



RAPPORT

Datum:
2013-04-15

SSPA Rapport Nr.:
2010 5621-1

Projektledare:
Peter Ottosson

Författare:
Johannes Hüffmeier
Johannes.huffmeier@sspa.se
031 772 9027

Göteborgs Hamn AB
Port Development & Sustainability
SE-403 38 GÖTEBORG

Referens:
Fredrik Andersson

Arendal 2 – Manöversimuleringar

En realtidssimuleringsstudie har genomförts för att ta fram bästa utformning av nya kajer ur nautiskt perspektiv med hänsyn till riksintresset för kulturmiljövård Nya Älvsborgs fästning och jämföra alternativa kajförslagen, dvs. bästa sträckning av kajerna för Arendalhamnen i Göteborg. Olika modeller av RoRo fartyg har tagits fram för simuleringar baserat på existerande och framtida fartyg. Rapporten visar resultat av de manöver- och förtöjningssimuleringar. För att uppskatta tillgänglighet av hamnen baserat på simuleringar har vindgränser tagits fram för nya större fartyg. Marginaler under manövern när man angör eller avgår till befintliga hamnen har varit ett viktigt kriterium i bedömningen.

SSPA Sweden AB

SSPA Sweden AB

Jim Sandkvist
Vice President
Maritime Operations

Peter Ottosson
Projektledare
Maritime Operations

SSPA SWEDEN AB – YOUR MARITIME SOLUTION PARTNER

HUVUDKONTOR: Box 24001 · 400 22 Göteborg · Sverige · Tel: 031-772 90 00 · Fax: 031-772 91 24

BESÖKSADRESS: Chalmers Tvärgata 10 · 412 58 Göteborg · Sverige

REGIONKONTOR: Fiskargatan 8 · 116 20 Stockholm · Sverige · Tel: 031-772 90 00 · Fax: 08-31 15 43

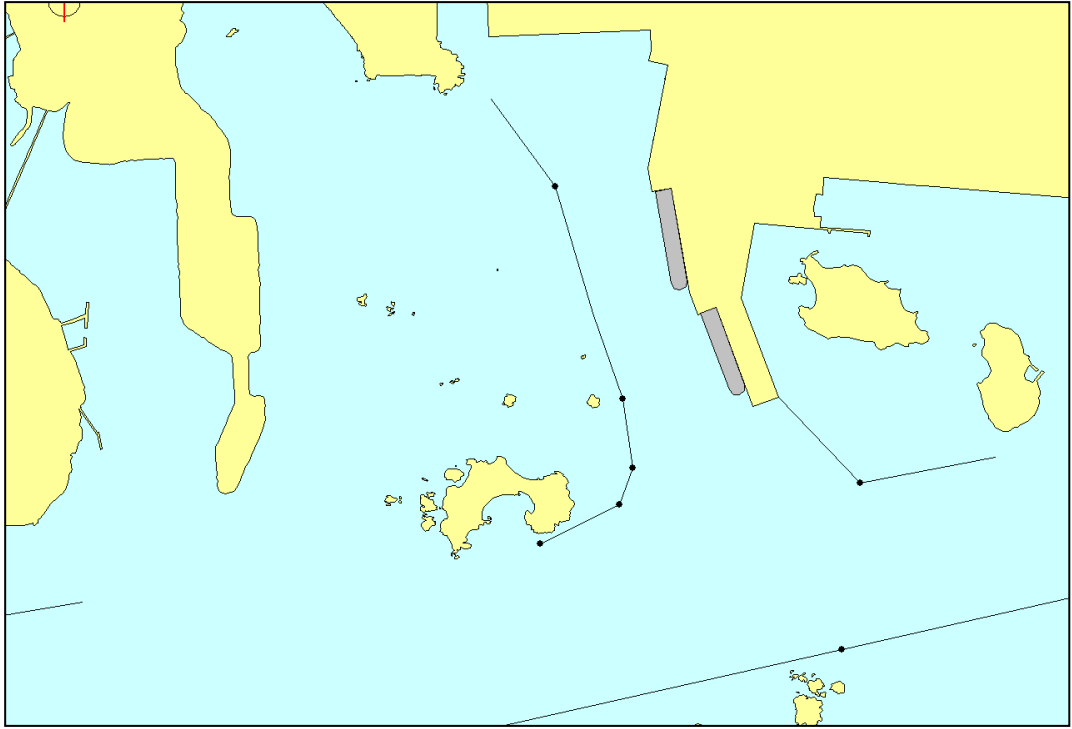
INTERNET: www.sspa.se · E-MAIL: postmaster@sspa.se · ORG NR/VAT NO: SE556224191801

Sammanfattning och rekommendationer

En realtidssimuleringsstudie har genomförts för att ta fram bästa utformning av nya kajer både ur nautiskt perspektiv och med hänsyn till riksintresset för kulturmiljövård Nya Älvsborgs fästning. Olika alternativa kajförslag har simulerats för att komma fram till bästa möjliga utformning. För att uppskatta tillgängligheten har det simulerats fram vindgränser för befintliga och nya större fartyg. Simuleringar har utförts i SSPA's Compact Bridge Simulator av två lokala lotsar från Sjöfartsverket.

Resultat från simuleringar är:

- Förutsättningar för att manövrera till och från olika kajplatser anses som likvärdiga. Om man klarar kajen längst inne klarar man också de andra. Värsta vindriktningen kan möjligen variera för respektive kajplats.
- Det ska vara så raka farleder som möjlig. Farleden ska även ha en trätt längs i söder som ger möjlighet till en bra positionering vid ankomst och ökar möjligheten att vid avgång komma så långt norrut i farleden som möjligt.
- Om man klarar manövreringen med 260m båten, klarar man det också med 230m båten vid respektive vindgräns.
- Vindgränser och manöveregenskaper av Tor Magnolia stämmer överens med verkligheten. Jämfört med Tor Magnolia, känns de större testade fartygen trögare att hantera och mer vindkänsliga.
- Ett djupgående på 9m, som testades för det längre fartyget, ger en liten bottenklarning vilket innebär att fartyget blir svårare att hantera, speciellt då det gäller att klara styrbordsgiren ut i farleden i samband med avgång men lika mycket vid manövreringen i hamnbassängen. Ett djupgående på 8.5m bedöms som ett gränsfall för 260m RoRo fartyget. Det mindre 230m fartyget reagerar bättre på detta djupgående. Manöverförmåga med denna typ av fartyget baseras på bra roder och att man kan utnyttja propellersparker för att få runt fartyget.
- Avgång oftast svårare än ankomst i samma vindförhållanden
- Vindar från väst och öst är svårast för slutgiltiga layouten.
- Vindgränsen baseras mycket på fartygets förmåga att komma loss från kajen eller kommer säkert till kajen.
- Alternativ 3 är önskvärda alternativet ur nautiskt perspektiv, se figur nedan.



Figur 1 Slutgiltiga layouten, Hamnalternativ 3

Innehållsförteckning

Sammanfattning och rekommendationer	2
1 Inledning	5
2 Fartygsdata	7
2.1 Predicerade standard manöver	10
2.2 Bogserbåtar.....	10
2.3 Vindförhållanden.....	11
2.4 Nautiska experter.....	11
3 Hamn och farledsmodell.....	12
3.1 Rekommenderad Farledsbredd enligt PIANC	12
3.2 Simuleringsmodeller	13
4 Resultatet av realtidssimuleringar i SSPA's CBS	18
4.1 Simulation test program	18
4.2 Kommentarer av experter.....	20
4.3 Bedömningen av experter	21
4.4 Resultat från teknisk utvärdering.....	22
4.5 Rekommenderade vindgränser	29
4.6 Grafisk presentation av resultatet	30
4.6.1 Befintlig hamn	30
4.6.2 Alternativ 1	31
4.6.3 Alternativ 2	32
4.6.4 Alternativ 3	33
5 Rekommendationer och slutsatser.....	34
6 Referenser.....	36
Appendix 1	Fartygsbeskrivning och resultat av standard manöver prov
Appendix 2	Track plots och tidshistorier
Appendix 3	Envelopp diagram
Appendix 4	Beskrivning av SSPA's safety index

1 Inledning

I dagsläget finns i Arendalshamnen, som är del av Göteborgs hamn, två kajplatser. Båda har ett vattendjup av 9,80 m och är avsedda för ro/ro fartyg med akterramp. Avsikten är att bygga cirka 180 000 m² terminalyta samt två nya kajplatser avsedda för främst RoRo-trafik. Det är även möjligt att en kombination av RoRo och LoLo blir aktuell. I samband med framtagning av en ny detaljplan för området har SSPA fått i uppdrag att göra en manöver – och förtöjningsstudie. Projektet består då av två delar, en del är att göra manöversimuleringar i SSPA's Compact Bridge Simulator (CBS) och den andra delen att göra förtöjningssimuleringar. Den senare presenteras i SSPA Rapport 2010 5621-2.



Figur 2: Fotomontage över Arendal 2

Syfte med realtidssimuleringarna i CBSen är att:

- Ta fram bästa utformning av nya kajer ur nautiskt perspektiv med hänsyn till riksintresset för kulturmiljövård Nya Älvsborgs fästning
- Jämföra de två alternativa kajförslagen, dvs bästa sträckning av kajerna
- Uppskatta tillgänglighet och vindgränser för nya större fartyg

Studien har genomförts i följande steg:

1. Matematisk modellering av fartygets dynamik med hänsyn till manöverförmåga på både djupt och grunt vatten.
2. Matematisk modellering av olika terminallayouter för Arendalshamnen i Göteborg med topografin, ström förhållanden och nautiskt information.
3. Realtidssimuleringar i SSPA's Compact Bridge Simulator (CBS) med hjälp av två lokala lotsar från Sjöfartsverket.

2 Fartygsdata

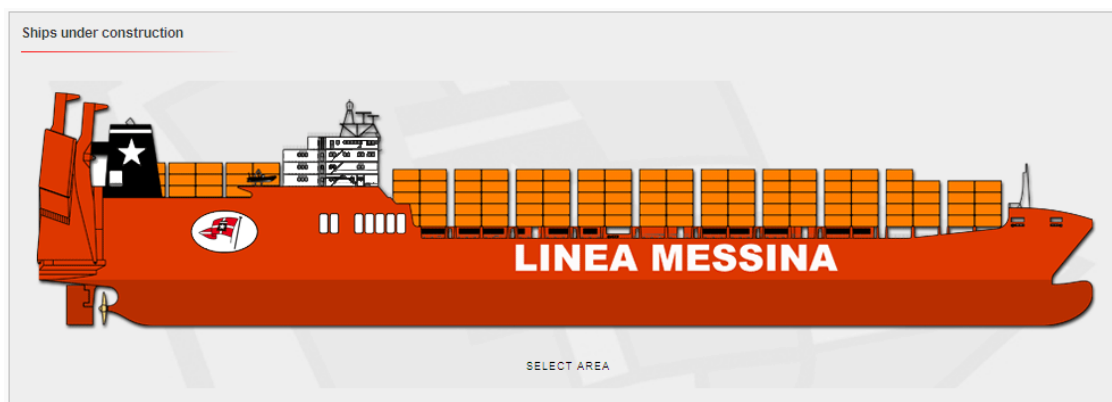
Enligt hamnens uppgifter är det svårt att säga vilka fartyg som på sikt kommer att trafikera RoRo-hamnen i framtiden. För närvarande trafikeras Arendalshamnen och västra Älvsborgshamnen av Tor Lines Blombåtar: Tor Begonia, Tor Ficaria, Tor Freesia, Tor Magnolia, Tor Petunia och Tor Primula. De tre förstnämnda fartygen har en längd på 230,43 meter, en bredd på 26,50 meter och ett djupgående på 7,35 meter. De tre sistnämnda fartygen har samma bredd och är lika djupgående men har en längd på 199,80 meter. De tre förstnämnda fartygen har nyligen förlängts från 200 till 230 meter och det finns en trend där RoRo-fartygen blir längre och längre, kanske ända upp till 260 meter (Andersson, 2010). För att verifiera de matematiska modellerna och för att göra nautikerna vana vid CBSen har det körts inledningsvis simuleringar med en Tor Magnolia liknande båt.



