

Farledsprojekt Landsort-Södertälje

Inrättande av farled

Beräkning av naturligt förekommande vågor och potentiell påverkan från fartyg. Landsortsfarleden, inrättande av nya farledsavsnitt. DHI 2017-10-09



Ramböll Sverige AB

Rapport

Oktober 2017

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningssystem
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 (kvalitetsledning) av Bureau Veritas

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Farledsprojekt Landsort-Södertälje

Inrättande av farled

Beräkning av naturligt förekommande vågor och potentiell påverkan från fartyg. Landsortsfarleden, inrättande av nya farledsavsnitt. DHI 2017-10-09

Framtagen för Ramböll Sverige AB
Kontaktperson Mattias Bååth



Projektledare	Christin Eriksson
Kvalitetsansvarig	Christin Eriksson
Handläggare	Martin Johnsson, Christin Eriksson, Peter Sloth, Bo Brahtz Christensen, Stefan Lescha, Uwe Stöber, Timothy James Womersly

Uppdragsnummer	12803195
Godkänd datum	2017-03-07
Reviderad datum	2017-10-09
Version	Slutlig: 3.0,
Klassificering	Begränsad



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Sammanfattning	4
2.	Inledning	5
2.1	Områdesbeskrivning	5
3.	Data och metoder	7
3.1	Fartygsegenskaper	7
3.2	Modellering av vindvågor	8
3.3	Modellering av svallvågor	9
3.3.1	Uppskattning av svallvågorna från empiriska formler	9
3.3.2	Transformering av svallvågor mot strandlinjen	12
3.3.3	Modellering av avsänkingsvågor	14
3.4	Uppskattning av propellerströmmar bakom fartyg under gång	15
4.	Resultat	16
4.1	Vindvågor	16
4.2	Svallvågor	21
4.2.1	Brandalsund	21
4.2.2	Skansundet	21
4.2.3	Oaxen-Regarn	21
4.3	Propellerströmmar	28
4.3.1	Dagens fartyg: Tankfartyg, Uppskattning av påverkan	28
4.3.2	Framtida fartyg: Containerfartyg	28
4.3.3	Framtida fartyg: Tankfartyg	29
4.4	Nedsänkningseffekter	30
4.4.1	Brandalsund	30
4.4.2	Oaxen-Regarn	31
4.4.3	Himmerfjärden	34
5.	Diskussion	37
5.1	Farledsavsnitten som omfattas av ny farled	37
5.2	Landsort – Regarn	40
5.3	Regarn – Oaxen	41
5.4	Himmerfjärden – östra sidan	42
5.5	Himmerfjärden – västra sidan	42
5.6	Skansundet – Brandalsund	43
5.7	Brandalsund – Södertälje	43
6.	Slutsatser	45
7.	Referenser	45

FIGURER

Figur 2-1	Inrättande av ny farled (lila) respektive fördjupning av befintlig farled (blått).	6
Figur 3-1	Områdets utbredning (färglagt) som vindvågor har modellerats för år 2015. Färgskalan anger djupet i meter.	8

Figur 3-2	Vänster bild: Beräkningsnätet för hela vindvågsmodellen. Höger bild: Inzoomning på beräkningsnätet (området i den röda rektangeln på vänstra bilden)	9
Figur 3-3	Illustration av sekundära vågor (svall) från ett fartyg	10
Figur 3-4	Initial vågbildning från den nya storleken på containerskepp som passerar över bestämt djup och för 9 och 12 knop. Ur den blå kurvan utläses vågbildningen på olika djup för 9 knop och i den röda kurvan för 12 knop.	11
Figur 3-5	Avklingning av en 1 m våg på olika avstånd från fartyget.	12
Figur 3-6	Exempel på modellbatymetri för norra (övre bild) och södra (nedre bild) delen av Brandalsund vid beräkning av svallvågens utbredning.	13
Figur 3-7	Exempel på beräkningsnätet (övre bild) och den ingående djupdatan (nedre bild) för samma område.	14
Figur 3-8	Illustration av propellerström bakom ett skepp	15
Figur 4-1	Modellerad våghöjd under år 2015. Maximal våghöjd (vänster). Medelvärde av den signifikanta våghöjden, H_s , (höger).....	17
Figur 4-2	Den fraktion av tiden på ett år som H_{max} överstiger 0.1 m, 0.25 m och 0.7 m.....	19
Figur 4-3	Exempel på vågros från Brandalsund (överst), Skansundet (mitten) och Oaxen (nederst).	20
Figur 4-4	Höjden på svallvågorna, som träffar norra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordostlig riktning (överst) och sydvästlig riktning (underst) i Brandalsund längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.....	22
Figur 4-5	Höjden på svallvågorna, som träffar södra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordostlig riktning (överst) och sydvästlig riktning (underst) i Brandalsund längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.....	23
Figur 4-6	Höjden på svallvågorna, som träffar norra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordvästlig riktning (överst) och sydostlig riktning (underst) i Skansundet längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.....	24
Figur 4-7	Höjden på svallvågorna, som träffar södra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordvästlig riktning (överst) och sydostlig riktning (underst) i Skansundet längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.....	25
Figur 4-8	Höjden på svallvågorna, som träffar Oaxens östra strand, från ett framtida containerskepp vid 9 knops fart i nordlig riktning (överst) och sydlig riktning (underst) i sundet mellan Oaxen och Regarn längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.	26
Figur 4-9	Höjden på svallvågorna, som träffar Regarns västra strand, från ett framtida containerskepp vid 9 knops fart i nordlig riktning (överst) och sydlig riktning (underst) i sundet mellan Oaxen och Regarn längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.....	27
Figur 4-10	Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 135m långt tankfartyg som färdas med 7 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 10.5m djup.	28
Figur 4-11	Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 235m långt containerfartyg som färdas med 7 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 12.65m djup.	29
Figur 4-12	Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 229m långt tankfartyg som färdas med 7 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 12.65m djup.	29
Figur 4-13	Skillnad i lägsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage genom Brandalsund (framtid - nutid).	30
Figur 4-14	Skillnad i högsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage genom Brandalsund (framtid - nutid).	31
Figur 4-15	Skillnad i högsta möjliga strömhastighet, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage genom Brandalsund (framtid - nutid).	31
Figur 4-16	Skillnad i lägsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage mellan Oaxen och Regarn (framtid - nutid).	32

Figur 4-17	Skillnad i högsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage mellan Oaxen och Regarn (framtid - nutid).....	33
Figur 4-18	Skillnad i högsta möjliga strömhastighet, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage mellan Oaxen och Regarn (framtid - nutid).....	34
Figur 4-19	Lägsta möjliga vattenstånd, för ett framtida fartyg, vid passage längs Himmerfjärdens östra kust.....	35
Figur 4-20	Högsta möjliga vattenstånd, för ett framtida fartyg, vid passage längs Himmerfjärdens östra kust.....	36
Figur 4-21	Ögonblicksbild av vattenståndsförändringen orsakad av nedsänkningen kring fartyget.	36
Figur 5-1	Områden känsliga för svall och avsänkning längs befintlig farled samt nya farledsavsnitt	38
Figur 5-2	Områdesbild söder om Askö.....	40
Figur 5-3	Nordöstra delen av Oaxen.	41

TABELLER

Tabell 3-1	Fartygsegenskaper använda i denna rapport	7
------------	---	---

BILAGA

STRÄNDERS ERODERBARHET

1. Sammanfattning

I denna rapport redovisas resultaten från vindvågssimuleringarna gjorda under ett år för Landsortsfarleden. I rapporten behandlas även den påverkan som kommer från fartygsgenererat svall, avsänkning och propellerströmmar. Denna rapport är en del inom DHI:s uppdrag för Ramböll avseende underlag för en miljökonsekvensbeskrivning gällande Landsortsfarleden. Syftet är att bedöma det naturliga vågklimatet i området för att relatera det till de svallvågor och avsänkningseffekter som kommer att uppstå vid en ny farledsdragning.

För att bedöma effekten av svallvågorna på strandkanten har svallvågssimuleringar av framtida fartygspassager utförts längs nya farledssträckningar och i de trängsta passagerna för att beskriva den maximala påverkan som fås vid en fartygspassage. Effekten av propellerströmmar från större fartyg efter framtida muddring har uppskattats utifrån gängse formler.

De största effekterna kommer att ges av avsänkningen och kan vid platser med smala passager ge upphov till erosion om botten är känslig. Detta är sannolikt fallet i de trängsta sektionerna norr om Skansundet.

Resultaten från vindvågssimuleringarna visar att det i större delen av systemet förekommer vågor av samma storleksordning som svallvågorna från de nya fartygen. I de inre delarna av farleden, innanför Skansundet, är såväl vindgenererade vågor som fartygssvallet begränsat till en decimeters våghöjd. Vågor av den storleksordningen kommer inte att orsaka någon större erosion på stranden.

Ur svallvågsberäkningarna framgår att det vid en fartygspassage med de nya fartygen om 9 knop genom sundet mellan Oaxen och Regarn kommer det att genereras svallvågor med en höjd av 0.2 m. Höjden på svallvågen hinner dessutom minska på sin väg bort från fartyget förutom på de sträckor där det är som kortast avstånd mellan skeppet och stranden. Då fartygen framförs med denna hastighet blir de vågor som genereras jämförbara med de naturliga vindvågorna och kommer inte påverka stranden.

Det nya farledsavsnittet via Fifång-Regarn är naturligt djupt och farleden är placerad på ett tillräckligt avstånd från strandlinjen för att inte utgöra något ytterligare erosionstryck på kustlinjen som mestadels består av urberg.

Det nuvarande västra farledsavsnittet i Himmerfjärden ligger närmare strandlinjen och är betydligt mindre vindpåverkat än vad den östra föreslagna farledsstäckningen är och således mer känslig för ökad fartygstrafik. Längs den västra sidan av Himmerfjärden finns det dessutom fler platser med erosionskänsliga jordarter. Den föreslagna östra sträckningen har förutom en strandlinje på längre avstånd från farleden jordarter som är betydligt tåligare mot erosion med urberg längs stränderna.

När det gäller fartygsinducerade bottenströmmar så förväntas inte propellerströmmar från den större fartygstyp som antas trafikera Landsortsfarleden efter muddringen kunna ge upphov till någon större erosion i farlederna annat än på de djup som understiger 16 m. Den begränsade erosion och uppvirvling av bottenmaterial som kan ske under kort tid över ett begränsat område akter om fartygen förväntas inte ha någon märkbar effekt på bottenpografien. Då de grundaste delarna av området innanför Skansundet består av mycket lerpartiklar finns det en risk att grumlighetsnivåerna i området påverkas vid fartygspassager. Med tanke på det begränsade antalet anlöp av fartyg av den storleken är det inte en permanent effekt.

2. Inledning

DHI har fått i uppdrag att simulera vågförhållandena, naturliga som fartygsinducerade, samt uppskattning av propellerströmmar vid botten för nutida och framtida fartyg. Syftet med modellstudien är att ge underlag för att bedöma miljöpåverkan från verksamheten. Det uppdrag som presenteras här syftar till att göra en översiktlig bedömning av risken för ökad erosion efter omlägnings av farled och användandet av större fartyg som kommer trafikera leden. Underlaget ska användas i både miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för inrättande av nya farledsavsnitt samt i MKB för vattenverksamhet avseende förbättringsåtgärder i befintlig farled.

I samband med muddring av en farled förändras djupförhållanden och tvärsnittsareor, vilket kan innebära att strömmönster och strömhastigheter förändras. Dessutom är ofta syftet med muddring att tillåta större fartyg att trafikera nya farleden, vilket i sin tur skulle kunna ge större svallvågor, nedsänkningseffekter och kraftigare propellerströmmar. Alla dessa faktorer påverkar risken för erosion i farleden och kringliggande områden.

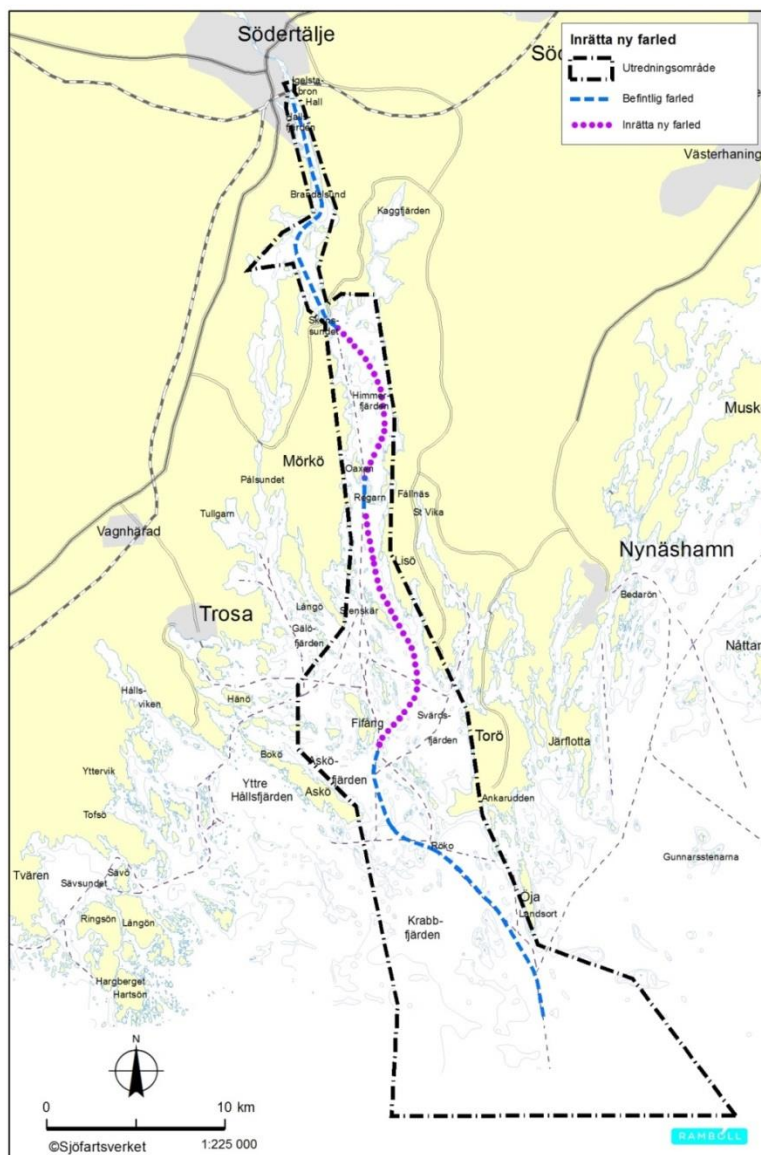
För att bedöma eventuella förändringar i erosionsförhållanden till följd av nya farledssträckningar samt framtida muddring presenteras i denna rapport en analys baserad på numeriska och analytiska uppskattningar av tre mekanismer som kan ge upphov till erosion:

1. Vindvågor (naturligt förekommande).
2. Propellerströmmar från större fartyg
3. Fartygsinducerade vågor från framtida fartyg (svall och nedsänkning)

2.1 Områdesbeskrivning

Projekt Landsortsfarleden syftar till att öka säkerheten samt förbättra kapaciteten och tillgängligheten i den allmänna farleden mellan Landsort och Södertälje. En första studie som gjordes var den åtgärdsvalsstudie för Landsortsfarleden som färdigställdes under 2015 (Trafikverket 2015-02-20). Åtgärdsvalsstudien konstaterar att farleden bitvis är trång med begränsningar i tillgänglighet och kapacitet, samt är olycksdrabbad. Utifrån åtgärdsvalsstudien har Trafikverket gett Sjöfartsverket i uppdrag att genomföra en farledsutredning. Syftet med projektet är därför att utreda möjligheterna för att öka kapaciteten för Landsortsfarleden och därigenom tillgängligheten till Södertälje hamn samt att förbättra sjösäkerheten i farleden. Sjöfartsverket konstaterar i pågående farledsutredning att det ur alla aspekter bästa alternativet bedöms vara att för delar av Landsortsfarleden inrätta två nya farledsavsnitt samt att för övriga delar utöka den befintliga farleden, se Figur 2-1.

Två nya farledsavsnitt föreslås på sträckorna Fifång-Regarn och Oaxen-Skanssundet. Farleden föreslås fördjupas så att den kan trafikeras av fartyg med längden 220 meter, bredden 32 meter och ett djupgående av 11,5 meter. För de två nya farledsavsnitten krävs mycket lite muddring för att uppfylla kraven på farleden, ca 50 000 m³. För förbättring av övriga farledsavsnitt, främst sträckan norr om Skanssundet, krävs omfattande muddring i de grunda och trånga sunden. De muddrade massorna ska dumpas på ett antal utvalda dumpningsområden.



Figur 2-1 Inrättande av ny farled (lila) respektive fördjupning av befintlig farled (blått).

3. Data och metoder

Nedan följer en sammanställning av det dataunderlag som är av särskild vikt för denna delstudie.

De data som framför allt är viktiga för att bedöma förändringar i vågförhållandena är:

- Digital nutida bottenpografi samt dess förändring i samband med muddring och dumpning [från Sjöfartsverket].
- Farledens nutida och framtida sträckning [från Sjöfartsverket].
- Typiska egenskaper för de fartyg som trafikeras farleden idag och för de som förväntas trafikera efter muddring och farledsömläggning [från Sjöfartsverket].
- Uppmätt vinddata från tre olika stationer för vindvågsmodellering för år 2015 [från SMHI].

