

Landsortfarleden - Vågor

Bedömning av påverkan från förändrad fartygstrafik



Ramböll
Rapport

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



Landsortfarleden - Vågor

Bedömning av påverkan från förändrad fartygstrafik

Framtagen för Ramböll
Kontaktperson Terese Billberg



Projektleddare	Martin Johnsson
Kvalitetsansvarig	Hanna Corell
Handläggare	Martin Johnsson, Christin Eriksson
Komplettering	Lars Jonasson, Sofia Hjalmarsson (Komplettering godkänd 2019-11-29) Martin Johnsson (Genomgång 2024-10-21)

Projektnummer	12803195-1
Godkänd datum	2024-10-21
Version	1.1
Klassificering	Öppen

© DHI. All rights reserved. No parts of this document may be reproduced, transmitted or otherwise disseminated in any form or by any means outside the recipient's organisation without the prior written permission of DHI.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Sammanfattning	7
2	Bakgrund och syfte.....	9
3	Alternativ för tillståndsverksamheten.....	11
3.1	Nuläge	11
3.2	Planerad verksamhet	12
3.3	Nollalternativ	13
4	Förutsättningar för tillståndsverksamheten.....	14
4.1	Hastigheter.....	14
4.2	Fartygsprognos	15
4.3	Typfartyg	18
5	Metod	19
5.1	Uppskattning av svallvågor	20
5.2	Strömhastigheter vid botten och erosion	21
6	Generellt om vågor och svall.....	22
6.1	Vindvågor.....	22
6.2	Propellerströmmar.....	23
6.3	Svallvågor	24
6.4	Avsänkingsvågor.....	24
7	Resultat och diskussion	25
7.1	Vindvågor.....	25
7.2	Propellerströmmar.....	27
7.3	Generella resultat för svallvågor	27
7.4	Generella resultat för avsänkingsvågor	28
7.5	Landsort – Fifång	28
7.6	Fifång – Regarn	28
7.6.1	Nuläge	29
7.6.2	Nollalternativ	29
7.6.3	Planerat alternativ	29
7.7	Regarn – Oaxen.....	30
7.7.1	Nuläge	32
7.7.2	Nollalternativ	32
7.7.3	Planerat alternativ	32
7.8	Oaxen – Skanssundet.....	33
7.8.1	Nuläge	35
7.8.2	Nollalternativ	35
7.8.3	Planerat alternativ	35
7.9	Skanssundet – Södertälje	36
7.9.1	Nuläge	36
7.9.2	Nollalternativ	37
7.9.3	Planerat alternativ	38

8	Slutsats	44
9	Källförteckning	46

FIGURER

Figur 3.1-1.	Djupprofil längs planerad farledssträckning från Landsort Angöring till Halls Holme. Djupdata kommer från mätningar i nutid och djup över 11,7 m är därför ersatta med 11,7 p.g.a. planerad muddring.	9
Figur 3.1-2.	Djupprofil för nuvarande farledssträckning från Landsort Angöring till Halls Holme. Djupdata kommer från mätningar i nutid.	10
Figur 3.1-1.	Farledsdragning i Nuläget (2019)	11
Figur 3.2-1.	Planerad farledsdragning.....	12
Figur 4.1-1.	Fartbegränsningar i Landsortsfarleden i nuläget.	15
Figur 4.2-1.	Totala antalet fartygspassager, per år, i Landsortsfarleden i olika alternativ enligt framtagen fartygsprognos av Sjöfartsverket.	16
Figur 4.2-2.	Procentuell fördelning av fartygstyper i nuläget.....	17
Figur 4.2-3.	Procentuell fördelning av fartygstyper i nollalternativet	17
Figur 4.2-4.	Procentuell fördelning av fartygstyper i planerat alternativ.....	17
Figur 4.3-1	Beskrivning hur blockkoefficienten är definierad.	18
Figur 6.2-1.	Propellerström bakom ett fartyg. De övre och undre sträckande linjen anger gränsen för det inducerade strömfältet.	23
Figur 6.2-2.	Exempel på propellerströmmar nära botten bakom ett fartyg.	23
Figur 7.1-1.	Medelvärde av den modellerade signifikanta våghöjden (H_s) för år 2015. Farledsdragningen ses i röd (nuvarande) linje samt (planerat alternativ) blå streckad linje.	26
Figur 7.7-1	Oaxen-Regarn: Områden (röda ellipser) som bedöms kunna vara påverkade av avsänkning i de olika alternativen.	31
Figur 7.8-1.	Områden som bedöms få viss påverka av svall i området mellan Oaxen och Skansundet från fartyg i 12 knop. Nuläge rött farledsspår och planerat alternativ blått farledsspår.	34
Figur 7.9-1	Skansundet: Områden som bedöms kunna vara påverkade av avsänkingsvågor är markerade med röda ellipser. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.	39
Figur 7.9-2	Näslandsfjärden: Områden som bedöms kunna vara påverkade av svallvågor är markerade med röda rektanglar. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.	40
Figur 7.9-3	Brandalsund: Områden som bedöms kunna vara påverkade av avsänkingsvågor är markerade med röda ellipser. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.	41
Figur 7.9-4	Hallsfjärden vid Fläsklösa: Områden som bedöms kunna vara påverkade av avsänkingsvågor är markerade med röda ellipser. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.	42
Figur 7.9-5	Norra Hallsfjärden: Områden som bedöms kunna vara påverkade av svallvågor är markerade med röda rektanglar. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.	43

1 Sammanfattning

Rapporten har genomgått en översyn i oktober 2024 och bedöms fortfarande vara aktuell. De ursprungliga frågeställningarna kvarstår och inga förändringar har skett som gör att de bakomliggande modellerna som används bedömts behöva justeras.

Denna rapport presenterar en bedömning av fysisk påverkan på bottensediment och kustlinje från fartygsgenererade vågor och strömmar längs Landsortsfarleden. Två framtida scenarier (Nollalternativet och det Planerade alternativet) samt en nulägesituation har jämförts genom modelleringar och analyser av teoretiska samband. Nulägesituationen beskriver nuvarande sträckning av farleden med dagens (2019) restriktioner på ett djupgående under 9 meter. Det två framtidsscenarierna beskriver en prognostiserad framtida trafik där farleden delvis dragits om. I det Planerade alternativet har man genom muddring ökat restriktioner på djupgåendet till 10,5 meter vilket möjliggör att större fartyg kan trafikera leden.

Ett fartyg påverkar vattnet genom dess propellerströmmar, svall- och avsänkingsvågor. Dessa processer har modellerats eller bedömts separat för olika fartygstyper, fartygsklasser¹ samt hastigheter längs den nuvarande och planerade sträckning av farleden.

Längs den ca. 70 km långa farleden varierar det marina klimatet från utsjöförhållanden lägst i söder till successivt skyddade förhållande i norr. Påverkan på det marina klimatet från fartygstrafiken har satts i relation till det naturliga våg- och strömklimatet längs farleden

Avsänkning

För avsänkingsvågen kan det konstateras att påverkan sker för de större fartygsklasserna i de trånga sund och passager som finns i den inre delen av Landsortsfarleden (Skansundet, Brandalsund och Fläsklösa). Även vid Oaxen-Regarn genereras avsänkingsvågor som överstiger gränsvärdet för erosion. Störst avsänkingsvåg genereras av Klass 5 fartyg. Strömhastigheterna för dessa vågor överstiger med marginal det kritiska värdet på 0,2 m/s som antagits för erosion. För Klass 4 fartyg, som antas ge en moderat påverkan, har det Planerade alternativet 474 passager, Nollalternativet 516 passager och Nuläget 253 passager.

En aspekt att ta hänsyn till är att muddras i det Planerade alternativet. I genomsnitt ökas djupen med över 2 m jämfört med idag. Denna fördjupning av farleden minskar avsänkningseffekten från fartygen. Ett antagande har gjorts att strömhastigheterna som generas av avsänkingsvågen minskas med ca. 25 % för alla fartygsklasser. Jämför man de olika alternativen har detta framför allt betydelse för Klass 4 fartygen eftersom så pass många passager sker med dessa fartyg. Passagerna med Klass 4 fartyg i det Planerade alternativet har alltså en mindre påverkan än passager med samma fartyg i de övriga alternativen. Självklart minskas även påverkan från Klass 3 men då dessa fartyg endast har en marginell påverkan från början blir det mindre viktigt i jämförelsen. Samma gäller för Klass 5 fartyg men av anledningen att Nollalternativet inte har några passager och Nuläget endast har en passage.

