleden i det avsnittet är förhållandevis bred, vilket ger ett större utrymme för korrigeringar, även för ett fartyg av denna storlek. Dock är distansen till nästkommande WOP (Wheel Over Point) relativt kort vilket likväl innebär minskade marginaler för korrigeringar.

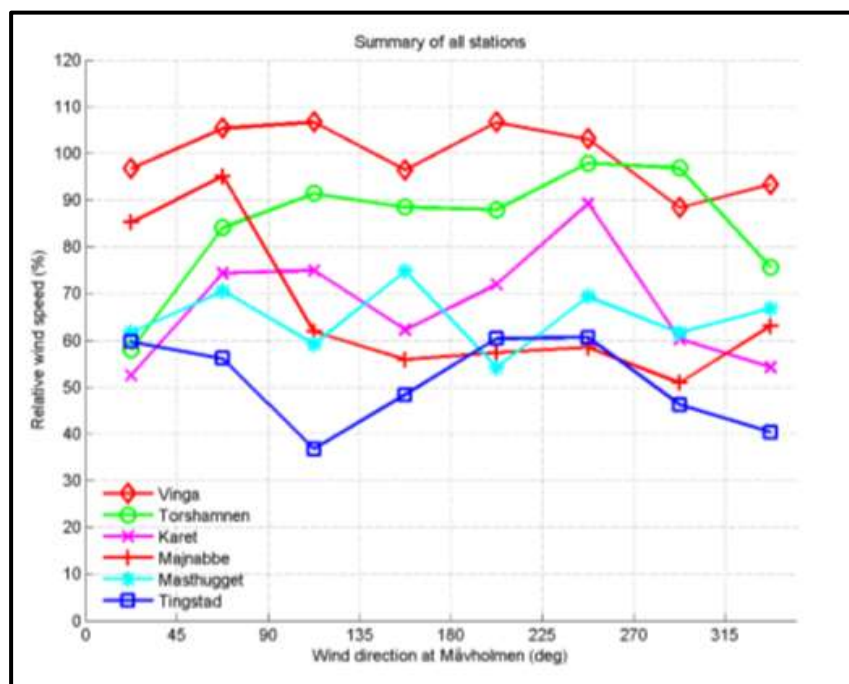
Den påföljande viktiga styrbordsgirens WOP är relativt kritisk, vilket kräver att ovan nämnda gir avslutas med minsta möjliga felmarginal.

Under hela giren om  $90^{\circ}$  runt Måvholmsbådan föreligger begränsade möjligheter att korrigera eventuella diskrepanser mellan tänkt och verkligt utfall av roderkommandon. Särskilt känslig är avslutningen av giren där det är synnerligen viktigt att ligga korrekt i farleden inför nedtagningen av farten fram till Torshamnspiren.

Farledens design inne i själva hamnområdet styrdes i huvudsak av ett planerad vändyta med en diameter om 650 m, som förlades öster om Älvsborgs fästning och syd om kajplats 614.

Mer utförlig beskrivning av de olika simulerade farledsalternativen finns i avsnitt 4.2.

### 3.1 Vind och ström



Figur 2: Relativa vindhastigheter vid några olika positioner i Göteborgs hamn (Ref 3)

Vindförhållandena varierar en hel del längs inseglingleden, ju längre in desto lägre vindhastigheter. Så till exempel är vindhastigheten vid Karet (nära Skandiahammen) statistiskt sett 70% av den vid Måvholmsbådan vid sydlig vind, medan den vid sydvästlig är ca 80%. Relationerna framgår av Figur 2 (se också Ref 3). Detta innebär t.ex. att en vindlast på 250 ton vid Måvholmsbådan motsvarar en vindlast på 120 ton vid sydlig vind och 160 ton vid sydvästlig vind vid Skandiahammen.

### 3.2 Djup

Vattendjupet i respektive alternativ har antagits vara detsamma som råder idag, vad gäller områdena utanför kantmarkering 24 och 25, dvs minst 20,5 m. Innanför dessa markeringar har simulerats ett jämnt vattendjup på 19,25 m, vilket ger en nominell bottenklarning på 10% av det större fartygets djupgående då det är som mest lastat.

## 4 Simuleringar

Simuleringarna genomfördes i Sjöfartsverkets simulator på Lindholmen och pågick 08:00-18:00 den 14-17 oktober 2019. Deltagare var fyra krono/mästerlotsar från Göteborgs lotsområde, två simulatoroperatörer tillika lotsar, representanter från Sjöfartsverkets Infraavdelning, Göteborgs hamn, två modellansvariga/tekniska utvärderare samt en nautisk oberoende utvärderare.

Simulatorn som användes är Transas Navi Trainer Professional 5000 och övningarna kördes parallellt fördelade till simulator brygga A och B med styrning från den centrala operatörsplatsen.

Lotsarnas körschema var så konstruerat att lotsarna varvade som förste respektive andre man samt att de roterade runt så att alla lotsade med alla och i olika simulatorbryggor. Detta för att få så stor spridning som möjligt mellan aktörer, miljöer och kombinationer.

Efter varje körning genomfördes en kortare summering mellan lotsarna där utvärderingsblankett fylldes i (se 4.1) och sedan en snabb genomgång i operatörsrummet med alla inblandade. Därefter följde en kort förberedelse och uppstart av nästa simuleringssomgång.

Den 14 okt gjordes 15 körningar, den 15 okt 14 körningar, den 16 okt 14 körningar och den sista dagen 17 okt 15 körningar.

Den första dagen provades farledsalternativ 1-3. Den andra dagen olika kombinationer och slutligen de två sista dagarna enbart farledsalternativ 6.

Alt.	Ant. sim.	Vind	Ant. sim.	Riktning	Ant. sim.	Storlek	Ant. sim.
1	13	Nord	1	IN	38	400x59x17	8
2	3	Nordväst	12	Ut	20	430x65x14,5	11
3	3	Väst	12			430x65x17,5	34
5	8	Sydväst	8	Hamn	Ant. sim.		
6	28	Syd	15	Till Kaj	13		
6-1	2	Sydost	8	Från kaj	13		
		Ost	1				
		Nordost	0				

Tabell 2: Simulerade alternativ

Varje dag avslutades med en sammanfattning av dagens körningar och korrigerings av de eventuella ändringar som skett. De nya förslag som utvanns ur de erfarenheter som körningarna gav, resulterade i nästpå kommande dags planering och körscheman uppdaterades därefter.

Simulatoranläggningen fungerade i princip klanderfritt under samtliga fyra dagar och inga stopp eller uppehåll kunde noteras. Några smärre detaljer som att vissa conning-displays eller visuella skärmar slocknade under någon minut eller att roderkommandon inte kom, åtgärdades omedelbart och invergade aldrig på vare sig simuleringar eller tidsschema. Tack vare det smärtfria förloppet behövde aldrig den femte och sista dagen (reserv) nyttjas.

### 4.1 Nautisk riskutvärdering

Under simuleringarna genomfördes en nautisk riskbedömning på så sätt att varje bryggteam (två lotsar) bedömde de upplevda svårigheterna för ett antal delar av farleden och för några olika moment.

#### 4.1.1 Metod

De olika delarna av farleden var, vid insegling:

- Måvholmen – Från rapporteringspunkt Nr 1 in till Skalkorgarna
- Passage av Dynan
- Nedsaktning – Från Skalkorgarna in mot Torshamnen. Ambitionen var att ej passera denna med mer än 6 knop med tanke på interaktionseffekter på eventuellt förtöjd tankar där. Samt fortsatt nedsaktning efter Torshamnen.
- Vändytan – Manövrering/vändning i denna.

Och motsvarande vid utsegling:

- Vändytan – Manövrering ut från kaj och positionering i farleden ut förbi Älvsborg
- Acceleration - Upp mot sex knop vid Torshamnen och vidare acceleration efter Torshamnen med 10 knop som riktvärde vid ingång i Måvholmskröken
- Dynan – Passage av Dynan/Torshamnen
- Måvholmen – Från Skalkorgarna till rapporteringspunk Nr 1

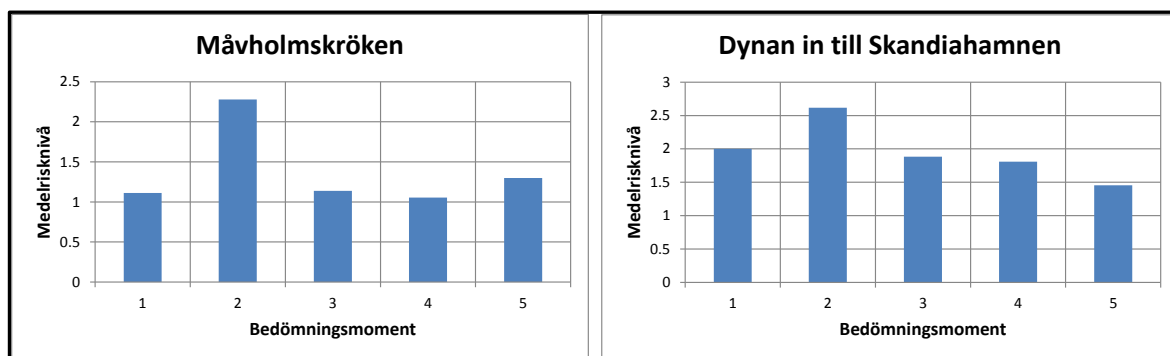
Varje område bedömdes utifrån följande moment:

1. Hålla kursen
2. Start/häva gir
3. Avdrift
4. Fart
5. Närhet till farledsgräns

Vart och ett av dessa moment bedömdes för alla ovanstående fyra delar av farleden i en skala från 1 till 5, där 1 representerar mycket låg risk och 5 en mycket hög risk.

#### 4.1.2 Resultat från den nautiska riskbedömningen

Den nautiska riskbedömningen kom att starkt färgas av att det 430 m långa fartyget upplevdes vara trögt i både att starta och häva gir. En jämförelse mellan de fem olika bedömningsmomenten (hålla kurs, starta/häva gir, avdrift, fart och avstånd till farledskant) visar att, för både Måvholmskröken, och för övriga delar av farleden är momentet "starta/häva gir" det som upplevts som mest riskutsatt, se Figur 3.

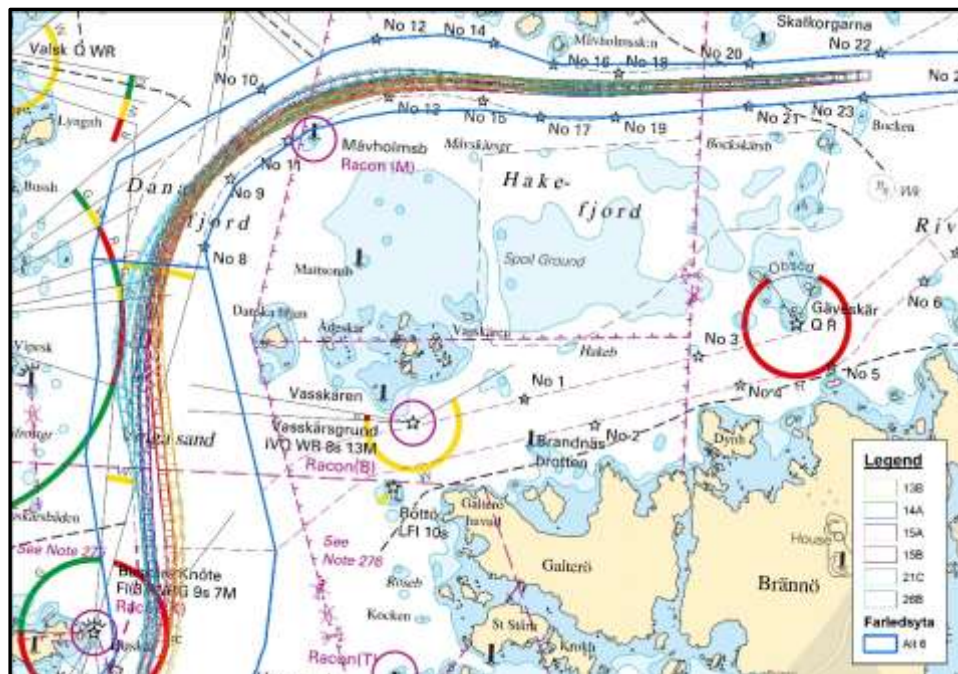


Figur 3: Medelrisknivåerna för de fem olika bedömningsmomenten

I Måvholmskröken har de övriga momenten bedömts mer eller mindre likvärdigt, medan för den inre delen "avstånd till farledskant" givits lägst risknivå. De höga risknivåerna för "stötta/häva" gir överensstämmer med den samstämmiga åsikten att speciellt det större fartyget kändes väldigt trögt medan den relativt låga nivån för "avstånd till farledskant" stämmer väl överens med utfallet i banplottar, se exempelvis Figur 4, Figur 6 och Figur 7, där banplottar lags ovanpå varandra i s.k. densitetsplottar. Alla plottarna uppvisar goda marginaler till farledsbegränsningarna.