Figur 3: En förlängd Tor Ficaria, källa: (Andersson, 2010)

För att ta fram fartygsmodeller för framtidens RoRo fartyg har Göteborgs hamn och SSPA undersökt existerande och framtidens fartyg. I ett möte med DFDS Seaways visades ett tänkbart fartyg med storlek kring 230m x 40.8m x 8.4m utrustade med ett flap roder, en propeller och två trustrar. I dagsläget finns det inga fartyget i den storlek som Göteborgs hamn har förslagit. De befintliga fartyg som bäst representerar dessa är Midnight Sun och North Star som trafikera Alaska med storlek 255.7m x 35.96m x 8.99m med ett displacement av 46 199 m³ och utrustat med diesel-elektrisk propulsion och design fart av 24kn. I byggnation för italienska rederiet Linea Messina finns en serie RoRo fartyg

som har liknande mått (N., 2010). Fartygen kommer ha storleken: 239m x 37.5m med 45 200 dwt och design fart av 21.5 kn och en RoRo kapacitet av 6030 lane meter och ett LoLo kapacitet av 2920 TEU.



Figur 4 Layout av fartygen för Linea Messina, källa: (N., 2010)

I detta projekt har sammanlagt sex fartygsmodeller tagits fram. Det första är den existerande Tor Magnolia. Två nya fartyg har simulerats, bägge i fullast och ballast. Den längre har även simulerats med ett djupgående av 8.5m. Respektive fartygs data framgår av nedanstående Tabell 1 - Tabell 3.

Fartygsparameter	Dim	Storlek					
		200m		230 m		260 m	
		Fullast	Fullast	Ballast	Fullast	8.5m	Ballast
Längd över allt	m	199.8	230.0		260.0		
Perpendikellängd	m	189.7	212.0		246.0		
Bredd	m	26.5	36.0		40.8.0		
Djupgående, akt.	m	7.3	8.5	6.9	9.0	8.5	7.2
Djupgående, för	m	7.3	8.5	6.1	9.0	8.5	6.4
Displacement	m ³	20900	45495	30949	54454	45874	37044
Tyngdpunktsläge i långskeppsled rel L/2	m	-7.19	-8.3	-6.1	-5.5	-5.8	-10.6
Vertikalt tyngpunktsläge relativt baslinjen – KG	m	12.1	12.1	13.44	13.86	13.23	11.65

Fartygsparameter	Dim	Storlek					
		1.25	1.26	3.10	1.27	1.37	4.88
Metacenterhöjd GM	m	1.25	1.26	3.10	1.27	1.37	4.88
Lateral vindarea	m ²	4318	4971	6382	5619	5564	7113
Transversell vindarea	m ²	702	1081	1345	1081	1071	1360

Tabell 1: Fartygsdata – Huvuddimensioner

Fartygsparameter	Dim	Storlek					
		200m	230 m		260 m		
		Fullast	Fullast	Ballast	Fullast	8.5m	Ballast
Antal roder och typ av roder	-	1 x Flap roder	1 x Flap roder		1 x Flap roder		
Total roderarea	m ²	19	25.4		33.3		
Max rodervinkel	°	45	45		45		
Max roder-vinkelhastighet	°/s	3.8	3.8		3.8		

Tabell 2 Fartygsdata – Roderdata

Fartygsparameter	Dim	Storlek					
		200m	230 m		260 m		
		Fullast	Fullast	Ballast	Fullast	8.5m	Ballast
Effekt – bogpropeller	kW	2 600	2 600		2 600		
Långskeppspos. rel L/2	m	79.0	90.0		102.0		
Effekt – sternpropeller	kW	1 760	1 760		2 000		
Långskeppspos. rel L/2	m	-73.0	-84.0		-95.0		

Tabell 3 Fartygsdata – Bogpropellerdata

Fartygsparameter	Dim	Storlek					
		200m	230 m		260 m		
		Fullast	Fullast	Ballast	Fullast	8.5m	Ballast
Maskineffekt MCR	kW	20 070	24 000		26 000		
Designfart	knop	22.5	22.0		22.0		
Varvtal vid designfart	rpm	120	120		120		
Antal oc typ av propellrar	-	1 x CP	1 x CP		1 x CP		
Propellerdiameter	m	6.15	7.0		7.4		
Designstigning	-	0.95	0.95		0.95		

Tabell 4 Fartygsdata – Maskin- och propellerdata

2.1 Predicerade standard manöver

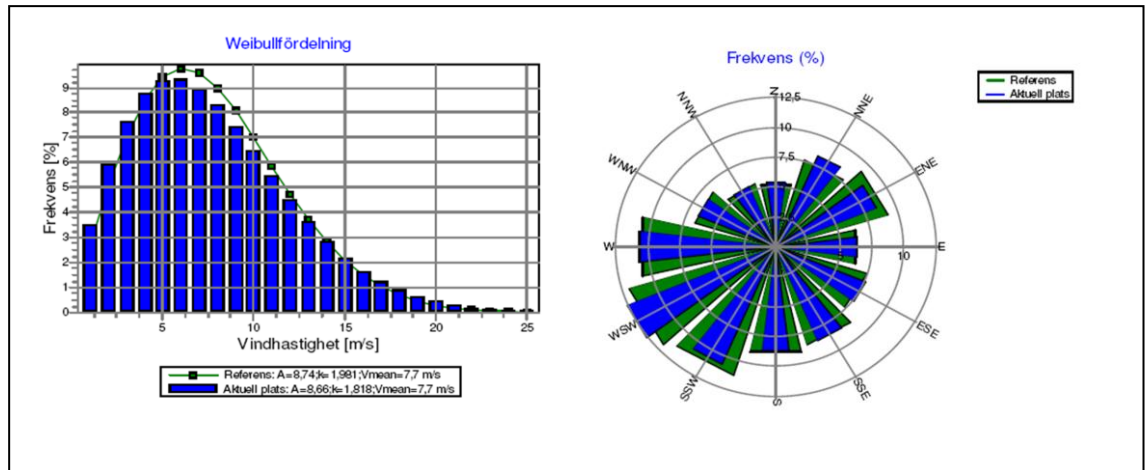
Predicerade standard manöver visas i Appendix 1. De inkluderar girprov, zig-zag manöver, crash stop test och en sammanfattning av vindkrafter som verkar på fartyget. De fartygen uppfyller alla IMO's kriterier för manöverförmågan. När man jämföra resultatet från modellförsök med liknande fartyg, ligger de simulerade fartygen ganska i mitten av alla resultat. En en-propeller RoRo fartyg har en tendens att vara på gränsen mellan kursstabil och kursinstabil fast på kursstabila sidan, någonting som de modellerade fartyg uppfyller. Bog- och sterntrustern på åtminstone den större RoRo fartyget är något underdimensionerad. För att vara på konservativa sidan under simuleringarna har det inte ändrats på. Likadant är det fullt möjligt att en två propellrar båt skulle vara att fördras vid längder av 260m.

2.2 Bogserbåtar

I en del av simuleringar har det används upp till två bogserbåtar. De har valts efter typiska data för Göteborg i överenskommelse med lotsarna. Bogserbåtarna är av traktor typ och har en längd av 36.5m med en bollard pull på 55 tons. De körs i direkt mode med en wire av 40m längd.

2.3 Vindförhållanden

Vindstatistiken för Göteborg visas i Figur 5. Utifrån den och utifrån bedömningarna av mest kritiska vindriktningar har det gjorts ett körningsprogram med olika vindförhållanden. Figurerna visar att dominant vindriktningen är WSW och att det blåser kring 1% av tiden 20m/s eller mer.



Figur 5: Vindförhållanden i Göteborg

2.4 Nautiska experter

Följande nautiska experter har utfört simuleringarna:

Dan Krabbe, Lots Väst kustens sjötrafikområde, Sjöfartsverket

Stefan Nilsson, Lots Väst kustens sjötrafikområde, Sjöfartsverket

Närvarande från hamnen och stadsbyggnadskontoret under en del simuleringar var:

Jörgen Wallroth, Hamnkaptan, Göteborgs hamn

Fredrik Andersson, Manager Port Development, Göteborgs hamn

Joanna Hagstedt, Stadsbyggnadskontoret

Personal från SSPA:

Peter Ottosson, Karl-Johan Raggl, Johannes Hüffmeier

3 Hamn och farledsmodell

Eftersom syftet med simuleringen var delvis att ta fram bästa utformning av nya kajer ur nautiskt perspektiv har den framtagna hamnmodellen testats och förändrats en del under simuleringarna. En hamnmodell med befintlig layout har tagits fram med en med ett ramfritt djup på 10,2 m och den inre delen 9,8 m, se Figur 6. Som basförslag har det funnits två alternativen, som beskrivs enligt (Andersson, 2010): *”I samråd med Jörgen Wallroth, Hamnkaptan i Göteborgs Hamn, har den nya rännan antagits bli 200 m bred. Vid lerbotten förutsätts djupet i leden vara 10,2 m och 10,0 m utmed kajen. Rännan har räknats 0,2 m djupare än kajerna på grund av krav på större statisk bottenklarning. För att produktionen i hamnen ska kunna ske så fördelaktigt som möjligt bör kajerna orienteras i nord-sydlig riktning. Närheten till Älvsborgs fästning och behovet av större terminalytor gör att kajerna borde ligga så långt västerut som möjligt. Men i väster så planeras det eventuellt för vindkraftverk på bland annat Knippelholmarna, vilket sätter en gräns för hur långt västerut leden kan ligga. En utbyggnad av kajer söder om Lilla Aspholmen innebär att leden in till Arendal måste flyttas västerut. Storleken på det område som behöver muddras i väster beror naturligtvis på hur långt västerut man flyttar leden. Ytan som behöver muddras ligger runt 100 000 m² och GHAB räknar med att fem meter lera ska muddras. Fördjupar man dessutom bassängen utanför kpl 750 tillkommer 180 000 m² muddring från dagens 9,8 m till 10,2 m. Denna yta är oberoende av hur nära Knippelholmarna leden läggs. Väster om kpl.751 ligger berget relativt ytligt. Bergnivåkurvorna indikerar att det ligger över ±0 m (Göteborgs lokala höjdsystem). Eftersom botten ska ned till -0,7 m vid berg så kommer det att behöva sprängas. GHAB uppskattar volymen till ca 10 000 m³ oavsett vilket alternativ som väljs.”*

3.1 Rekommenderad Farledsbredd enligt PIANC

PIANC (PIANC, 1997) rekommendera farledsbredder beroende på manöveregenskaper av fartyg som trafikera denna.