Svallvågor

Att generalisera svallvågshöjden för en fartygsklass är svårt eftersom den specifika skrovformen och diverse bihang som bulb och slingerköl har en stor inverkan på vilka vågor som genereras. I denna rapport har en empirisk relation från en vetenskaplig publikation används för att uppskatta svallvågorna från de olika klasserna. Dimensionerna för de mindre klasserna är framtagna genom att skala ner de större fartygsklasserna. Denna metod får antas vara en grov uppskattning eftersom både den empiriska modellen och skalningen är förenad med stor

¹ I rapporten är fartygen uppdelade i olika Klasser (1 till 5) där fartygsstorlekarna ökar med ökad Klass.

osäkerhet. En generalisering krävs dock eftersom projektet inte inkluderat individuella skrovformer.

Resultaten visar att det Planerade alternativet blir mest fördelaktigt för sträckningen Landsort in till Skanssundet. Även om detta alternativ har de flesta passagera så blir påverkan mindre än för de andra alternativen. Detta på grund av att fördelningen av fartygstyper över klasserna medför att färre fartyg kommer ge en påverkan.

Från Skanssundet in till Södertälje (Halls holme) är det Nuläget som är det mest fördelaktiga alternativet då det har markant mindre antal passager av Klass 2–5 fartyg än de andra alternativen. Jämförs det Planerade alternativet med Nollalternativet är det Planerade alternativet mest fördelaktigt eftersom det har färre passager av samtliga Klasser. Totalt är det 632 mot 776 passager.

Propellerströmmar

Effekten av propellerströmmar från dagens och framtida fartyg och deras påverkan på bottenerosion har uppskattats utifrån gängse formler. I tidigare utredning av DHI (/1/) fastslås att påverkan är försumbar på djup större än 16 m. Det grundaste delarna av farledsträckningen innanför Skanssundet bedöms kunna bli påverkade av propellerströmmarna genom förgrumling av vattnet. Påverkan på bottensedimentet och grumling av vattnet är störst för fartygsklasserna 4 och 5 och minskar generellt med fartygsstorleken.

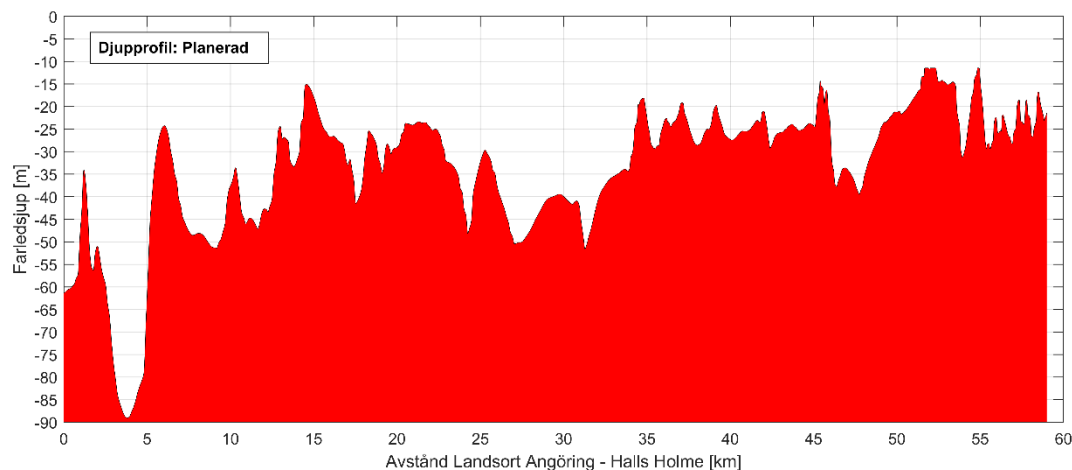
2 Bakgrund och syfte

Med Landsortsfarleden (farled 511) avses farleden från Landsort till Södertälje Hamn. Farleden är cirka 70 km lång och trafikeras idag av fartyg med det maximala djupgåendet 9 m, längden 200 m och bredden 32 m. Sjöfartsverket har konstaterat att farleden bör dimensioneras för fartygsstorlekar med ett maximalt djupgående om 10,5 m, bredden ca 32 m och längden ca 220 m.

Denna rapport utgör en utvärdering av de modellresultat som togs fram för tillåtligheten (/1/) men på grund av att förutsättningarna och alternativen till viss del har ändrats med tiden så har modellresultaten delvis behövt omtolkas.

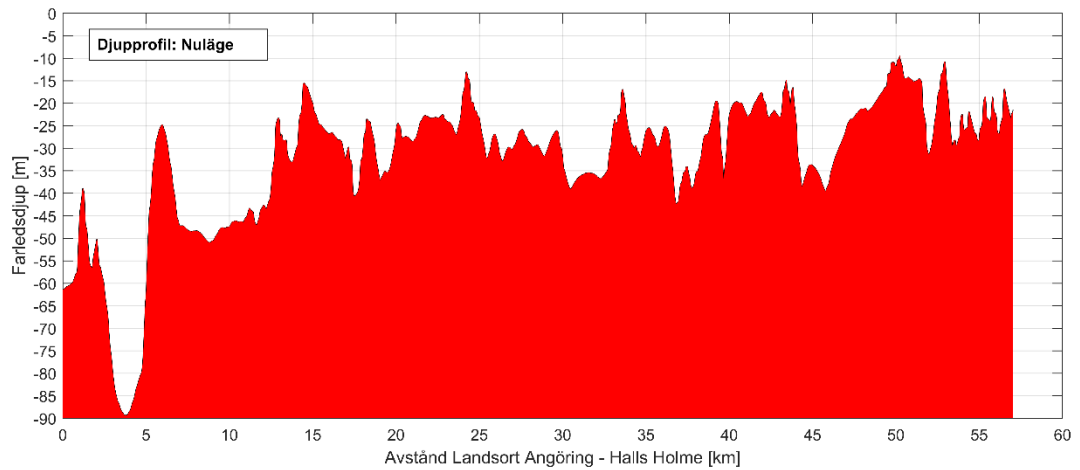
Syftet med denna rapport är att klargöra påverkan av farledstrafiken längs hela sträckan från Landsort till Södertälje. Påverkan utgörs av fartygens propellerströmmar, svall- och nedsänkingsvågor. Fartygsgenererade vågor för planerad, framtida verksamhet jämförs med vågor som förekommer i nuläget och sätts i relation med naturligt förekommande vindvågor i hela området (se kapitel 3.2). En jämförelse görs också mot ett nollalternativ, det vill säga ett framtida alternativ med inrättade fartygssträckor men med nuvarande begränsningar i fartygstrafiken (se kapitel 3.3) för att tydliggöra skillnaderna i påverkan.

I Figur 3.1-1 nedan visas djupprofilen från Landsort angöring till Halls Holme längs ett simulerat fartygsspår där det planerade- och nollalternativet är tänkt att gå. Djupet varierar från ca. 90 m till det minsta muddrade djup på 11,7 m i det Planerade alternativet (för de andra alternativen behålls nuvarande minsta djup strax under 10 m). Det är endast en liten sträcka (ca 3,8 %) som är grundare än -15 m. För djup grundare än 20 m är det ca 10,5 % av den totala sträckan.



Figur 3.1-1. Djupprofil längs planerad farledssträckning från Landsort Angöring till Halls Holme. Djupdata kommer från mätningar i nutid och djup över 11,7 m är därför ersatta med 11,7 p.g.a. planerad muddring.

I Figur 3.1-2 nedan visas djupprofilen för från Landsort angöring till Halls Holme, som den är idag, längs den nuvarande farleden. Djupet varierar från ca. 90 m till strax under 10 m. Det är endast en liten sträcka (ca. 4,4 %) som är grundare än 15 m. 13,4 % av sträckan är grundare än 20 m.



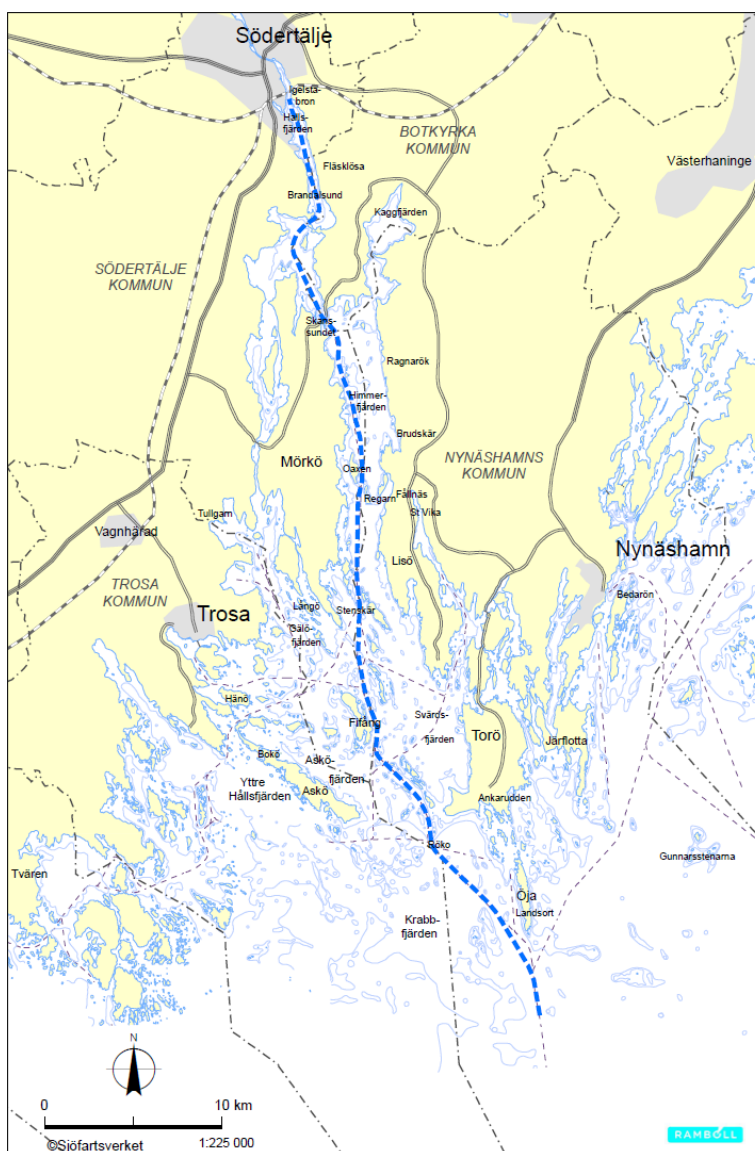
Figur 3.1-2. Djupprofil för nuvarande farledssträckning från Landsort Angöring till Halls Holme. Djupdata kommer från mätningar i nutid.