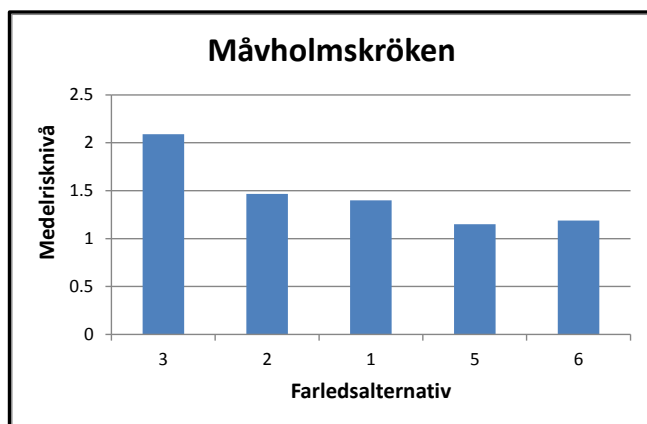
Figur 4: Densitetsplott för insegling i Farledsalternativ 6 - Måvholmskröken



Figur 5: Densitetsplott för utsegling i Farledsalternativ 6 - Måvholmskröken

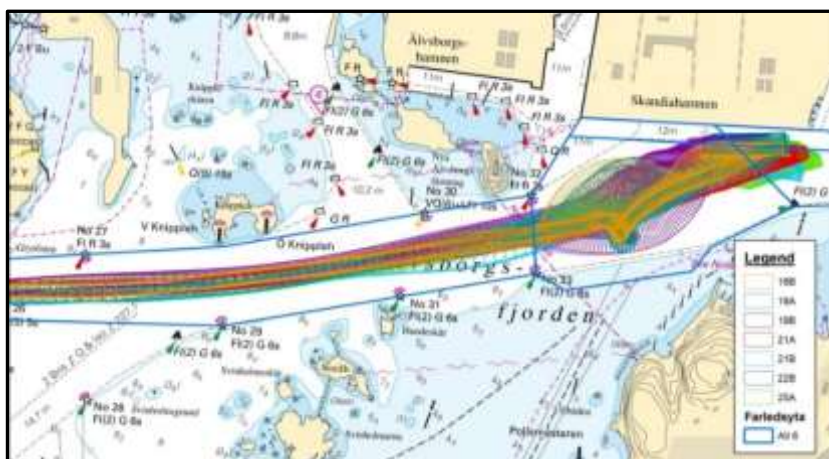
### 4.1.3 Kommentarer kring riskbedömning, Måvholmskröken

De olika farledsalternativ som testats gäller i första hand Måvholmskröken. En jämförelse mellan dessa alternativ, vad gäller upplevd risk (som medelvärden av samtliga bedömningsmoment och över samtliga simuleringar), visas i Figur 6. Diagrammet visar att de två sista alternativen, 5 och 6, gav de lägsta risknivåerna.



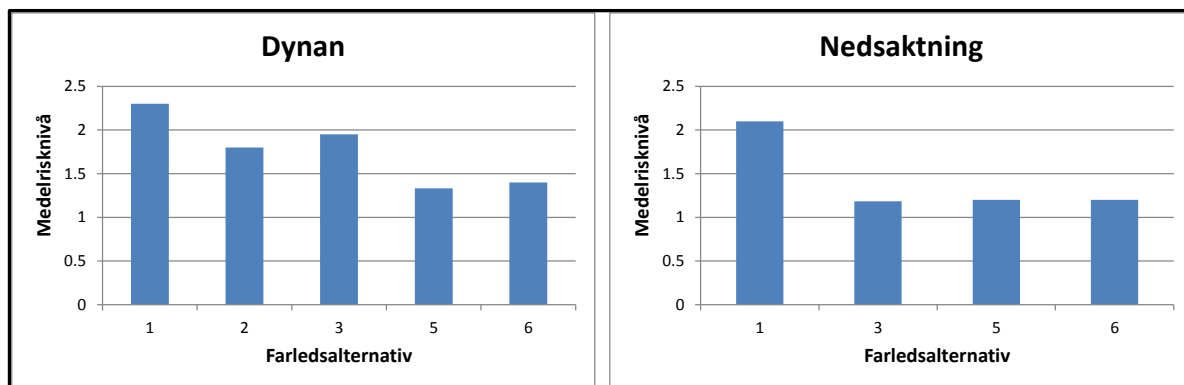
Figur 6: Medelrisknivå, avseende Måvholmskröken, för de fem farledsalternativen

### 4.1.4 Kommentarer kring riskbedömning av områdena Dynan in till Skandiahamnen



Figur 7: Densitetsplott för in- och utsegling från Kaj 610

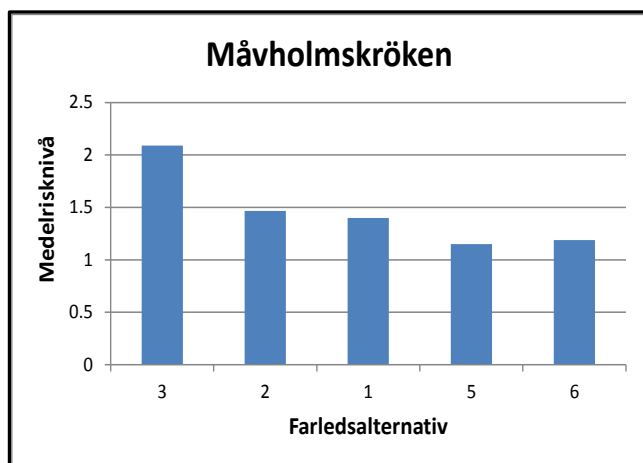
Även i de inre delarna av farleden, passage av Dynan och hela nedsaktningen fram till Älvsborg, ligger risknivåerna lägre för farledsalternativ 5 och 6, se Figur 8.



Figur 8: Medelrisknivåerna för de fem olika bedömningsmomenten



Själva vändningen i Skandiahamnen påverkas inte nämnvärt av de olika farledsalternativen. En jämförelse mellan de olika områdena i inseglingsleden, se Figur 9, visar att vändningen i Skandiahamnen har bedömts som det mest riskabla. Detta beror på att antalet felparametrar ökar; bogserbåtskrafter, bogpropeller, centrifugalkraft mm. Särskilt vindens påverkan anses komplex vid vändning och i låga farter.

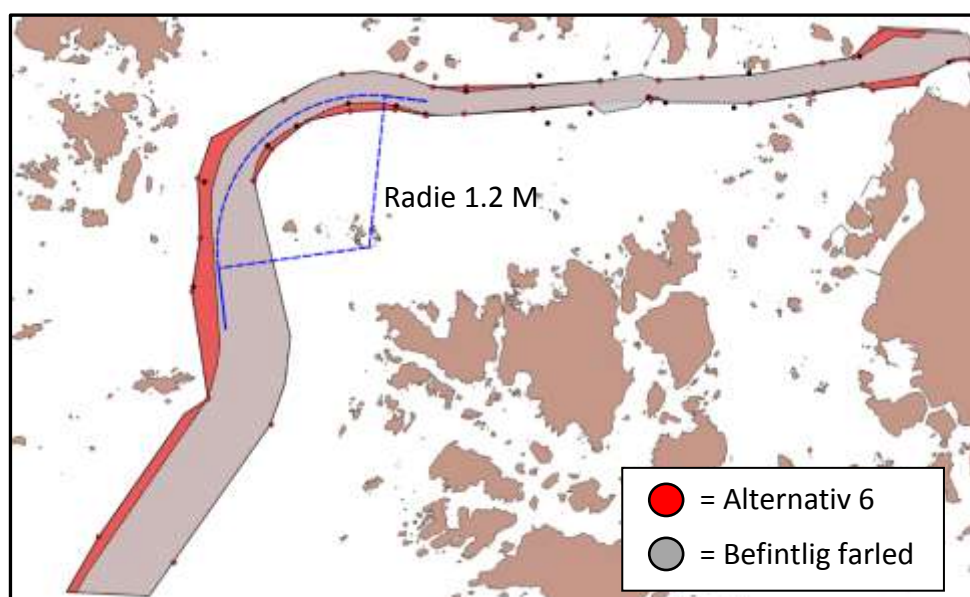


Figur 9: Medelrisknivå för de fyra områdena i leden

## 4.2 Kommentarer kring val av farledsalternativ

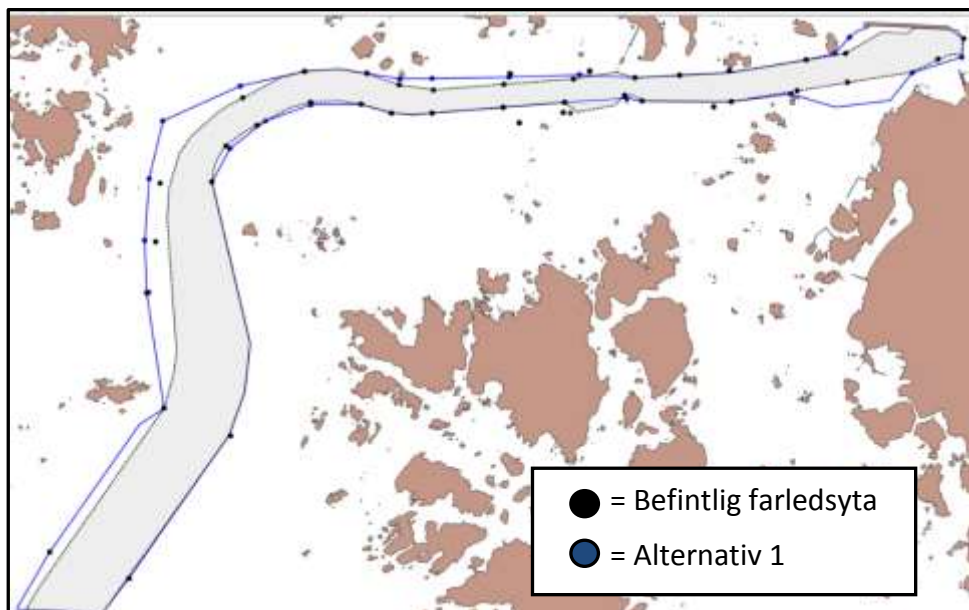
Efter endast ett fåtal simuleringar av de olika alternativen stod det klart att 1,2 M radien var den enda tänkbara för att uppnå tillräcklig trygghet i girhastighet och hävande av gir. De olika alternativen kunde efter ytterligare ett antal simuleringar (totalt 20 st) sällas bort och genom en kombination samt nyvunna erfarenheter under simuleringar togs ett fjärde alternativ fram. Detta i sin tur simulerades 8 ggr i olika varianter med avseende på vindförhållanden, förfinades ytterligare för att slutligen nå den form, alternativ 6, som lotsarna kände sig trygga med, för att på ett säkert sätt kunna utföra lotsningen.

Denna farledsdesign (Alternativ 6) simulerades därefter 30 gånger i olika riktningar och förhållanden. Den totala tiden för simuleringar tog 4 dagar och sammanlagt genomfördes 57 lotsningar.



Figur 10: Jämförelse farledsytor, befintlig farled vs alternativ 6

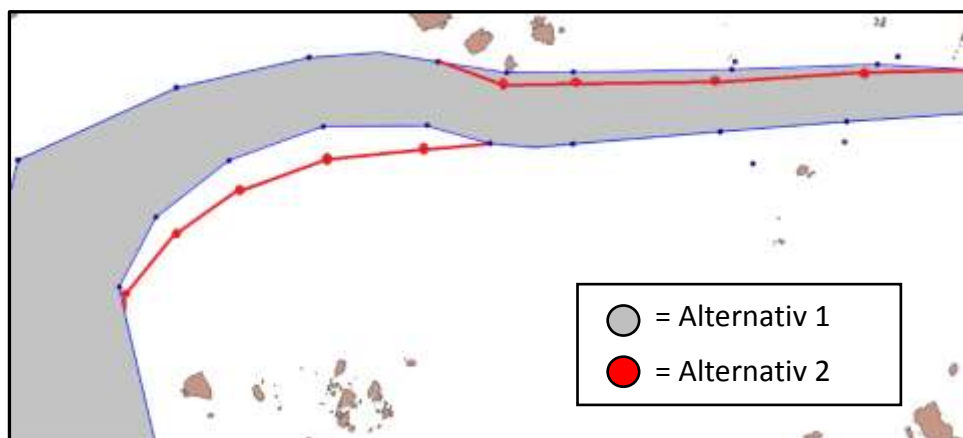
#### 4.2.1 Alternativ 1



Figur 11: Farledsytor, befintlig farled vs alternativ 1

Här ligger girradien på 1,1 M och WOP vid inkommande är förlagd något mot öster vilket ger en gir nära innerkurvan. En fördel blir att efter giren slut så är det en rak kurs fram till Knippleholmarna. Detta skulle resultera i mindre mängder muddring/sprängning runt hela Måvholmsbådan, men å andra sidan stora mängder på norra sidan mellan stolpe 14 till stolpe 22 (Torshammen). Endast en stolpe behöver flyttas på insidan. Efter några simuleringar med Alt.1 blev det tämligen snabbt konsensus bland lotsarna att detta alternativ inte kändes tillnärmelsevis så säkert som de övriga och därför övergavs det i ett tidigt skede.