3.1 Fartygsegenskaper

I detta projekt har tre olika fartygstyper använts för att bedöma deras påverkan i form av svallvågor och propellerströmmar. De valda fartygstyperna är: ett typiskt tankfartyg som trafikerar farleden idag (TANKER1), ett framtida tankfartyg (TANKER2) och ett containerfartyg (CONTAINER). Deras egenskaper finns summerade i Tabell 3-1 nedan. Viss information har kommit från Sjöfartsverket andra har uppskattats utifrån litteraturen för ett typiskt bulkfartyg av den storlek som specificerats (se ref. /1/, /2/, /3/ och /4/)

Tabell 3-1 Fartygsegenskaper använda i denna rapport

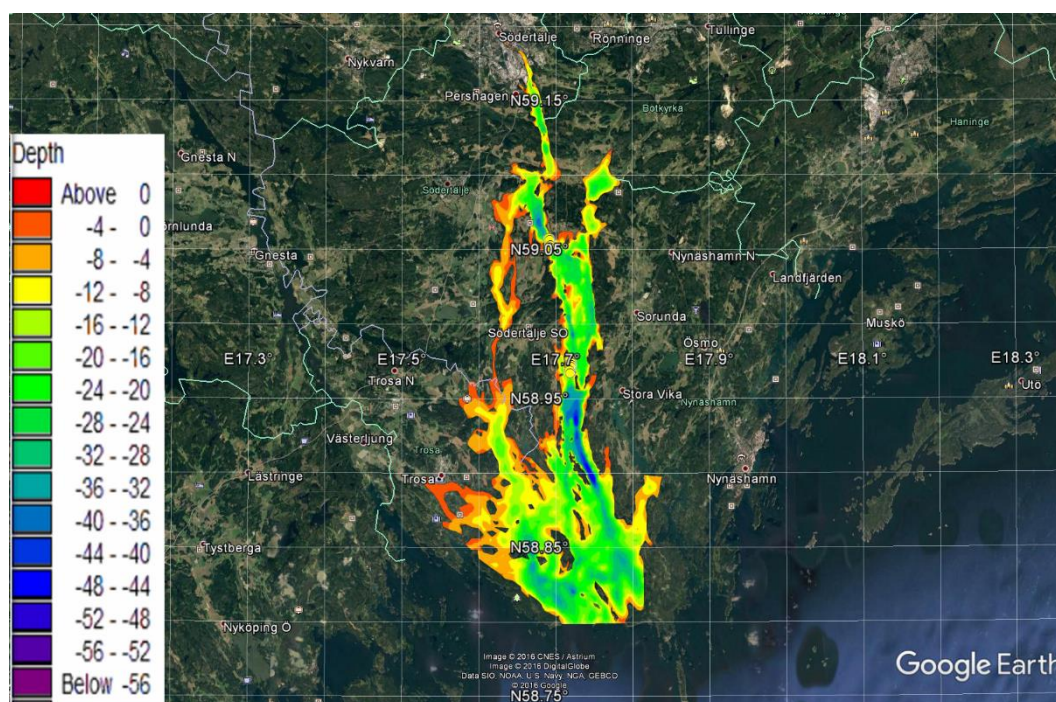
Symbol	Egenskap	TANKER1	TANKER2	CONTAINER
L [m]	Längd	143.9	229	235
L_e [m]	<i>Bow entry length</i>		40	65
B [m]	Fartygsbredd	21.8	32	32
D [m]	Djupgående	9.2	11.5	10.9
C_b [-]	<i>Block coefficient</i>	0.72	0.74	0.62
H_p [m]	Propellerns höjd över kölen	3.1	3.8	3.7
D_p [m]	Propeller diameter	5.0	5.9	8.0
K_p [m]	<i>Propeller thrust coefficient</i>	0.35	0.35	0.35

3.2 Modellering av vindvågor

Modelleringen av vindvågor har utförts med DHI's numeriska vind-vågmodell, MIKE 21 SW. MIKE 21 SW är en spektral vind-vågmodell, som simulerar gällande vågförhållanden och tar hänsyn till faktorer som:

- Vindens friktion mot vattenytan
- Refraktion med varierande djup
- Uppgrundning
- Brytande vågor
- Bottenfriktion
- Interaktion mellan vågor

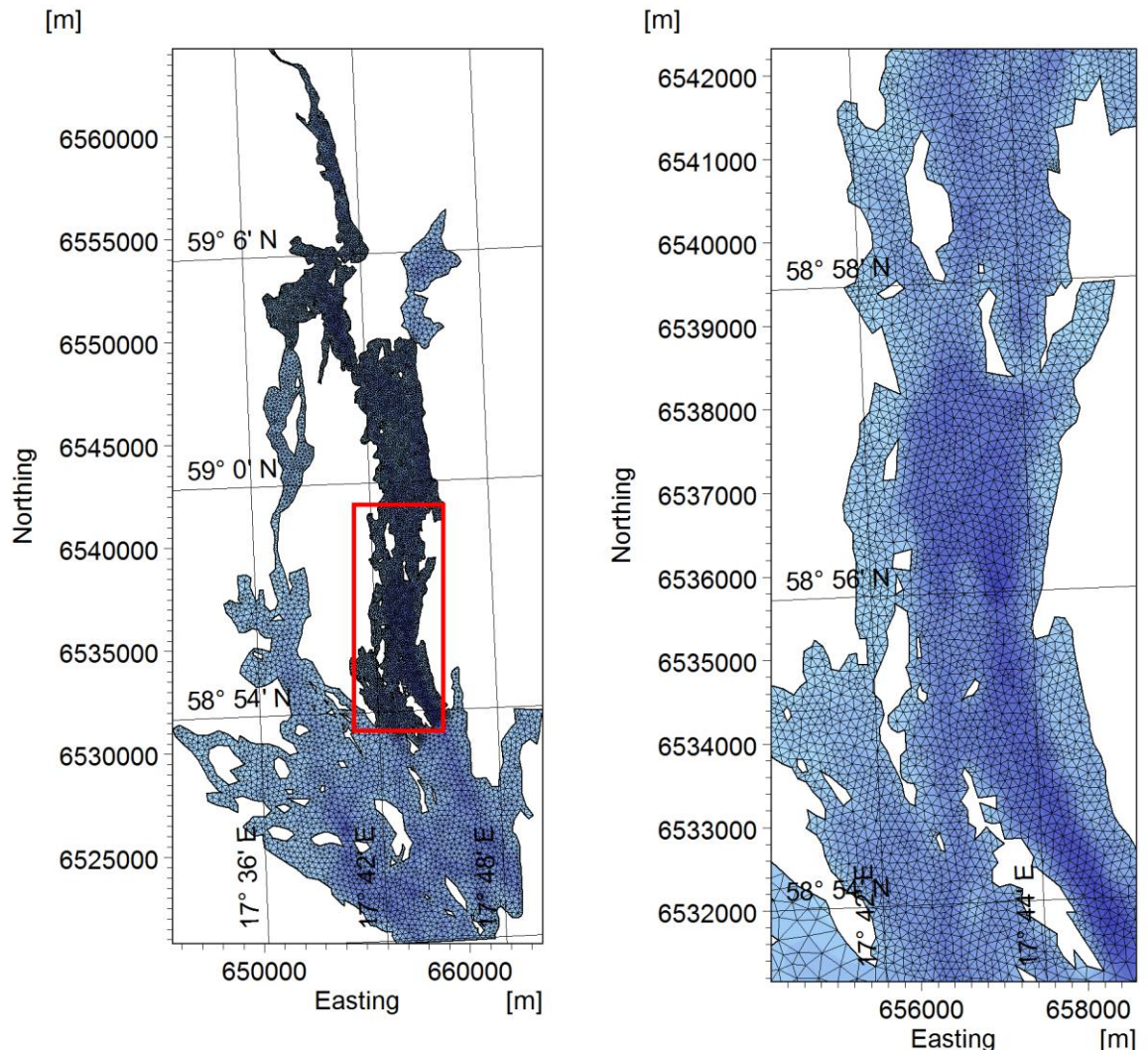
För beräkningen av vågorna har en komplett spektral och icke-linjär formulering använts. Detta innebär att vi för en bestämd vindriktning och vindhastighet har beräknat vågornas tillväxt och transformation över hela området från längst i söder till Södertälje i norr (se Figur 3-1). Simuleringarna har utförts med hänsyn tagen till en generell bottenfriktion som motsvarar en råhet på ca 5 mm. Detta tillvägagångssätt är något konservativt och valdes eftersom vågdata inte fanns tillgängliga för kalibrering.



Figur 3-1 Områdets utbredning (färglagt) som vindvågor har modellerats för år 2015. Färgskalan anger djupet i meter.

Modellens batymetri (bottentopografi) har byggts upp från aktuella sjökort för området samt lokala djupmätningar utförda av Sjöfartsverket. Modellbatymetrin och beräkningsnätet för hela området kan ses nedan i vänster bild i Figur 3-2. I modellen används ett oregelbundet beräkningsnät, där djupen definieras i de triangulära hörn-punkterna och resultaten beräknas i cellernas mittpunkt. Ju mindre trianglar desto högre upplösning på modellresultatet. I Himmerfjärden och norröver är beräkningsnätet som mest detaljerat, med 80 - 120 m bredd, för

att ge bra beräkningsresultat. En närbild på beräkningsnätet visas i höger bild i Figur 3-2. Beräkningsnätet har utformats för att ta hänsyn till strandlinjernas utformning, vattendjupet i området där vågorna genereras och vindförhållandena (hastighet och riktningar) i området.



Figur 3-2 Vänster bild: Beräkningsnätet för hela vindvägmodellen. Höger bild: Inzoomning på beräkningsnätet (området i den röda rektangeln på vänstra bilden)

3.3 Modellering av svallvågor

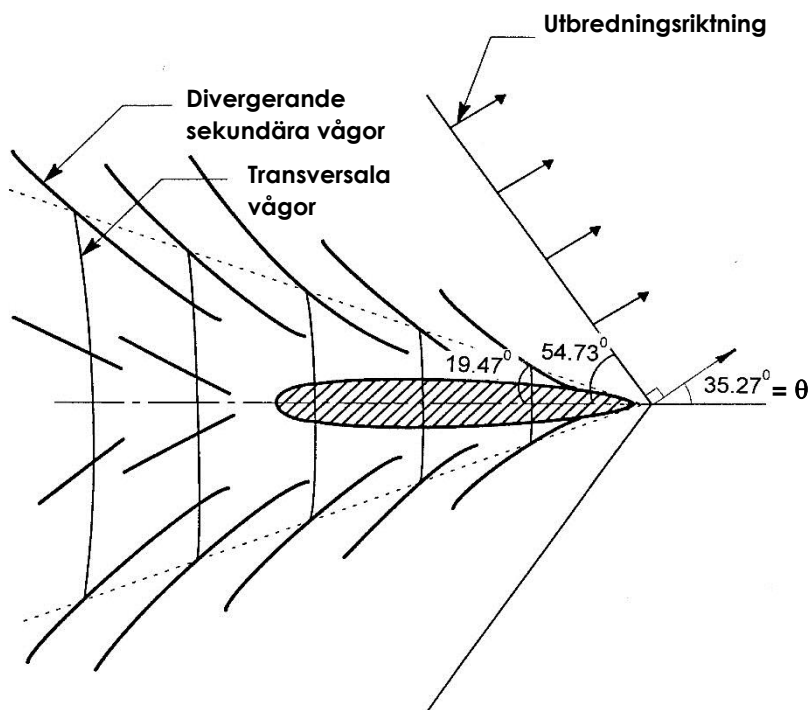
3.3.1 Uppskattning av svallvågorna från empiriska formler

När ett fartyg rör sig genom vattnet bildas vågor, vilka kan ge upphov till erosion när de ger upphov till höga strömhastigheter på botten eller bryter mot strandlinjen. Det finns i huvudsak två typer av vågor från fartyg: primära och sekundära. De primära vågorna beror på att fartyget tränger undan en vattenvolym (s.k. nedsänkningseffekt). Detta ger upphov till tillfälliga långperiodiska vågor och utgör ofta det dominerande problemet i smala sund och fartygsleder. Denna effekt har modellerats detaljerat i detta projekt för att uppskatta effekten. De sekundära vågorna skapas av tryckgradienter runt fartygsskrovet och benämns svallvågor. De är ofta kortare vågor som utgår från bogen och aktern och de kan påverka på längre avstånd från fartyget. I det aktuella fallet rör sig fartyget med subkritisk hastighet, d.v.s. långsammare än fashastigheten för en lång våg \sqrt{gh} (där g är accelerationen på grund av gravitationen och h är

djupet). Då uppstår de sekundära vågorna i ett mönster enligt Figur 3-3. De divergerande vågorna rör sig i en vinkel om ca 35° relativt rörelseriktningen. De transversella vågorna är inte relevanta när det gäller påverkan på strandlinjen och kommer inte att beaktas i den fortsatta analysen.

För att uppskatta de primära och sekundära svallvågornas våghöjd utgår vi ifrån den modell som beskrivs i ref. /7/. Denna empiriska modell bygger på data från försök med ett stort antal fartygstyper av olika storlek. Den maximala våghöjden för de sekundära vågorna beräknas utifrån:

1. Fartygets dimensioner: längd (L), djupgående (D), *ship block coefficient* (C_b) samt avståndet från bogen till där fartygsskrovet når sin maximala bredd (L_e)
2. Vattendjupet (h) i farleden
3. Fartygets hastighet V i knop
4. Avståndet vinkelrätt ut från fartyget, y



Figur 3-3 Illustration av sekundära vågor (svall) från ett fartyg

För de sekundära vågorna föreslås följande formel för den maximala modifieringen av vattenytan H som sker nära skeppet (ref. /7/):

$$H = \frac{V^2 \beta}{g} (F^* - 0.1) \left(\frac{y}{L}\right)^{-1/3}$$

Här är F^* det modifierade Froude-talet

$$F^* = \frac{V}{\sqrt{gL}} e^{\alpha \frac{D}{h}}$$

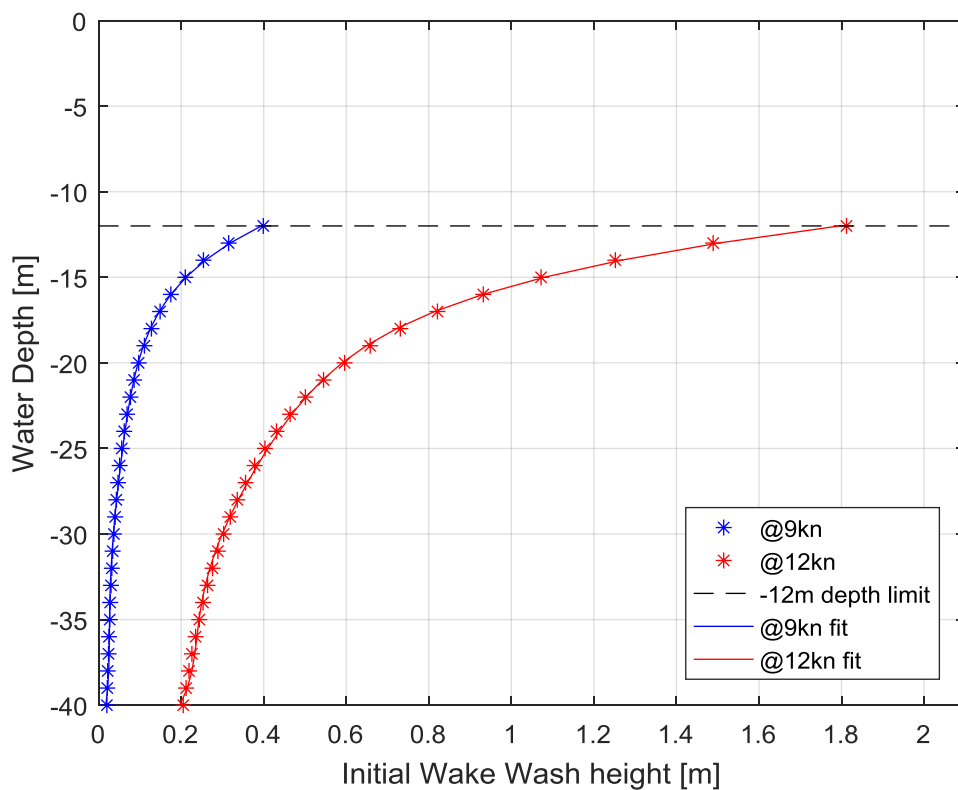
Där α och β är dimensionslösa koefficienter och är beroende av C_b , L och L_e .

De sekundära vågornas period T kan uppskattas med formeln

$$T = \frac{2\pi V \cos \theta}{g}$$

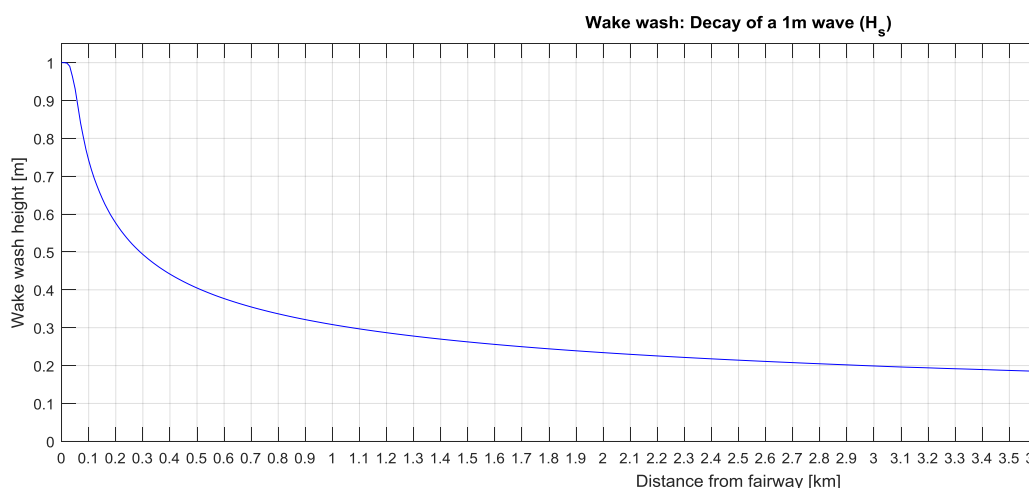
där θ är vågornas utbredningsriktning relativt fartygets rörelseriktning (se Figur 3-3). Resultatet blir att $T \approx 0.27V$.

Då ett fartyg rör sig över ett varierande vattendjup kommer den svallvåg som genereras inte att ha en konstant våghöjd. Likaså kommer svallvågen som genereras direkt att svara mot den hastighet varmed fartyget framförs. För att illustrera beroendet av såväl vattendjup som hastighet hos fartyget har följande graf tagits fram för att beskriva dessa samband. Observera att detta samband endast gäller för den fartygstyp som vi räknat på, i detta fall ett containerskepp. Ur denna illustration är det tydligt att en sänkt fart ger väsentligt mindre vågbildning.



Figur 3-4 Initial vågbildning från den nya storleken på containerskepp som passerar över bestämt djup och för 9 och 12 knop. Ur den blå kurvan utläses vågbildningen på olika djup för 9 knop och i den röda kurvan för 12 knop.

När den fartygsgenererade svallvågen rör sig bort från skeppet kommer den att avklinga och våghöjden minskar betydligt. För att visualisera detta förlopp illustreras i nästkommande figur hur en våg med våghöjden 1 meter avklingar på sin väg bort från fartyget. Ur denna graf kan man förutsäga vilken våghöjd som kommer att träffa stranden förutsatt att inga andra effekter, såsom interaktion med botten t.ex. sker, som gör att vågen förlorar energi. Detta är ett konservativt antagande och därmed den maximala våghöjden som kan uppstå vid olika avstånd till fartyget.