3 Alternativ för tillståndsverksamheten

Detta avsnitt beskriver Nuläge, Nollalternativ och Planerat alternativ för Landsortsfarleden.

3.1 Nuläge

Nuläget beskriver den fartygstrafik med ett djupgående på upp till 9 meter som förekommer idag (2019) och trafikerar den befintliga farleden (utan inrättande av ny farled) hela sträckan från Landsort till Södertälje (Figur 3.1-1). Detta innebär att ingen fartygstrafik trafikerar de planerade sträckorna mellan Fifång och Regarn samt mellan Oaxen och Skansundet.



Figur 3.1-1. Farledsdragning i Nuläget (2019)

3.2 Planerad verksamhet

Den planerade farleden är dimensionerad för en största fartygsstorlek med ett maximalt djupgående om 10,5 meter, längd 220 meter och bredd 32 meter. Farledens dragning, som skiljer sig från dagens, visas i Figur 3.2-1. Fartygsprognos beskrivs i Figur 4.2-1 till Figur 4.2-4.



Figur 3.2-1. Planerad farledsdragning

3.3 Nollalternativ

Nollalternativet ska beskriva förhållandena om ansökt verksamhet inte kommer till stånd och innebär en framtida situation (vid prognosåret 2040)² med bibehållande av nuvarande fartygsbegränsningar. Det innebär sannolikt att de två nya farledsavsnitten inrättas men att farleden som helhet inte kan ta emot fartyg med ett större djupgående än 9 meter. Farleden får hantera framtida transportvolym, men eftersom fartygsstorleken inte ökar kommer antalet fartygspassager att öka. En muddring om cirka 360 000 m³ kommer att behöva göras även i nollalternativet för att farleden ska klara fartyg med ett djupgående på 9 meter samt uppfylla säkerhetsrekommendationer enligt PIANC (/2/).

² Prognosåret är uppdaterat av Sjöfartsverket sedan MKB tillåtligheten skrevs. Marginella skillnader i prognosen gör att samma underlag och förutsättningar gäller

4 Förutsättningar för tillståndsverksamheten

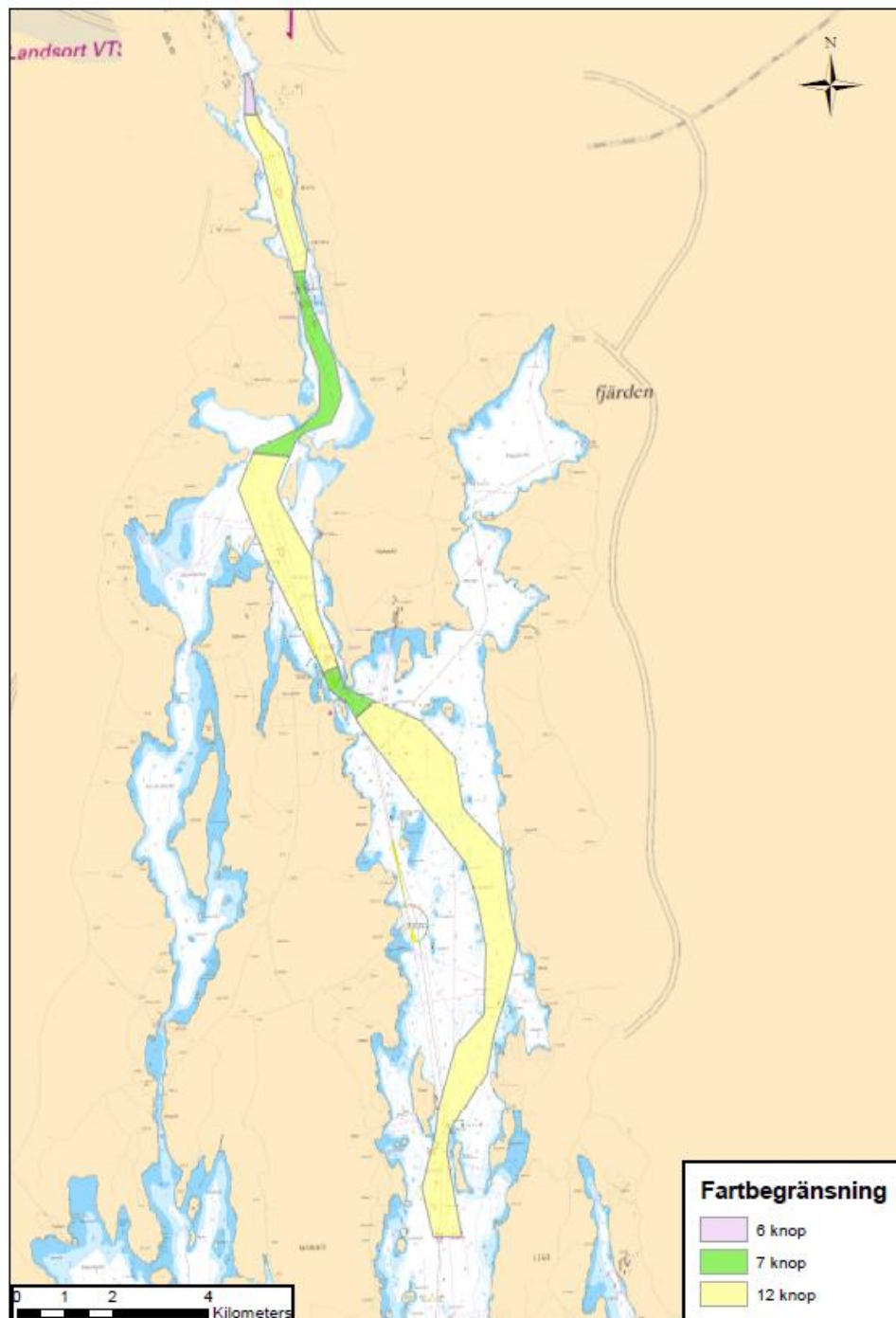
4.1 Hastigheter

Fartbegränsningar till sjöss beslutas och föreskrivs av Länsstyrelsen i samråd med Sjöfartsverket och Transportstyrelsen. Syftet med fartbegränsningarna är att minska olycksrisken samt även förhindra onödig miljöpåverkan. I Landsortsfarleden finns ett antal områden där fartbegränsning för sjötrafik gäller (se Figur 4.1-1).

Ett fartyg och dess befälhavare ska enligt sjölagen anpassa sin fart efter rådande förhållanden. De flesta handelsfartyg uppnår oftast inte farter över 15 knop. I trånga passager eller vid ogynnsamma vindförhållanden kan farten på fartyget vara en viktig aspekt för att upprätthålla kursstabilitet och styrförmåga.

Farleden är idag hastighetsbegränsad till 12 knop från söder om Regarn och norrut. Vid de smala passagera vid Skansundet, Brandalsund och Fläsklösa är hastigheten begränsad till 7 knop.

De hastigheter som antas gälla igenom Landsortsfarleden i bedömningarna är de som gäller idag. I Figur 4.1-1 nedan ses tilltänkt hastighetsbegränsning över den östra sträckningen av farledsytan i Himmerfjärden och i den nuvarande sträckningen från Skansundet till Södertälje. I områden söder om Oaxen och Regarn finns ingen hastighetsbegränsning, en hastighetsbegränsning på 9 knop förväntas komma till stånd och utgör därför en förutsättning i projektet.