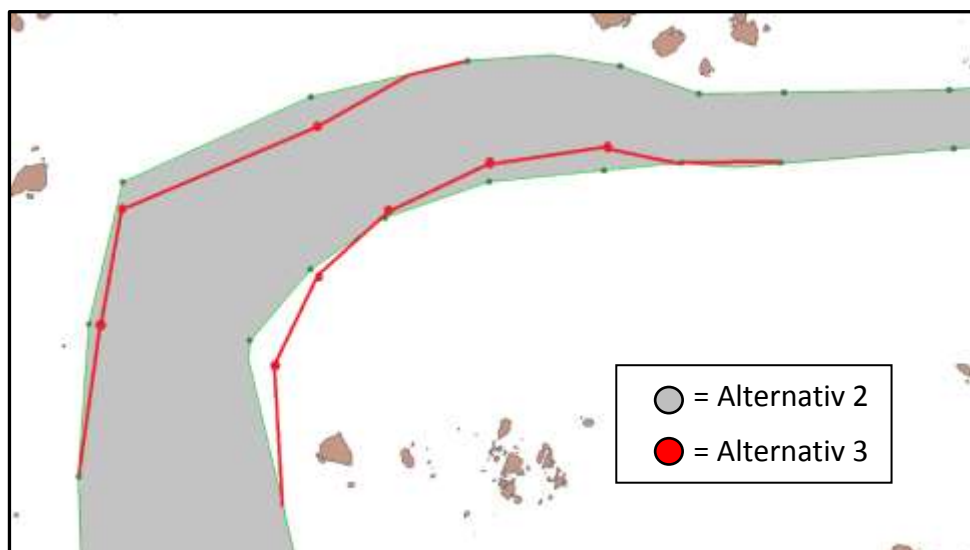
#### 4.2.2 Alternativ 2



Figur 12: Farledsytor, alternativ 1 vs 2

I alternativ 2 har gircentrum flyttats något söder om alternativ 1 och WOP (inkommande) påbörjas därmed tidigare och gavs en radie om 1,2 M. Detta resulterade i att utgångskursen efter stora giren förlades något söder jämfört med alt 1 men med bibehållen rak kurs mot Skalkorgarna. Muddringsmängden minskade något på norra sidan men ökade istället runt Måvholmsbådan (bortsprängd). Lotsarna bedömde att detta alternativ var det bästa av de tre alternativen som provades den första dagen.

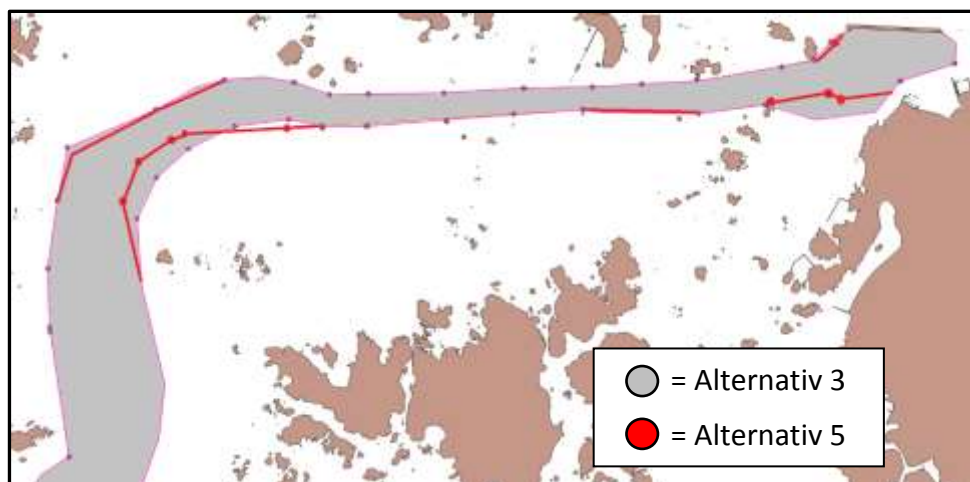
### 4.2.3 Alternativ 3



Figur 13: Farledsytor, alternativ 2 vs 3

Här förlades gircentrum och WOP ännu mer mot öster men senare än alt 2. Mängden muddermassa ökade i de västra delarna runt Måvholmen men blev ännu något mindre på norra sidan av farleden. Avslutet på giren blir samma som i alternativ 2, men bedömdes som något sämre av lotsarna. Samtliga tre alternativ har oförändrad slutkurs efter giren, rakt bort mot Dynan.

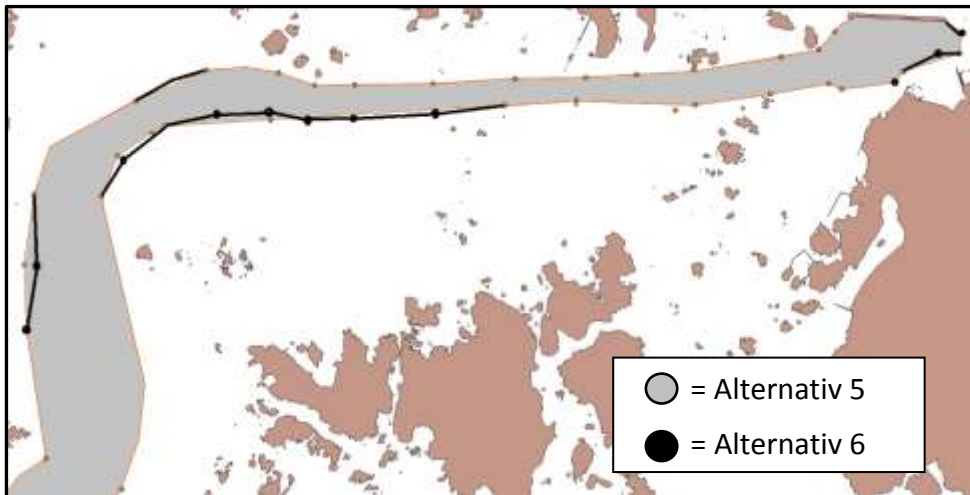
### 4.2.4 Alternativ 5 och 6



Figur 14: Farledsytor, alternative 3 vs 5

Efter ett antal körningar med de första tre huvudalternativen växte så småningom, via alternativ 5, alternativ 6 fram. Gircentrum lades väster om alternativ 1 men ungefär på samma latitud. WOP på inkommande är därmed flyttad mer västerut och betydligt närmare Vipeskär än de övriga. I förstone uppfattades det som att lotsarna inte var bekväma med den närheten till Vipeskär men efterhand visade det sig att det alternativet inte på något sätt upplevdes som problematiskt.

Vattenområdet på den västra sidan vid Vinga sand upp mot Danafjord har större djup och det är därmed lättare att få igång giren. Samtidigt upplevs det av lotsarna tämligen fördelaktigt att i ett tidigt skede kunna "öppna upp" giren och vinna höjd trots att det sker på bekostnad av att man då hamnar lite mer på "fel" sida i farleden. Det blir i praktiken inga problem då mötesförbud oavsett måste införas när dessa fartyg lotsas in eller ut.



Figur 15: Farledsytor, alternativ 5 vs 6

Lotsarna enades efter ett antal lotsningar om att rak kurs in mot Skalkorgarna efter giren inte var helt nödvändigt eftersom dagens kursändring om cirka 15 grader babord, efter den långa styrbordsgiren, blivit reducerad till endast 5 grader i Alternativ 6. Den nya mindre kursjusteringen bedömdes inte menligt påverka den nya fartygstypens säkra framförande. I och med det kan ytterligare massa sparas in väster om Måvholmsbådan men även på den norra sidan.

#### 4.2.5 Förändring av farledsutmärkning

Exempel på farledsutmärkning som justerades och diskuterades var:

- Vipeskär bör utmärkas med stolpe med fasad- eller fyr-ljus
- Boj Skafteskär bör flyttas sydvästvärt
- Stolpe nr 8 bör stå kvar
- Stolpe nr 9 bör flyttas in ca 60 m
- Stolpe nr 11 bör flyttas till Måvholmsbådans norra spets
- Stolpe nr 13 bör flyttas söderut 90 m
- Stolpe nr 15 bör flyttas söderut 40 m
- Norra sidan: Stolpe nr 18 kan flyttas norrut 65 m
- Stolpe F25 (Dynan) flyttas in 50 m sydväst

Breddning av vändytan, syd om Skandiahammen, med ca 100 m mellan stolpe nr 33 – mot Tånguddens spets om ca 800 m längd.

Stolpen vid Fästningen står kvar enär området är extremt känsligt för sprängningsarbeten. Muddringsgränsen blir från Fästningens stolpe till kajnocken vid 615.

Befintlig farledsutmärkning och farledsyta kommer att flyttas där farleden förändras för att visa maximal bredd med fullt djup.

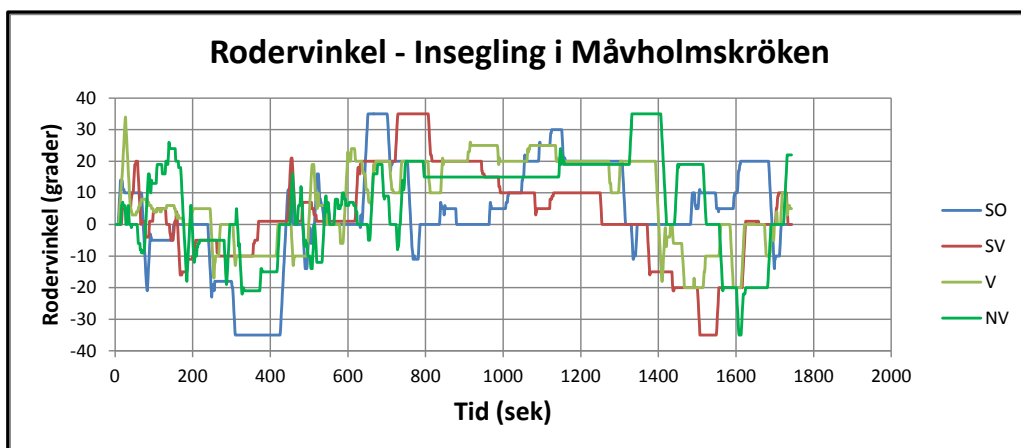
### 4.3 Några kommentarer om resultaten från de enskilda simuleringarna för Farledsalternativ 6

Inte i något fall av alla de simuleringar som genomfördes under vecka 42, kom fartyget oroväckande nära någon farledsbegränsning. Stora rodervinklar och, i den inre delen av leden, höga bogserbåtskrafter, fick dock användas i många fall, varför marginalerna i vissa fall var små eller mycket små.

#### 4.3.1 Måvholmskröken

##### Insegling

Babordsgiren vid Buskärs Knöte krävde som regel måttliga rodervinklar, mestadels under 20°, se Figur 16 (tiden mellan 200 och 500 sek). För sydostlig vind dikt babord under ett par minuter.