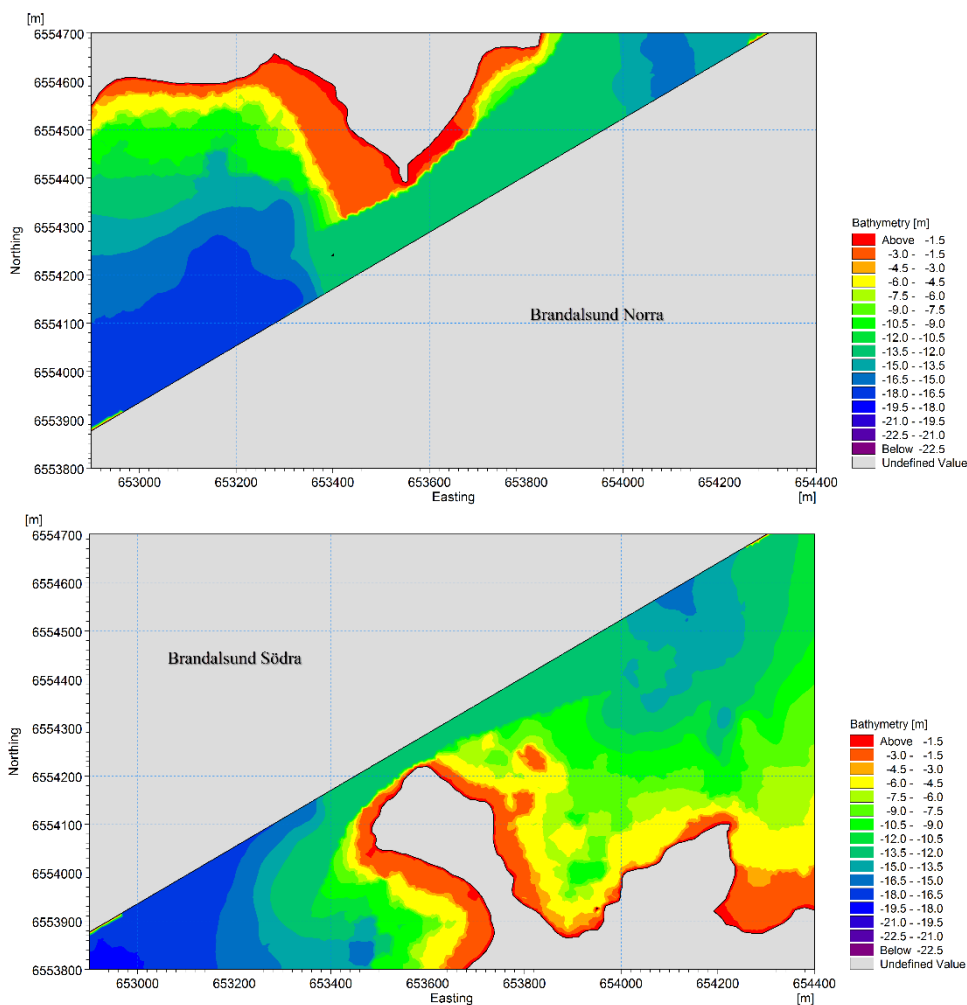
Figur 3-5 Avklingning av en 1m våg på olika avstånd från fartyget.

3.3.2 Transformering av svallvågor mot strandlinjen

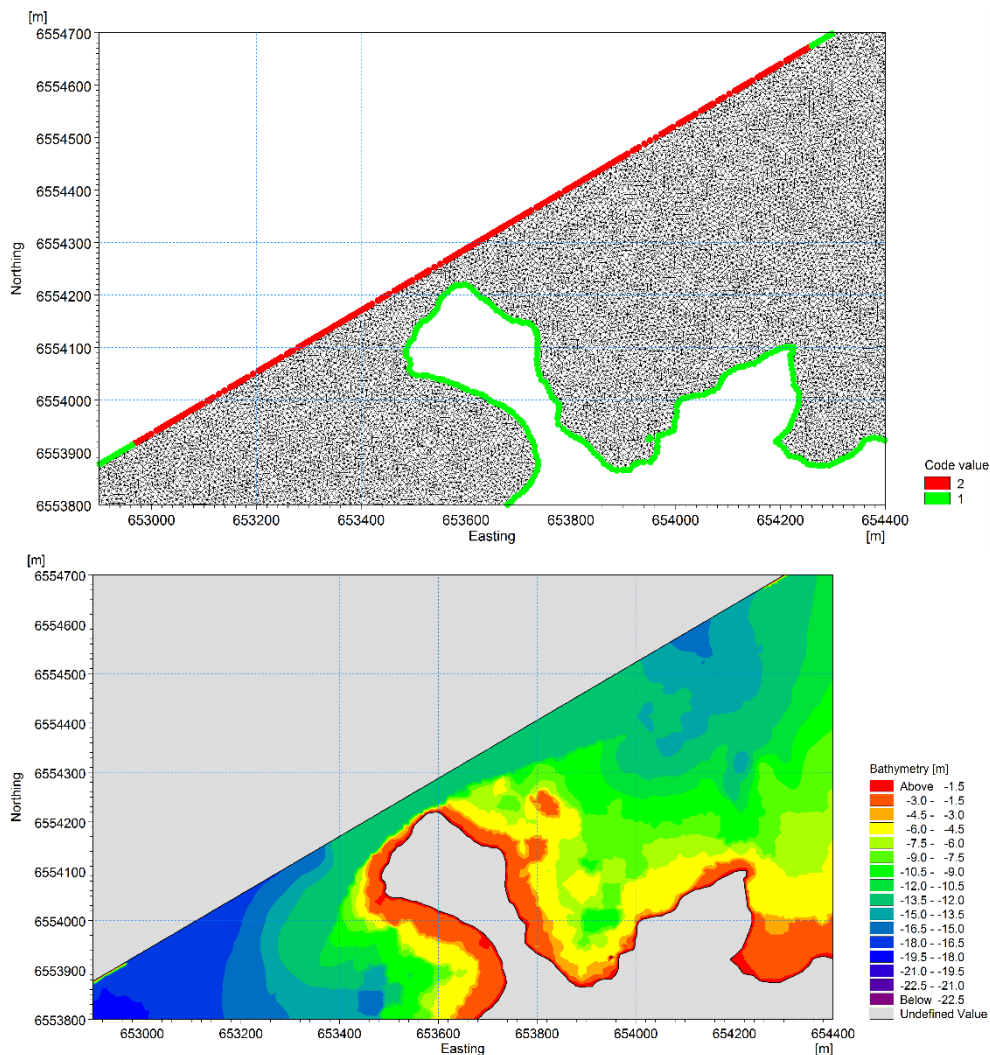
Beräkningen av hur svallvågornas transformeras på sin väg från att den genereras vid fartyget tills den når strandlinjen har gjorts med DHI's numeriska modellverktyg MIKE 21 SW. Denna typ av modell kan inkludera effekter som refraktion över varierande djup och avledning av energi pga. bottenfriktion och vågbrytning. Även om den valda typen av transformationsmodell inte tar hänsyn till tidsberoende effekter förutsägs den rumsliga variationen av den karaktäristiska våghöjden, vågperioden och vågriktningen över stora områden. Den beskriver därmed svallvågornas styrka på grunt vatten och vid kustlinjen.

MIKE 21 SW har också använts för att beräkna vindvågornas utveckling i hela området under år 2015 i kapitel 3.2.

För svallvågor har tre områden modellerats: Brandalsund, Skansundet och sundet mellan Oaxen och Regarn. Nedan visas ett beräkningsnät för Brandalsund, som har sin högsta upplösning med gridcellernas storlek (kantens längd) på ca. 5-10 m. Varje område har delats i två delar då svallet modelleras på en sida av farleden åt gången för både ingående och utgående trafik. I Figur 3-6 nedan visas djupdata från Brandalsunds norra respektive södra modellområde och i Figur 3-7 visas beräkningsnätet för det södra området jämte den överliggande djupdata som använts.



Figur 3-6 Exempel på modellbathymetrier för norra (övre bild) och södra (nedre bild) delen av Brandalsund vid beräkning av svallvågens utbredning.



Figur 3-7 Exempel på beräkningsnätet (övre bild) och den ingående djupdaten (nedre bild) för samma område.

3.3.3 Modellering av avsänkingsvågor

Den primära, eller undanträngda, vågen är inducerad genom olika vattenflöden runt skeppets skrov. Detta ger i sin tur förändringen av vattenståndet runt skeppet, speciellt längs sidorna på fartyget, och kallas nedsänkning. Denna effekt är i huvudsak bestämd av fartygets hastighet och displacement samt eventuella begränsningar i vattenflödet som t.ex. orsakas av en kanal eller ett sund.

I modellen som är använd i denna studie, en MIKE 21 Flow Model FM hydrodynamisk modell som är baserad på den numeriska lösningen av de två-dimensionella Navier-Stokes ekvationerna, är det bl.a. antaget att vattnet är inkompressibelt. Denna modell använder också ett flexibelt beräkningsnät bestående av trianglar eller fyrkanter för att beskriva den rumsliga upplösningen.

Fartyget introduceras i modellen som ett rörligt tryckfält där själva tryckfältet är proportionellt till fartygets djupgående. Skrovets form är specificerad genom att använda ett oberoende beräkningsnät som generellt är mycket finare än det nät som beskriver vattenmassan. Detta numeriska tillvägagångssätt för att beskriva nedsänkningseffekterna har validerats mot fysiska modellförsök (ref /8/, /9/ and /10/)

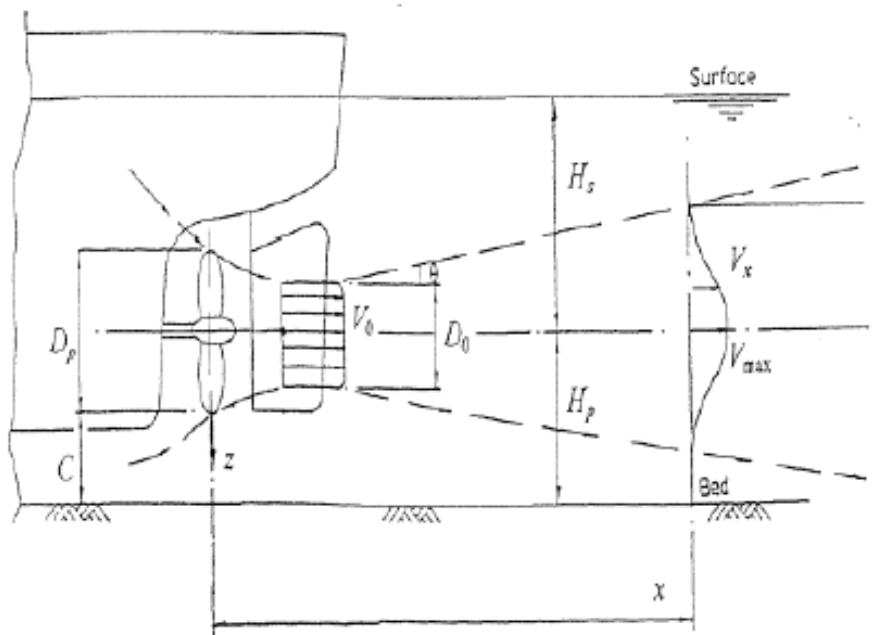
3.4 Uppskattning av propellerströmmar bakom fartyg under gång

För att bedöma om de större fartyg som förväntas trafikera nya farleden efter muddringen kan ge upphov till erosion på grund av kraftigare propellerströmmar, har propellerströmmarnas hastighet nära botten uppskattats.

För att göra detta krävs ytterligare information om fartygets egenskaper utöver de som tillhandahållits i Tabell 3-1:

- Fartygets hastighet: 7 knop
- Minsta djup i farleden 12.65 m
- Propellerns varvtal vid given fart från dokumentation

Denna analys fokuserar på erosionseffekterna i farleden under fartygets gång. Den tar inte hänsyn till de hastigheter som kan uppstå i samband med manövrering nära kaj vid låga hastigheter. Det finns flera metoder för att uppskatta den första effekten (se t.ex. ref. /5/) men den senare effekten har inte analyserats. Här använder vi den analysmetod som redovisas i ref. /6/ och som schematiskt visas i Figur 3-8 för en propellerström bakom ett fartyg.



Figur 3-8 Illustration av propellerström bakom ett skepp

4. Resultat

4.1 Vindvågor

I denna sektion presenteras vågklimatet för år 2015 vilket har modellerats för hela området (från 58° 48'N i söder till 59 11.5'N i norr).

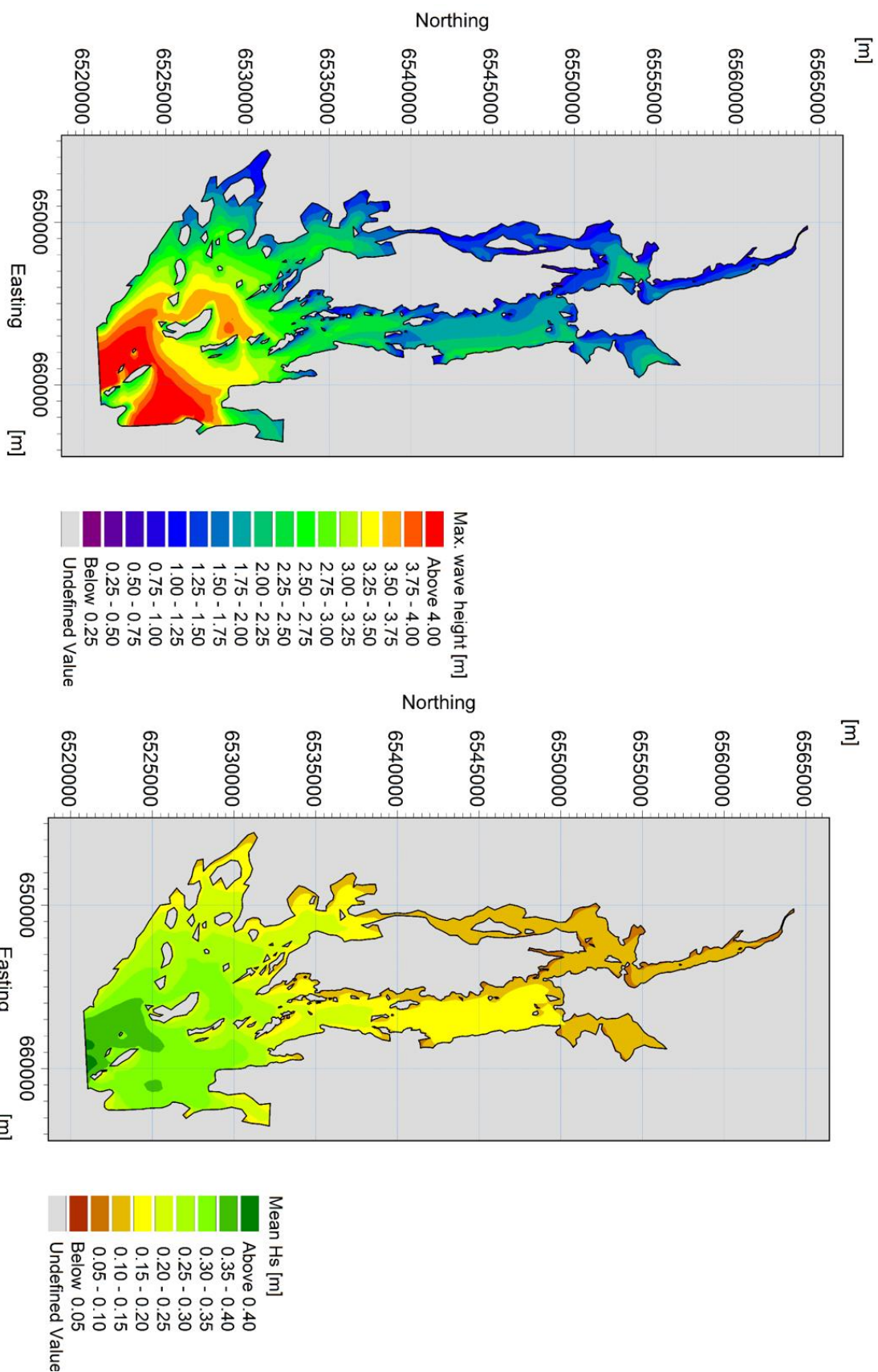
Från Figur 4-1 kan utläsas att de absolut högsta vågorna under 2015 (H_{\max}) blir närmare 4 m och återfinns i den nedre (södra) delen av området vilket är mest utsatt för hårda vindar från öppna havet söderifrån.

Att de hårdaste vindarna i huvudsak kommer från syd till sydväst kan ses i Figur 4-1 då H_{\max} fortfarande är relativt hög (2 till 2.5 m) söder om Oaxen och väster om Regarn samt Himmerfjärdens östra kustlinje och vid Brandalsunds sydvästra del.

I Figur 4-1 visas även årsmedlet av den signifikanta våghöjden (H_s). Signifikant våghöjd är medelvärdet av alla de 30% högsta individuella vågorna under ett kortare tidsintervall (30 min), jämfört med H_{\max} ovan som är den momentant högsta uppmätta vågen för ett vågfält.

Resultatet för H_{\max} visar ett liknande mönster som H_s med de högsta värdena i söder och avtagande norrut. Denna medelbild är dock något mer utslätad, än för H_{\max} .

De högsta värdena återfinns längst ned i söder och ligger runt 0.4 m för att succesivt avta till mellan 0.15 - 0.20 m i större delen av Himmerfjärden. Längs den västra stranden i Himmerfjärden är vågorna betydligt lägre och ligger snarare mellan 0.05 - 0.10 m. Detta värde dominerar i stort sett hela vägen från Skanssundet (genom Brandalsund) upp till Södertälje i norr.



Figur 4-1 Modellerad våghöjd under år 2015. Maximal våghöjd (vänster). Medelvärdet av den signifikanta våghöjden, H_s , (höger).

För att uppskatta hur stor del av tiden en viss våghöjd överstiger en viss nivå har en s.k. exceedance-analys gjorts på all våghöjdsdata för 2015 för tre nivåer 0.10, 0.25 och 0.70 m. Resultaten för hela området presenteras i Figur 4-2 för respektive nivå.

Som väntat minskar den fraktion av tiden som H_{max} är över en viss nivå med stigande våghöjd. Från Figur 4-2 ses att för större delen av det modellerade området överstiger våghöjden 0.1 m med över 90% av tiden (under 1 år).

För en våghöjd som överstiger 0.25 m finns det bara ett område längst i söder som har denna våghöjd 90% av tiden eller mer. Andelen av tiden med denna våghöjd sjunker då man rör sig norrut. I de centralare delarna av området som t.ex. Himmerfjärden är denna siffra mellan 60 - 80% beroende på positionen i fjärden. I Skansundet sjunker andelen av tiden ytterligare till 40-50% för att sedan öka igen strax söder om Brandalsund till 55 - 65%.

För den tid då H_{max} överstiger 0.7 m har bilden förändrats mycket. I större delen av området återfinns dessa vågor mindre än 25% av tiden. Endast i de mest södra delarna är det vanligt med vågor i den här storleksordningen och här förekommer de ca 40% av tiden.

Vågornas inverkan på bottenströmmar och bottenrörelser har bedömts ha väldigt liten effekt på de föreslagna dumpningsplatserna. Överhuvudtaget är det i hela Himmerfjärdssystemet väldigt små strömhastigheter som kan uppstå till följd av de vågor som modellerats.