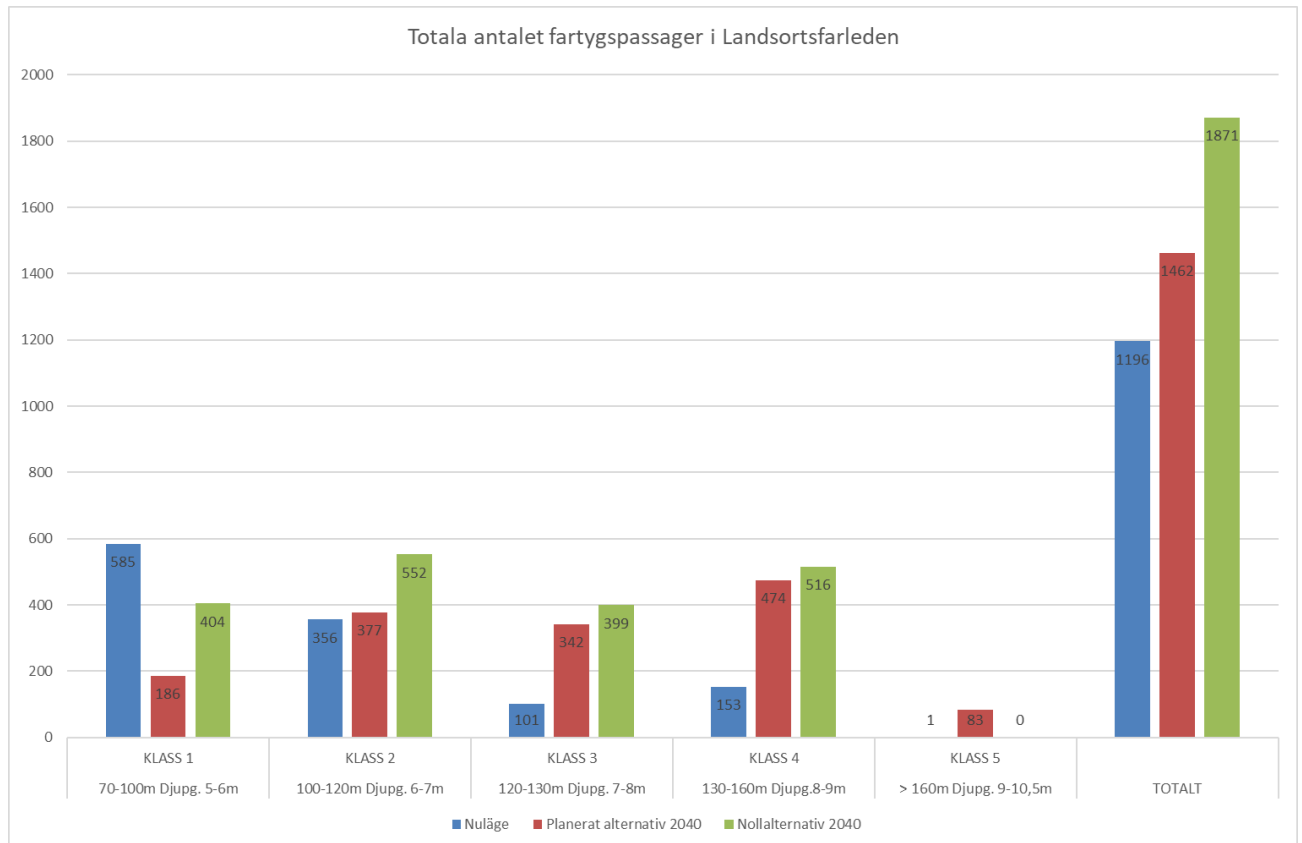


Figur 4.1-1. Fartbegränsningar i Landsortsfarleden i nuläget.

4.2 Fartygsprognos

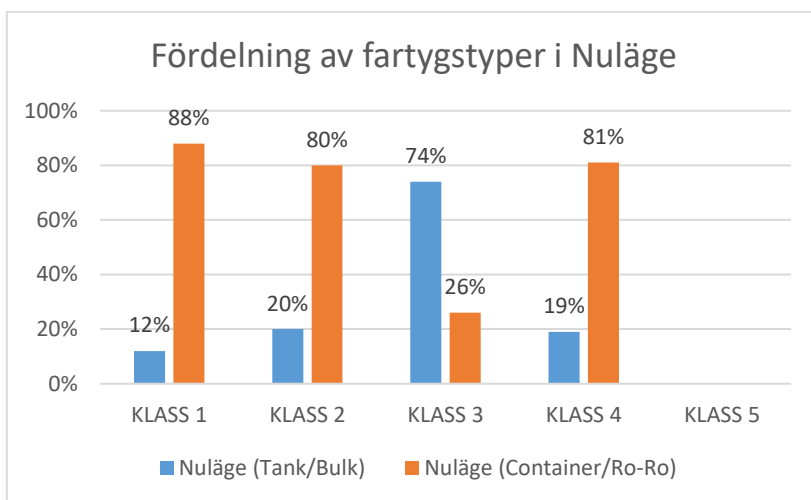
I projekt Landsortsfarleden har man sett ett behov av att kunna analysera och konsekvens bedöma den eventuella påverkan en framtida fartygstrafik kan ha på omkringliggande stränder och farledsavsnitt i form av avsänkning och vågpåverkan. Sjöfartsverket har därför tagit fram en fartygsprognos som ska användas som stöd vid dessa bedömningar.

Prognosen redovisar de tre olika alternativ som finns. Nuläge, Nollalternativ samt Planerat alternativ. Prognosen i denna rapport är uppdelad efter att redovisa påverkan av fartygsgenererade vågor på omgivningen från de olika fartygsklasserna (1–5). Uppdelning består av en sammanslagning av fartygens längd och djupgående där kombinationen är en faktor som påverkar i huvudsak avsänkningen av vattenmassan, då främst i trånga passager. Det ska dock tilläggas att kombinationen av längd och djupgående kan skilja sig mycket beroende på vilken fartygstyp som tillämpas (se avsnitt Typfartyg).

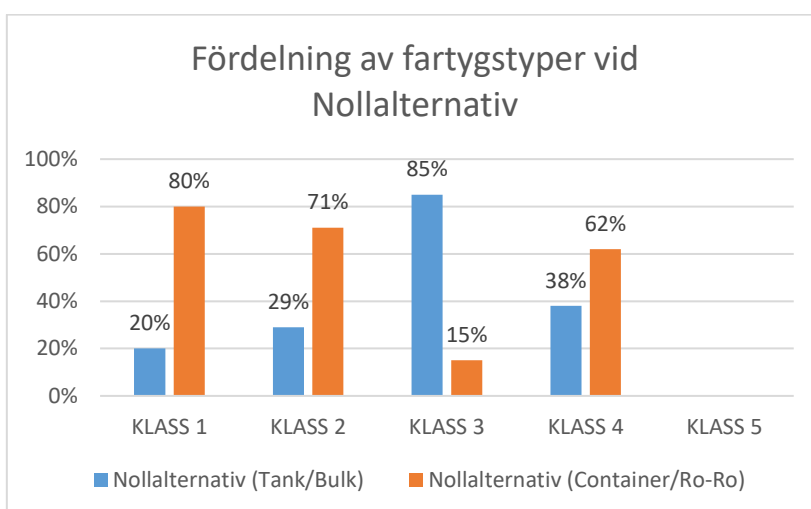


Figur 4.2-1. Totala antalet fartygspassager, per år, i Landsortsfarleden i olika alternativ enligt framtagen fartygsprognos av Sjöfartsverket.

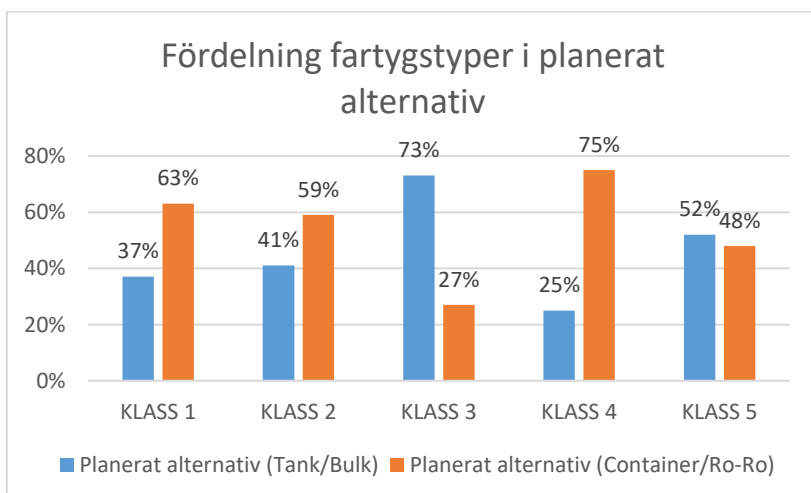
Sjöfartsverket har även genomfört en analys av vilken fartygstyp enligt indelningen ovan som trafikerade farleden under år 2017 samt även prognosticerat för framtida trafikbild (prognosår 2040). Analysen är baserad på den verkliga samt prognosticerade godsmängden kopplad till vilken fartygstyp denna fraktas med. I Figur 4.2-2 till Figur 4.2-4 redovisas fördelningen av de olika fartygstyperna i respektive klass procentuellt för nuläget, Nuläget, Nollalternativet samt det Planerade alternativet. Generellt sett är det inte så stor skillnad på Nuläget och Nollalternativet medan i det Planerade alternativet ökas andelen tank- och bulkfartyg.