För trafik utan möte:

$$W = W_{BM} + \sum_{i=1}^n W_i + W_{Br} + W_{Bg}$$

“Basic manoeuvring lane”:

$W_{BM} = 1.5 B$ för fartyg med “moderate manoeuvrability”

Bredd W_i	Kommentar	Fart	Inre icke-exponerad led
Fart	Låg 5-8 knop	Låg	0 B
Sidvindar	stark 33-48 knop	“	1.0 B
Tvärström	låg 0.2-0.5 knop	“	0.2 B
Längsgående ström	moderate < 1.5-3 knop	“	0.2 B
Våghöjd	Nästan inga alls	“	0 B
Navigationshjälpmedel	Bra	“	0.1 B
Botten	hart	“	0.2 B
Farledsdjup	< 1. 5T-1.15 T	“	0.2 B
Typ av last – Farligt gods	Medel	“	0.4 B
Total			2.3 B

Tabell 5 Erforderlig bredd för raka farleder

Effekt från bankar har satts till 0.5 B, vattendjupet på sidorna av inseglingrännan kan ge några kännbara effekter:

$$wBr + wBg = 0.5$$

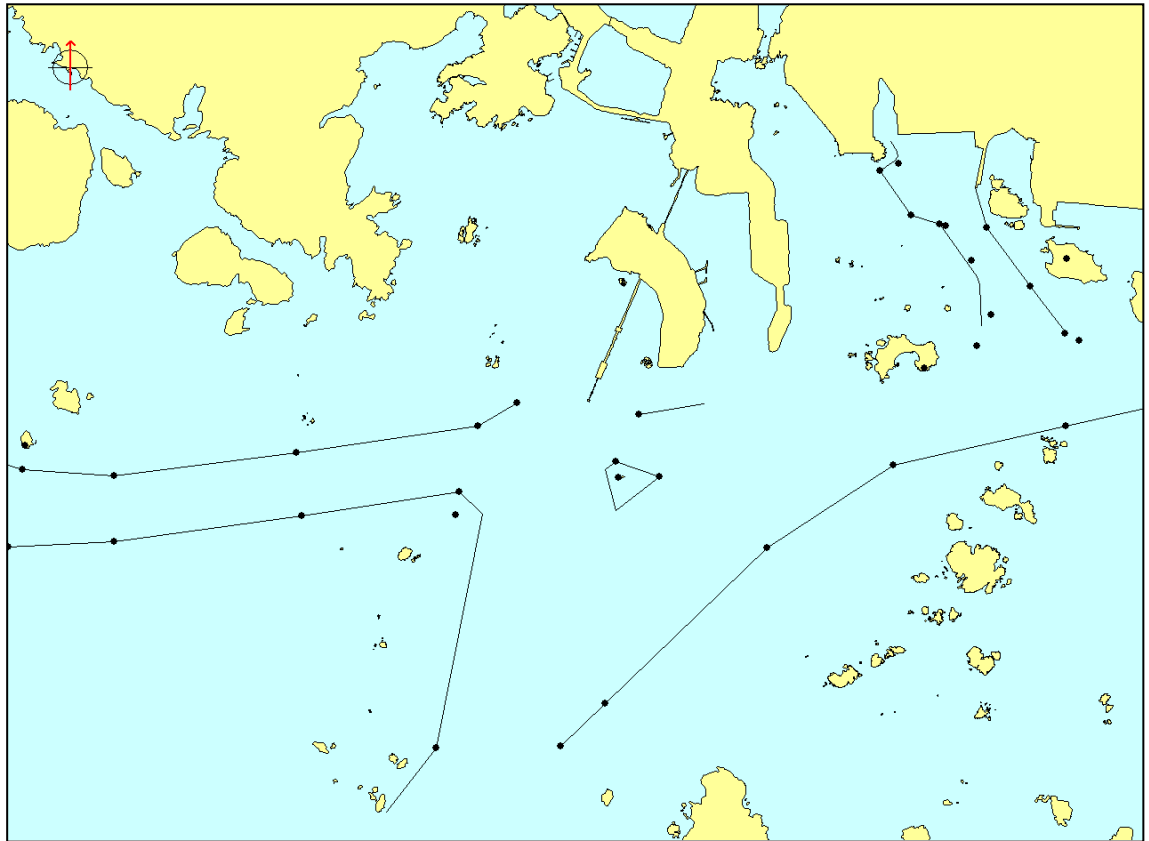
Total rekommenderad bredd = $1.5B + 2.3B + 0.5B = 4.1 B$, i.e. 175.44 m

Alltihop summeras då enligt formel ovan till 4.1 fartygsbredder som motsvarar med designfartyget på 40.8m 167.3m. Antagande om en farled av 200m uppfyller PIANC:s krav med goda marginaler. Farleden är bredare än PIANC:s rekommendation på grund av att PIANC:s rekommendation inte tar hänsyn till att bogserbåtar måste få rum i farleden.

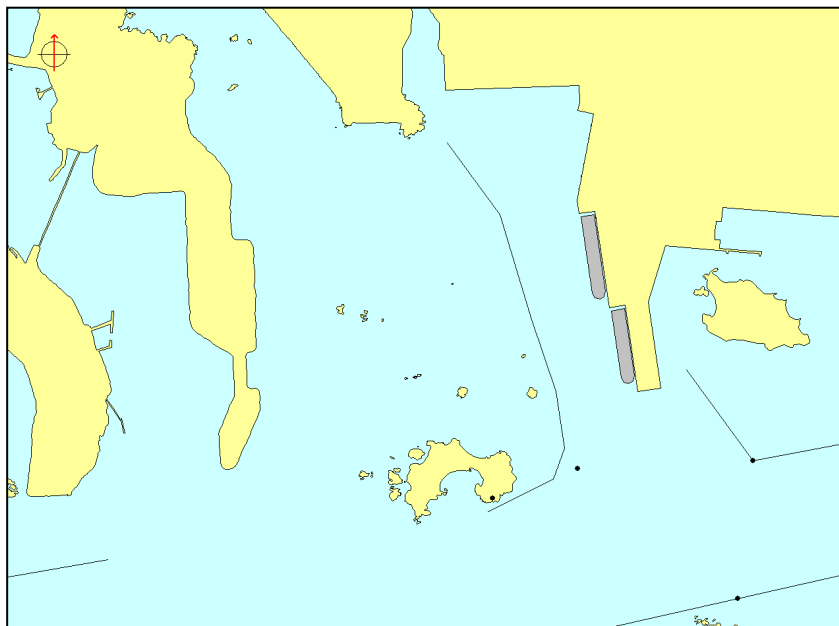
3.2 Simuleringsmodeller

Nedanför visas de olika hamnlayouter som har testats. Farledsdjupet är likadant i alla hamnmodeller, mellan 14.7m och 14.2m. Variationen utgörs huvudsakligen av vinklingen av de kajer och om det ligger ytterligare fartyg vid de andra kajerna som då kan ge lä-effekter. Hamnalternativ 1 med kajen så långt västerut som möjligt visas i Figur 7, alternativet 2 visas i Figur 8. Som exempel visas i de två sistnämnda layouten när andra fartyg är förtöjd vid vissa

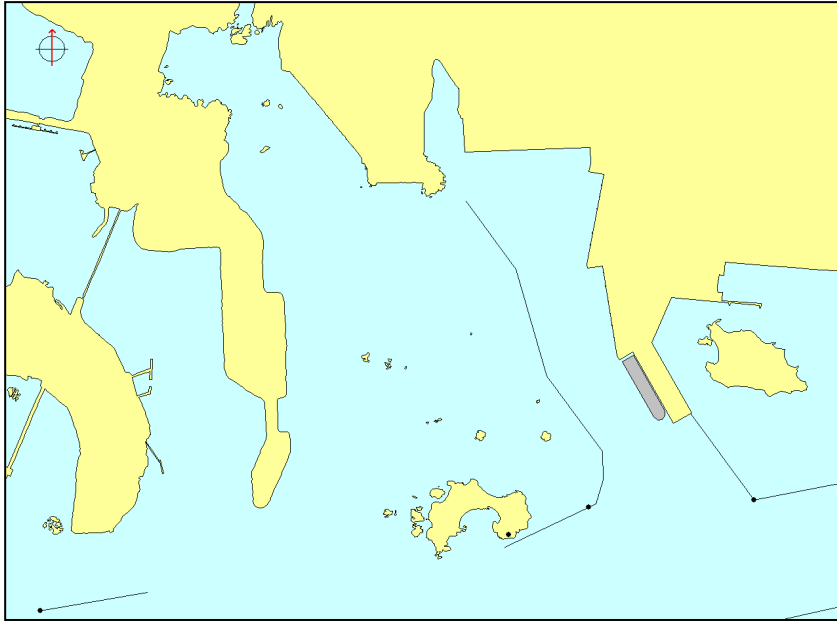
kajplatser. De modifierade layouten som har tagits fram under simuleringens gång visas i Figur 9 och Figur 10.



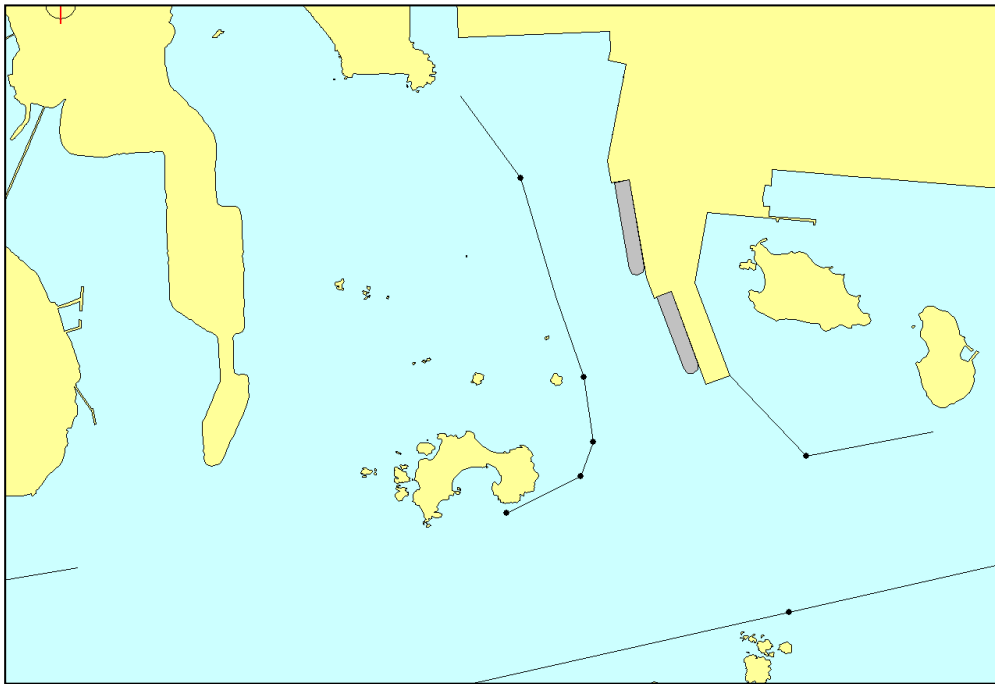
Figur 6: Dagens hamnlayout i Arendalshavnen i PORTSIM presentationen