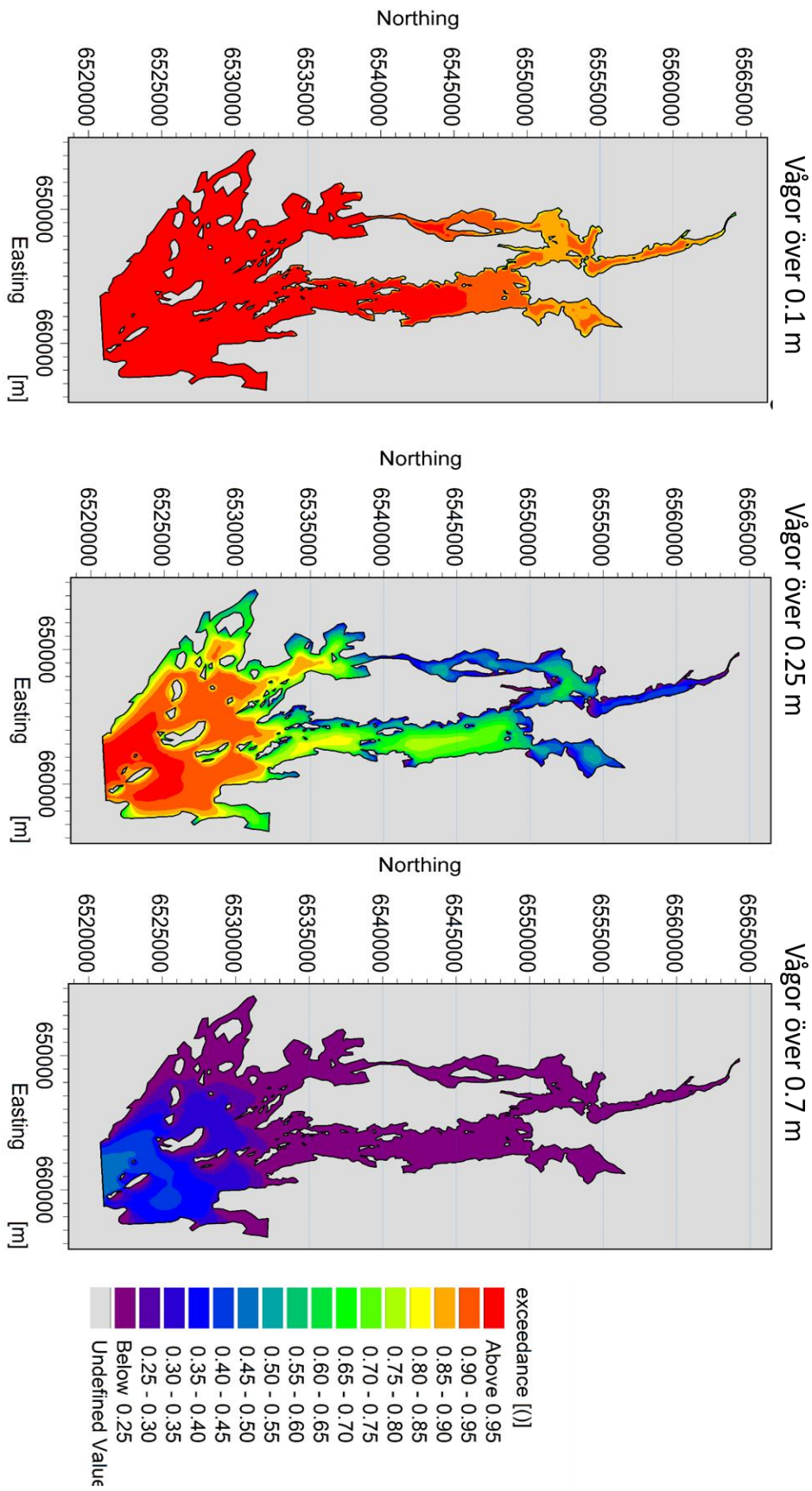
För att få en uppfattning om hur vågornas riktning och storlek fördelar sig under modellåret (2015) har figurer på vågrosor tillverkats för de smalaste sunden. I vågrosorna, i Figur 4-3, visas förekomsten och den procentuella fördelningen av den signifikanta våghöjden för alla riktningar samlade i cirkelsektorer med 15° bredd. Då det är i de trånga sunden som fartygen kommer att passera närmast land är det intressant att se vilken naturlig vågbildning som redan finns vid dessa positioner.

Ur vågrosorna framgår det att det förekommer vågor från alla väderstreck i de tre sunden. Den dominerande vågriktningen är längs sundens riktning, det är även här de högsta vågorna återfinns. Detta är naturligt då det är härifrån den största stryklängden finns.

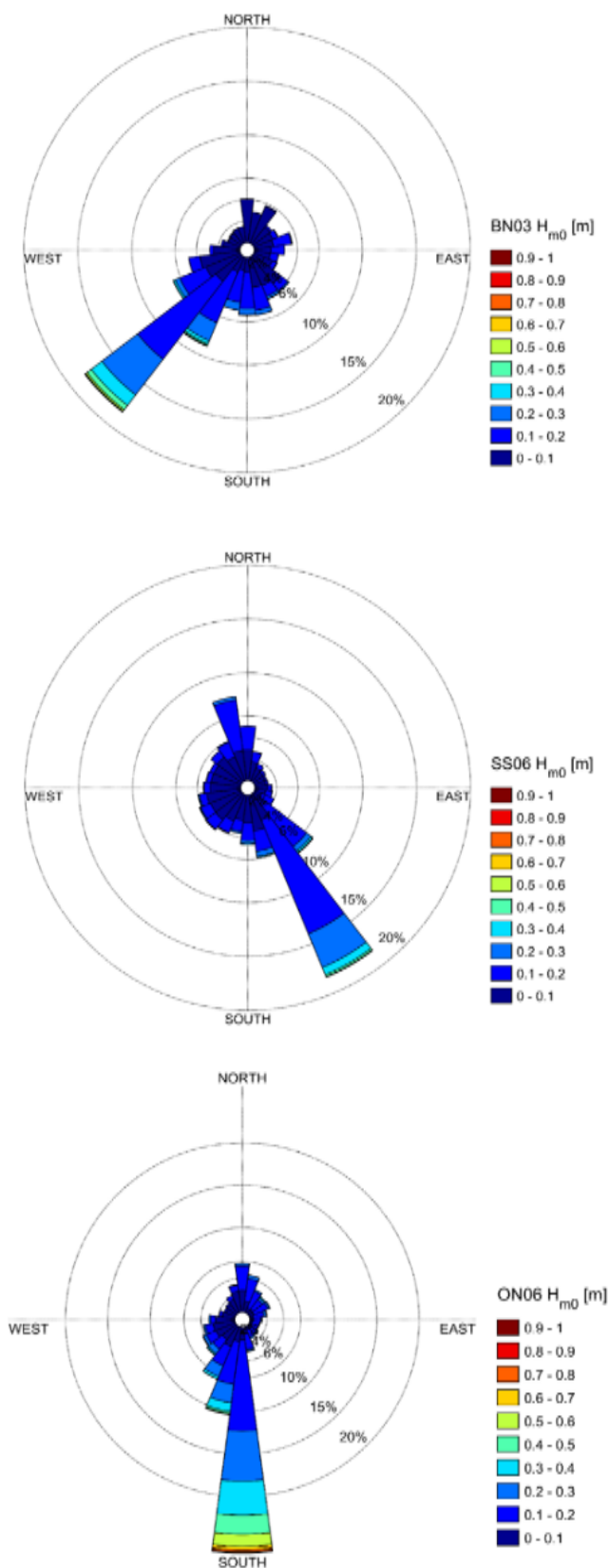
Brandalsund – För denna position, som ligger i sundet, är den dominerande vågriktningen i huvudsak från sydväst, och det är även där ifrån de högsta signifikanta våghöjderna uppstår. Det framgår tydligt att den större delen av vågorna har en våghöjd mindre än 0.2 m.

Skansundet – För denna position, som ligger strax norr om sundet, är den dominerande vågriktningen i huvudsak från sydost där från vilket de högsta signifikanta våghöjderna också uppstår. Även i detta sund är det ovanligt med vågor större än 0.2 m.

Oaxen – För denna position, som ligger strax söder om Oaxen, är den dominerande vågriktningen i huvudsak från syd där från vilket uteslutande de högsta signifikanta våghöjderna också uppstår. Här håller sig vågorna oftast till en våghöjd mindre än 0.3 m.



Figur 4-2 Den fraktion av tiden på ett år som H_{max} överstiger 0.1 m, 0.25 m och 0.7 m.



Figur 4-3 Exempel på vågros från Brandalsund (överst), Skansundet (mitten) och Oaxen (nederst).

4.2 Svallvågor

Nedan presenteras resultat från modellerade svallvågor för framtida fartyg längs farleden i tre områden: Brandalsund, Skanssundet och sundet mellan Oaxen och Regarn. Både ett container- och ett tankfartyg har modellerats. Resultaten från modelleringen visar att containerfartyget i dessa fall genererar störst svallvågor och presenteras därför uteslutande (Figur 4-4 till Figur 4-5). Både ingående och utgående trafik längs farleden har simulerats.

Höjden på svallvågen minskar på sin väg bort från fartyget förutom på de platser där det är som kortast avstånd mellan fartyget och stranden. Även fartygets färdriktning har betydelse för hur vågornas höjd avklingar och hur stort strandområde som blir utsatt för de högsta vågorna. Vågorna dämpas mindre längs de avsnitt av stranden där den är mer eller mindre vänd mot den riktningen som svallet kommer ifrån. Vid korta avstånd till stranden, eller med en strandlinje parallell med svallvågen, kan svallet i stort sett behålla sin ursprungshöjd hela vägen till stranden.

4.2.1 Brandalsund

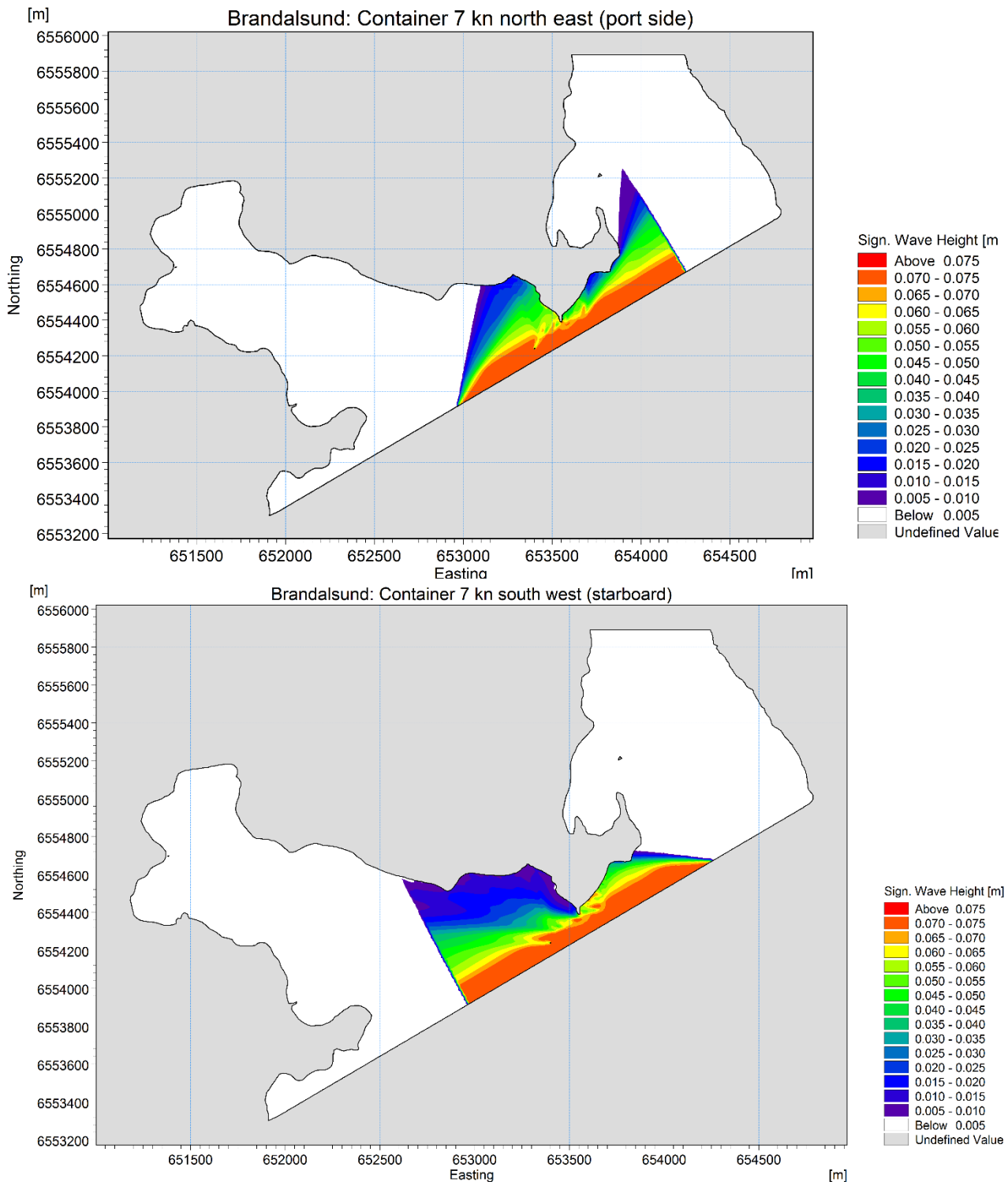
Containerskeppet genererar en svallvåg strax under 0.1 m höjd vid ett djup på 13 m med 7 knops fart. Dessa resultat för Brandalsunds norra respektive södra strand presenteras i Figur 4-4 till Figur 4-5 och de områden med högst våghöjd har röd färg. Det område som är mest exponerat för fartygssvall är stranden mitt i Brandalsund på Getryggssidan, oavsett fartygets riktning i farleden. Vid ingående passage dämpas vågorna minst på den södra sidan om Getryggen till följd av svallriktningen och vice versa. På den norra stranden i sundet, mot Trindborgens, är vågorna som högst när fartygen passerar ut genom farleden då de får lå av udden. På ingående rutt är det istället den västra stranden som vetter mot Sjöstugan strax innan sundet passeras som är mest exponerad. I båda fall är våghöjderna små och bedöms inte ge upphov till erosion.

4.2.2 Skanssundet

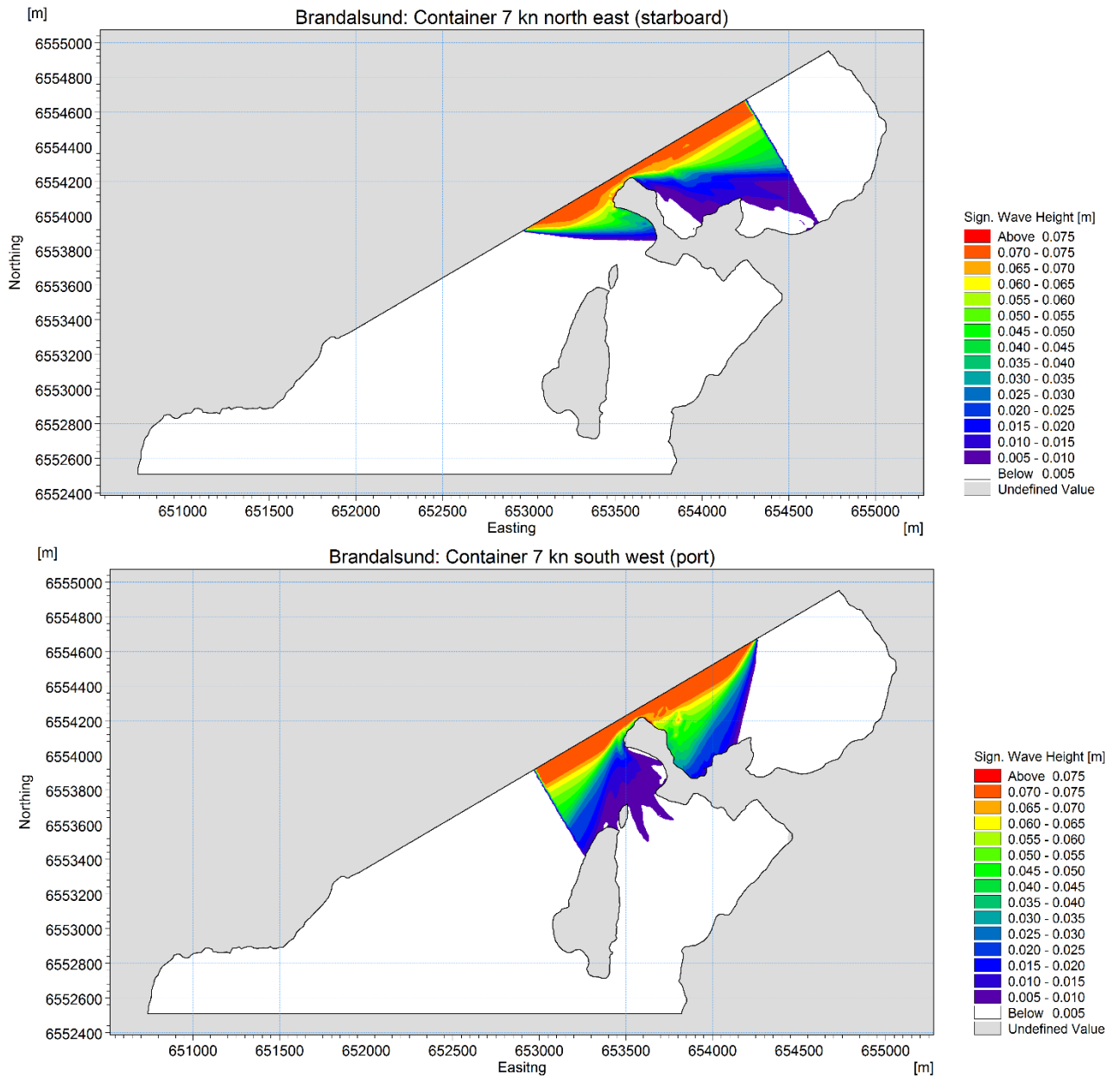
Containerskeppet genererar en svallvåg strax under 0.1m höjd vid ett djup på 13 m med 7 knops fart. Dessa resultat för Skanssundet presenteras i Figur 4-6 till Figur 4-7 och de områden med högst våghöjd har rödaktig färg. Den norra delen av Skanssundet mot Sandviken exponeras väldigt olika vid in och utgående fartygstrafik. Vid ingående färd är den yttersta udden på Sandviken sidan mest exponerad medan den västra stranden på samma sida får störst påverkan vid utgående trafik. Inte i något av fallen påverkas den östra stranden på Sandvikensidan. Längs den södra sidan av Skanssundet är det framförallt de sidor som vetter mot farleden av Notholmen och Skansholmen som blir exponerade. Den låande effekten av de båda uddarna syns tydligt i jämförelsen mellan utgående och ingående fartygstrafik. I båda fall är våghöjderna små och bedöms inte ge upphov till erosion.