Figur 4.2-2. Procentuell fördelning av fartygstyper i nuläget



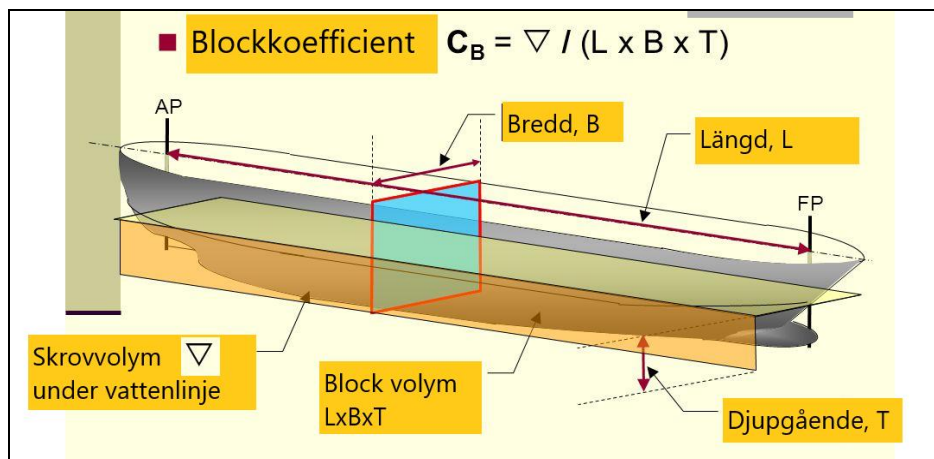
Figur 4.2-3. Procentuell fördelning av fartygstyper i nollalternativet



Figur 4.2-4. Procentuell fördelning av fartygstyper i planerat alternativ.

4.3 Typfartyg

Hur ett fartyg påverkar sin omgivning i form av avsänkning och svallvågor kan i vissa fall mellan olika fartygstyper. Risken för påverkan beror dels på skrovets utformning samt även dess volym. Det är inte alltid säkert att ett större fartyg ger mer påverkan än ett mindre. En viktig faktor är vilken blockkoefficient som fartygskroppen har (se Figur 4.3-1). Blockkoefficienten är ett specifikt mått för varje fartyg som beskriver hur stor volym fartyget tränger undan. Denna faktor påverkar främst hur stor avsänkning fartyget genererar, då en stor blockkoefficient bidrar till en större flytt av vattenmassan och tillika en större effekt då vatten åter ska fyllas på i det tomrum som bildats runt skrovet.



Figur 4.3-1 Beskrivning hur blockkoefficienten är definierad.

Generellt kan sägas att olika fartygstyper har olika blockkoefficienter. Container samt Ro-Ro fartyg har ofta en slankare undervattensropp och därmed en mindre blockkoefficient. Tank- och bulkfartyg är ofta byggda för att lasta sin undervattensropp och har därmed en högre blockkoefficient. Detta innebär även att den senare nämnda fartygstypen också kräver ett större djupgående i förhållande till sin längd.

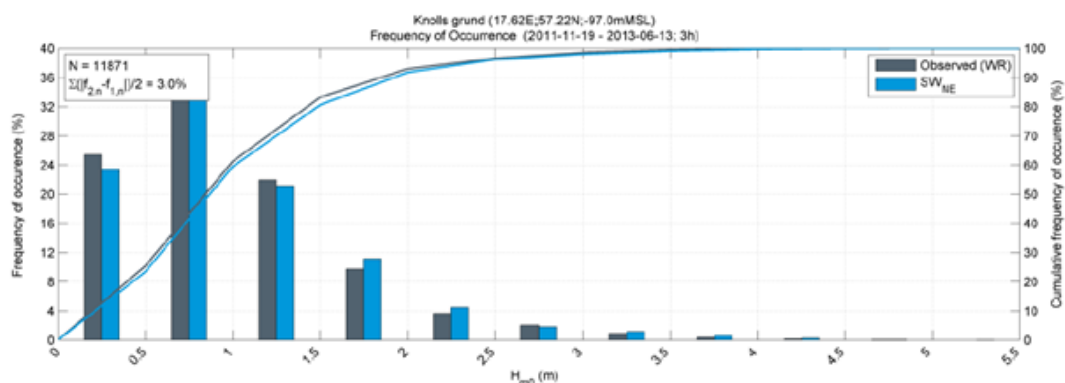
5 Metod

För att beskriva vågbilden från framtida fartyg har såväl svallvågor som avsänkingsvågor beräknats. I utredningen för tillåtligheten (/1/) antogs ett större farledsdjup samt större framtida fartyg än vad som är aktuellt i föreliggande planerad verksamhet i tillståndsprövningen för vattenverksamhet. Det har dock bedömts att det förändrade farledsdjupet och de framtida fartygsstorlekarna är likvärdiga de som användes i tillåtlighetsutredningen. Då användes ett Klass 5 och ett Klass 4 tankfartyg samt ett Klass 5 containerfartyg. Antagandet styrks av att den viktigaste parametern för avsänkingsvågen, som framförallt är den som ger en effekt vid ökade fartygsstorlekar, är den relativa skillnaden mellan fartygets tvärsnittsarea och sundets tvärsnittsarea. Då både farledsdjupet och fartygsstorleken ändrats i nuvarande förslag bedömer vi att effekten blir likvärdig de tidigare resultaten. Metoden för hur svallvågor kommer att bedömas för olika fartyg och hastigheter beskrivs närmare i kapitel 5.1.

Enligt den nya fartygsprognosen (se kapitel 4.2) klassas de fartyg som tidigare bedömts i (/1/) som Klass 4 och Klass 5, där fartygsinducerade vågor och propellerströmmar modellerades.

I de bedömningar av erosion som gjorts tidigare med modellerade resultat som grund har följande undersökts i delområden längs farleden (/1/):

- Vindvågor:** Högupplöst modellering (med modellverktyget MIKE21 SW) av hela Landsortsområdet har gjorts för hela år 2015. Modelleringen utgår ifrån mycket detaljerade djupdata från sjömätningar (Sjöfartsverket). Utifrån modellerade data har bl.a. medelvärdet över året räknats ut för den signifikanta våghöjden (se beskrivning kap 6.1). Årsmedelvärdet av den signifikanta våghöjdens värde jämförs med de svallvågorna som bildas av fartyg. Modellen är inte kalibrerad mot några mätdata då sådan inte funnits till hands i området. Den är dock uppställd med grundläggande parametrar som erfarenhetsmässigt ger värden som återger de rådande förhållandena. Modellen drivs av uppmätt vind från Landsort och Brandalsund för år 2015 och körs med i tiden varierande vattenstånd. Ett exempel på validering av modellberäknade vågor mot vågmätningar på Knolls grund (SMHI boj) för en regional MIKE21 SW modell för signifikant våghöjd (H_{m0}) finns visat. Här visas en figur som ingår i en valideringsanalys. Det totala antalet vågor och dess signifikanta våghöjder jämförs mellan modell och mätdata. Kontentan av analysen är att modelldata och mätningar över tid korrelerar bra med varandra.



- Propellerströmmar:** Teoretiska beräkningar har tagits fram för tre olika fartyg för propeller inducerade strömmar under gång (/3/). Ett minsta farledsdjup på 10,5 m har använts för ett Klass 4 fartyg och minsta djupet 12,65 m för två olika typer av Klass 5 fartyg. Den antagna hastigheten var för alla fartyg 7 knop vilket är den fart som gäller i de aktuella områdena.

- **Fartygsinducerade vågor – svallvågor:** Platsspecifika modelleringar längs sträckorna Regarn-Oaxen, Skansundet och Brandalsund utfördes med verktyget MIKE21 SW för att undersöka om låg hastighet och grunda djup kunde ge svallpåverkan. De initiala våghöjderna är beräknade från empiriska vedertagna formler (/4/). Vid Regarn-Oaxen har ett minsta djup på 15 m använts då det är det grundaste i området. Ett Klass 4 fartyg har modellerats i både 9 och 12 knop samt ett Klass 5 fartyg i 9 knop, för både ingående och utgående riktningar. Vid Skansundet och Brandalsund har ett Klass 5 fartyg modellerats på ett minsta djup på 12,65 m och en hastighet på 7 knop, för både ingående och utgående riktningar.