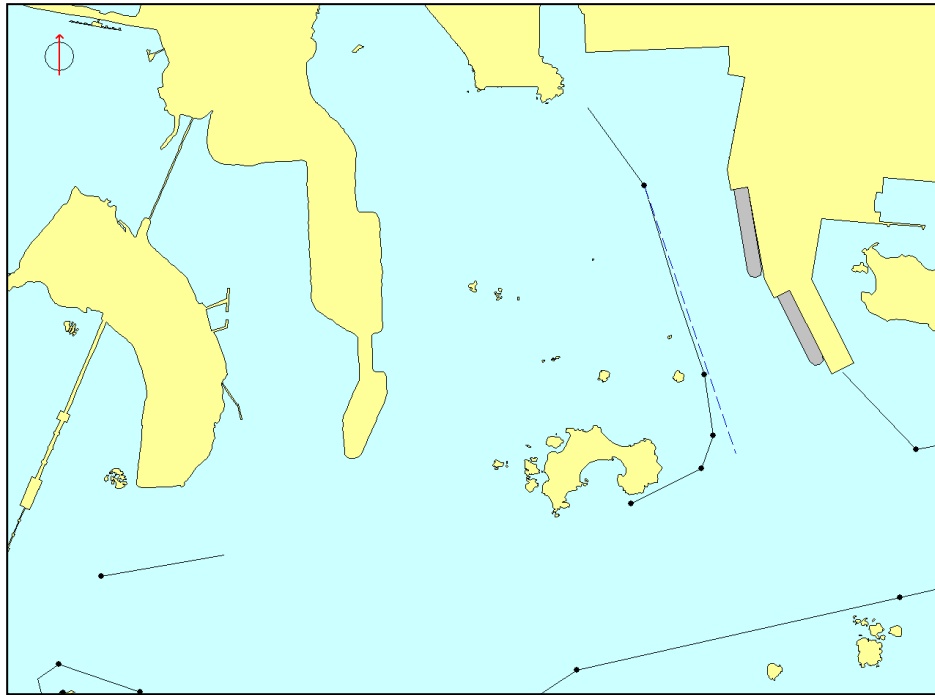
Figur 7 Hamnalternativ 1 med två fartyg vid kajen



Figur 8 Hamnalternativ 2 med ett fartyg vid yttersta kajen



Figur 9 Hamnalternativ 3



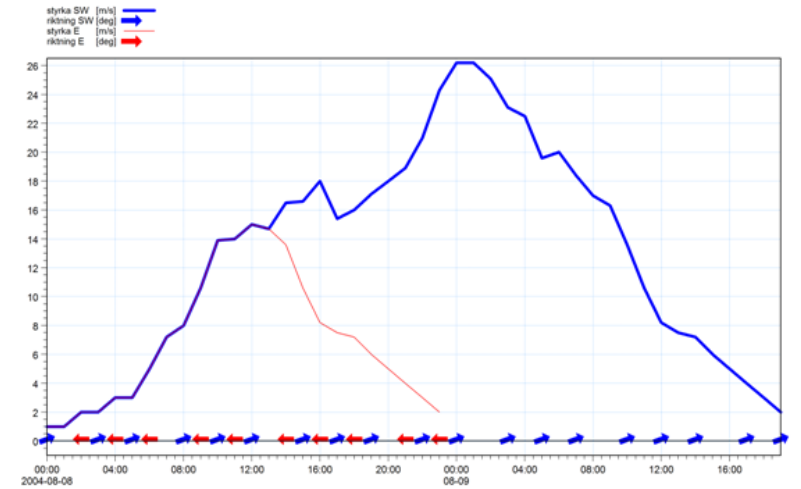
Figur 10 Hamnalternativ 4

I uppdrag av Göteborgs hamn har DHI tagit fram strömförhållandena i området kring Arendalshamnen. Dessa har sedan, i form av ett antal strömfiler, implementerats i PORTSIM.



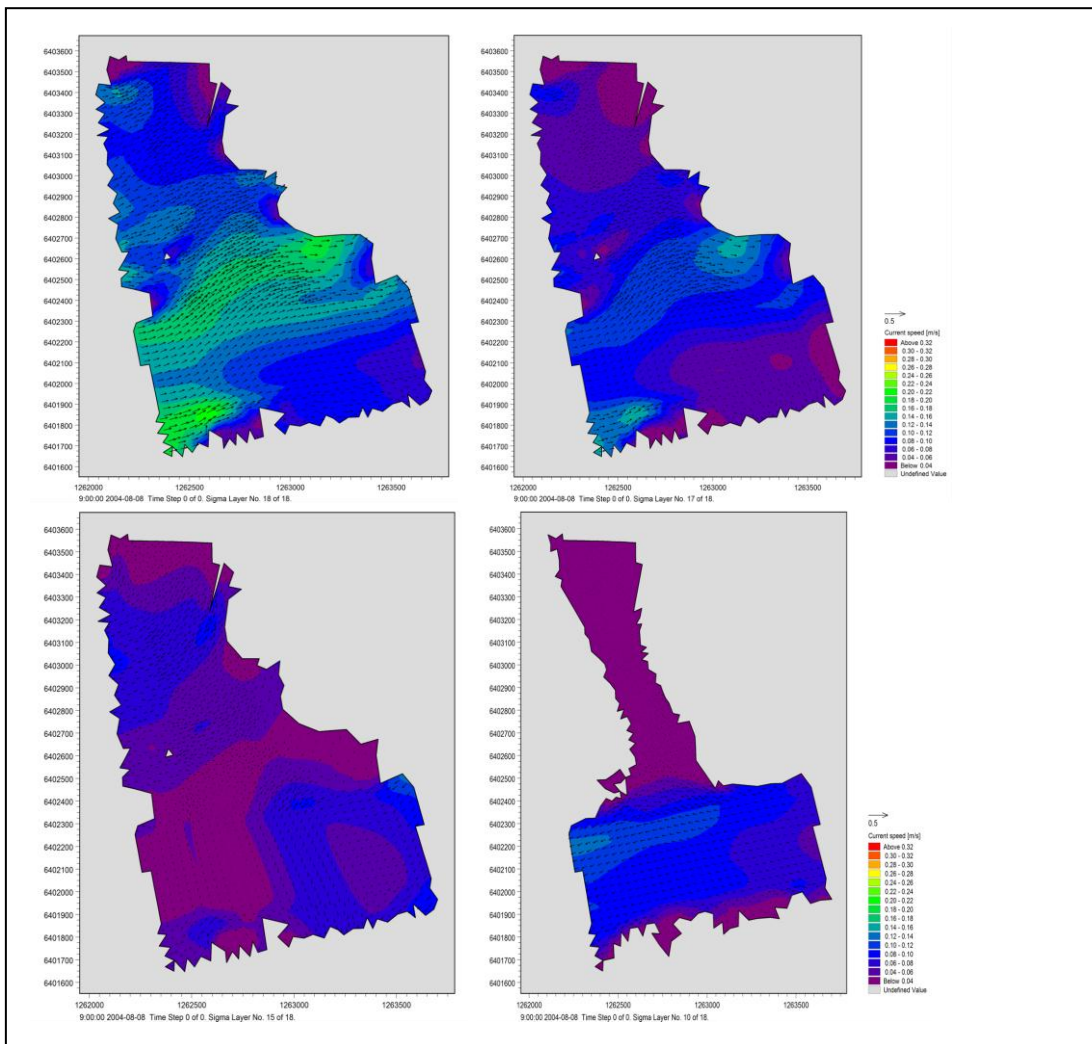
Figur 11: Området där ström som har beräknats i DHIs modell

Strömsimulerarna har gjorts för två vindsituationer: Ostlig vind ökande till 15 m/s samt sydvästlig vind ökande till 25 m/s, se figur nedan.



Figur 12: Beskrivning av vindsituationer enligt DHI

Exempel av strömförhållanden visas i Figur 13.



Figur 13: Exempel för ström vid vind SW 10m/s på ytan, i 1m, 2m och 7m djupet

4 Resultatet av realtidssimuleringar i SSPA's CBS

4.1 Simulation test program

Totalt 64 simuleringar genomfördes under fyra dagar (11-13 oktober samt 19 oktober 2010) för Arendalshamnen. Alla simuleringar dokumenterades med så kallade track plots och tidshistorier som visas i Appendix 2. Tidshistorierna omfattar:

- Fart [kn]
- Tvärhastighet [m/s]
- Rodervinkel [deg]
- Propellervarvtal [rpm]
- Kurs [grad] och girhastighet [grad/min]
- Trusterkrafter
- SSPA's safety index
- Minsta klarning till farledsgränserna [m] och bottenklarning [m]

I Tabell 6 visas hela körningsprogrammet.

Simulation nr	Fartyg	Hamnaltern.	Ank/ Avg	Vind
1	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	0
2	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	0
3	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	W8
4	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	W15
5	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	SW10
6	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	SW10
7	Tor Magnolia	Arendal_0	Ankomst	SW15
8	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	0
9	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	SW8
10	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	SW8
11	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	SW12
12	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	0
13	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	SW8
14	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	SW8
15	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	SW12
16	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	SW12
17	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	E12
18	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	E12
19	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	NW15

Simulation nr	Fartyg	Hamnaltern.	Ank/ Avg	Vind
20	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	NW15
21	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	NW15
22	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	W15
23	230m lastat	Arendal_2	Ankomst	W15
24	230m lastat	Arendal_2	Avgång	W15
25	230m lastat	Arendal_1	Avgång	W15
26	260m lastat	Arendal_1a	Ankomst	0
27	260m lastat	Arendal_1a	Avgång	E12
28	260m lastat	Arendal_2a	Avgång	E12
29	260m lastat	Arendal_2a	Avgång	W12
30	260m lastat	Arendal_2a	Avgång	NW12
31	260m lastat	Arendal_2a	Ankomst	NW12
32	260m ballast	Arendal_2a	Ankomst	NW12
33	260m ballast	Arendal_2a	Avgång	W12
34	260m ballast	Arendal_1a	Avgång	W12
35	260m ballast	Arendal_1a	Ankomst	N12
36	260m ballast	Arendal_1a	Ankomst	S12
37	260m lastat	Arendal_2	Avgång	W12
38	260m ballast	Arendal_2	Ankomst	N12
39	260m ballast	Arendal_2	Ankomst	S12
40	260m ballast	Arendal_2	Ankomst	W15
41	260m ballast	Arendal_2	Ankomst	W20
42	260m ballast	Arendal_1	Ankomst	W20
43	260m ballast	Arendal_1	Ankomst	W20
44	230m lastat	Arendal_1	Ankomst	W20
45	260m ballast	Arendal_2	Ankomst	NW20
46	260m ballast	Arendal_2c	Ankomst	NW20
47	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	0
48	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	W12
49	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	SW12
50	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	SW12
51	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	E12
52	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	E12
53	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	W17
54	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	W17
55	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	E17
56	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	E17
57	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	NW17
58	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	NW17
59	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Ankomst	W20

Simulation nr	Fartyg	Hamnaltern.	Ank/ Avg	Vind
60	260m, 8.5m djupg	Arendal_3	Avgång	W20
61	230m lastat	Arendal_3a	Ankomst	W15
62	230m lastat	Arendal_2d	Avgång	W15
63	230m lastat	Arendal_3	Avgång	W22
64	230m lastat	Arendal_3	Ankomst	W22

Tabell 6: Körningsprogram

4.2 Kommentarer av experter

Varje enskild simulering kommenterades av de agerande lotsarna, se Appendix 2, och har sammanfattats enligt nedan:

1. Om de olika alternativen:

- Förutsättningarna att manövrera till och från olika kajplatserna anses som likvärdiga. Om man klarar kajen längst inne klarar man också de andra. Värsta vindriktning för respektive kajplats kan variera något.
- Farleden ska vara så rak som möjligt.
- Tratt positivt i alternativ 1 och 3, medan giren man är tvungen att göra i alternativ 2 ledar till en osäkerhetskänsla och minskar marginalerna betydligt., se Figur 23 till Figur 25.
- Alternativ 3 upplevs som en bra farled med goda manövermarginaler, en rak västra farledssida och en tratt som ger möjlighet till en bra positionering innan ankomst och möjligheten att gira in i farleden så långt norrut som möjligt.
- Alternativ 4 känns inte nödvändig eftersom tratten är tillräckligt stort redan.