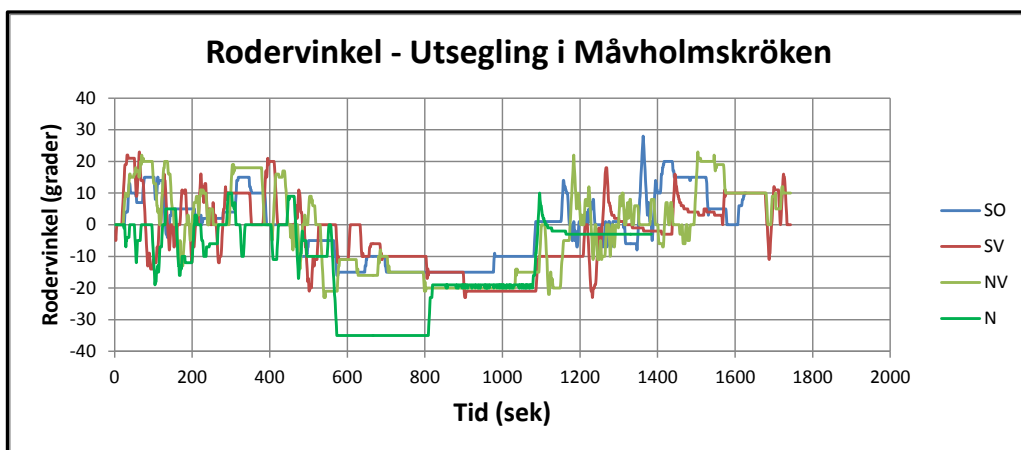


Figur 16: Insegling från rapporteringspunkt Nr 1 för fyra vindriktningar (Sim. Nr. 13A, 14B, 16B och 21D)

Negativ rodervinkel i diagrammet innebär babordsroder. Den långa styrbordsgiren (tiden mellan 700 och 1500 sek) krävde dock, speciellt för vind från SV-NV, större vinklar, ofta över 20, i ett par fall dikt roder under en eller ett par minuter. Som visas i densitetsplotten i Figur 4 är marginalerna till farledsbegränsningarna hela tiden goda, men marginalerna, vad gäller erforderliga rodervinklar, är tidvis ganska små.

##### Utsegling

Utsegling genom Måvholmskröken kräver också tidvis stora rodervinklar. I nordlig vind (Figur 17), krävs under mer än tre minuter dikt babords roder (tiden mellan 550 och 800 sek). Däremot är de använda rodervinklarna för övrigt tämligen måttliga, mestadels under 20°.



Figur 17: Utsegling från Skalkorgarna för fyra vindriktningar (Sim. Nr. 13B, 14A, 15A och 26B)

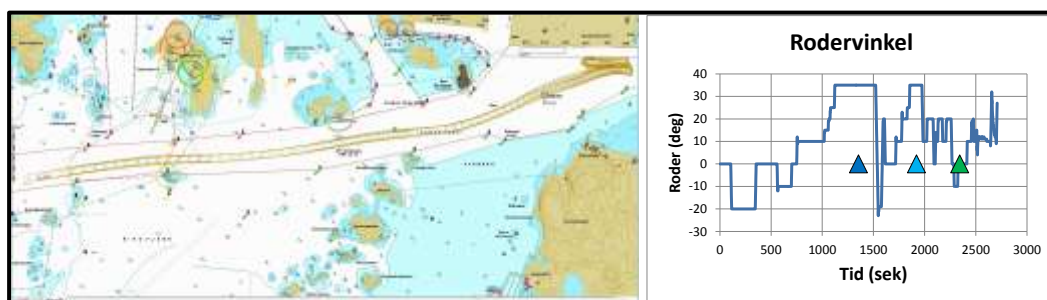
I ett par simuleringar, 26A (insegling) och 26B (utsegling), lades roder medvetet sent, detta i avsikt att se vad ett eventuellt mindre lyckat handhavande kunde få för konsekvenser. Bägge simuleringarna, se exempelvis Figur 18, visade att den uppkomna situationen relativt lätt kunde räddas.



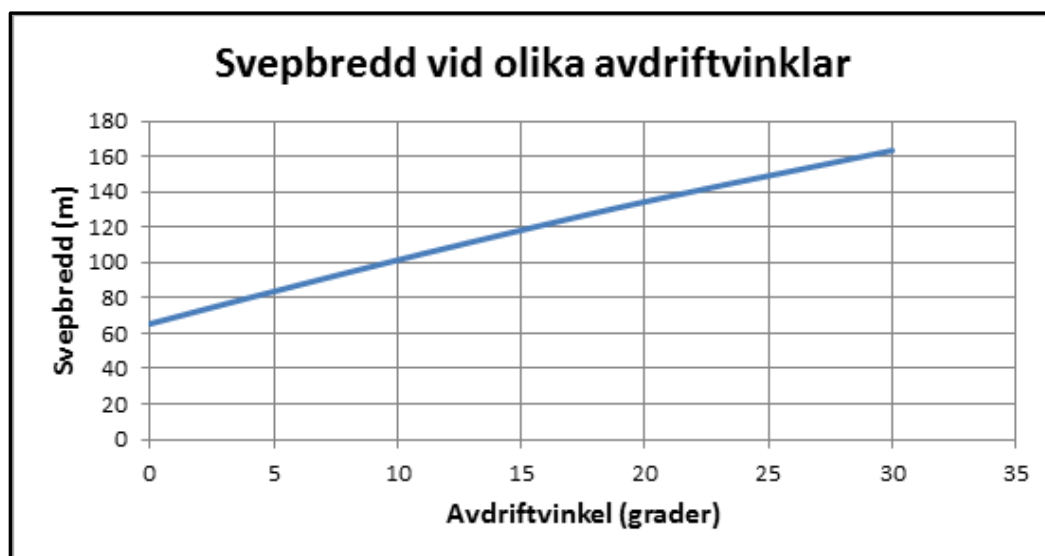
Figur 18: Simulering No 26A, insegling med medveten sen roderläggning

### In- och utsegling till/från kaj

Fartygen, speciellt det större med 17,5 m djupgående, upplevdes som mycket tröga att accelerera upp i fart från stillaliggande. Detta innebär att vid kraftig sidvind (sydlig eller sydostlig) utsattes fartyget successivt för allt större avdriftsvinklar och det kunde vara svårt att kompensera för detta.



Figur 19: Simulering Nr 21B - Utsegling i sydostlig vind



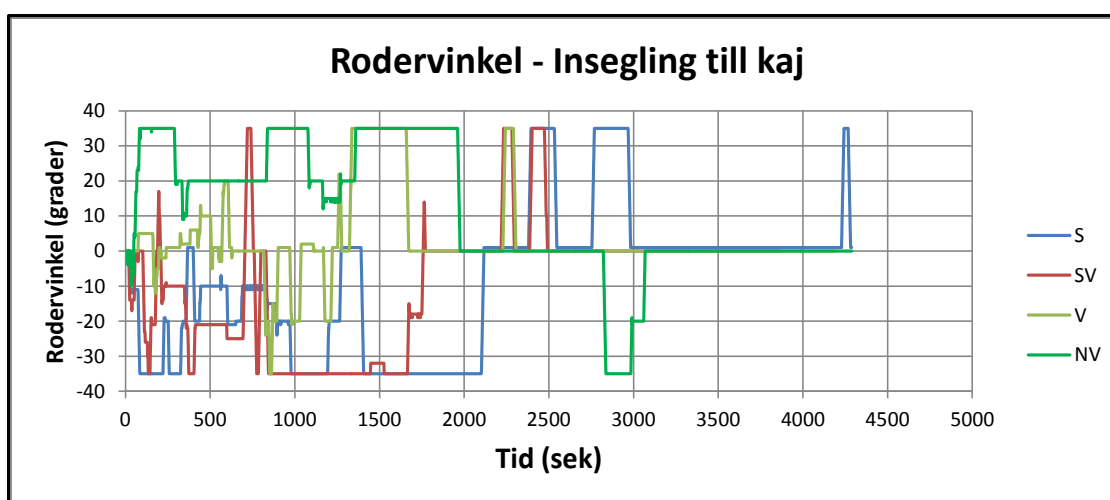
Figur 20: Svepbredd vid olika avdriftsvinklar

Stora avdriftsvinklar innebär också att stora rodervinklar krävs för att bibehålla kursen. Ett exempel på detta är Sim. Nr 21B, en utsegling i sydostlig vind, se Figur 19, där successivt ökande

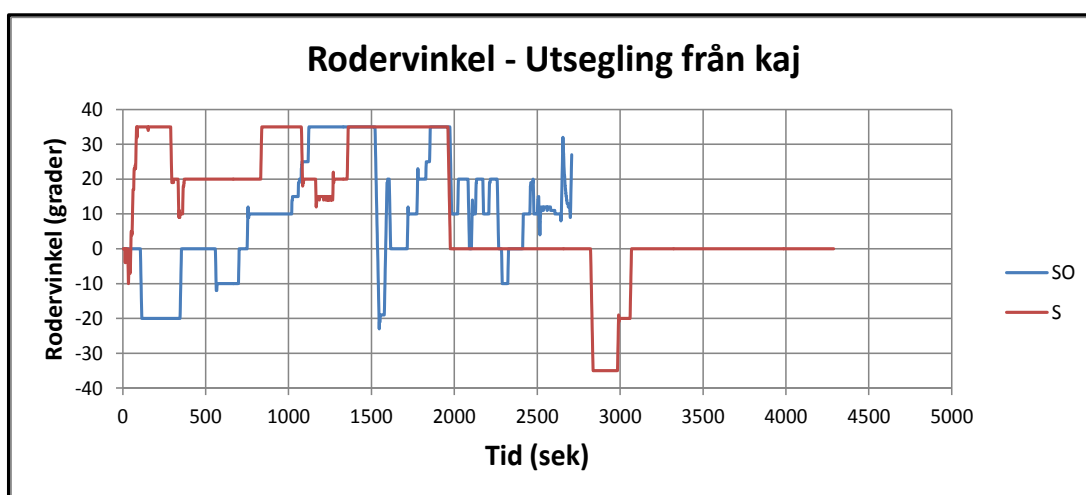
styrbords roder (positivt värde i roderdiagrammet) krävdes för att håll fartyget på kurs. Vid passagen av Älvsborg, den blå triangeln i diagrammet, användes stadigt dikt roder. Som framgår av banplotten till vänster gick utseglingen bra, men med tanke på dikt roder under 6-8 min fanns inga marginaler. Här bör dock observeras att simuleringarna genomfördes med en vindhastighet som var 15 m/s längs hela leden. I verkligheten minskar dock hastigheten successivt till följd av skydd från omgivande land, se Figur 2 ovan i rapporten. Så kan t.ex. en vindhastighet på 15 m/s vid Måvholmsbådan motsvara en vind på 11-14 m/s i Skandiahamnen.

I Figur 21 ges roder vinkeln för insegling från Skalkorgarna in till kaj. Under fartreduceringen blir fartyget utsatt för avdrift och direkt vindmoment som leder till stora kompensande roder vinklar. För exempelvis vind från NV krävs under långa perioder, emellanåt flera minuter i sträck, dikt SB roder (positivt värde i diagrammet nedan). Till skillnad från passagera i Måvholmskröken finns här marginaler i form av assisterande bogserbåtar.

I bägge simuleringar redovisade i Figur 22, krävdes dikt SB roder under långa perioder för att bibehålla kursen under accelerationsförloppet ut ur Skandiahamnen.

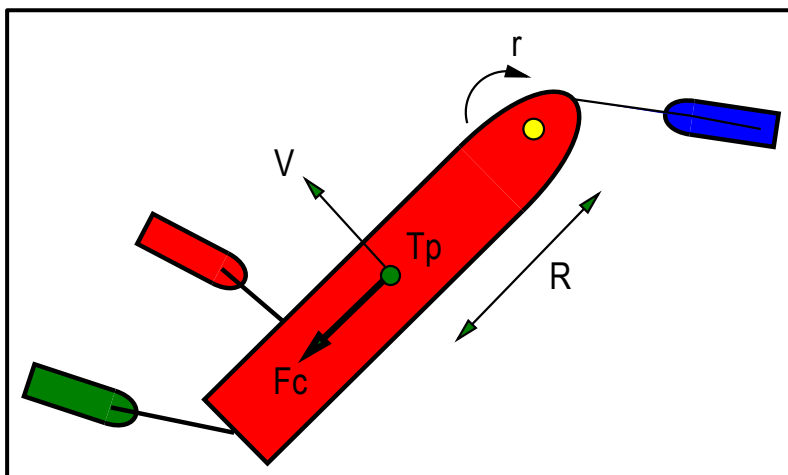


Figur 21: Insegling till kaj för fyra vindriktningar (Sim. Nr. 19A, 19B, 20A och 20B)



Figur 22: Utsegling från kaj för två vindriktningar (Sim. Nr. 21A, 21B)

I de flesta av inseglingarna till kaj utsattes fartyget, i samband med vändningen, för en stark bakåtriktad kraft och fartyget erhöll en successivt ökande backfart om inte detta blev kompenserat för.