Effekten av svallvågsgenerering från fartyg samt dess erosion på strandkanten har beräknats för framtida fartygspassager genom teoretiska samband. Kompletterande detaljerade svallvågsmoelleringar har utförts i de trängsta passagerna för att beskriva den maximala påverkan som fås vid en fartygspassage. Storleken på den svallvåg som genereras för ett bestämt fartyg bestäms av hastigheten det framförs i och över vilket djup det färdas. Det genereras därför störst svallvågor över grunda partier där fartygen håller hög hastighet. De svallvågor som genereras kommer dock att avta på sin väg från fartyget och efter ca 300 m från fartyget har våghöjden halverats.

- **Fartygsinducerade vågor – avsänkning:** Effekter av avsänkning har modellerats i de trånga passagerna samt längs den nya tänkta farledssträckningen i Himmerfjärden där farleden passerar som närmast land. De största effekterna av avsänkningen kommer att ses i de grundaste områdena och kan vid platser med smala passager ge upphov till erosion om botten är känslig.

Platsspecifika modelleringar har gjorts längs sträckorna Regarn-Oaxen, Himmerfjärdens östra del samt Brandalsund. Denna modellering utförs i modelleringsverktyget MIKE21 HD simulerar tryckfältet runt ett fartygsskrov som rör sig genom ett tredimensionellt område i havet och tränger undan vattnet (/2/).

Vid Regarn-Oaxen har det modellerats ett Klass 4 fartyg i både 9 och 12 knop samt ett Klass 5 fartyg i 9 knop med variabelt djup där minsta djupet är ca. 15 m.

Vid Himmerfjärdens östra del har det modellerats ett Klass 5 fartyg i 12 knop. Denna sträcka är öppen och har djup som sällan är grundare än 30 m.

Vid Brandalsund har det modellerats ett Klass 4 och ett Klass 5 fartyg i 7 knop med minsta djup på 10,5 och 12,65 m.

5.1 Uppskattning av svallvågor

En metod för att möjliggöra uppskattningen av svallvågshöjd utanför de områden som modellerats i detalj har tagits fram för att möjliggöra en kategorisering av effekterna av de olika fartygstyperna och klasserna. Utgångspunkten har varit de fartygstyper som har använts i modelleringsrapporten (/1//1/).

Dessa fartyg tillhör Klass 4 och 5 samt typen Tanker- och Container som beskrivet ovan. För att bedöma svallvågorna för de mindre klasserna 1–3, som förekommer i större frekvens och därmed kan orsaka mer erosion, har de större fartygens längddimensioner skalats ned för att representera de mindre fartygen.

Från empiriska formler (/4/) har svallvågshöjd för dessa fartyg tagits fram för olika hastigheter och farledsdjup. En förenklad relation som beskriver hur svallvågen avklingar har sedan använts för att uppskatta vågens höjd, vid ett bestämt avstånd från farleden, vid strandkanten.

Metoden har vissa osäkerheter och bedöms som konservativ. Vid nedskalning av de större fartygen till mindre används samma linjära förhållande för fartygens alla längddimensioner. Detta är inte helt korrekt men bedöms hållas inom rimliga gränser då det inte är möjligt att representera alla individuella fartygsproportioner i denna studie.

Den avklingning av svallvågshöjden som använts refererar till en relation som inte tar hänsyn till uppgrundning då vågen kan bryta och eller ändra sin riktning mot stranden. Relationen är också gjord för en viss specifik våg genererad av en fartygshastighet.

Uppskattningen av vågorna görs i GIS. Sjökort studeras med fartygsspår från simuleringar av Sjöfartsverket. I områden där fartyg kommer nära land (inom ca. 500 m) uppskattas djupet i farleden och avståndet till land och gällande fartbegränsning. Från denna information kan höjden på svallvågen som fartyget drar upp uppskattas, samt hur mycket den kan ha reducerats när den nått stranden.

De fartygsklasser och typer som kan bidra till att generera svallvågor som är lika höga eller högre än de naturliga vindvågorna (representerade som årsmedelvärdet för den signifikanta våghöjden) kommer att rapporteras, samt även antalet passager per år. Information om antal fartygspassager för varje alternativ, och hur dessa fördelas över klasser och typer, tas från Kapitel 4.2.

5.2 Strömhastigheter vid botten och erosion

Strömmar längs havsbotten genererar bottenskjuvspänningar på grund av friktionen mellan vattnet och sedimentet. Vid ett kritiskt värde på bottenskjuvspänningen börjar bottensedimentet erodera, det vill säga flyttas med strömmarna. Detta kritiska värde på skjuvspänningen är beroende av flera egenskaper hos sedimentet som ofta inte är kända eller går att ta hänsyn till i en modellering av detta slag. Faktorer som kornstorlek, graden av konsolidering och hur pass homogent materialet är spelar in. I vetenskapliga studier används därför ofta ett intervall för den kritiska bottenskjuvspänningen som täcker in flera olika typer av sediment. Men även dessa intervall skiljer sig mellan olika studier; tex 0,05–0,2 N/m² (/6/), 0,05–0,19 N/m² (/7/), 0,1–0,3 N/m² (/8/) och 0,1–0,5 N/m² (/9/).

Den kritiska bottenskjuvspänningen kan översättas till strömhastigheter genom följande relation:

$$\tau = \rho C_D U^2$$

Här är ρ vattnets densitet ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$), C_D är friktionskoefficienten ($\approx 0,003$) och U är strömhastigheten i bottenlagret. Om man antar en kritisk bottenskjuvspänningen τ för erosion i den nedre delen av intervallen, säg ca 0,1 N/m², så blir den kritiska strömhastigheten för erosion vid botten ca 0,2 m/s. Detta värde på bottenhastigheten har använts i analyserna som ett gränsvärde för bottenerosion vid propellerströmmar och avsänkingsvågor.

6 Generellt om vågor och svall

6.1 Vindvågor

När vinden blåser över vattenytan sker det två saker på grund av friktionen mellan vattenytan och luftmassan. Det överförs energi till vattnet i ytan som gör att 1) vågor kan bildas och 2) att en ström av ytvatten kan sättas igång. Utvecklingen av vågorna och ytströmmen sker till viss del oberoende av varandra. Förändringar i ytströmmar kan ha viss påverkan på vågornas form och period.

I själva vågrörelsen transporteras det endast energi och ingen massförflyttning sker. I praktiken sker det således en mycket liten transport av vatten i vågornas riktning på grund av vågrörelsens egenskaper.

Däremot rör sig vattenpartiklarna både vertikalt upp och ner samt horisontellt fram och tillbaka i en orbitalrörelse när vågen passerar. Vågornas orbitaler, både hastighet och storlek, minskar med djupet. En tumregel är att där djupet är större än halva våglängden har vågornas orbitalrörelser blivit mycket små. Detta medför att bottenmaterial, som virvlas upp av orbitalrörelsen på sådana djup, oftast håller sig på samma plats. Om inte en omgivande, icke lokalt genererad, ström regionalt verkar över botten.

Den primära utgångspunkten då en våg genereras är vindhastigheten som påverkar vågens hastighet och storlek. Vindens varaktighet och stryklängd, dvs. den fria sträckan över vattenytan som vinden kan blåsa över påverkar hur stor vågen blir och vilken hastighet den får. Vattendjupet inverkar på våghöjdens möjligheter att växa eller begränsas. Efter att en våg har börjat bryta, pga. instabilitet då den blivit för brant (pga. uppgrundning) eller att vågtoppen rör sig fortare än dess utbredningshastighet, rör den sig fortfarande framåt. Efter en viss sträcka har våghöjden minskat så pass mycket att vågen slutar bryta och kan fortsätta in mot t.ex. en strand där den får bottenkontakt igen och slutligen bryter mot stranden.

Vågornas karaktär förändras när de kommer in på grundare vattengenom att hastigheterna avtar samtidigt som djupet minskar. Vågen försöker bevara sin period och växer därmed på höjden och dess form trycks ihop – vågdalarna blir succesivt mindre branta än vågtopparna. Detta introducerar instabilitet och vågen bryter så småningom. Om vinden är frisk kan vågtopparna bryta även ute till havs. Detta orsakas delvis av vindens tryck på vågtopparna (vita gäss eller "white capping") och av en kombination av icke linjära hydrodynamiska processer.

Våghöjden är det vertikala avståndet mellan vågtopp och intilliggande vågdal. På samma sätt är våglängden det avståndet mellan två intilliggande vågtoppar. Vindvågor kallas också för korta vågor då våglängden oftast är hälften av, eller ännu mindre, än vattendjupet.