2. Om de olika fartygen:

- Om man klarar manövreringen med 260m båten, klarar man det också med 230m båten vid respektive vindgräns.
- Vindgränser och manöveregenskaper av Tor Magnolia stämmer överens med verkligheten.
- Man känner skillnaden till Tor Magnolia av de större fartyg, som är betydligt tyngre och mer utsatt för vind.
- Bog- och aktertruster kapaciteten hos framförallt den största båten känns lite underdimensionerad.

3. Om djupgåendet
 - 9m är ett för stort djupgående för farleden. För detta skulle krävas bogserbåtsassistans även i låga vindar.
 - 8.5m djupgående är gränsfall för 260m RoRo fartyget.
 - På 8.5m djupgående reagerar 230m RoRo fartyget mycket bättre.
 - Ballast kondition är inget problem för något av fartygen -> längden är inte begränsande.
 - Manöverförmåga med denna typ av fartyg baseras på ett bra roder och att man kan ge propellersparkar för att få runt fartyget. Denna möjlighet begränsas och likaså manövrerförhållanden i hamnbassängen för de mindre bottenklarningarna.
 - Krängningen av fartyget kan minimera bottenklarning ytterligare, speciellt när fartyget är utsatt för squat och girar in i huvudfarleden.
4. Om vindgränser
 - Avgång oftast svårare än ankomst i samma vindförhållanden
 - Vindar från väst och öst är svårast för layout 1 och 3, medan NV är mer besvärligt för alternativ 2.
 - 230m båt: 14-15 m/s utan bogserbåt, 20-21 m/s med 2 bogserbåtar
260m båt: 12-13 m/s utan bogserbåt, 17-18 m/s med 2 bogserbåtar
 - Vindgränsen baseras mycket på fartygets förmåga att komma loss från kajen eller att angöra säkert till kajen.
 - Normalt är det fördelaktigare att backa in än att gå med stäven in och vända inne i hamnbassängen.

4.3 Bedömningen av experter

För varje simulering har gjorts en nautisk riskbedömning i tre klasser. Bedömningskriterier har varit enligt följande schema:

- **Grön markering**
Godkänd angöring/avgång: utan några problem
- **Gul markering**
Gränsfall: t.ex utnyttjat bogserbåt 100% under längre tid eller max rodervinkel under längre tid, etc...
- **Röd markering**
Underkänd angöring/avgång: t.ex ej klarat att komma in till kaj på grund av för mycket vind, gått på grund etc....

4.4 Resultat från teknisk utvärdering

I avsikt att belysa nyttjandegraden av de olika styrhjälpmedlen (roder, propellrar och bogserbåtar) och därmed också säkerhetsmarginalen, har ett så kallat säkerhetsindex beräknats för varje simulering. Avsikten med detta index är inte enbart att kunna jämföra enskilda simuleringar på ett objektivt sätt, utan även, på ett relativt sätt, bedöma svårighetsgraden i olika farleder. Detta index utgår också från ett krav på att marginaler ska finnas för säker manövrering.

Detta index har alltid värden mellan 0 och 1, 0 betyder inga säkerhetsmarginaler, 1 betyder mycket hög säkerhet. Om siffran 0 erhållits är det alltså resultatet av en passage där de erforderliga säkerhetsmarginalerna förbrukats och har siffran 1 erhållits är det en in/utsegling utan några problem.

Det slutgiltiga index som beräknas för varje simulering är sammanvägt av ett antal del-index. Dessa representerar:

- Minsta klarning mellan fartyg och farledsbegränsning
- Roderutnyttjande
- Propeller/maskin-utnyttjande
- Bogserbåtsutnyttjande

För att beräkna indexet, beräkningsmetoden är redovisat i Appendix 4, har då vissa kriterier satts upp för vad som är godtagbart, dvs vad kan tillåtas utan att det bedöms som något som drar ner säkerheten. Dessa kriterier är:

- Klarningen mellan farledsbegränsning och närmsta del av fartyget ska aldrig understiga en halv fartygsbredd, i detta fall 20.4 m. Underskrids detta värde någon gång under simuleringen dras indexet ner. Om denna klarning någon gång är noll eller negativ, erhålles index 0, dvs en oacceptabel simulering.
- Då rodervinkeln är över ett visst gränsvärde, här satt till 20°, börja roderindexet dras ner, ju längre tid i en följd som rodret har lagts ut till mer än detta gränsvärde, desto mer bestraffas roderindex, dvs det minskar successivt från 1.0 ner mot 0.0
- Maskinpådrag på fartyget bestraffas på motsvarande sätt som rodret. Då propellervarv på mer än "halv maskin" används dras detta del-index ner.
- Även bogserbåtsindex räknas ut på motsvarande sätt. Då pådrag på mer än 50% beordras dras index successivt ner från 1.0. Om pådraget varit 100% under minst 2 min, erhålls index 0.

Indexet är fortfarande under utprovning och tillvidare föreslås följande kriterium för utvärdering:

SI = 0.0 – 0.3 Ej acceptabelt resultat
 SI = 0.3 – 0.5 Gränsfall
 SI = 0.5 – 1.0 Acceptabelt resultat

I Tabell 7 och Tabell 10 ges för varje simulering totala index SI samt vart och ett av de olika del-indexen.

Sim. Nr	Fartyg	Totalt index	Roder-index	Propeller-index	Klarnings-index
1	Tor Magnolia	0.39	0.74	0.04	1.00
2	Tor Magnolia	0.30	0.60	0.00	1.00
3	Tor Magnolia	0.28	0.56	0.00	1.00
4	Tor Magnolia	0.21	0.41	0.00	1.00
5	Tor Magnolia	0.26	0.51	0.00	1.00
6	Tor Magnolia	0.34	0.69	0.00	1.00
7	Tor Magnolia	0.46	0.92	0.00	1.00

Tabell 7 Säkerhetsindex för befintlig hamn

Sim. Nr	Fartyg	Klarnings-index	Roder-index	Propeller-index	Totalt index
8	230m lastat	0.34	0.47	0.21	1.00
9	230m lastat	0.48	0.95	0.00	1.00
16	230m lastat	0.30	0.60	0.00	1.00
17	230m lastat	0.30	0.59	0.00	1.00
21	230m lastat	0.30	0.60	0.00	1.00
22	230m lastat	0.19	0.38	0.00	1.00
25	230m lastat	0.34	0.67	0.00	1.00
44	230m lastat	0.38	0.48	0.29	1.00
42	260m ballast	0.62	0.62	0.62	1.00
43	260m ballast	0.73	0.97	0.49	1.00
34	260m ballast	0.27	0.53	0.00	1.00
35	260m ballast	0.50	1.00	0.00	1.00
36	260m ballast	0.42	0.83	0.00	1.00
26	260m lastat	0.50	1.00	0.00	1.00
27	260m lastat	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabell 8 Säkerhetsindex för alternativ 1

Sim. Nr	Fartyg	Klarnings-index	Roder-index	Propeller-index	Totalt index
10	230m lastat	0.26	0.52	0.00	1.00
11	230m lastat	0.44	0.88	0.00	1.00
12	230m lastat	0.14	0.32	0.00	0.87
13	230m lastat	0.39	0.79	0.00	1.00
14	230m lastat	0.07	0.14	0.00	1.00
15	230m lastat	0.00	0.57	0.00	0.00
18	230m lastat	0.09	0.18	0.00	1.00
19	230m lastat	0.00	0.00	0.00	0.00
20	230m lastat	0.29	0.57	0.00	1.00
23	230m lastat	0.07	0.14	0.00	0.94
24	230m lastat	0.06	0.12	0.00	1.00
38	260m ballast	0.50	1.00	0.00	1.00
39	260m ballast	0.53	1.00	0.06	1.00
40	260m ballast	0.69	1.00	0.38	1.00
41	260m ballast	0.22	0.44	0.00	1.00
45	260m ballast	0.14	0.29	0.00	1.00
37	260m lastat	0.00	0.00	0.00	1.00
32	260m ballast	0.24	0.48	0.00	1.00
33	260m ballast	0.31	0.41	0.22	1.00
28	260m lastat	0.00	0.00	0.00	1.00
29	260m lastat	0.00	0.00	0.00	1.00
30	260m lastat	0.16	0.00	0.32	1.00
31	260m lastat	0.46	1.00	0.07	0.86
46	260m ballast	0.20	0.53	0.00	0.75

Tabell 9 Säkerhetsindex för alternativ 2

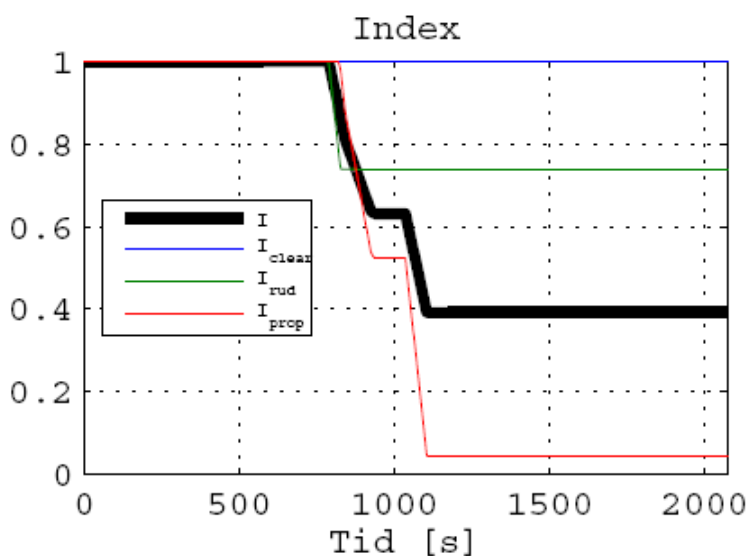
Sim. Nr	Fartyg	Klarnings-index	Roder-index	Propeller-index	Totalt index
62	230m lastat	0.24	0.49	0.00	1.00
63	230m lastat	0.37	0.75	0.00	1.00
64	230m lastat	0.33	0.79	0.00	0.85
47	260m, 8.5m djupg	0.00	0.87	0.01	0.00
48	260m, 8.5m djupg	0.38	0.00	0.75	1.00
49	260m, 8.5m djupg	0.04	0.08	0.00	1.00