Figur 23: Definitionsskiss - Centrifugalkraft

Anledningen till detta är att vid vändningen kommer ofta svängningscentrum (pivotpunkten) att ligga långt förut (den gula cirkeln i Figur 23). Då uppstår en centrifugalkraft,  $F_c$ , som kan beräknas enligt:

$$F_c = m_{\text{tot}} V^2/R$$

där

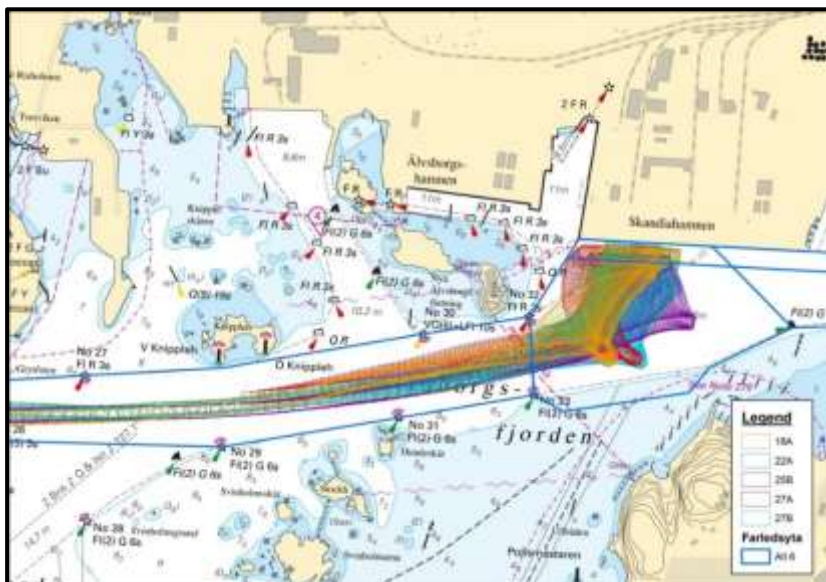
$$V = r R$$

$r$  = girhastighet i rad/s

$R$  = girradien i m

$m_{\text{tot}}$  = fartygets totala massa, inklusive medsvängande vattenmassa

### Vändytan



Figur 24: Densitetsplott för in- och utsegling från Kaj 614

Både Figur 7 (in- och utsegling till/från Kaj 610) och Figur 24 (in- och utsegling till/från Kaj 614) visar att den föreslagna vändytan med en utvidgning på ca 100 m söderut fungerar bra med bra marginaler åt alla håll. I något fall kom akterskeppet nära markeringen sydost om Älvsborg, dock med en klarning på ca 70 m.



## 5 "Under Keel Clearance" (UKC) analys

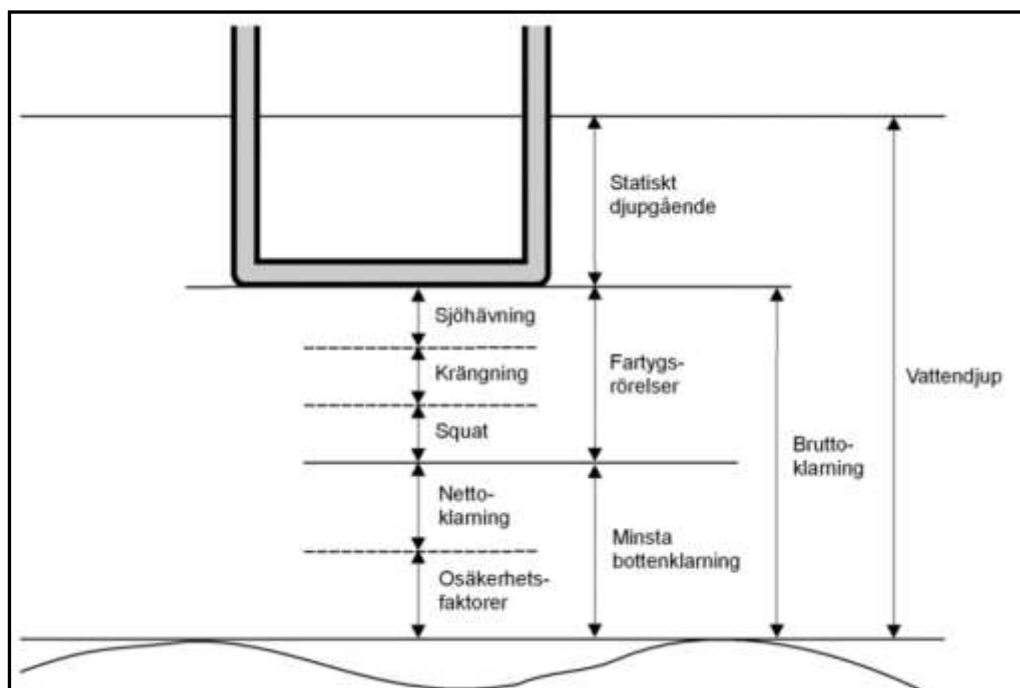
Baserat på de simuleringar som genomfördes under vecka 42 har den dynamiska bottenklarningen beräknats för samtliga fall.

### 5.1 Metod

Beräkningen följer den princip som redogörs för i Ref 2, se nedanstående Figur 25, dvs det rekommenderade vattendjupet ska omfatta följande delar:

- Nominellt djupgående
- Sjöhävning
- Krängning
- Squat
- Nettoklarning
- Osäkerhetsfaktorer

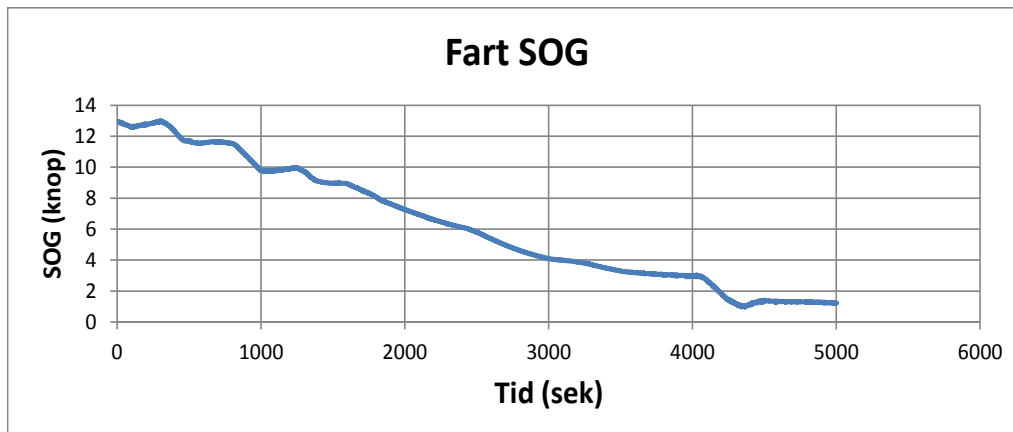
Av dessa har sjöhävningen i den aktuella farleden ansetts vara noll. De två sista bidragen, krängning och squat, utgör den framräknade minsta bottenklarningen.



Figur 25: Variabler vid beräkning av vattendjup enligt Transportstyrelsen (Ref 2)

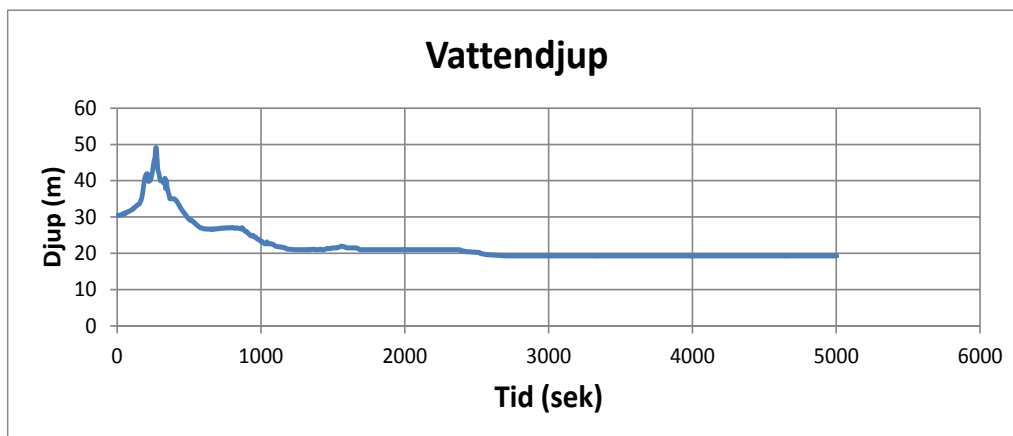
I beräkningen, som genomförs för varje hel sekund under hela respektive simulering således, tas hänsyn till följande parametrar:

- **Den aktuella farten** som erhålls från Transas simuleringsprogram, se exempel i Figur 26.



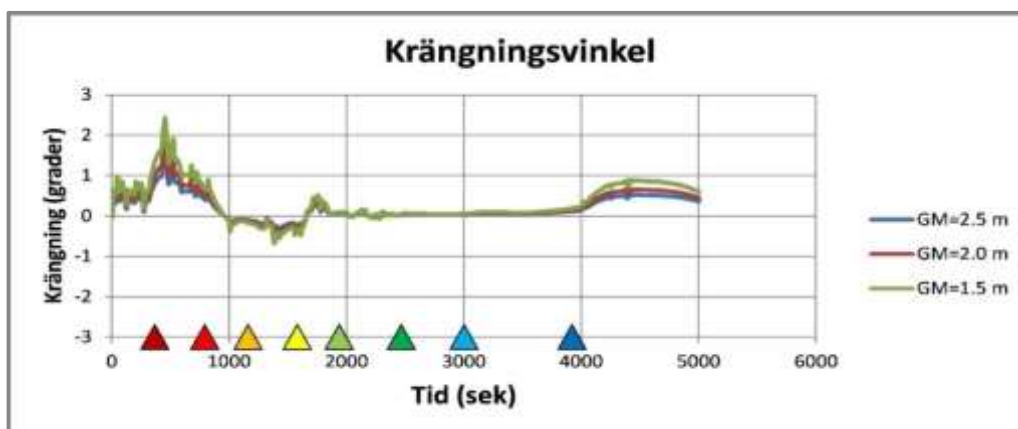
Figur 26: Fart över grund för Sim. Nr 2A

- **Vattendjup** som erhålls från Transas simuleringsprogram, se exempel i Figur 27. Vattendjupet avser här hela djupet, från ytan ner till botten.

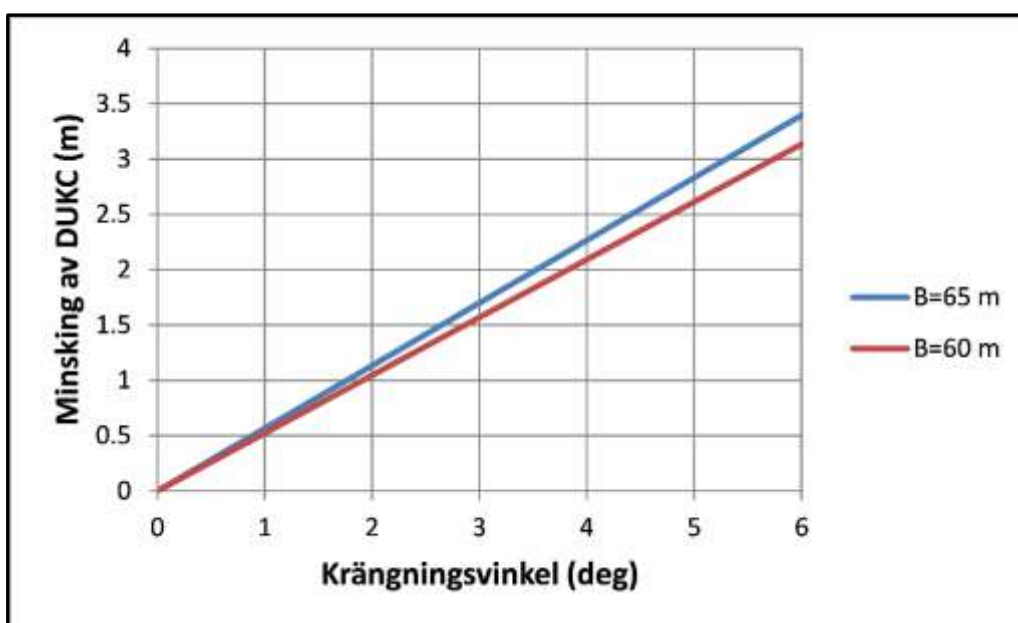


Figur 27: Vattendjup för Sim. Nr 2A

- **Krängningsvinkel** som erhålls ur Transas simuleringsprogram, se ex i Figur 29. I diagrammet ges inte enbart den som registrerats i Transas system för den antagna metacenterhöjden (GM) på 2,5 m utan även omräknat till 2,0 och 1,5 m respektive. Omräkningen är baserad på ett antagande om att krängningsvinkeln är omvänt proportionellt mot metacenterhöjden, dvs om krängningsvinkeln i ett visst ögonblick är  $1,4^\circ$  för  $GM=2,5$  m, så är det  $2,5/1,5 \times 1,4 = 2,3^\circ$  för  $GM=1,5$  m. Krängningsvinkelns inflytande på minskningen av den dynamiska bottenklarningen framgår av Figur 28.