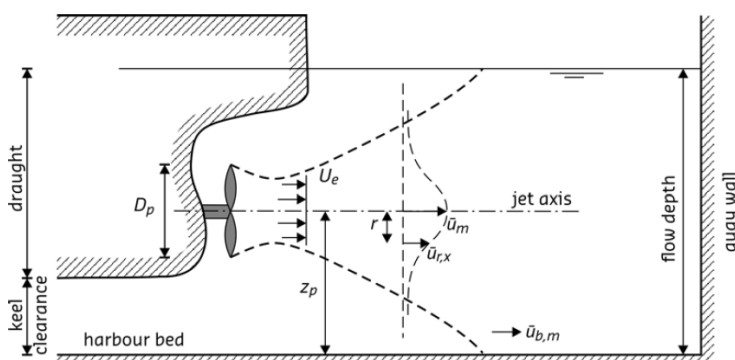
Med hårdare vind, längre stryklängd (dvs den sträcka som vinden kan blåsa fritt) och tid som den hårda vinden råder, desto större blir vågorna. Om den rådande vinden och stryklängden är tillräckligt lång fås ett fullt utvecklat vågsystem. I detta tillstånd växer inte vågorna mera och energin från vindens energi går åt till att underhålla det bildade vågklimatet. Energin från vågorna överförs till andra energiformer genom att vågtopparna bryter. Dettas kan observeras som ett vitt skum "vita gäss". Vid tillräckligt starka vindar kan även hela vågor bryta genom att vågtopparna blåser ("kapas") av.

Vågklimatet är en sammansättning av flera olika vågsystem där vågor av olika längd och höjd (och ålder) blandas (överlagras) på varandra. Ett vanligt mått på våghöjdssituationen kallas för signifikant våghöjd. Signifikant våghöjd (som benämns H_s från mätningar och H_{m0} från modelldata) är definierad som medelvärdet av den tredjedelen högsta population av vågor som passerar en punkt under ett tidsintervall på 15–30 min. Detta tidsintervall har valts för att

representera en typisk längd för ett kort stationärt tillstånd till sjöss. H_s korrelerar ganska bra med den våghöjd som kan uppskattas visuellt av erfarna observatörer (/5/). De högsta vågorna är ca. 1,6 till 1,8 gånger den signifikanta våghöjden och det kan hända att enstaka vågor kan nå dubbla höjden.

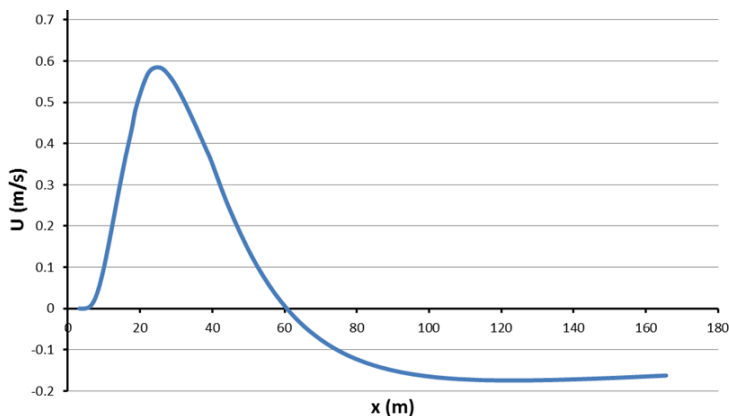
6.2 Propellerströmmar

Propellerströmmar rör sig bort från fartygets akter i ett konformat strömningsmönster, se Figur 6.2-1. Om strömmen från propellern är tillräckligt stark kan den nå ned till botten och ge påverkan där i form av grumling och flytt av bottenmaterial. Propellerströmmarnas styrka beror på fartygets motorstyrka (varvtalet vid en viss effekt som blir översatt till en hastighet), propellerdiameter och propelleraxelns avstånd från botten.



Figur 6.2-1. Propellerström bakom ett fartyg. De övre och undre sträckande linjen anger gränsen för det inducerade strömfältet.

Strömshastigheten nära botten visas som ett exempel i Figur 6.2-2 nedan. På x-axeln anges det horisontella avståndet bakom propellern. Positiv strömshastighet rör sig horisontellt längs botten "bort från" propellern. De första metrarna är hastigheten noll då jeten från propellern ännu inte nått botten. Allt eftersom den sprider ut sig når den botten och hastigheten börjar att öka, samtidigt som hastigheten i centrum av jeten minskar, vilket tenderar att få hastigheten vid botten att minska igen. Resultatet blir först en ökning av hastigheten till max 0,57 m/s och sedan en minskning. Vid avståndet $x = 60$ m byter hastigheten riktning (blir negativ) då kölvattnet från fartyget börjar dominera. Vid 15 till 42 m bakom fartyget är strömshastigheten över $0,2 \text{ m/s}^3$ och material skulle kunna ske.



Figur 6.2-2. Exempel på propellerströmmar nära botten bakom ett fartyg.

³ Se Avsnitt 5.2 för förklaring varför gränsvärdet 0,2 m/s har använts

6.3 Svallvågor

Fartygets hastighet och det djup som det färdas över botten, påverkar svallvågans storlek. Då fartyget rör sig med konstant hastighet över ett varierande vattendjup kommer höjden på den svallvåg som genereras variera beroende på vilket djup som fartyget passerar över. En passage över grunda områden genererar en högre svallvåg jämfört med en passage över djupare områden. Höjden på svallvågen som genereras svarar också direkt mot den hastighet som fartyget framförs med, där högre hastigheter generellt leder till större vågbildning.

Utöver dessa generella parametrar har fartygets specifika skrovform en stor påverkan på den genererade svallvågshöjden. En viktig aspekt är den så kallade blockkoefficienten som beskriver hur slank en fartygskropp är (se även avsnitt 4.3). Även bogens längd och vinkel (eng. "bow entry length") har stor påverkan på svallvågen. Detaljer på skrovet såsom om det har en bulb, akterspegelns utformning och eventuella slag har också stor betydelse på hur stora vågor som genereras i olika farter.

Att uppskatta svallvågshöjden för ett specifikt fartyg är mycket komplext och kräver antingen modelltest eller avancerade flödesberäkningar, så kallade CFD beräkningar. Även om två fartyg har samma mått och displacement spelar detaljer i skrovform och bihang (bulb, skegg, slag, slingerköl etc.) så stor roll att dessa fartyg kan generera helt olika svallvågshöjder för en och samma hastighet.

Som beskrivits i avsnitt 5.1 har en empirisk formel använts i denna studie som sammanställt mätningar av olika fartyg. Det ger en generell beskrivning av svallvågorna från de olika fartygsklasserna men bör anses som grov uppskattning.

Svallvågor är av samma typ som vindvågor (sk. Kelvinvågor) och har en orbitalrörelse som kan resuspendera bottenmaterial och orsaka lokal grumling.

6.4 Avsänkingsvågor

Den våg som bildas när fartygets skrov tränger undan vattnet, likt en plog, är inducerad av olika vattenflöden runt fartygets skrov. Detta ger i sin tur en förändring av vattenståndet runt fartyget, speciellt längs sidorna på fartyget, och kallas avsänkning. Denna effekt är i huvudsak bestämd av fartygets hastighet och displacement samt eventuella begränsningar för det undanträngda vattnet i det område där fartyget passerar.

Avsänkingsvågen ter sig både som en vattenståndsförändring och en förändring i strömhastigheten i fartygets närområde. Detta ger upphov till tillfälliga lång-periodiska vågor och utgör ofta det dominerande problemet i smala sund och fartygsleder.

Områden med grunda bottnar (0–15 m) löper framförallt en risk att påverkas av avsänkningseffekter från fartyg. Risken för påverkan från avsänkning ökar med minskad bredd på vattenområdet då den undanträngda volymen från fartyget får en större inverkan och därmed ger upphov till starkare strömmar och vattenståndsskillnader. På samma sätt ökar effekterna med större fartyg (större undanträngd volym). Som förklarar i Avsnitt 5.2 har en strömhastighet på 0,2 m/s använts som gränsvärde för då finkornigt material börjar erodera.

Generellt har Container/Ro-Ro fartyg ett slankare skrov som tar upp ca. 10–15 % mindre volym, vilket reducerar avsänkningseffekten något jämfört med Tank/Bulk fartyg. Hastigheten på fartygen kan spela in i hur effekterna från avsänkningen beter sig (tex. stående vågor eller lokala "småskaliga" effekter på strömmen. I bedömningarna kan dessa inte räknas med då de kräver direkta modelleringar.