Sim. Nr	Fartyg	Klarnings-index	Roder-index	Propeller-index	Totalt index
50	260m, 8.5m djupg	0.49	0.99	0.00	1.00
51	260m, 8.5m djupg	0.00	0.00	0.00	1.00
52	260m, 8.5m djupg	0.29	1.00	0.19	0.49
53	260m, 8.5m djupg	0.19	0.78	0.00	0.49
54	260m, 8.5m djupg	0.00	0.58	0.00	0.00
55	260m, 8.5m djupg	0.00	0.42	0.30	0.00
56	260m, 8.5m djupg	0.88	0.98	0.77	1.00
57	260m, 8.5m djupg	0.20	0.40	0.00	1.00
58	260m, 8.5m djupg	0.00	0.95	0.00	0.00
59	260m, 8.5m djupg	0.00	0.97	0.00	0.00
60	260m, 8.5m djupg	0.14	0.28	0.00	1.00
61	230m lastat	0.50	1.00	0.00	1.00

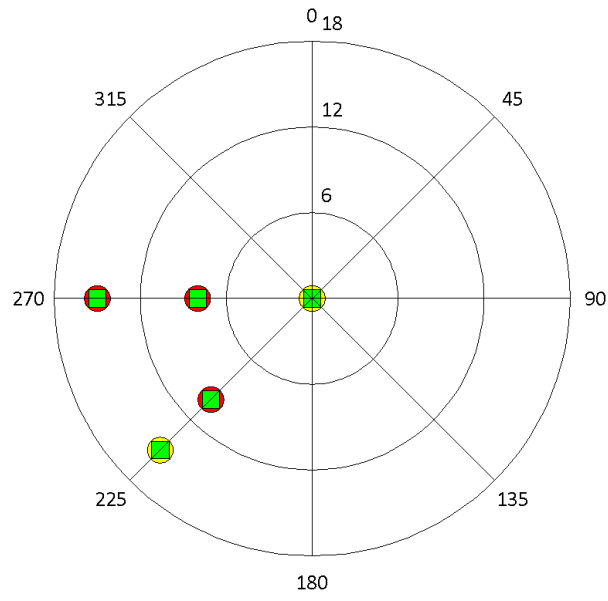
Tabell 10 Säkerhetsindex för alternativ 3

I polardiagrammen nedanför visas resultat från bedömningar och tekniskt utvärdering. Rektangeln representerar bedömningen medan cirkeln visar tekniskt utvärdering.

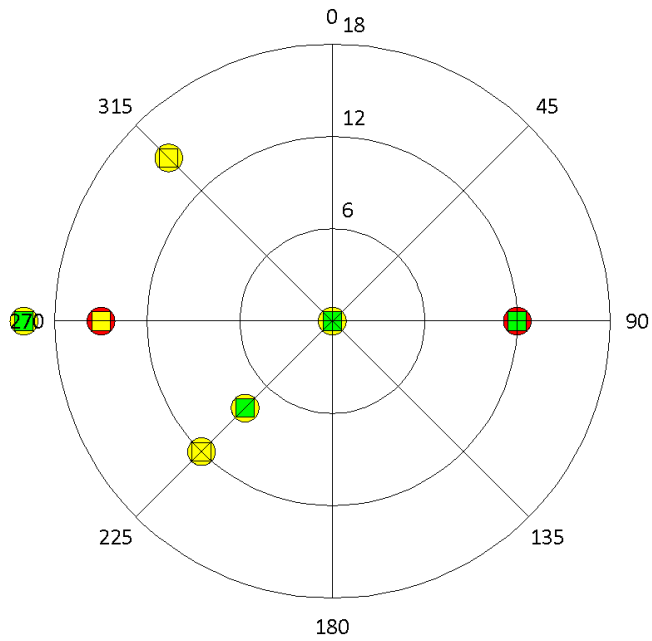
Den tekniska utvärderingen ger i de flesta fallen lägre acceptans än den nautiska utvärderingen. Detta beror på att höga maskinpådrag används i samband med uppbromsningen in i hamnen (ofta spakläget -6 till -8). Detta straffas hårt i marginalindex, se tidsdiagram i nedanstående figur som är hämtat från Appendix 2.



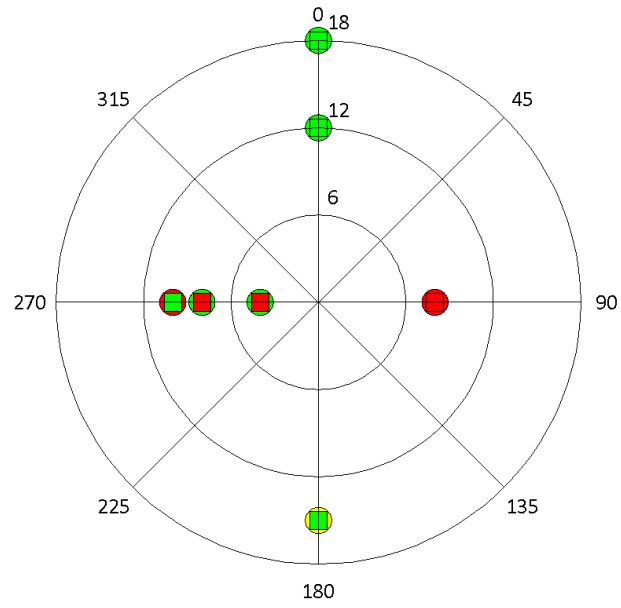
Figur 14: Tidsdiagram för först simulering. Vid ungefär 850 sec påbörjas inbromsningen som ger utslag på indexet för propellerpådrag



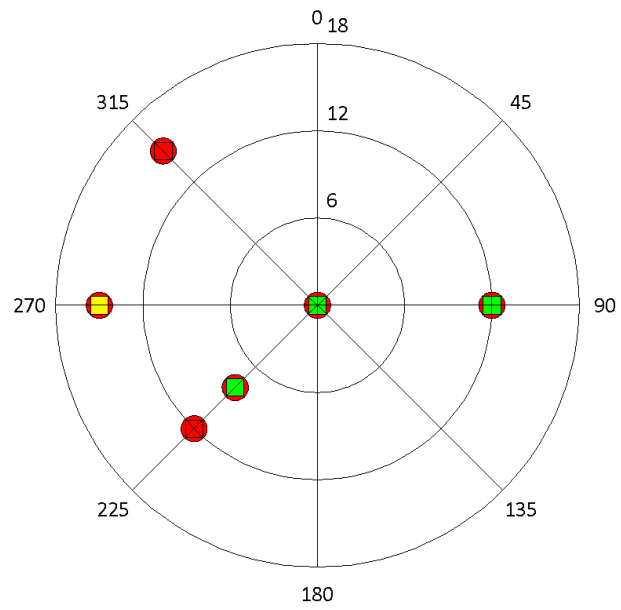
Figur 15: Befintlig hamn - Tor Magnolia



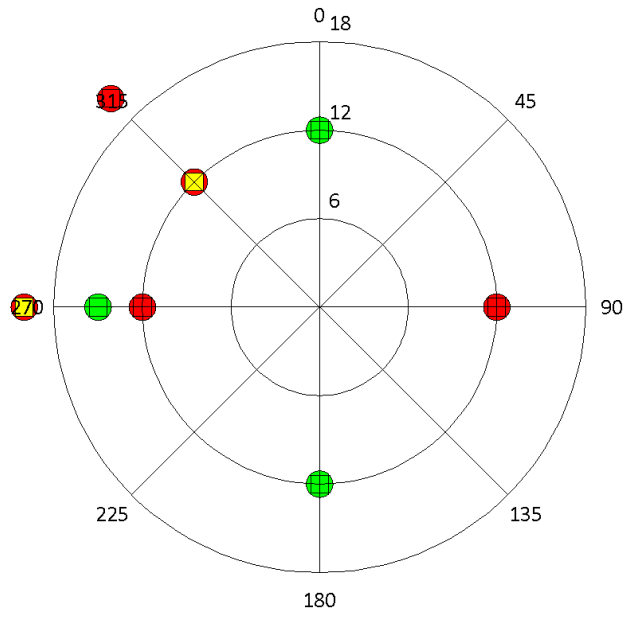
Figur 16 Alt. 1 - 230m RoRo



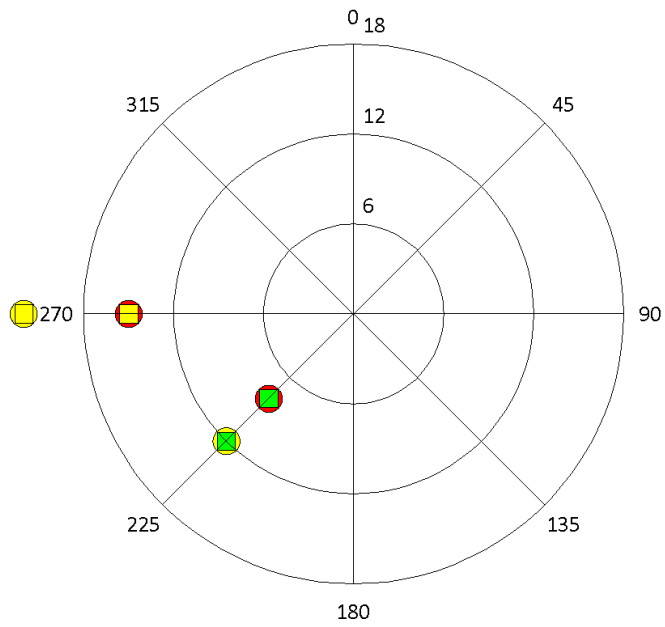
Figur 17: Alt. 1 - 260m RoRo



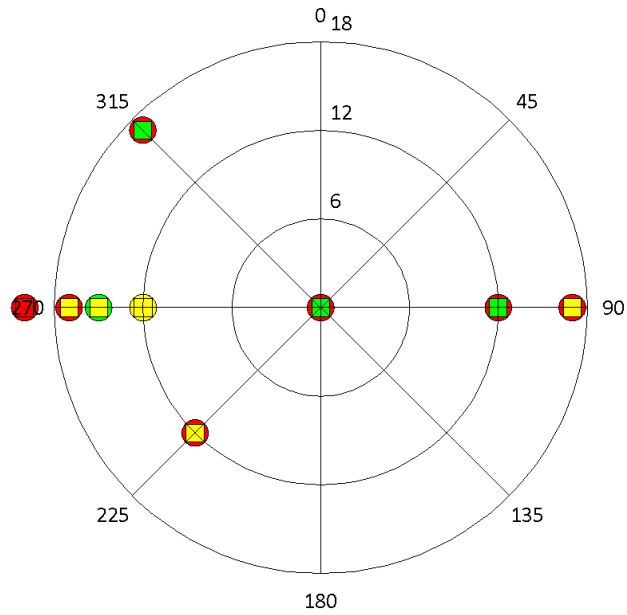
Figur 18: Alt. 2 - 230m RoRo



Figur 19: Alt. 2 - 260m RoRo



Figur 20: Alt. 3 - 230m RoRo



Figur 21: Alt. 3 - 260m RoRo

4.5 Rekommenderade vindgränser

Bara ett få antal simuleringar har genomförts med bogserbåtar. Därför inkluderar rekommendationerna inga separeringar av olika vindriktningar. De besvärligaste vindarna är de som kommer från väst och öst för layout 1 och 3, medan NV är mer besvärligt för alternativ 2sydväst. Vindgränsen baseras mycket på fartygets förmåga att komma loss från kajen eller att angöra säkert till kajen.