4.2.3 Oaxen-Regarn

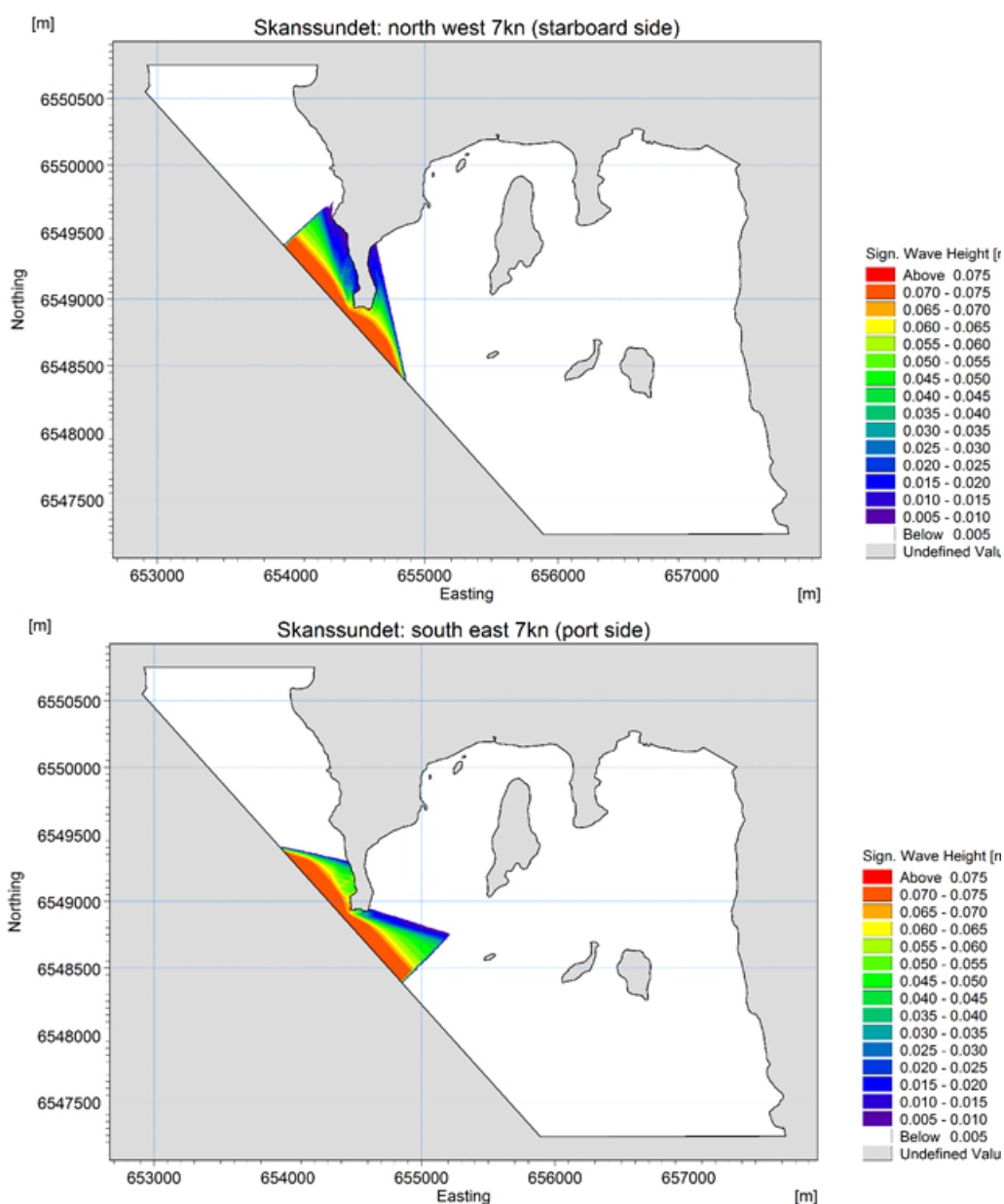
Containerskeppet genererar en svallvåg på 0.2 m höjd vid ett djup på 15 m med 9 knops fart. Dessa resultat för Oaxen och Regarn presenteras i Figur 4-8 till Figur 4-9 och de områden med högst våghöjd har rödaktig färg. När vågen når stranden har våghöjden redan halverats och oftast mer än så. Detta sker på stora delar av Oaxens och Regarns strandlinje som vetter mot farleden. På Oaxen är det framförallt sydgående passager av stora fartyg som påverkar den södra udden och en större del av den sydöstra strandlinjen. Nordgående passager påverkar mest den sydspetsen. För Regarn är det de sydgående passagera som påverkar mest. När vågorna från dessa passager når strandlinjen har de störst amplitud och träffar den mellersta strandlinjen. De nordgående passagera genererar inte alls vågor på samma sätt. I båda fall är våghöjderna små och bedöms inte ge upphov till erosion.



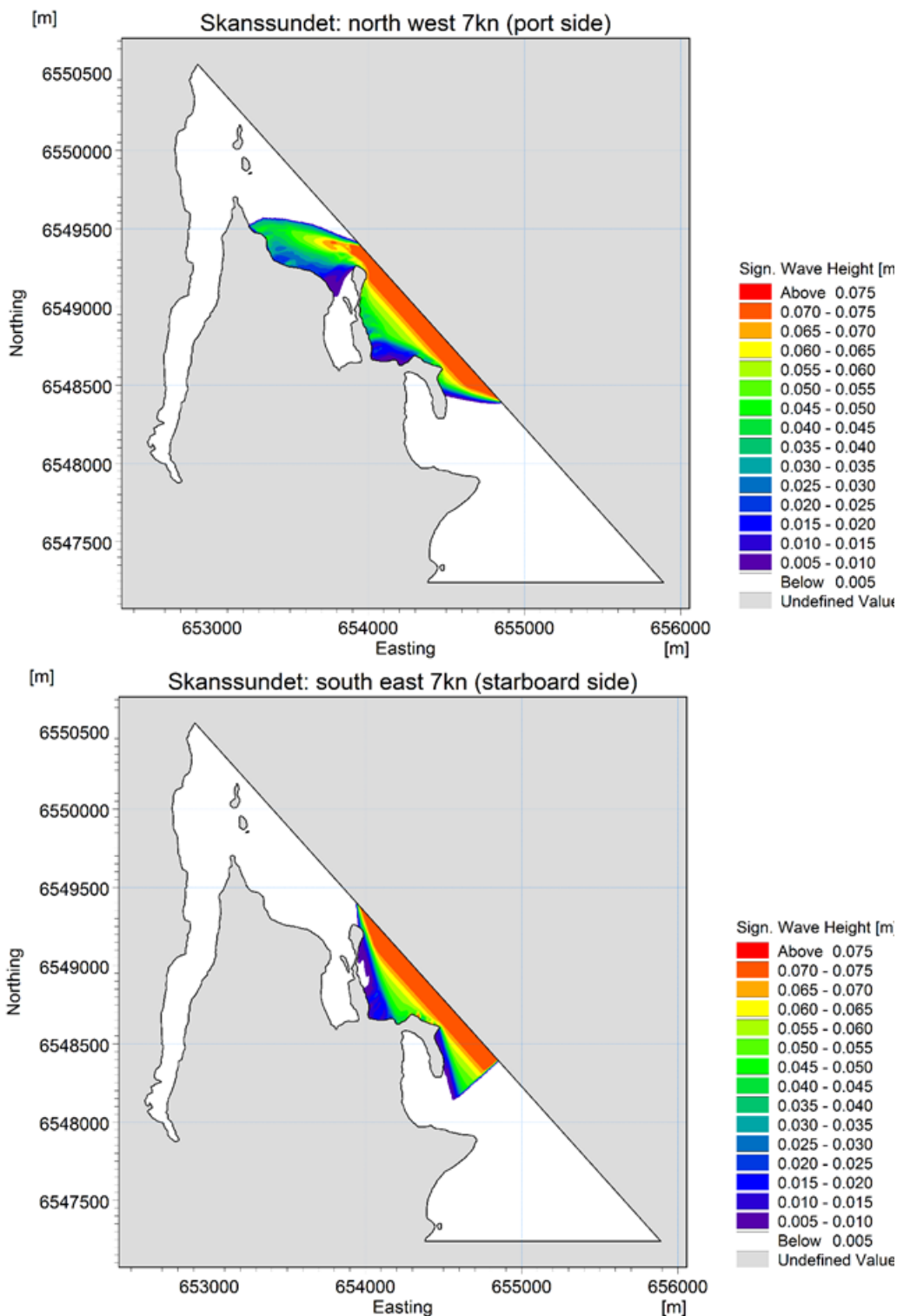
Figur 4-4 Höjden på svallvågorna, som träffar norra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordostlig riktning (överst) och sydvästlig riktning (underst) i Brandalsund längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.



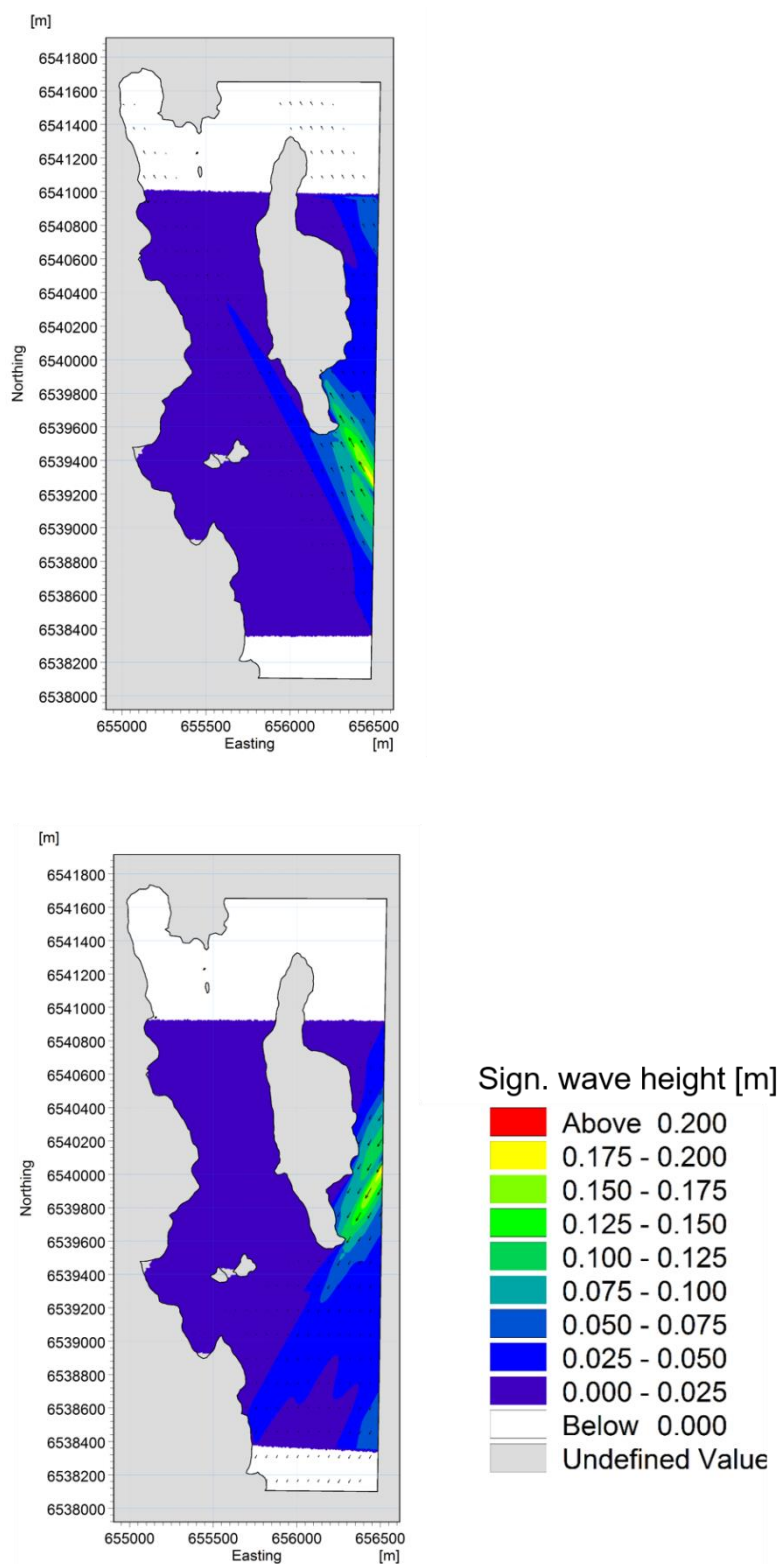
Figur 4-5 Höjden på svallvågorna, som träffar södra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordostlig riktning (överst) och sydvästlig riktning (underst) i Brandalsund längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.



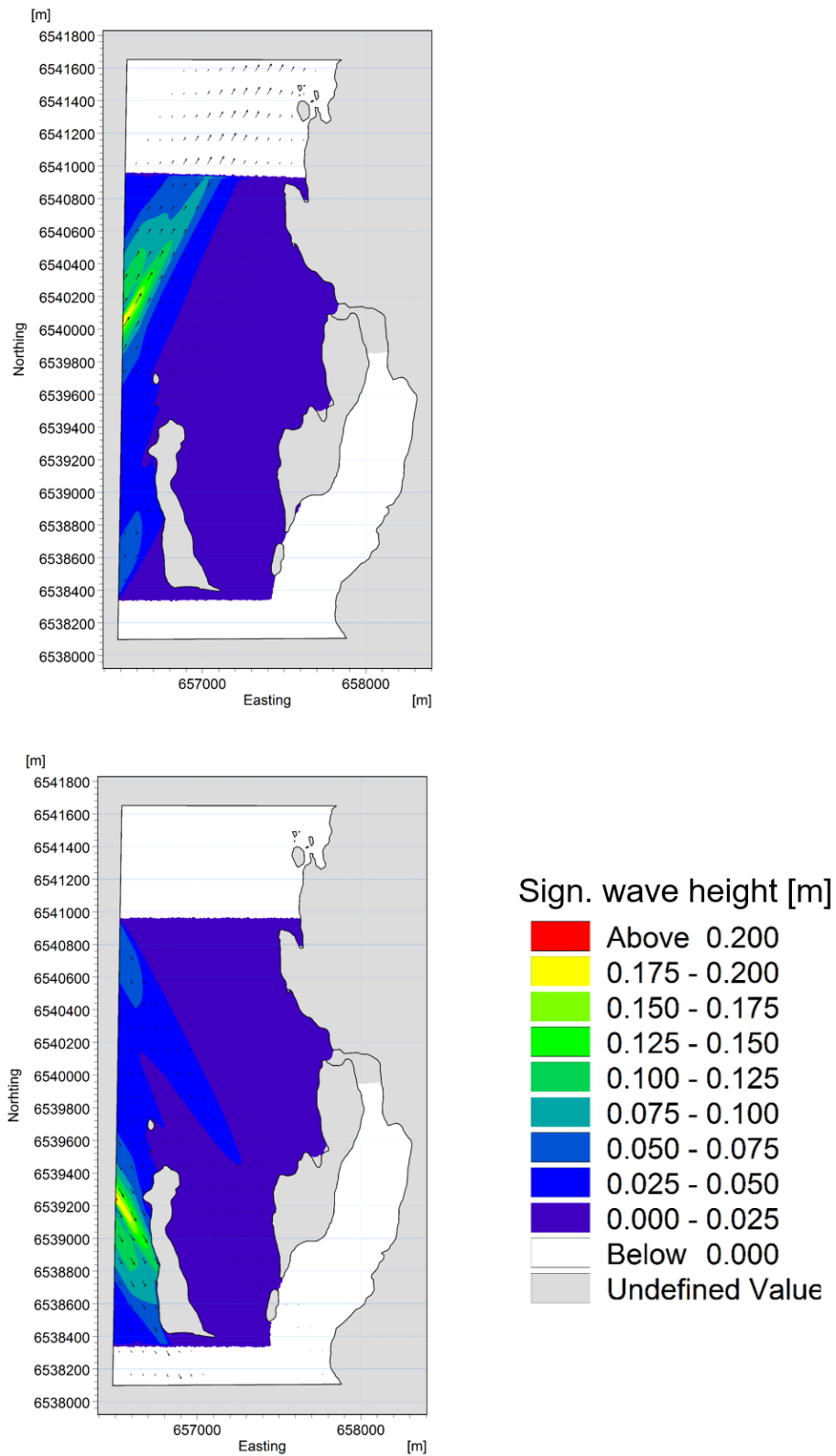
Figur 4-6 Höjden på svallvågorna, som träffar norra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordvästlig riktning (överst) och sydostlig riktning (underst) i Skansundet längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.



Figur 4-7 Höjden på svallvågorna, som träffar södra stranden, från ett framtida containerskepp vid 7 knops fart i nordvästlig riktning (överst) och sydostlig riktning (underst) i Skansundet längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.



Figur 4-8 Höjden på svallvågorna, som träffar Oaxens östra strand, från ett framtida containerskepp vid 9 knops fart i nordlig riktning (överst) och sydlig riktning (underst) i sundet mellan Oaxen och Regarn längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.



Figur 4-9 Höjden på svallvågorna, som träffar Regarns västra strand, från ett framtida containerskepp vid 9 knops fart i nordlig riktning (överst) och sydlig riktning (underst) i sundet mellan Oaxen och Regarn längs en bit av farleden. Bilderna är inte en ögonblicksbild utan en sammanfattning av hela förloppet då svallet genereras tills det träffar stranden.

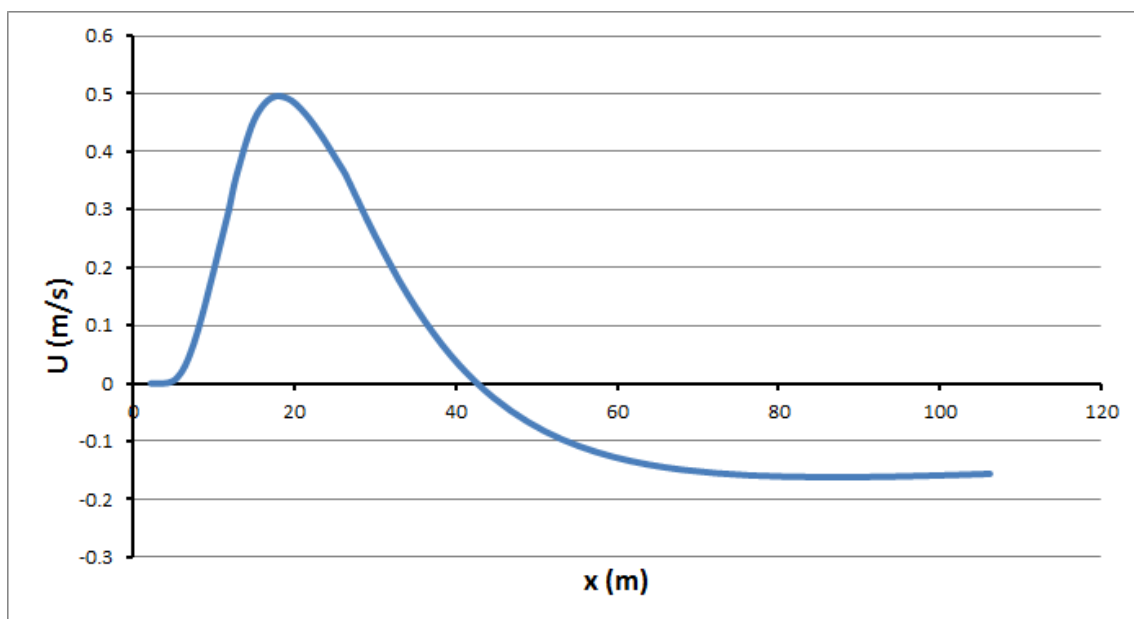
4.3 Propellerströmmar

Propellerströmmarnas effekt på havsbotten om ett djup av 10.5 m har undersökts för ett typiskt fartyg som trafikerar farleden idag. För det nya föreslagna farledsdjupet om 12.65 m har två olika typer av större fartyg undersökts. Som referens hålls det typiska fartyg som idag trafikerar farleden vilket jämförs med de två tilltänkta framtida fartygstyperna (ett container- och tankfartyg), vars egenskaper presteras i Tabell 3-1. En strömhastighet på 0.2 m/s bedöms vara den undre gränsen för när propellerströmmen börjar påverka bottensediment av typen lermaterial.

4.3.1 Dagens fartyg: Tankfartyg, Uppskattning av påverkan

Propellerströmmen bakom ett typiskt tankfartyg av idag som färdas med 7 knop över ett djup på 10.5 m visas i Figur 4-10. Skeppet har en längd på 143.9 m och ett djupgående på 9.2 m (TANKER1 i Tabell 3-1).

Från Figur 4-10 kan utläsas att på ett avstånd mellan cirka 10 – 32m bakom fartyget är propellerströmmarna större än 0.2 m/s. Med denna sträcka på 22 m innebär det att havsbotten exponeras för strömmar över 0.2 m/s på en tidperiod på max 7 s.