Figur 29: Krängningsvinklar för Sim. Nr 2A

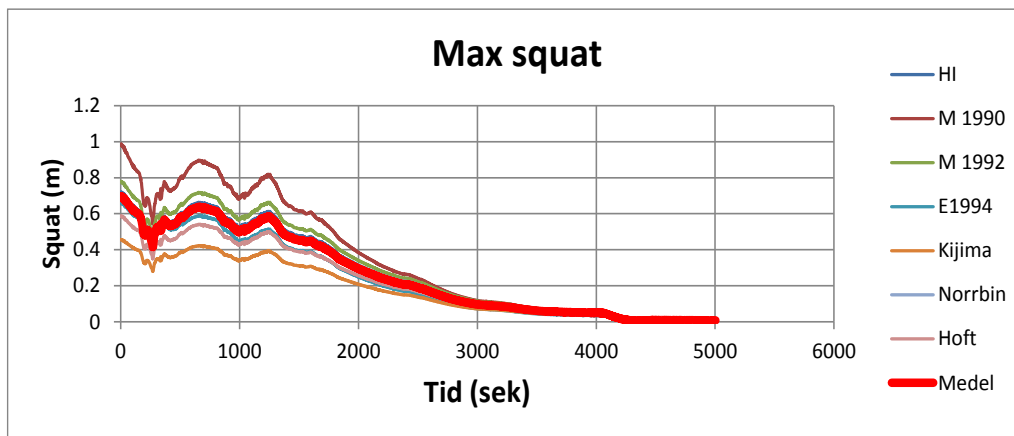


Figur 28: Krängningsvinkelns inflytande på dynamisk bottenklarning för 2 olika fartygsbredder.

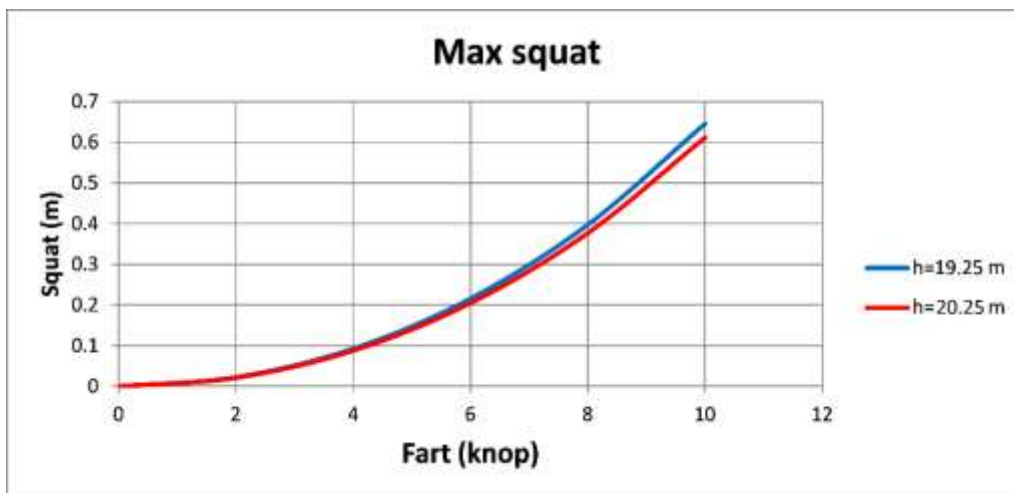
- **Det aktuella djupgåendet** med hänsyn till densitetsvariationen. Följande densitetsvärden har då använts, se Ref 4:

  - \* Området utanför Måvholmsbådan - 1018,2 kg/m<sup>3</sup>
  - \* Skalkorgarna - 1017,2 kg/m<sup>3</sup>
  - \* Älvsborg - 1015,9 kg/m<sup>3</sup>

Det aktuella värdet har interpolerats mellan dessa värden, baserat på aktuell tid och de tider fartyget har passerat ovanstående platser. Genom att anta en vattenlinjeareakoefficient på 0,79 har då det aktuella djupgåendet räknats fram utifrån ett antagande att fartygets djupgående är 17,5 m vid kaj i Skandiahammen. Ovanstående densitetsvärden kan ju variera över tid och bör därmed betraktas enbart som exempel.
- **Beräknad squat.** Den har beräknats som medelvärdet av ett antal olika beräkningsmetoder (Ref 5 -Ref 10), se exempel i Figur 30. Den squat som använts har i diagrammet tjock röd färg. De olika metoderna finns i detalj redovisade i Appendix 4. Den squat som redovisats både i rapporten och i Appendix 4 är den största av de i för och akter på fartyget (för detta fartyg innebär det fören eftersom det beräknats trimma på fören)



Figur 30: Jämförelse mellan de olika metoderna för beräkning av squat (Sim. Nr 2A)



Figur 31: Squat som funktion av fart vid 19,25 respektive 20,25 m vattendjup, fullastat fartyg

Figur 31 visar squaten för det fullastade stora containerfartyget som funktion av farten vid 19,25 och 20,25 m vattendjup. Skillnaden i squat mellan de två djupen är relativt liten.

Förkortningarna för metoderna i Figur 30 betyder:

HI Huska/Icorels

M Milward

E Eruczlu

Den dynamiska bottenklarningen har därmed i varje tidsögonblick beräknats enligt:

$$DUKC = h - T - B/2 |\sin(\phi)| - S_m$$

Där:

h = det aktuella vattendjupet i m

T = det aktuella djupgåendet enligt densiteten i vattnet (vattenlinjearean har här antagits vara 0,79)

B = fartygsbredden i m

$\Phi$  = krängningsvinkel i °

$S_m$  = den aktuella "medel"squaten i m

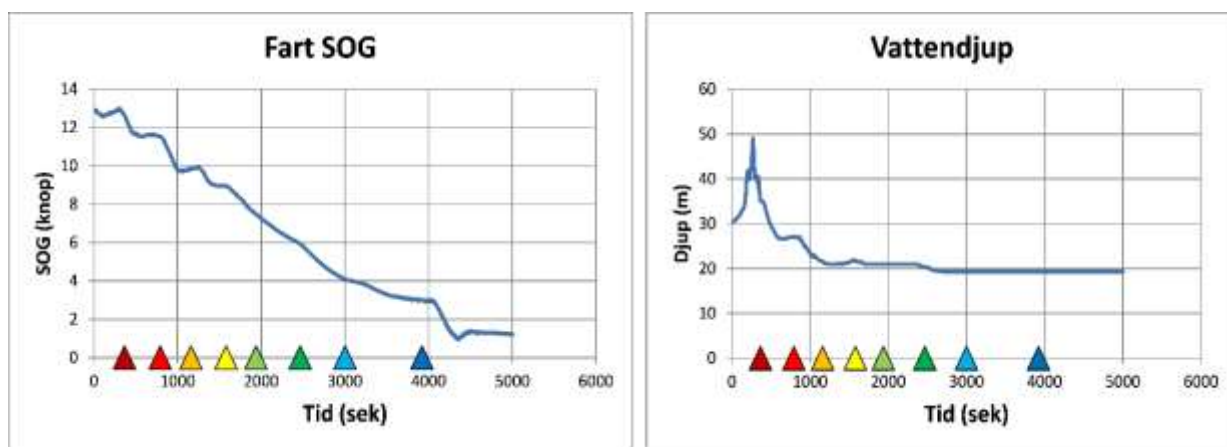
## 5.2 Resultat från beräkning av den minsta dynamiska bottenklarningen

Resultaten från beräkningen av den dynamiska bottenklarningen presenteras för samtliga simuleringar i Appendix 4, dels sammanfattande i tabellform och dels i fem tidsdiagram för varje simulering. I en sammanfattande tabell i början på Appendix 4 redovisas även:

- Maximal krängningsvinkel under in- eller utsegling
- Maximal "squat"
- Minsta bottenklarning, beräknad enligt ovan.

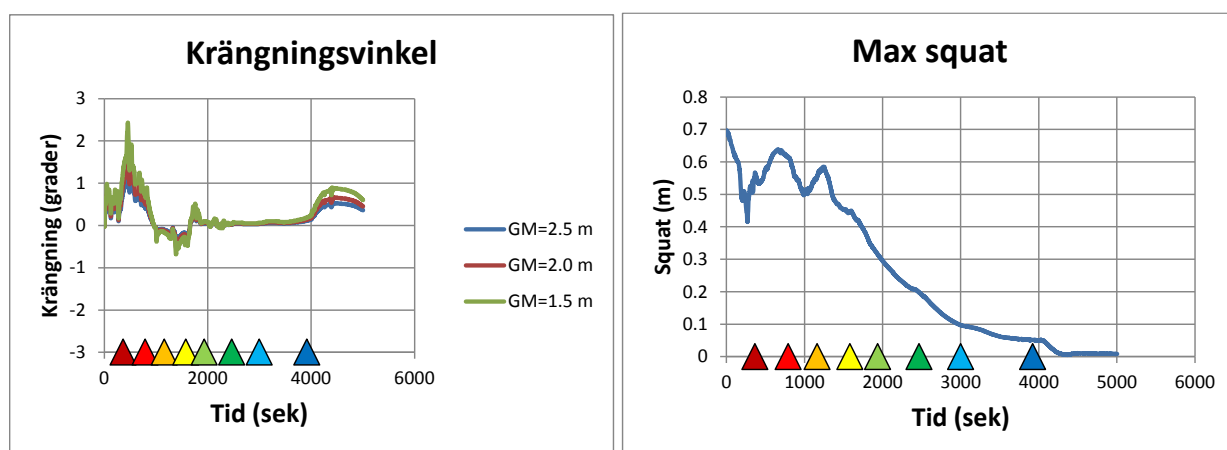
Följande diagram ges för varje simulering:

- Fart över grund, SOG, i knop, se vänstra diagrammet i Figur 32
- Vattendjup i m, se högra diagrammet i Figur 32



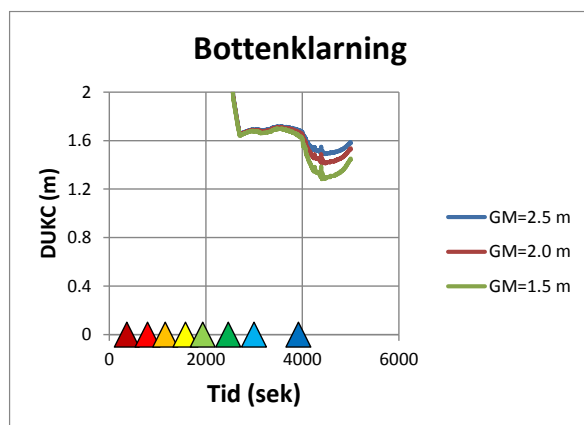
Figur 32: Exempel: Fart och vattendjup i Sim. Nr 2A

- Krängningsvinkel i  $^{\circ}$ , se vänstra diagrammet Figur 33. Negativ krängning är åt babord.
- Max squat, se högra diagrammet i Figur 33



Figur 33: Exempel: Krängningsvinkel och max squat i Sim. Nr 2A

- Minsta bottenklarning i m under simuleringen, se Figur 34.



Figur 34: Exempel: Bottenklarning I Sim. Nr. 2A

Samtliga diagram är givna på bas av tiden från start av simuleringen i sekunder.