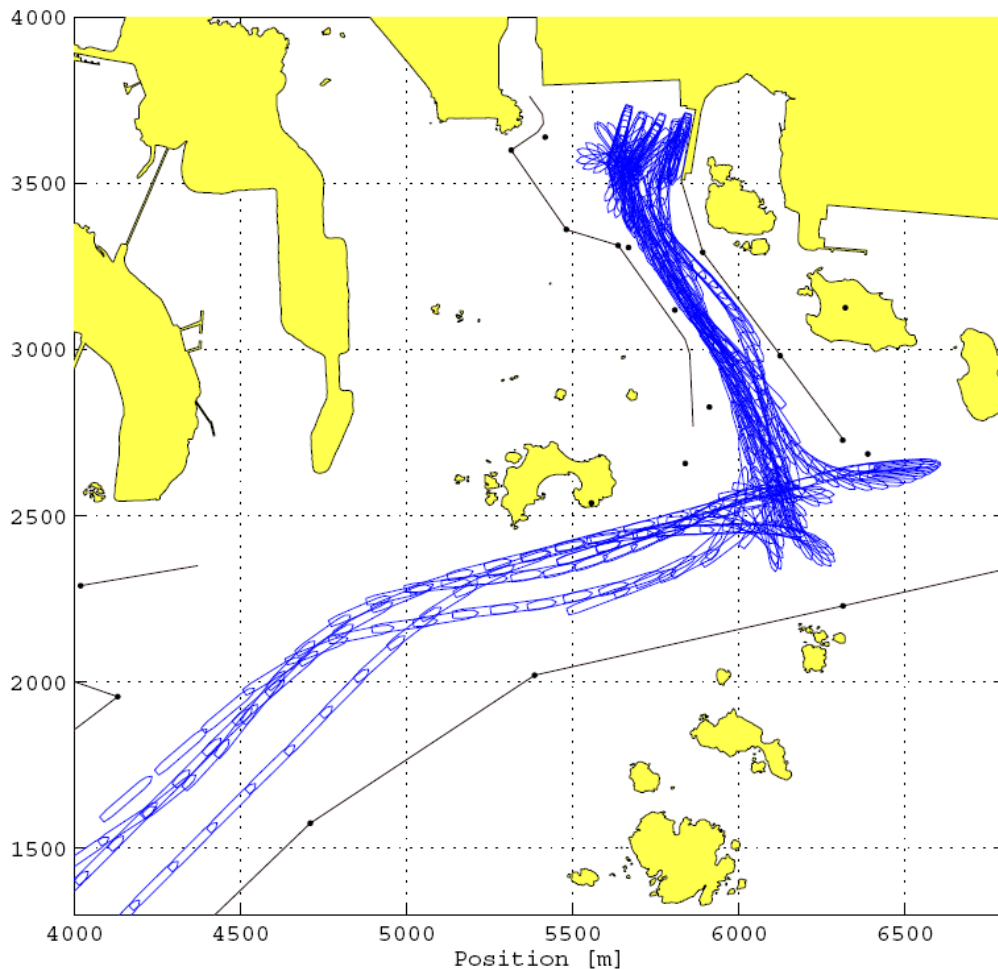
Tabell 11: Vindgränser för de olika fartygen

Bogserbåtar	230m fartyg	260m fartyg
0	14 m/s	12 m/s
2	20 m/s	17 m/s

4.6 Grafisk presentation av resultatet

I Figur 22 - Figur 25 visas resultat från varje simulering i en envelopp diagram för att visa hur mycket manöverutrymme som har använts. Första plotten visar alla ankomster som har körts med Tor Magnolia i befintligt layout. De andra plottarna visar avgång och ankomst av de 230m och 260m RoRo fartyg i olika vindförhållanden. Mer detaljerade plottar redovisas i Appendix 3. De flesta vindar som simulerats var kring 12-15m/s. Starkaste vinden var 20m/s.

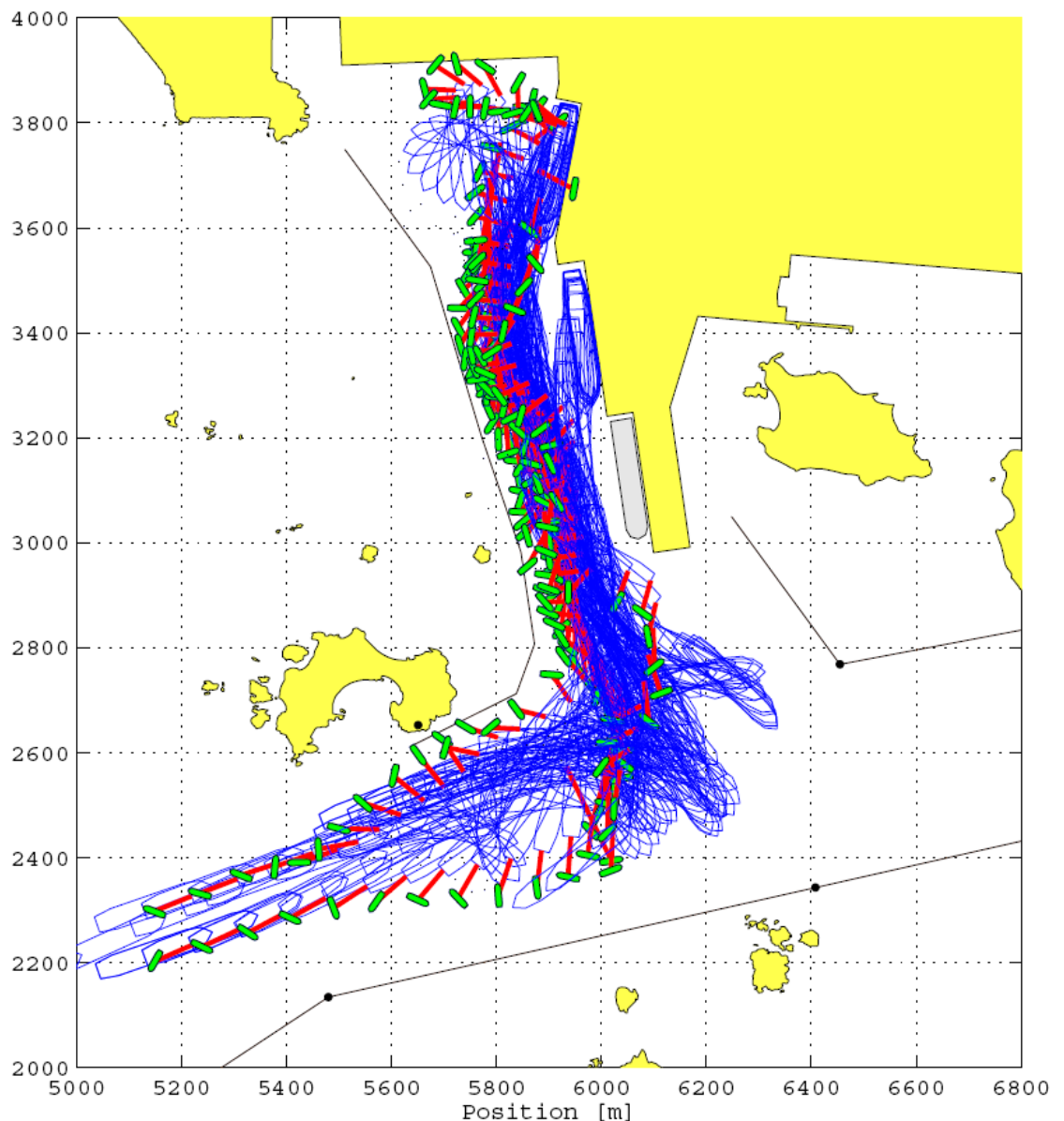
4.6.1 Befintlig hamn



Figur 22: Ankomsten med Tor Magnolia till befintlig hamnen

Det syns i simuleringarna med Tor Magnolia, att lotsarna fick vänja sig med layouten, presentationen av simuleringarna och med fartygsbeteendet. Vissa ändringar har gjorts, exempelvis vad gäller roder.

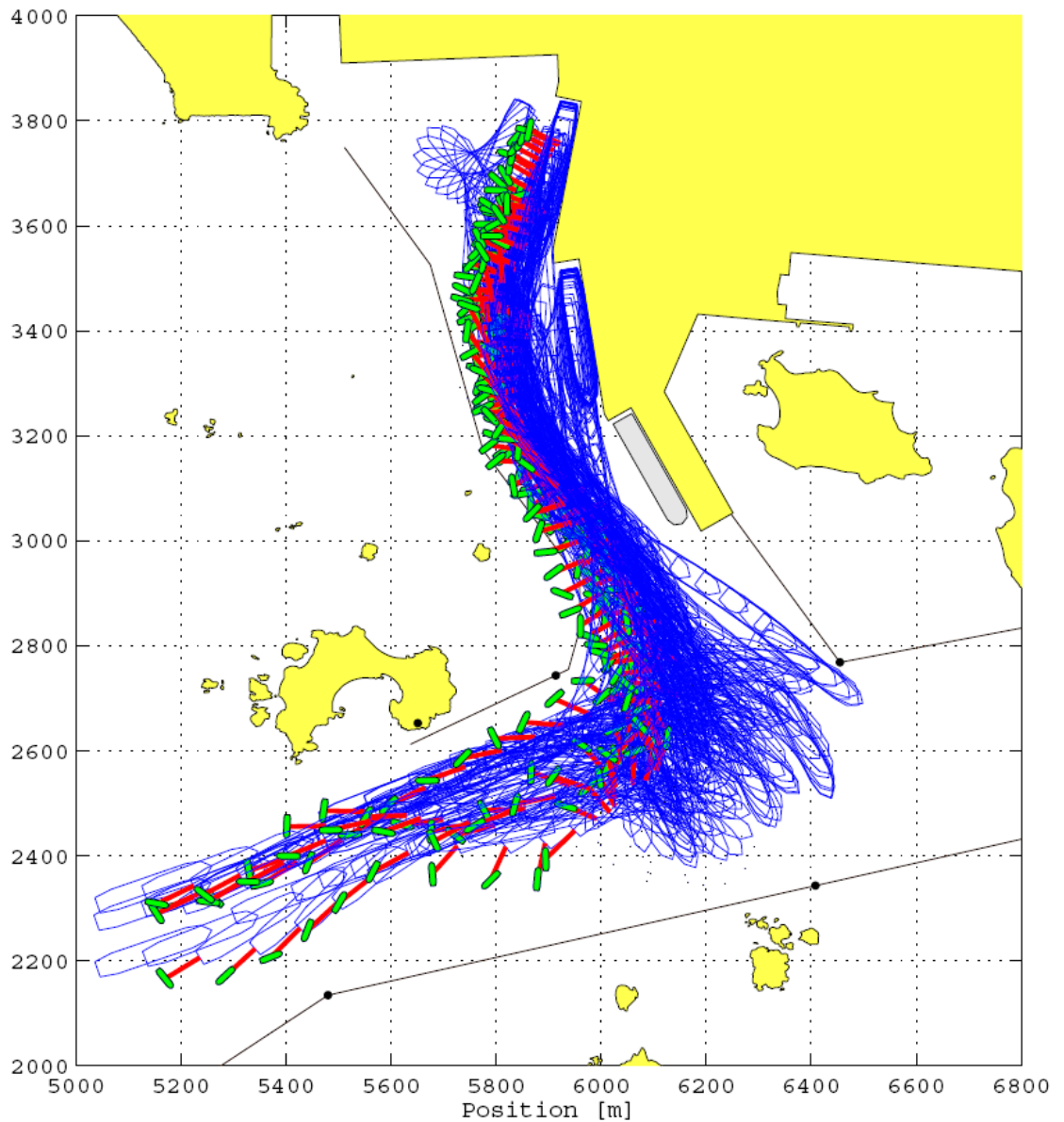
4.6.2 Alternativ 1



Figur 23: Ankomst och avgång med 230m och 260m RoRo fartyg till hamnen enligt alternativ 1

I alternativ 1 har det uppfattats som positivt att den västra farledsbegränsningen är rak. Det gör att man inte måste korrigera kursen när man befinner sig i farleden. Däremot syns det att man befinner sig en hel del i huvudfarleden när man vänder fartyget och att man kommer ganska så mycket söder ut, dvs. man ligger mitt i farleden när man vänder.