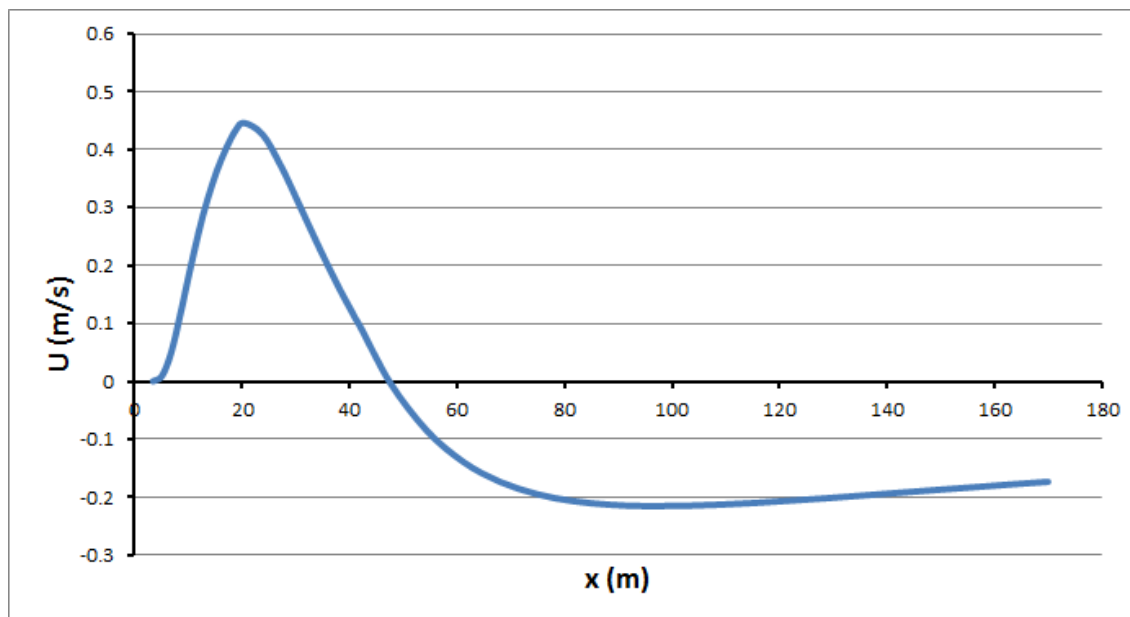


Figur 4-10 Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 135m långt tankfartyg som färdas med 7 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 10.5m djup.

4.3.2 Framtida fartyg: Containerfartyg

Propellerströmmen bakom ett framtida containerfartyg som färdas med 7 knop över ett djup på 12.65m visas i Figur 4-11. Skeppet har en längd på 235 m och ett djupgående på 10.9 m (CONTAINER i Tabell 3-1).

Från Figur 4-11 kan utläsas att på ett avstånd mellan cirka 11 – 35 m och 81 – 129 m bakom fartyget är propellerströmmarna större än 0.2 m/s. Med denna sträcka på 73 m innebär det att havsbotten exponeras för strömmar över 0.2 m/s på en tidperiod på max 21 s. 65 % av tiden ligger hastigheten just strax över gränsvärdet.

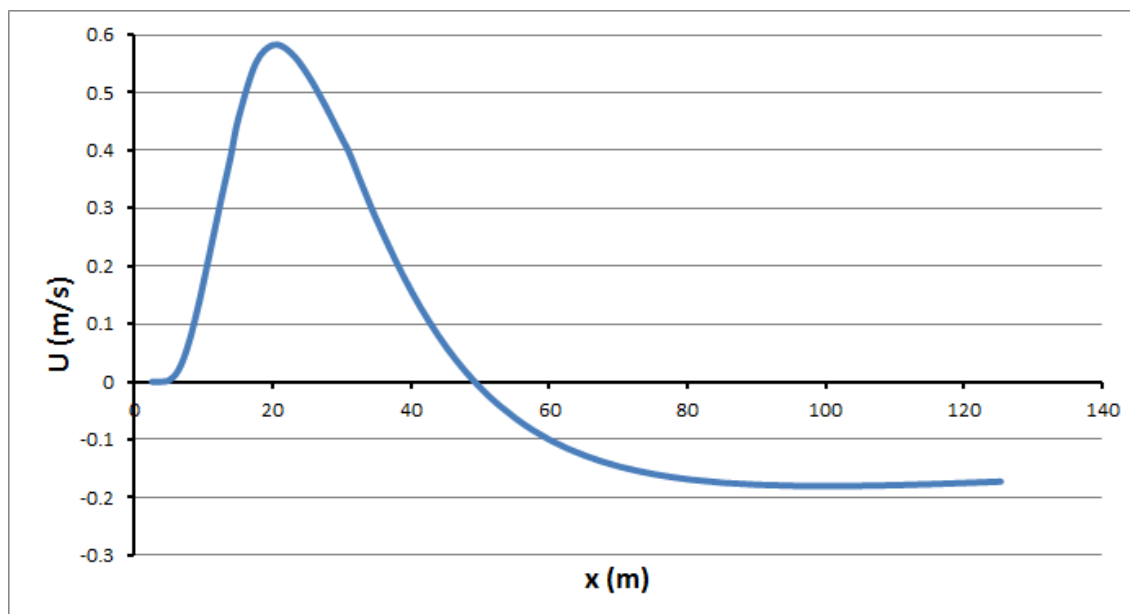


Figur 4-11 Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 235m långt containerfartyg som färdas med 7 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 12.65m djup.

4.3.3 Framtida fartyg: Tankfartyg

Propellerströmmen bakom ett framtida containerfartyg som färdas med 7 knop över ett djup på 12.65 m visas i Figur 4-12. Skeppet har en längd på 229 m och ett djupgående på 11.5 m (TANKER2 i Tabell 3-1).

Från Figur 4-12 kan utläsas att på ett avstånd mellan cirka 11 – 35 m bakom fartyget är propellerströmmarna större än 0.2 m/s. Med denna sträcka på 27 m innebär det att havsbotten exponeras för strömmar över 0.2 m/s på en tidperiod på max 8 s.



Figur 4-12 Propellerströmmens storlek (U) bakom ett 229m långt tankfartyg som färdas med 7 knop. På x-axeln visas det horisontella avståndet till propellern bakom fartyget på 12.65m djup.

4.4 Nedsänkningseffekter

Resultaten från modellering av nedsänkningseffekter (lokalt förändrat vattenstånd och strömfält) på omgivningen från förbipasserande fartyg presenteras nedan. För Brandalsund och Oaxen-Regarn jämförs resultat mellan ett typiskt tankskepp som trafikerar farleden idag och ett i framtiden tilltänkt större tankskepp. För Himmerfjärden, där fartyget följer en ny tilltänkt sträckning av farleden, presenteras resultat endast för nedsänkningen för det framtida fartyget.

4.4.1 Brandalsund

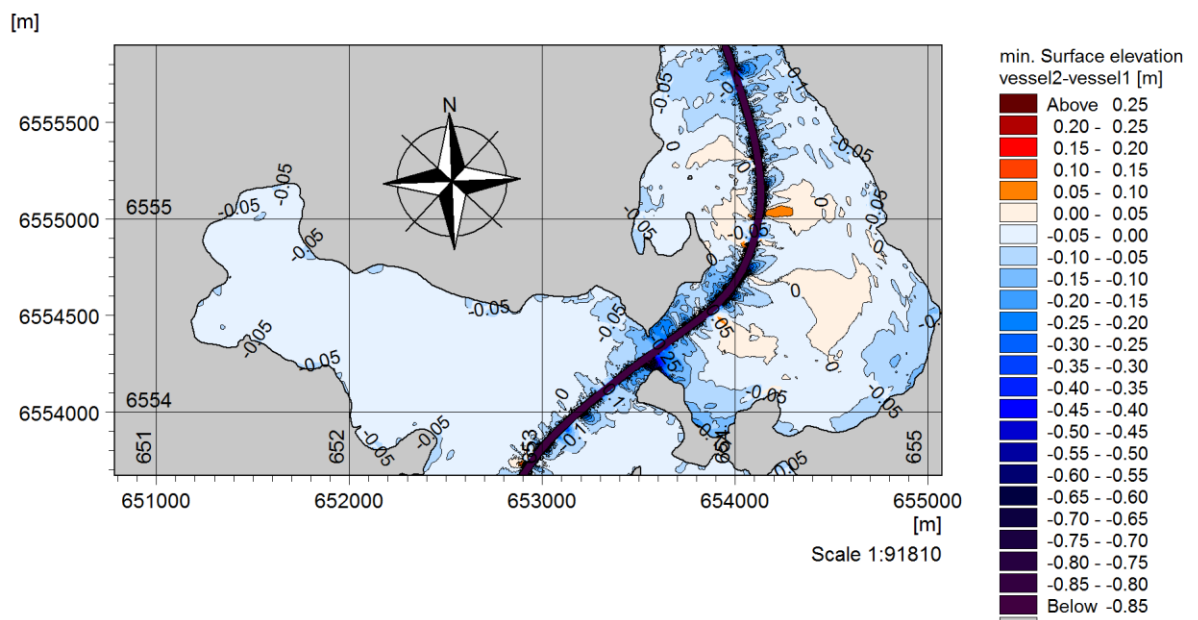
Skillnaden mellan två fartyg, som framförs med en hastighet av 7 knop, med avseende på maximal vattenståndsskillnad och strömstyrka mellan två fartygspassager (nutida och framtida) presenteras nedan (se TANKER1 och TANKER2 i Tabell 3-1).

I sundet, där farleden är som smalast, ökar den maximala nedsänkningseffekten med mellan 0.2 och 0.7 m. På övriga sträckor är effekten 0.15 m.

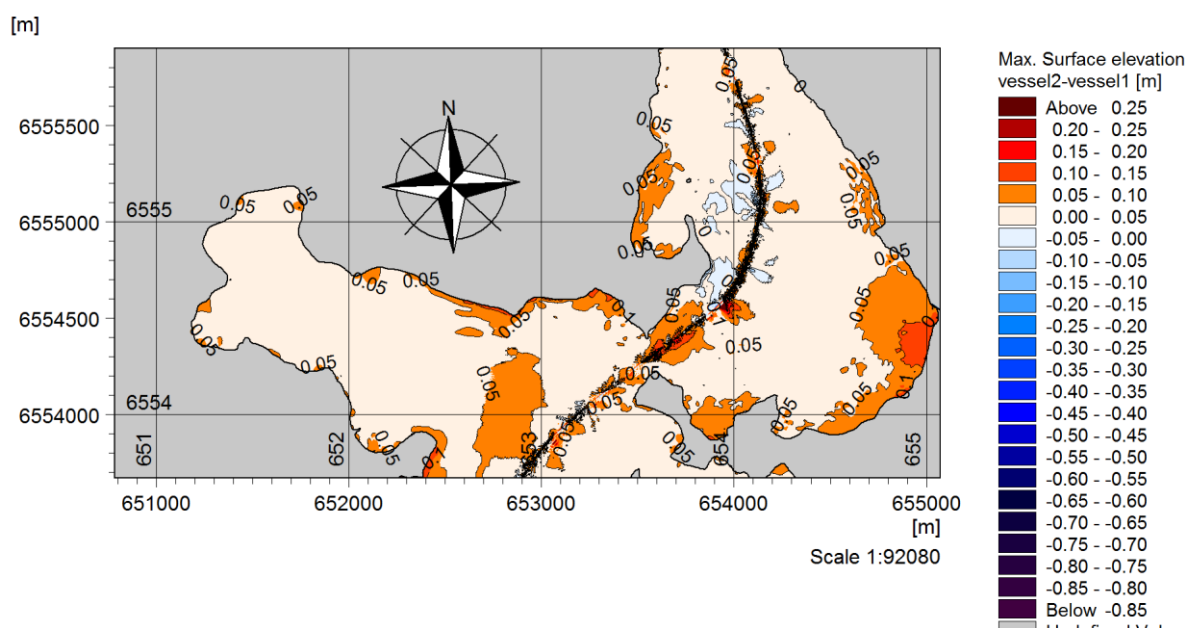
Den maximala vattenhöjningen blir inte större än 0.1 m i sundet, medan den i den östra delen kan bli 0.2 m.

Återigen, nu för strömhastigheten, i sundet vid den smalaste delen av farleden förekommer de största skillnaderna och uppgår till 0.8 m/s. I den östra bukten kan strömhastigheterna variera upp till 0.3 m/s, inga högre strömhastigheter förekommer längs övriga strandlinjen.

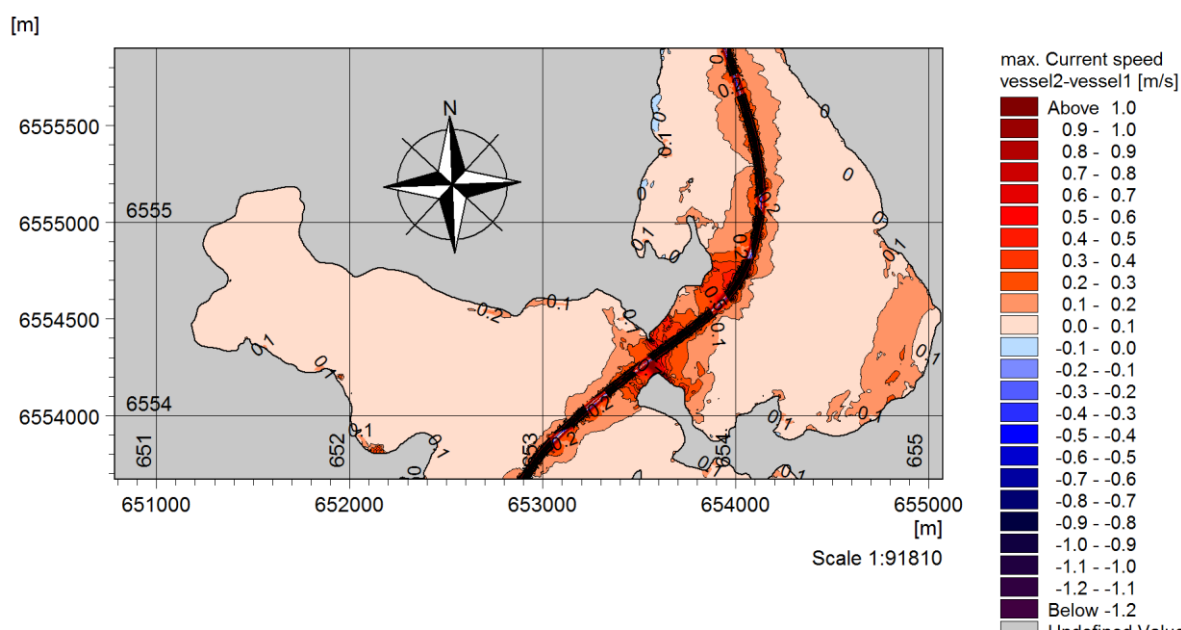
I sundet kan erosionseffekter inte uteslutas till följd av nedsänkningen av vattenytan och tillhörande strömhastigheter. Morfologiska förändringar kan förväntas ske där farleden är som smalast.



Figur 4-13 Skillnad i lägsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage genom Brandalsund (framtid - nutid).



Figur 4-14 Skillnad i högsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage genom Brandalsund (framtid - nutid).



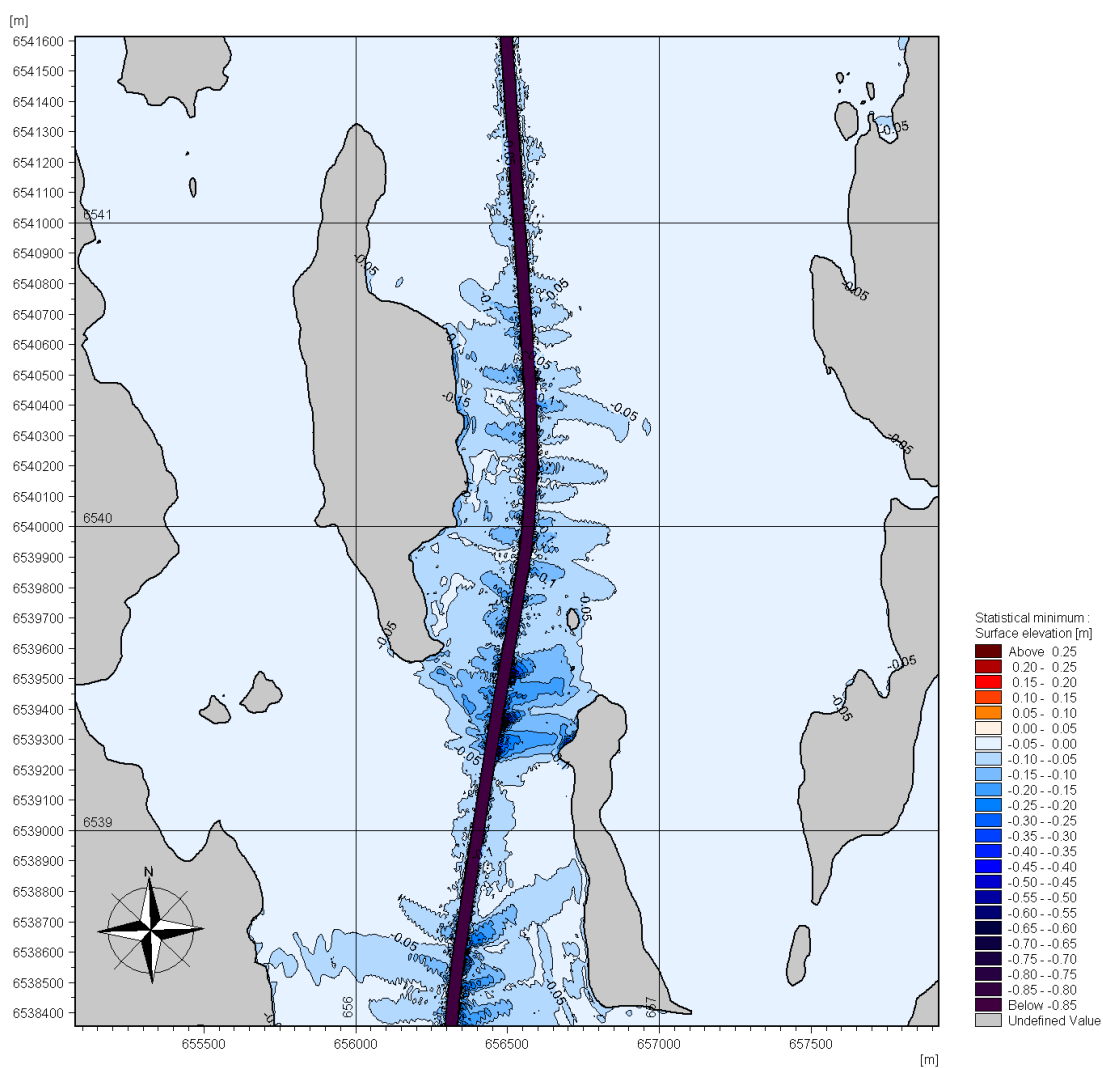
Figur 4-15 Skillnad i högsta möjliga strömhastighet, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage genom Brandalsund (framtid - nutid).