De färgade trianglarna längst ner i respektive diagram anger tiden för passage av följande platser:

- Mörkröd - Buskärs Knöte
- Röd - Vipeskärs boj
- Orange - Måvholmsbådan
- Gul - Måvholmsskären
- Ljusgrön - Skalkorgarna
- Mörkgrön - Dynan
- Ljusblå - Knippleholmarna
- Mörkblå - Älvsborg

I en resultattabell, längst ner till vänster i bilderna i Appendix 4 under de fem diagrammen, redovisas max- respektive min- värden för krängningsvinkel och minsta bottenklarning, för "ordinarie" GM (metacenterhöjd) såväl som för två alternativa mindre GM. Tabellen till höger om denna visar max krängning och max squat för några enskilda delar av farleden:

- Måvholmskröken från Vipeskär till Skalkorgarna
- Skalkorgarna till Dynan
- Dynan till Älvsborg
- Innanför Älvsborg i Skandiahammen

I denna tabell ges enbart de värden som erhållits för "ordinarie" GM

### 5.2.1 Största krängningsvinkel

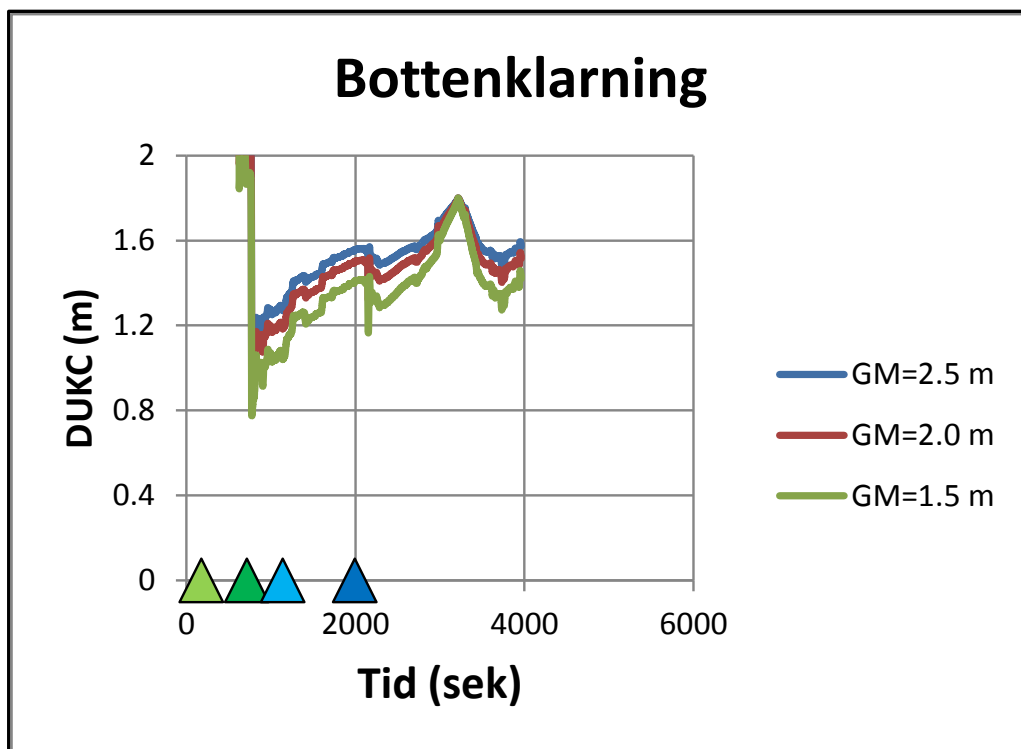
Största krängningsvinkel, 2,53°, erhöles i Sim. Nr 24A för det mindre fartyget med 17,0 m djupgående och ordinarie GM (1,8 m). Det inträffade i styrbordsgiren vid Buskärs Knöte, strax innan simuleringen bröts. För det större fartyget med 17,5 m djupgående och ordinarie GM (2,5 m) var den största krängningsvinkeln 1,54° (Sim. Nr. 26A).

### 5.2.2 Största squat

Den största nedsänkningen, 1,02 m, sett över samtliga simuleringar, erhöles i Sim. Nr 3B strax innan passage av Vipeskärs Boj. Farten var då ca 15 knop (se Appendix 4) och vattendjupet på väg ner till ca 28 m.

### 5.2.3 Minsta bottenklarning

Den minsta bottenklarningen, sett över samtliga simuleringar, erhöles för "ordinarie" GM (2,5 m) i Sim. Nr 7B, se Figur 35. En minsta bottenklarning på 1,04 m erhöles, se Appendix 4, vid tiden 854 sek efter start av simulering. Då var farten ca 6,2 knop och vattendjupet hade strax innan minskat till 19,25 m. Krängningen var då 0,69 ° åt babord.



Figur 35: Sim Nr. 7B – Bottenklarning DUKC

Med ett lägre GM på 1,5 m i stället för 2,5 m hade bottenklarningen varit 0,78 m. För 14,5 m djupgående var den minsta bottenklarningen 4,27 m och det inträffade i Sim. Nr. 25A.

För det mindre fartyget, med ett djupgående på 17,0 m, erhöles den minsta bottenklarningen, 1,48 m, i Sim. Nr 22A.

## 5.3 Kommentarer kring UKC analysen

Beräkningen av den dynamiska bottenklarningen är, som beskrivits ovan, baserad på ett antal faktorer, varav squat-beräkningen är en. Denna beräkning har en viss osäkerhet som framgår av Figur 30. Det är en stor spridning mellan de alternativa formler som analysen bygger på. Beroende på den rådande vattendjupsprofilen, blir den dynamiska bottenklarningen kritisk först då vattendjupet är nere på 19,25 m. Squaten är då i de flesta fall nere på värden under 0,5 m, se Appendix 4. Detta innebär att osäkerheten i squatberäkningen sannolikt ligger inom +/- 0,1 m.

En fullskalemätning på ett angörande containerfartyg med s.k. RTK utrustning skulle möjliggöra en säkrare beräkning av squaten.

### 5.3.1 Känslighetsanalys

De beräkningar som genomförts är baserade på de simuleringar som kördes under vecka 42. Förhållandena kan naturligtvis, av olika skäl, vara annorlunda som t.ex:

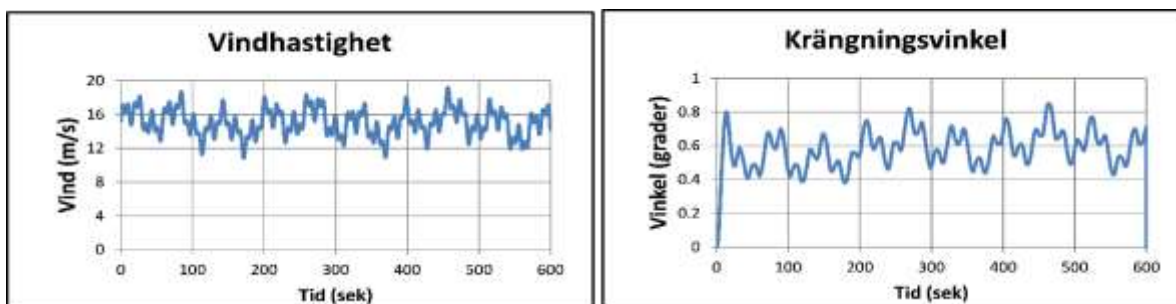
- varierande vind med byar
- högre fart
- hastig förändring av rodervinkel, t.ex. till följd av lovgirighet i en vindby
- ännu lägre GM

minska den dynamiska bottenklarningen ytterligare.

#### Vindbyar

Transas-simulatorens saknar möjlighet att representera en verklig vind där vindhastigheten varierar kring det förutbestämda medelvärdet. För att åskådliggöra konsekvensen av detta har några korta simuleringar i SEAMADE's egen programvara SHIPMAN genomförts, enligt följande:

Vid en fart på ca 6 knop ger en varierande vind, med medelvinden 15 m/s, en medelkrängning på  $0,6^\circ$  och ett maxvärde på  $0,9^\circ$ , se Figur 36. Detta ger en skillnad på 0,17 m i nedsänkning. I extremfallet skulle alltså den framräknade dynamiska bottenklarningen, till följd av en vindby, kunna minska den framräknade dynamiska bottenklarningen med 0,17 m.



Figur 36: Simulerad gång i sidvind med 15 m/s medelvind i en fart på ca 6 knop

#### Högre fart

En eventuellt högre fart, t.ex. en knop, skulle enligt den använda beräkningsmodellen (se Figur 31) med vattendjupet 19,25 m, kunna ge en ökad squat med ungefär 0,1 m, och därmed motsvarande minskning av den dynamiska bottenklarningen. För två knops fartökning erhålls en ökad squat med ca 0,2 m.

#### Förändrad rodervinkel

Vid en vindby, kan fartygets inneboende lovgirighet leda till en ökad rodervinkel, som initialt kan förstärka den vindinducerade krängningen. Vid sex knops fart kan roderkraften, vid dikt roder, uppskattas till ca 50 ton. En ökning av rodervinkeln på  $10^\circ$  skulle då kunna innebära en ökning av kraften med ca 15 ton (knapp tredjedel av den vid dikt roder). Denna kraft ger ett krängande moment som ökar krängningsvinkeln med ca  $0,03-0,05^\circ$ , dvs försumbart.

#### Ännu lägre GM

Den beräknade bottenklarningen är redovisad för ordinarie GM (2,5 m för det bredare fartyget) såväl som för två mindre GM, 2,0 och 1,5 m. Den lägsta bottenklarningen erhöles enligt ovan i Sim Nr 7B. Krängningen var då ca  $0,6^\circ$ , se App 4. Vid GM=1,5 m erhöles en lägsta bottenklarning på 0,78 m. Vid ett ännu lägre GM, t.ex. 1,0 m, skulle en minsta bottenklarning på 0,52 m erhållas. Huruvida så låga GM är realistiska bör verifieras då de har stor betydelse för minsta bottenklarning.



## 6 Kompletterande simuleringar vecka 45

Torsdagen 7 november kördes nio extra simuleringar i simulatorn tillsammans med två av de tidigare fyra lotsarna. I tidigare simuleringar upplevdes fartygen, speciellt det större med 17,5 m djupgående, som trögt, både med att starta och häva gir samt accelerera upp i fart från stillaliggande. En jämförelse med SEAMADE's programvara SHIPMAN visade att modellen i Transas simulator var något långsammare att accelerera. Det visade sig också att maskingränskurvan (den som beskriver maximalt uttagbart moment vid olika varvtal) var relativt lågt ställd i den senare modellen.

Syftet med de kompletterande simuleringarna var därför att:

- undersöka effekterna av en modifierad maskingränskurva och med en något högre maskineffekt (72 000 kW jämfört med tidigare 65 000 kW)
- undersöka effekterna av en större bottenklarning, åstadkommen både med större vattendjup och med mindre djupgående på fartyget (det senare täcker också effekten av ett mindre displacement)

### 6.1 Körningsprogram

Totalt simulerades nio fall, samtliga med det större fartyget i två alternativa lastkonditioner med 17,5 respektive 16,5 m djupgående. Samtliga dessa kompletterande simuleringar genomfördes för en metacenterhöjd (GM) på 2.5 m.

Simul. Nr	Farleds-avsnitt	Fartyg LxBxD	Farleds-alternativ	Vindriktning	*Vindtryck (ton)	Max krängn. (°)	Max squat (m)	Min UKC (m)
V45-1	Vändytan-Skalkorgarna	430x65x17,5	6	S	250	0,61	0,23	1,25
V45-2	Skalkorgarna – Vändytan*	430x65x17,5	6	S	250	0,56	0,20	2,29
V45-3	Vändytan-Skalkorgarna	430x65x16,5	6	S	250	0,58	0,21	1,27
V45-4	Skalkorgarna – Vändytan	430x65x17,5	6	S	250	0,79	0,44	1,13
V45.5	Skalkorgarna – Vändytan*	430x65x17,5	6	S	250	0,71	0,36	2,03
V45-6	Skalkorgarna – Vändytan	430x65x16,5	6	S	250	0,64	0,38	1,15
V45-7	Måvholmsgiren-In	430x65x17,5	6	NV	250	1,38	0,78	2,93
V45-8	Måvholmsgiren-In	430x65x16,5	6	NV	250	1,06	0,66	2,86
V45-10	Måvholmsgiren-In	430x65x17,5	6	NV	200	0,97	0,79	3,09

Tabell 3: Körningsschema för simuleringar vecka 45

\* I två av simuleringarna, V45-2 och V45-5, ändrades vattendjupet i den inre muddrade delen från 19,25 m till 20,25 m.