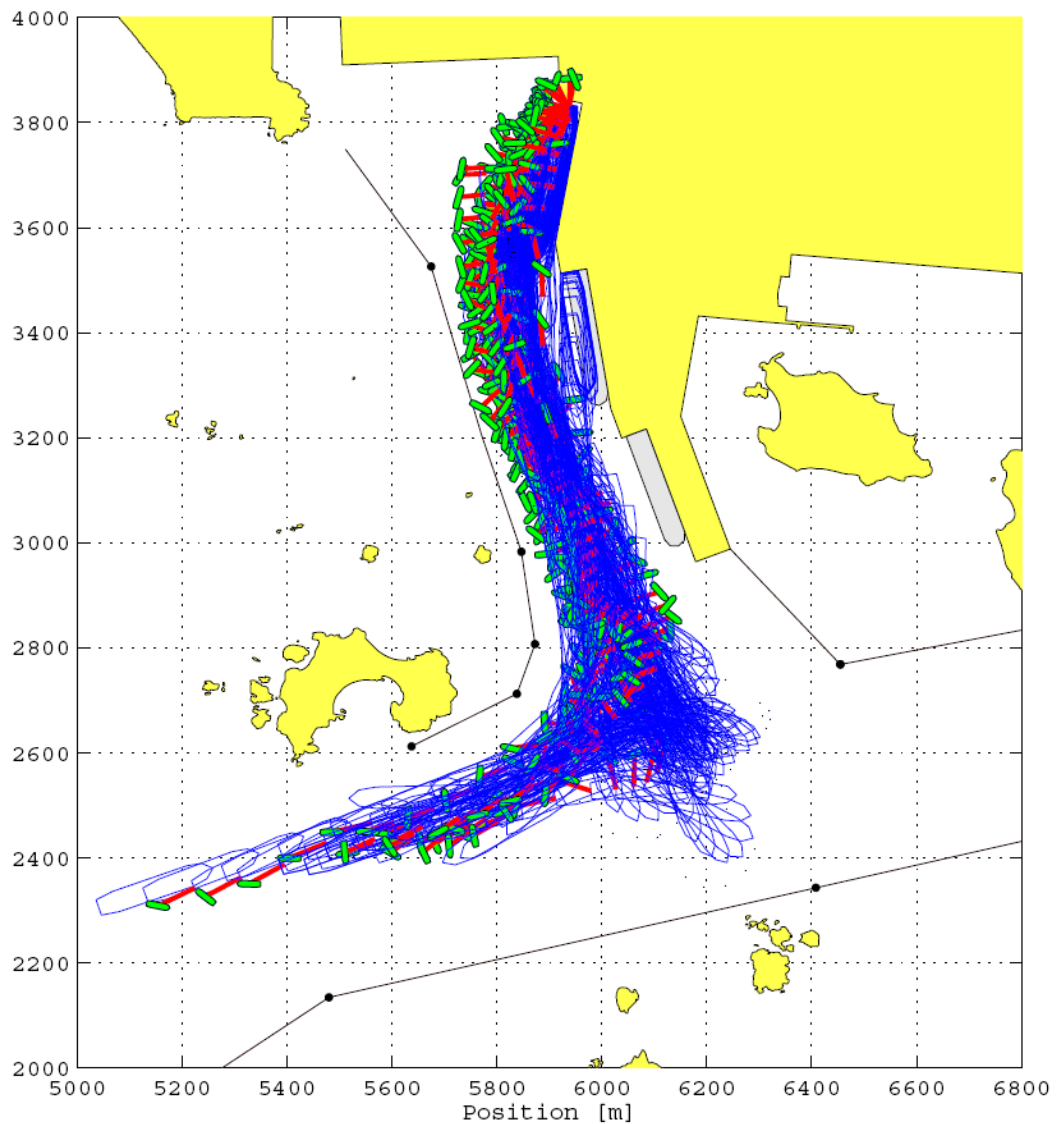
4.6.3 Alternativ 2



Figur 24: Envelopp diagram av alternativ två, ankomst och avgång med 230m och 260m RoRo fartyg

Vid alternativet två har man ofta överskridit västra farledsbegränsningen, man har hamnat ganska långt österut då man positionerat sig, och fått göra flera girar i farleden. Man har även hamnat långt söderut i farleden.

4.6.4 Alternativ 3



Figur 25: Envelop diagram av alternativ tre, ankomst och avgång med 230m och 260m RoRo fartyg

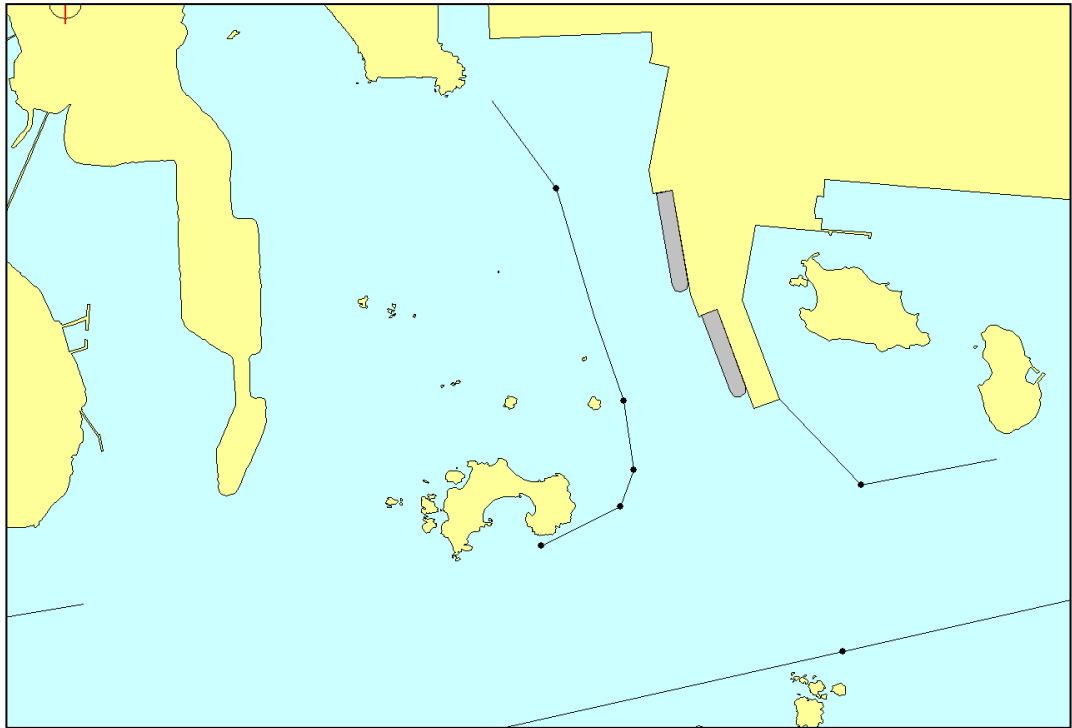
Simuleringar som har gjorts med alternativ 3 visar att man har marginaler kvar på både sidor vid alla simuleringarna. Man har positionerat sig bra i huvudfarleden. Vid avgångar har man, till följd av det "kapade hörnet" vid Knippelholmen, lyckats hålla fartyget kvar i den norra delen av farleden. Man har positionerat sig i mitten av nya farleden oavsett vindriktningen. Alternativ 4 ger inte ytligare marginaler som krävs för säkert manövrering.

5 Rekommendationer och slutsatser

En realtidssimuleringsstudie har genomförts för att ta fram bästa utformning av nya kajer både ur nautiskt perspektiv och med hänsyn till riksintresset för kulturmiljövård Nya Älvsborgs fästning. Olika alternativa kajförslag har simulerats för att komma fram till bästa möjliga utformning. För att uppskatta tillgängligheten har det simulerats fram vindgränser för befintliga och nya större fartyg. Simuleringar har utförts i SSPA's Compact Bridge Simulator av två lokala lotsar från Sjöfartsverket.

Resultat från simuleringar är:

- Förutsättningar för att manövrera till och från olika kajplatser anses som likvärdiga. Om man klarar kajen längst inne klarar man också de andra. Värsta vindriktningen kan möjligen variera för respektive kajplats.
- Det ska vara så raka farleder som möjlig. Farleden ska även ha en tratt längs i söder som ger möjlighet till en bra positionering vid ankomst och ökar möjligheten att vid avgång komma så långt norrut i farleden som möjligt.
- Om man klarar manövreringen med 260m båten, klarar man det också med 230m båten vid respektive vindgräns.
- Vindgränser och manöveregenskaper av Tor Magnolia stämmer överens med verkligheten. Jämfört med Tor Magnolia, känns de större testade fartygen trögare att hantera och mer vindkänsliga.
- Ett djupgående på 9m, som testades för det längre fartyget, ger en liten bottenklarning vilket innebär att fartyget blir svårare att hantera, speciellt då det gäller att klara styrbordsgiren ut i farleden i samband med avgång men lika mycket vid manövreringen i hamnbassängen. Ett djupgående på 8.5m bedöms som ett gränsfall för 260m RoRo fartyget. Det mindre 230m fartyget reagerar bättre på detta djupgående. Manöverförmåga med denna typ av fartyget baseras på bra roder och att man kan utnyttja propellersparker för att få runt fartyget.
- Avgång oftast svårare än ankomst i samma vindförhållanden
- Vindar från väst och öst är svårast för slutgiltiga layouten.
- Vindgränsen baseras mycket på fartygets förmåga att komma loss från kajen eller kommer säkert till kajen.
- Alternativ 3 är önskvärda alternativet ur nautiskt perspektiv, se figur nedan.



Figur 26 Slutgiltiga layouten, Hamnalternativ 3

6 Referenser

Andersson, F. (den 09 09 2010). PM Sjöfart Arendal 2. Göteborg: Göteborgs hamn.

N., N. (2010). *Ships under construction*. Hämtat från Ignazio Messina: <http://www.messinaline.it/wps/portal/messina> den 18 10 2010

PIANC. (1997). *Approach Channels, A Guide for Design" Supplement to Bulletin No. 95*. PIANC.