4.4.2 Oaxen-Regarn

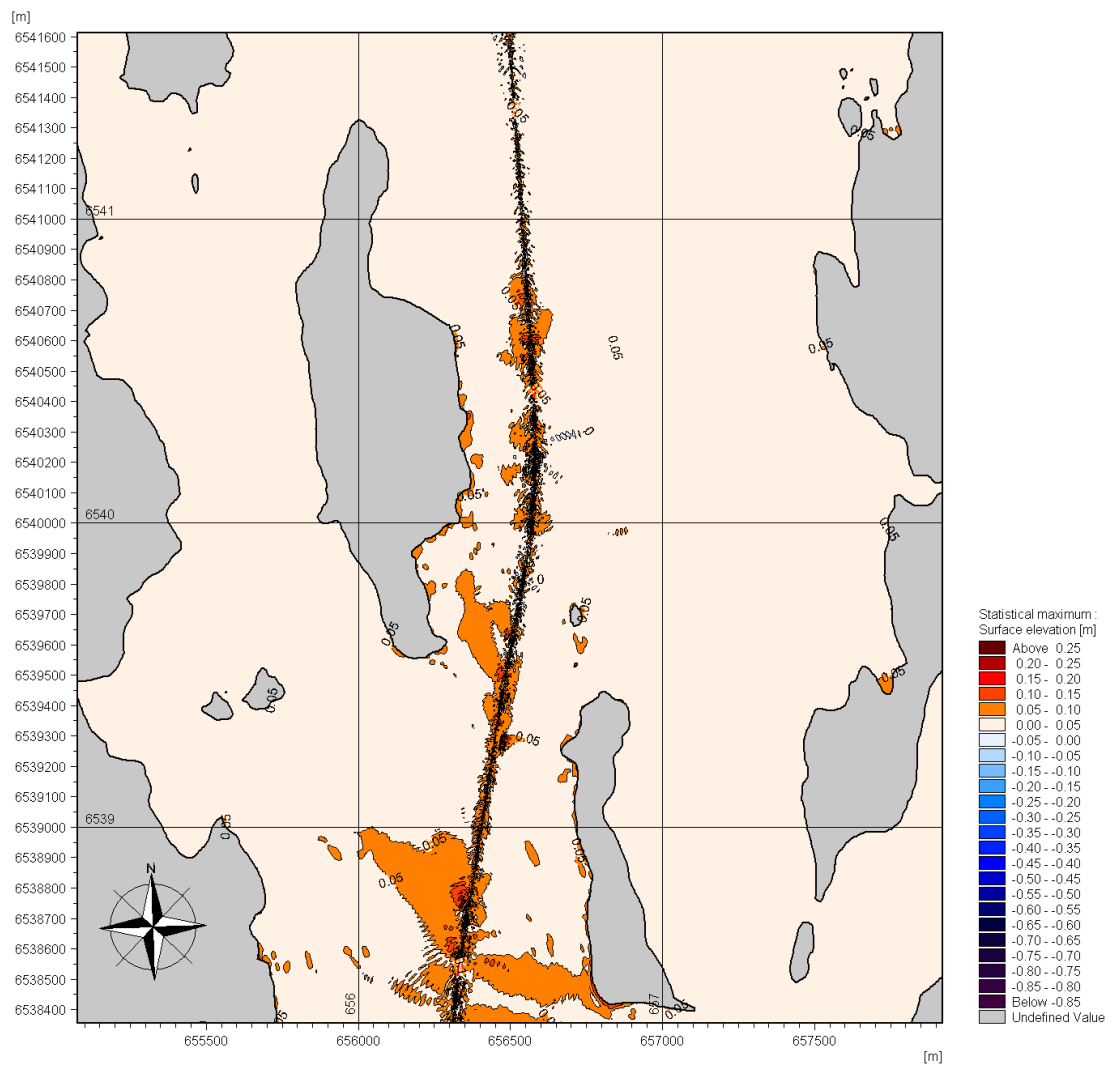
Skillnaden mellan två fartyg, som framförs med en hastighet av 9 knop, med avseende på maximal vattenståndsskillnad och strömstyrka mellan två fartygspassager (nutida och framtida) presenteras nedan (se TANKER1 och TANKER2 i Tabell 3-1).

Modelleringarna indikerar en ökad nedsänkningseffekt framförallt vid den nord-västra delen av Regarn och längs den östra delen av Oaxen.

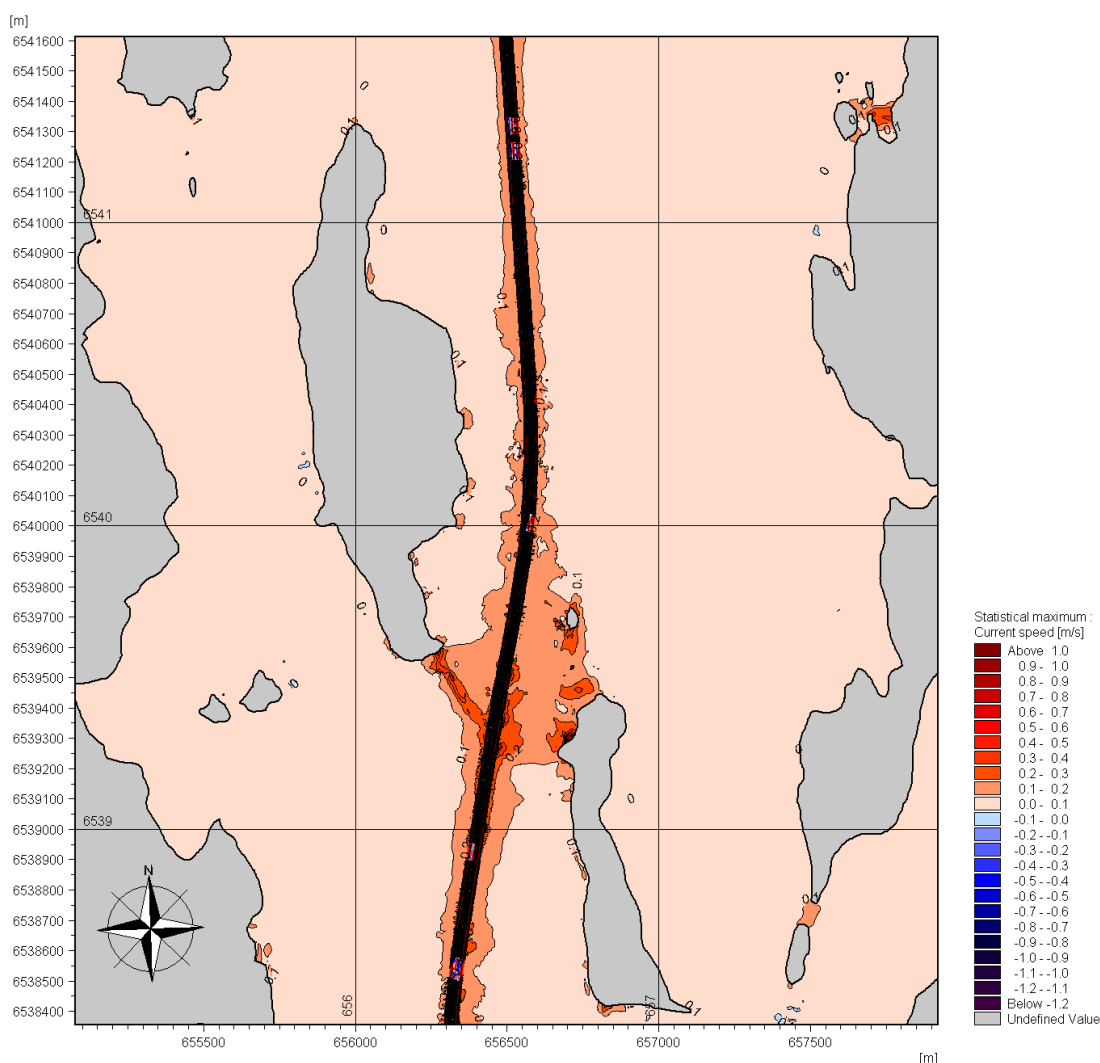
Morfologiska förändringar kan ske i den smalaste farledsdelen där avståndet mellan Oaxen och Regarn är som minst.



Figur 4-16 Skillnad i lägsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage mellan Oaxen och Regarn (framtid - nutid).



Figur 4-17 Skillnad i högsta möjliga vattenstånd, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage mellan Oaxen och Regarn (framtid - nutid).

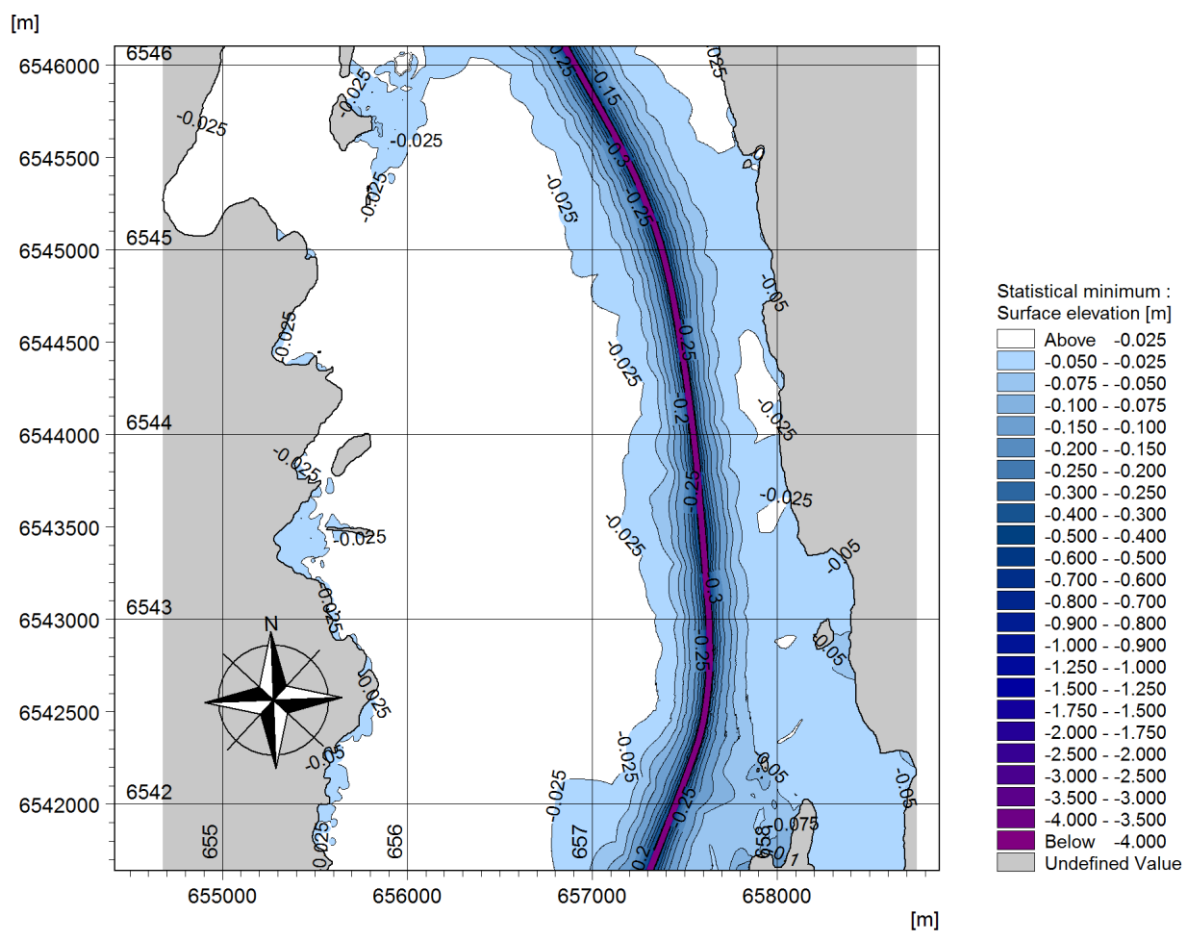


Figur 4-18 Skillnad i högsta möjliga strömshastighet, mellan ett nutida och ett framtida fartyg, vid passage mellan Oaxen och Regan (framtid - nutid).

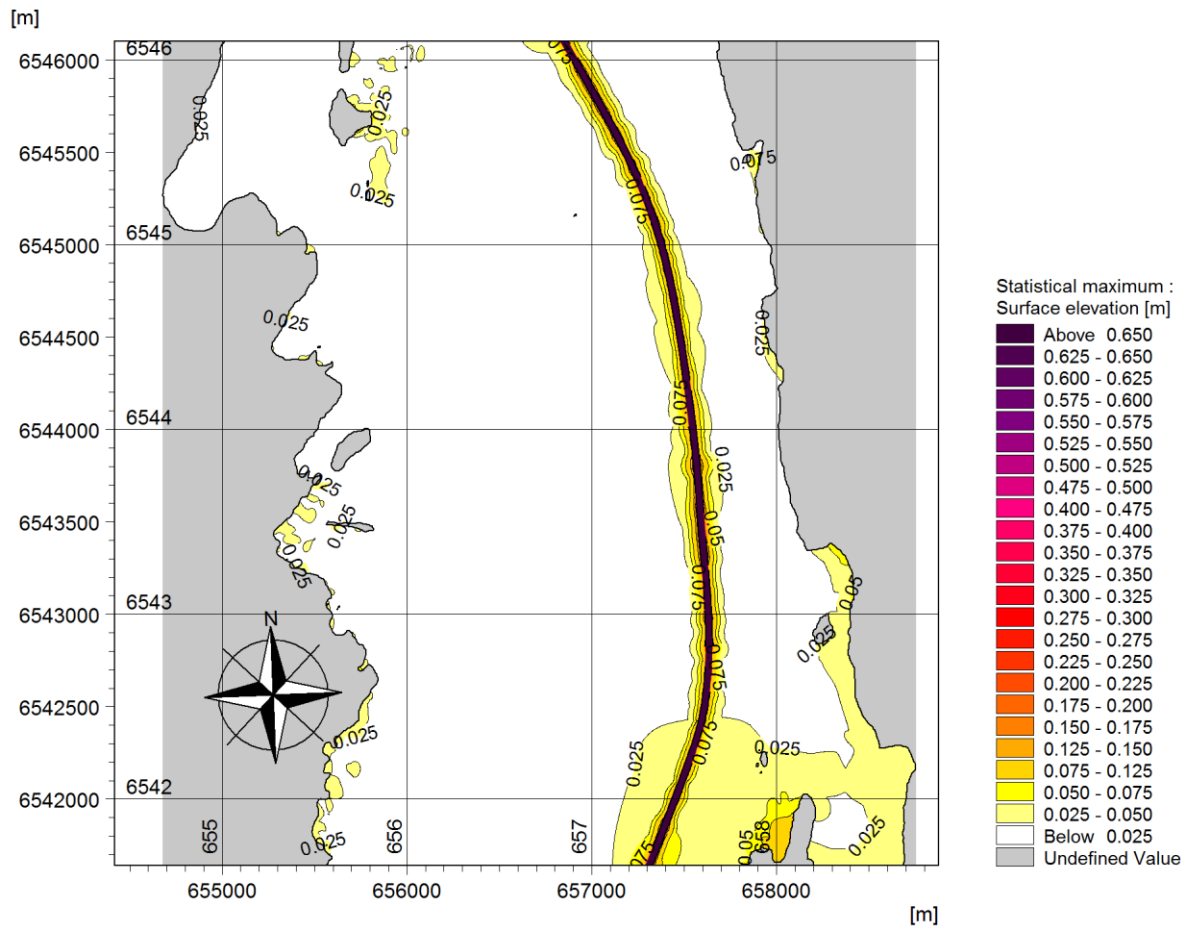
4.4.3 Himmerfjärden

Effekten av ett framtida fartyg (TANKER2 från Tabell 3-1) framfört i 12 knop, längs en ny föreslagen fartygsled, med avseende på maximal vattenståndsskillnad presenteras nedan. Avsänkningseffekterna är väldigt små och kommer inte att påverka strandlinjen på någon sida om fartyget. De små effekter som ändå ses i kanten av beräkningsdomänen är artificiella.

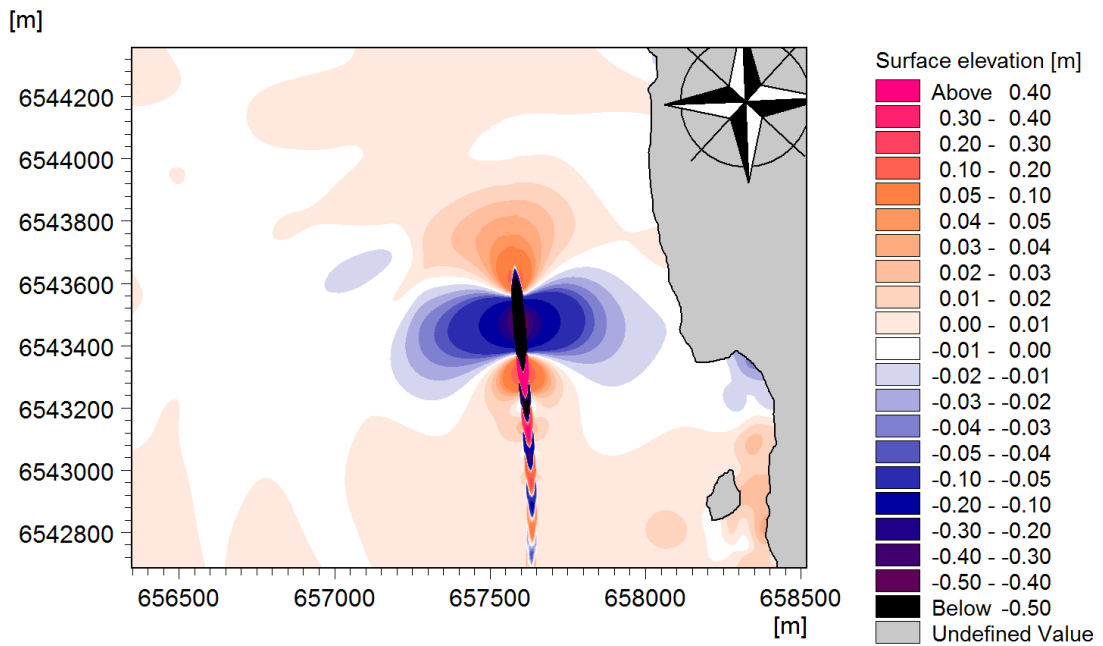
För att ytterligare illustrera hur avsänkningsvågen beter sig runt fartyget har en ögonblicksbild av vattenståndsvariationen runt skeppet tagits fram och visas nedan.



Figur 4-19 Lägsta möjliga vattenstånd, för ett framtida fartyg, vid passage längs Himmerfjärdens östra kust.



Figur 4-20 Högsta möjliga vattenstånd, för ett framtida fartyg, vid passage längs Himmerfjärdens östra kust.