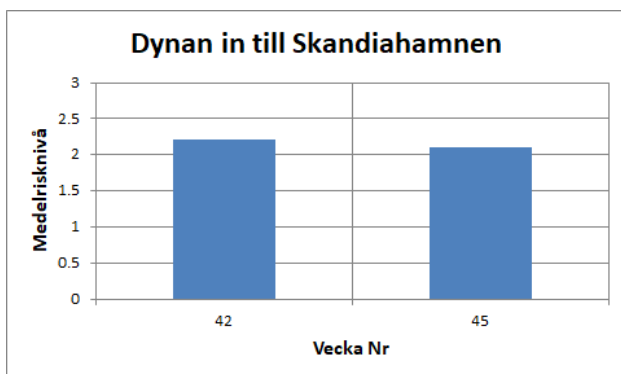
### 6.2 Nautisk riskbedömning

De enskilda riskbedömningarna finns redovisade, på samma sätt som för de tidigare dagarna, i Appendix 3. Bedömningarna för passage av Måvholmskröken ges i Tabell 4, där också motsvarande vindfall från vecka 42 är inlagda. Tabellen uppvisar inte någon förbättring i de nya simuleringarna, snarare lite högre riskvärden. Skillnaderna här beror dock sannolikt på subjektiva bedömningar från olika lotsar och vid olika tillfällen-

Körn Nr	Fartyg	Farleds-alt.	Riktn	Från	Till	Vind-riktning	Måvh					
							Hålla kursen	Starta/häva häva gir	Avdrift	Fart	Nära farledskant	
V45-7	430x65x17.5	6	In	BK	Skal	NV	V45-7	2	3.5	2	2	1
V45-8	430x65x16.5	6	In	BK	Skal	NV	V45-8	2	3.5	2	2	1
V45-10	430x65x17.5	6	In	BK	Skal	NV	V45-10	2	3	2	1	1
14B	430x17.5	6	In	No1	Skal	NV	14B	2	2	1	1	1
23A	430x17.5	6	In	No1	Skal	NV (200t)	23A	1	2	1	1	1

Tabell 4: Nautisk riskbedömning för Måvholmskröken. Jämförelse med motsvarande vindfall från vecka 42

Då det gäller in- och utsegling till/från kaj, blir bedömningen mer likvärdig. För motsvarande vindfall erhöles det marginellt lägre risknivåer i vecka 45 jämfört med de som erhöles i vecka 42, se Figur 37.

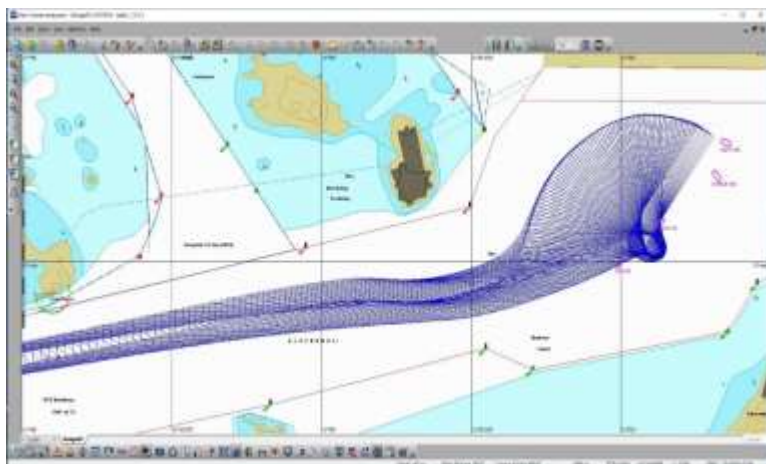


Figur 37: In- och utsegling till/från Skandiahamnen – Jämförelse mellan vecka 42 och 45 – Sydlig vind

### 6.3 Kommentarer till simuleringarna i vecka 45

I stort sett konfirmerar resultaten från kompletterande nio simuleringarna vad som erhöles tidigare, dock med två skillnader:

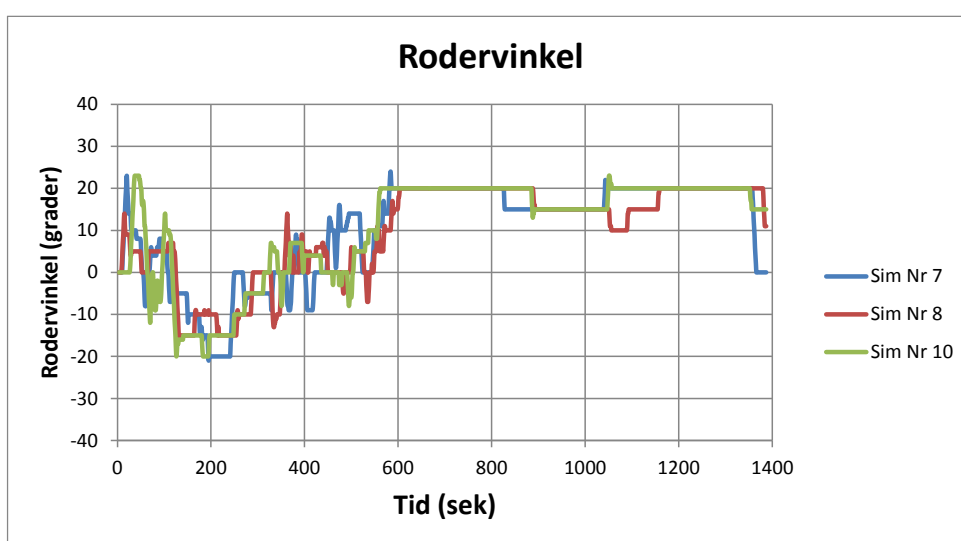
- Den förändrade maskingränskurvan innebar att fartyget kunde komma upp i fart något snabbare i samband med utsegling från vändytan än vad som var fallet tidigare. Fartygsmodellens egenskaper upplevdes nu av lotsarna stämma väl med vad de förväntade sig ett större fartyg som detta kan ha.
- De agerande lotsarna var i dessa simuleringar bättre förberedda på den centrifugalkraft som uppträder i samband med vändningen av fartyget. Då fartyget, beroende på bogserbåtarnas agerande, roterade runt en punkt nära förskeppet, erhöles precis som tidigare en kraft riktad akterut. Nu bemöttes denna kraft med att i god tid beordra SLOW AHEAD på maskin. Figur 38 visar hur väl vändningsmanövern nu genomfördes med en rotation kring förskeppet.



Figur 38: Insegling i sydlig vind – Sim. Nr. V45-4

### Övriga synpunkter:

- En större bottenklarning till följd av ett ökat vattendjup förändrade inte den upplevda "trögheten" nämnvärt, varför det kan konstateras att den stora trögheten i fartyget, snarare beror på dess stora massa än att det "suger sig fast" i botten till följd av en liten bottenklarning. Alltså en större bottenklarning underlättar inte manövreringen.
- Med ett mindre djupgående blir fartyget något lättare och därmed marginellt snabbare i responsen, både vad gäller acceleration och gir.
- De tre simuleringar som representerade insegling genom Måvholmskröken uppvisade ingen större skillnad i rodervinkel, vilket framgår av Figur 39. De tre simuleringarna är genomförda i NV vind, de två första, Nr 7 och Nr 8, med 250 tons vindtryck och den sista med 200 tons vindtryck. Den mellersta simuleringen, Nr 8, representerade fartyget med ett djupgående på 16,5 m medan de två övriga ett djupgående på 17,5 m.



Figur 39: Rodervinkel för insegling genom Måvholmskröken (Sim Nr V45-7, V45-8 och V45-10)

## 6.4 Kommentarer till den kompletterade UKC analysen

Precis som för tidigare simuleringar redovisas den beräknade bottenklarningen i Appendix 4. Den minsta bottenklarning som nu erhöles var 1.13 m (Sim. Nr. V45-3), dvs lite större än den minsta som tidigare erhöles.

## 7 Slutsatser

### 7.1 Manövrering och lotsning

#### 7.1.1 Girar

För dessa fartyg (simulerade modeller) behövdes i princip alltid minst 20 graders roder för att inom rimlig tid få igång giren.

Maximal ROT (Rate Of Turn) vid 12 knop låg runt 14 gr/m med konstant stor rodervinkel.

Under gir med ofördelaktig vind (sidovindar) kunde det stundom behövas en kortare extra varvtalsökning (kick fram) för att bibehålla ROT.

Hävandet av gir konstaterades vara relativt enkelt men då med >20 graders motroder.

Fartnedsättning behövde vid insegling påbörjas direkt efter, eller redan under, avslutningen av den stora giren runt Måvholmsbådan för att kunna hålla en tänkt gräns om 6 knop vid passage Torshamnen. Detta gav å andra sidan problem dels att hålla och dels ändra kursen. Korta extra fartökningar (kickar) med maskin behövdes för dessa åtgärder.

Vid utsegling runt Måvholmsbådan låg fartyget i accelerationsfas med fart sällan under 9 knop, trots gir, vilket resulterade i att giren var av betydligt enklare karaktär.

#### 7.1.2 Kurshållning

Vid farter över 8-10 knop upplevdes fartyget relativt väl kunna hålla kurs, lite beroende på vindriktningen. Vid sidovindar ökade naturligtvis avdriften men den var ändå hanterbar och kunde uppgå till 4-7 grader.

Vid lägre farter var det uppenbara problem med kurshållningen, emedan avdriften ökade avsevärt och ibland nådde tvåsiffrigt värde. (se nästa avsnitt)

#### 7.1.3 Fartändringar

Vid nedtagning av fartygets fart inför vändande i bassängen krävdes en bogserbåt kopplad i center akter som höll emot med 25-75 % dragkraft beroende på vindförhållanden och inte helt sällan även med viss vinkling åt sidan för att fartyget skulle klara av att hålla kursen.

Parallellt med detta behövdes ofta även motroder som lades hårt över under längre perioder, ibland konstant, för undvikande av att fartyget sökte sig upp i vind.

Vid avgång och starka sidovindar så upplevdes fartygets tröghet under accelerationsmomentet problematiskt, när akterskeppet hade en tendens att falla av och en bogserbåt nödgades hålla emot. Detta gjorde det än svårare att få upp farten och problemet tenderade att fortsätta längre ut i farleden innan farten blev tillräckligt hög för att kunna hålla kurs utan bogserbåts assistans.

#### 7.1.4 Övrigt

Under vändningen noterades en märkbar centrifugalkraft (se Figur 23, uppemot 40 ton) som behövde omhändertas med korrigerande fart framåt.

Vid 14,5 m djupgående noterades att fartyget blev något lättare att manövrera, men för övrigt upplevdes trögheten i sin helhet i princip oförändrad.

Med ett sänkt vindtryck till 200 ton upplevdes något bättre manöverförmåga men själva trögheten förändras dock inte nämnvärt.

Vid simulering av fartygstyp liknande Triple-E klassen med 17,0 m djupgående upplevdes den i sin karaktär vara påfallande lik den större modellen.

Den planerade cirkulära vändytan om 650 m diameter var helt nödvändig för att, även med bogserbåt kopplad, säkert kunna vända under påverkan av kraftiga vindar.

Bogserbåtar: Under de första två dagarna användes bogserbåtar med en BP om 70, 80 respektive 90 ton. Erfarenheterna visade dock tämligen snart att de behövde uppgraderas till 70+70, för och 100+100 BP akter för att ge tillräckligt med marginal att säkert kunna hantera fartygets ankomstfas.

Under vissa väderförhållanden kommer möten, i hela eller delar av Torshamnsleden, inte kunna rekommenderas och restriktioner behöver sannolikt utarbetas och kommuniceras med alla parter som kan komma att bli berörda.

## **7.2 Dynamisk bottenklarning**

Med det antagna vattendjupet på 19,25 m i hela området innanför Dynan erhöles inte i något fall, för ett GM på 2,5 m, en bottenklarning under 1,0 m (det minsta värdet var 1,04 m). För ett mindre GM på 1,5 m erhöles ett minsta värde på en bottenklarning av 0,78 m. Beräkningen baserades på vattendjup, fart, krängning, densitetsvariation i farleden samt squat.

## 8 Referenser

- Ref 1. PIANC Report 121-2014 "Harbour Approach Channels, Design Guidelines"
- Ref 2. Transportstyrelsens rekommendationer för utformning av farleder. TSS 2019-2204
- Ref 3. Vindanalys, Göteborg Hamn (SSPA Rapport RE20168163-01-00-A)
- Ref 4. Anna Karlsson> DENSITET GÖTEBORG PM 2019-10-11 Revidering nr 1
- Ref 5. Huuska, O.: "On the Evaluation of Under Keel Clearances in Finnish Waterways", Report No 9, 1976. Otaniemi: University of Technology, Ship Hydrodynamics
- Ref 6. Millward, A.: A Comparison of the theoretical and Empirical Prediction of Squat in Shallow Water", International Shipbuilding Progress 39, 1992
- Ref 7. Eryuzlu, N. E. and Hausser, R: "Experimental investigation into some Aspects of Large Vessel Navigation in Restricted Waterways", International Navigation Congress, PIANC, Paper S12-2, Sevilla, 1978
- Ref 8. Eryuzlu, N. E. et. al. : "Under Keel Requirements for Large Vessels in Shallow Waterways", 28th International Navigation Congress, PIANC, Paper S11-2, Sevilla, 1994
- Ref 9. Romish, K.: "Empfehlungen zur Bemessung von Hafeneinfahrten", Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, 1989, Heft I, 39-63
- Ref 10. Norrbin, N. H.: "Fairway Design with Respect to Ship Dynamics and Operational Requirements", SSPA Research Report No 102, 1986, Gothenburg, Sweden