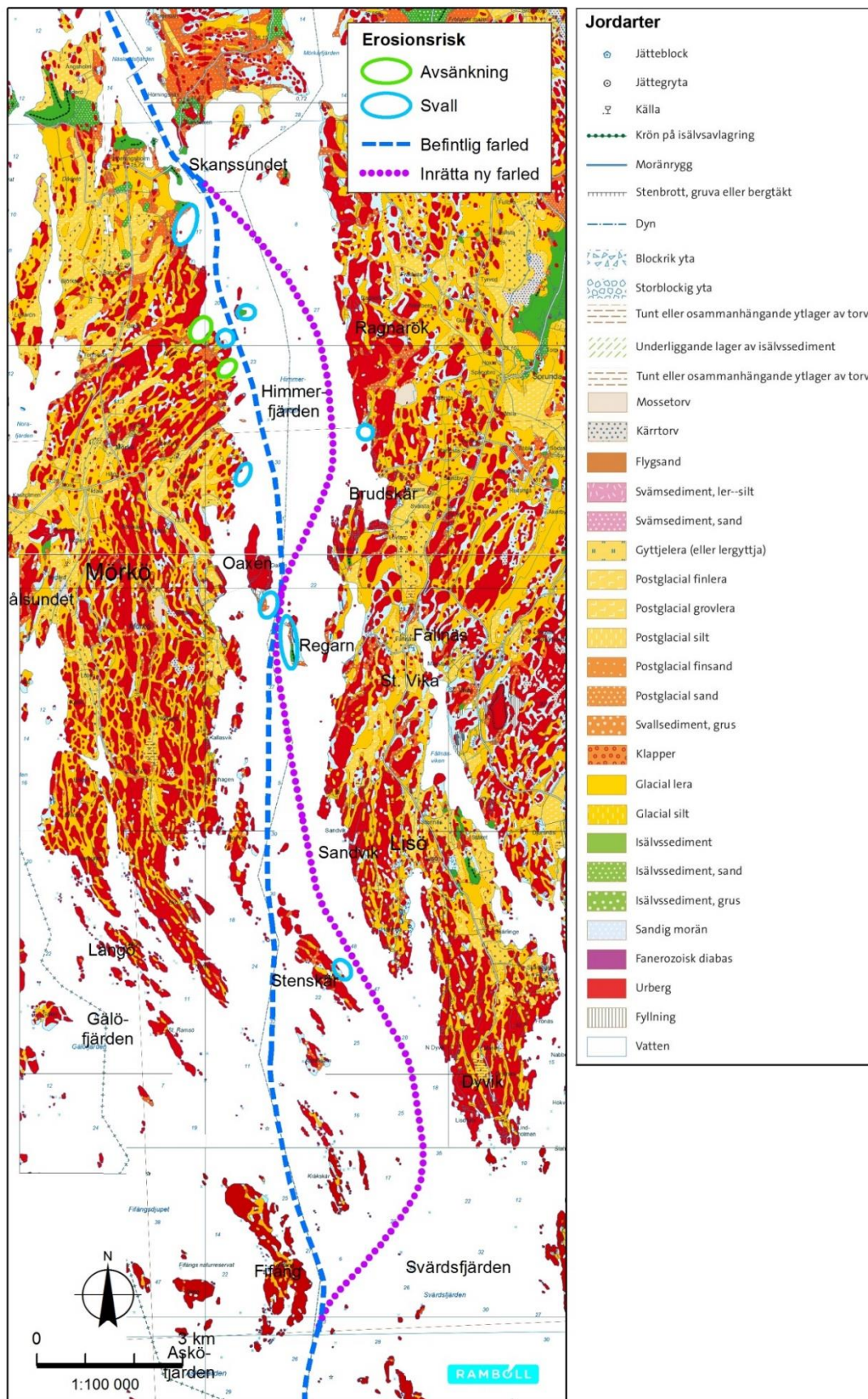
Figur 4-21 Ögonblicksbild av vattenståndsförändringen orsakad av nedsänkningen kring fartyget.

5. Diskussion

Nedan diskuteras den sammanvägda bedömningen av hur de olika delsträckorna påverkas av de naturliga förutsättningarna samt den tillkommande fartygstrafiken längs den föreslagna farledssträckningen.

5.1 Farledsavsnitten som omfattas av ny farled

De naturliga förutsättningarna i Himmerfjärden avseende jordarter och påverkan i form av vindvågor på stränderna avspeglas i dagens jordartskarta, se Figur 5-1 . Den framgår också av SGUs kartering av stränders eroderbarhet, som redovisas i bilaga A. Karteringarna visar att den västra sidan har fler områden med lätteroderade jordarter än den östra även om båda sidorna till stor del består av urberg. Den av vindvågor mer påverkade östra sidan består i dagsläget av svåreroderad sandig morän på de platser som inte är urberg, sannolikt ett tecken på att de mer lätteroderade fraktionerna redan har svallats bort genom naturliga processer. Längs den västra sidan återfinns de mest erosionskänsliga jordarterna, isälvsediment och postglacial finsand, söder om Skanssundet på Mörkösidan. Längs den östra stranden finns dock mindre områden med lera, sand och morän i mer skyddade vikar. På den södra delen finns ett par sådana områden vid t ex Dyviken och Kättholmarna. Längs Lisö finns mer lätteroderade sediment i vikarna vid Revudden, Falkudden och Bastholmen. Norr om Oaxen finns mindre områden med mer lätteroderade sediment vid Grimstaviken, Rangsta, Grönvik och Ragnarök. Längs den västra sidan återfinns de mest erosionskänsliga jordarterna, isälvsediment och postglacial finsand, söder om Skanssundet på Mörkösidan. Erosionskänsliga områden finns också längs Regarn och Oaxen.



Figur 5-1 Områden känsliga för svall och avsänkning längs befintlig farled samt nya farledsavsnitt

Svallvågor och nedsänkningseffekter har studerats för de nya farledsavsnitten. Generellt kan sägas att ett större avstånd till strandlinjen ger en mindre påverkan från fartygstrafik och är något som rekommenderas att man tar hänsyn till vid en farledsdragning enligt PIANC (/10/).

De två nya farledsavsnitten innebär att farleden kommer närmare den östra stranden samtidigt som fartygstrafiken nära den västra stranden minskar. De två nya farledsavsnitten är generellt inte så känsliga för avsänkingsvågor då vattenområdet är väldigt öppet. Längs den nuvarande farleden finns det ett par mindre inestängda vikar nära farleden som eventuellt påverkas av små avsänkningseffekter idag, de är markerade i Figur 5-1, dessa effekter kommer vid en ny farledssträckning att upphöra.

Svallvågor har möjlighet att påverka på ett längre avstånd från fartyget, se Figur 3-5 även om avklingningen går fort. En ostörd våg har enligt sambandet redan efter 500 m tappat 60 % av sin ursprungshöjd. Då den nya farledssträckningen ligger i ett naturligt djupt område kommer de svallvågor som genereras vid fartyget att vara i storleksordningen 0.5 m. Med ett avstånd till strandlinjen på mellan 500-1000 m kommer vågorna som träffar stranden vara 0.2 – 0.15 m höga, vilket är litet jämfört med de naturliga vindvågorna och bedöms därmed inte ge någon negativ effekt genom erosion.

För den nuvarande farledssträckningen är avståndet till strandlinjen betydligt kortare, på många ställen mindre än 300 m från stranden och i flera fall mindre än 200 m från stranden. Det är sannolikt att en flytt av dagens fartygstrafik från framförallt området nära Salsudd och Mölleviken kommer att innebära en minskad påverkan från fartygsvågor.

De nya farledsavsnitten blir bredare än befintlig farled, vilket innebär att fartyg kan mötas längs farledsavsnitten, se figur 9. När två fartyg möts innebär det att fartygen passerar något närmare farledsyttans gränser men det bedöms inte ge någon ytterligare påverkan längs de föreslagna avsnitten, då sådana möten sker sällan och avståndet till strandlinjen fortfarande är stort

Erosion från fartygspassager som passerar nära strandlinjen kan uppstå då det finns jordarter i strandlinjen som kan erodera. I de aktuella farledsavsnitten finns det framförallt urberg som inte påverkas av fartygsvågor. På några platser finns det markerat sandig morän, inte heller det en jordart som bedöms kunna påverkas av fartygspassager.

Erosion i strandkanten orsakad av isrörelser sker naturligt och kommer framför allt från vattenståndsvariationer, förflyttning av isen vid starka vindar eller perioder med stor utströmning i vattendrag. Vid dessa tillfällen kan isen dras loss från strandkanten och orsaka skador på den och fastväxt vegetation men också skrapas av när is skjuvas upp mot strandkanten.

Erosion från is orsakad av fartygsrörelser anses generellt vara mycket begränsad och endast ske i de fall då farleden ligger mycket nära land. Med tanke på att den nya farleden ligger på ett stort avstånd från land bedöms inte denna effekt ha någon betydelse. Det tryck som fartyget utgör på isen under sin framfart kommer att bryta isen närmast kölen om det är fast is och övrigt tryck fördelas ut i fastisen. Vid uppbruten is kommer svallvågen att passera i isen men dämpas fortare än i fritt vatten. Visst horisontellt tryck kan fortplantas i isen under tillfällen med svag is men det sker oregelbundet och är svårt att kvantifiera. Att isrelaterad erosion orsakad av fartyg skulle uppstå annat än där farleden går väldigt nära strandkanten bedöms inte troligt. Denna påverkan måste också relateras mot det naturliga referensförhållandet med årlig påverkan av isrörelser.

5.2 Landsort – Regarn



Figur 5-2 Områdesbild söder om Askö

Denna sträcka är utsatt för vindgenererade vågor och ett allmänt hårt klimat till följd av sitt oskyddade läge och skiljer sig markant från de inre delarna av farleden. Här kan det tidvis gå höga vågor och den naturliga variabiliteten är stor. Det finns längs denna sträcka passager som ligger nära farleden och kan nås av svallvågor, dock av begränsad amplitud.

Avsänkningseffekter bedöms inte kunna ge någon effekt i denna del av farledssträckan då det inte finns passager med starkt begränsande sektioner. Dessa effekter bedöms inte ge stor påverkan i denna del av farleden då systemet redan har en viss motståndskraft mot vågor och strömmar i betydligt större utsträckning än de mer skyddade delarna längre norr i farleden. Den nya farledssträckningen passerar på ett avstånd på 500 meter eller mer från stranden, vilket inte är tillräckligt nära land för att kunna påverka erosionen på stränderna. Enligt SGUs kartering över potentiella erosionsområden, bilaga A, finns det väldigt få områden som skulle kunna vara känsliga för erosion om de utsätts för tillräckligt stort påverkanstryck. På östsidan om Grönsö, där den nya farledssträckningen är som närmast land, finns två delområden utpekade med viss eroderbarhet. Då dessa områden består av sandig morän, som är svåreroderad av fartygsinducerat påverkanstryck vid detta avstånd, bedöms det inte bli påverkade av den nya farledssträckningen. De mindre områdena med mer lätteroderade sediment vid Dyviken, Kättholmarna, Hästnäs, Bastholmen och Västervik är så skyddade att de inte bedöms påverkas.

5.3 Regarn – Oaxen



Figur 5-3 Nordöstra delen av Oaxen.

Vid den nord-västra delen av Regarns och längs östra sidan av Oaxen kommer avsänkningseffekterna att öka vid ökad fartygsstorlek vid en jämförelse mellan två fartygsstorlekar i 9 knop. Detta kan leda till erosion i den smalaste passagen mellan de båda öarna. Effekten av dagens fartygspassager vid 12 knop har inte jämförts.

Svallvågorna har vid en fartygspassage på 9 knop en liten våghöjd som inte kommer att påverka strandlinjen i någon större utsträckning.

Den norra delen av Oaxen kommer utsättas för mindre svallvågor med den nya farledsdragningen medan den nordöstra delen av Regarn bedöms få en ökad påverkan. Då båda platserna består av mestadels urberg kommer det inte att få några konsekvenser för erosionen. där. De i bilaga A utpekade potentiellt eroderbara sträckorna norr om Regarn och väster om Oaxen bedöms inte få ett ökat påverkanstryck av den nya farledssträckningen.

Den potentiellt mest erosionskänsliga sträckan är södra och västra Regarn. Längs denna sträcka passerar fartyg redan idag men större fartyg kan innebära ett ökat erosionstryck på en erosionskänslig sträcka. Detaljerade svallvågsberäkningar har därför utförts för att bedöma påverkanstrycket.

5.4 Himmerfjärden – östra sidan



Här är den naturliga vågbildningen större jämfört med den västra sidan och bättre rustad för en ökning av svallvågor och nedsänkningseffekter.

Då den nya farledssträckningen ligger i ett naturligt djupt område kommer även svallvågorna som genereras från fartygen i denna del vara små, under 0.5 m. När svallvågorna når strandlinjen har de dämpas avsevärt och är mindre än 0.2 m.

Resultaten från avsänkingsmodelleringen pekar på att det inte blir några effekter av avsänkingsvågen längs strandlinjen på det avståndet som fartygen är tänkta att passera. Den största vattenståndsförändringen bortanför fartygsspåret är upp till 0,1 m och syns vid Grimstaviken och Granholmen (nederst i Figur 4-19 och Figur 4-20). Denna vattenståndsförändring torde inte ge upphov till märkbar erosion då påverkanstrycket är litet och området inte ligger i den högsta klassen för eroderbarhet.

De mindre områdena utpekade som potentiellt eroderbara vid Grimstaviken, Rangsta, Grönvik och Ragnarök bedöms vara så skyddade att risken för erosion är liten då det av fartygen tillförda påverkanstrycket är för litet för att ge upphov till erosion. Detta kommer att studeras mer ingående inför ett genomförande av åtgärder. Detsamma gäller stranden längs Granholmen, som ligger ca 300 meter från farledsspåret.

5.5 Himmerfjärden – västra sidan

Den naturliga vågbildningen är mindre längs den västra delen av Himmerfjärden jämfört med den östra sidan. Även östra delen av Axvika holmar har ett lugnare vågklimat än Himmerfjärden i stort. Här finns även en liten förekomst av isålvssediment. Bedömning är ändå att de nya fartygen som passerar i den planerade farleden längs den östra sidan om Axvika holmar kommer att passera på ett sådant djup att svallväggsgenereringen blir liten och avståndet tillräckligt stort för att vågen skall hinnas dämpas avsevärt innan den når stranden.

Den befintliga farleden är mindre motståndskraftig mot en ökning av svall och avsänkningseffekter. Erosionskänslig postglacial finsand finns i Himmerfjärdens nordvästra del, nära den nuvarande farledssträckningen Sannolikt skulle en ökad storlek på fartygen i den

befintliga farleden ge en påverkan i de grundaste områdena som ligger nära befintlig farled både i termer av svall och avsänkningseffekter

5.6 Skanssundet – Brandalsund

Denna farledssträcka karaktäriseras av liten naturlig vågbildning. Naturligt högre vågbildning förekommer dock i den norra änden strax öster om ingången till Brandalsund och denna sträcka är naturligt bättre rustad för större fartygspassager

Sammantaget ger svallvågsberäkningarna att det inte kommer att bli någon större svallvåg som genereras vid de hastigheter om 7 knop som fartygen framförs med här.

Längs den delen som är norr om Skanssundet kan effekter av avsänkningen sannolikt förväntas med härledning av de resultat som sågs i Brandalsund. Effekterna torde dock bli mindre i denna del, än norr om Brandalsund, då vattenytan är bredare.

5.7 Brandalsund – Södertälje



Denna farledssträcka karaktäriseras av små naturliga vågor som inte i sig leder till erosion. Förekomsten av högre svallvågor vid de större fartygspassagerna kommer att öka men de är fortfarande små till följd av fartygens hastighet och bedöms inte ge någon effekt på strandlinjen

Effekterna av avsänkningen kommer sannolikt att leda till erosion i de smalaste passagerna, främst då i Brandalsund, och till viss del i den östra bukten norr om Getryggen.

6. Slutsatser

Störst effekt av den ökade fartygsstorleken kommer att ges av svallvågor orsakade av fartyg med en hastighet av 12 knop där de passerar nära strandlinjen. Svallet bedöms inte vara en bidragande orsak till erosion då fartygen framförs i 9 knop. Vid de fartygssträckor då fartygen går i 12 knop och som är grunda, ligger nära farleden och har en erosionsbenägen kust kan svallvågorna ge en liten effekt.

Där vattendjupet och farledsbredden är liten kommer den nya fartygsstorleken ge störst påverkan i form av vattenytans nedsänkning (avsänkningseffekter) och kan ge upphov till erosion om botten är känslig. Detta är sannolikt fallet norr om Skanssundet och speciellt i de trånga passagerna som blir vid Fläsklösa och Brandalsund.

Det nya farledsavsnittet via Fifång-Regarn är naturligt djupt och farleden är placerad på ett tillräckligt avstånd från strandlinjen för att inte utgöra något ytterligare erosionstryck på kustlinjen som mestadels består av urberg.

Det nuvarande västra farledsavsnittet i Himmerfjärden ligger närmare strandlinjen och är betydligt mindre vindpåverkat än vad den östra föreslagna farledsstäckningen är och således mer känslig för ökad fartygstrafik. Längs den västra sidan av Himmerfjärden finns det dessutom fler platser med erosionskänsliga jordarter. Den föreslagna östra sträckningen har förutom en strandlinje på längre avstånd från farleden jordarter som är betydligt tåligare mot erosion med urberg längs stränderna.

Propellerströmmarna kommer att ge upphov till uppslamning av fina sediment med det farledsdjup och fartygsstorlek som använts. Då fartygen passerar relativt fort över botten kommer det inte att ge några permanenta morfologiska förändringar.

Sammantaget är det lägre strömhastigheter som kan förväntas naturligt vid en fördjupning av farleden men de större fartygen kommer ändå att ge upphov till strömhastigheter som kan orsaka erosion vid platserna där farleden fördjupas.

Inga effekter bedöms kunna påverka erosionstakten på de föreslagna dumpningsplatserna då de ligger förhållandevis djupt.

7. Referenser

- /1/ Kristensen, H.O. och Lützen, M.: *Prediction of resistance and propulsion power of ships*. Projekt 2010-56, Emissionsbeslutningsstøttesystem, WP 2, Report No. 4, Tech. Univ. Of Denmark och Univ. Of Southern Denmark, 51 pp., 2013.
- /2/ *Basic principles of ship propulsion*. MAN Diesel & Turbo, 43 pp.
- /3/ *Propulsion trends in bulk carriers*. MAN Diesel & Turbo, 23 pp.
- /4/ Kristensen, H.O.: *Determination of regression formulas for main dimensions of tankers and bulk carriers based on IHS Fairplay data*. Project 2010-56, Emissionsbeslutningsstøttesystem, WP 2, Report No. 2, Tech. Univ. Of Denmark och Univ. Of Southern Denmark, 35 pp., 2012.
- /5/ PIANC: *Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships*. PIANC report No. 180. 129 pp. plus appendices, 2015.
- /6/ Verhey, H.: *The Stability of Bottom and Banks Subjected to the Velocities in the Propeller Jet behind Ships*. Proc. 8th Int. Harbour Congress, Antwerp, Belgium, 11 pp., 1983.

- /7/ Kriebel, D.L. och Seeling, W.N.: *An empirical model for ship-generated waves*. I Proceedings of the Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis - WAVES 2005, 3-7 july 2005, Madrid, Spanien.
- /8/ DHI (2008). Vessel Interaction Study, Quarantine Flats Reach. Port of Brisbane, Stage 2. Final Report. DHI Water and Environment, October 2008. See also <http://www.dhigroup.com/News/2008/11/21/AdvancedNumericalModelingOfMooredVesselMotions.aspx>
- /9/ Mortensen, S B, C Alley, J Kirkegaard and R Hancock (2009): Numerical Modelling of Moored Vessel Motions caused by Passing Vessels. Ports and Coastal Conference 2009
- /10/ PIANC Considerations to reduce environmental impacts of vessels. PIANC report No 99. 105pp. 2008

BILAGA

A Stränders eroderbarhet