7 Resultat och diskussion

7.1 Vindvågor

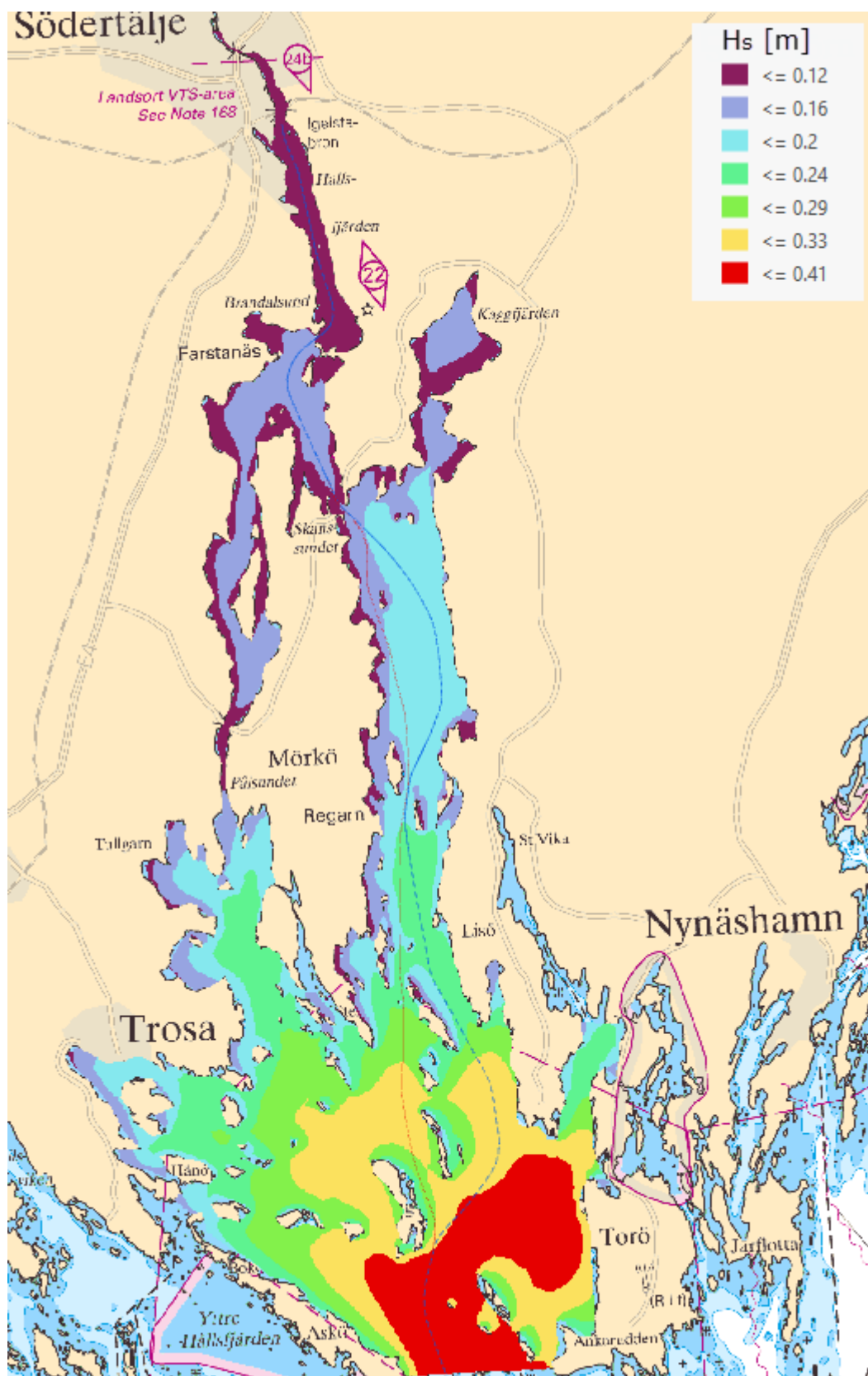
För att bedöma det naturliga vågklimatet längs Landsortsfarleden har en vågmodell tagits fram som beräknar de naturligt förekommande vindvågorna. Områden med naturlig vågpåverkan är bättre rustade för en förändring av vågklimatet från ökad eller förändrad fartygstrafik. Den förhärskande vindriktningen visar att den östra sidan av området kring Landsortsfarleden generellt är utsatt för en kraftigare vindpåverkan än den västra. Från mätningar kan ses att dominerande vindriktningar är från sydväst vid Landsort och vid Brandalsund från mer sydliga riktningar (Sjöfartsverket, ViVa)

Resultaten från vindvågssimuleringarna visar att medelvärdet av den signifikanta våghöjden ligger runt 0,4 m i den yttre delen av Landsortsfarleden för att succesivt avta till 0,15 – 0,20 m i Himmerfjärden, undantaget den västra stranden där våghöjden är betydligt lägre och hamnar mellan 0,10 - 0,15 m (Figur 7.1-1). Det lägre värdet dominerar sedan i stort sett hela vägen från Skanssundet (genom Brandalsund) upp till Södertälje i norr.

Om vindvågorna sätts i relation till de svallvågor som genereras av fartygstrafiken på Landsortsfarleden kan följande generaliseringar göras:

- I den mittersta delen av farleden (ungefär mellan Pipskär och Skanssundet) är de naturligt förekommande vindvågorna i samma storleksordning som de nya fartygen genererar i 9 knop
- Innanför Skanssundet är såväl de naturligt förekommande vindvågorna och svallvågorna från de nya fartygen framförda i 9 knop begränsade till 1 dm våghöjd. Vågor av denna storleksordningen bedöms inte orsaka någon större erosion på stranden. På de sträckor där fartygen framförs i 12 knop är dock de naturliga vindvågorna mycket mindre än de fartygsgenererade svallvågorna.

Kommande avsnitt behandlar de fartygsgenererade svallvågorna i mer detalj.



Figur 7.1-1. Medelvärdet av den modellerade signifikanta våghöjden (H_s) för år 2015. Farledsdragningen ses i röd (nuvarande) linje samt (planerat alternativ) blå streckad linje.

7.2 Propellerströmmar

Effekten av propellerströmmar från dagens och framtida fartyg och deras påverkan på bottenerosion har uppskattats utifrån gängse formler. I tidigare utredning av DHI (/1/) fastslås att påverkan är försumbar på djup större än 16 m. Av denna anledning har beräkningarna utförts för det minsta farledsdjupet idag och i framtiden. På dessa sträckor är fartbegränsningen 7 knop vilket därmed antas vara fartygshastigheten i uppskattningen av propellerströmmen.

Propellerströmmar vid botten från den större fartygstypen som kan trafikera en framtida Landsortsfarled förväntas, med givna antaganden, efter muddring inte kunna ge upphov till någon större påverkan i farleden annat än på de djup som är grundare än 16 m då strömhastigheten på denna nivå börjar överstiga 0,2 m/s (/1/) (se avsnitt 5.2). Resuspension (uppblandning av sediment i vattnet) av bottenmaterial sker under kort tid och över ett begränsat område akter om fartygen. Då de grundaste delarna av området innanför Skansundet består av mycket lerpartiklar finns det en risk att grumlighetsnivåerna i området påverkas vid fartygspassager.

Från en tidigare studie kunde det konstateras att strömhastigheter, i en punkt nära botten, som överstiger 0,2 m/s varar i ca. 7–21 sekunder för passage av Klass 4 och 5 fartyg i 7 knop (/1//1/). För mindre fartyg förväntas effekten från dessa propellerströmmar bli mindre då dessa har mindre djupgående, propellerradie och motorstyrka.

7.3 Generella resultat för svallvågor

Som nämndes i avsnitt 5.1 är det mycket svårt att generalisera vilka svallvågor som genereras utifrån endast fartygsdimensioner och typ. För att uppskatta dessa utan avancerade modelleringar av specifika fartygsskrov eller data från modelltest har en empirisk formel använts (/4/). Svallvågorna genererade från fartygen i klasserna 1–5 har beräknats genom att använda de olika fartygsklassernas dimensioner samt djup och hastighet. Inte oväntat visar den empiriska relationen i (/4/) en tydlig ökning av svallvågshöjden med ökat hastighet och minskat vattendjup. Den visar också på att svallvågshöjden minskar med ökad fartygsstorlek. Förklaring till detta är att relationen skalar de fartygsgenererade vågorna med Froudes tal som beräknas enligt:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g * lwl}}$$

Där V är fartygshastigheten, g är gravitationskonstanten och lwl är längden på våta ytan av fartygsskrovet. Froudes tal används inom fartygsarkitektur för att bland annat skala upp modelltest till fullskala eller för att bestämma optimal längd på ett fartyg som skall nå en viss hastighet.

Förenklat kan man säga att man använder Froudes tal till att relatera ett fartygs motstånd och vågmönster till ett, allt annat lika, mindre fartyg.

Som ett exempel kan antas ett fartyg som är 230 m långt och genererar 30 och 80 cm höga vågor i 9 och 12 knop. Om detta fartyg skulle skalas ned till 90 m med exakt samma form kan man räkna ut att detta mindre fartyg genererar 11 och 31 cm vågor i 5,7 och 7,5 knop. Längddimensionerna skalas med Froudes tal medan hastigheten skalas med kvadratroten ur Froudes tal.

Sammanfattningsvis kan man säga att beroende på hur svallvågorna ökar med hastigheten så kan mindre fartyg generera större vågor. Speciellt om våghöjden ökar mycket med hastigheten.

Oftast har dock de mindre fartygen optimerat sin skrovform efter sin längd och fart vilket förändrar vågmönstret. Men mindre fartyg genererar oftast svallvågor som relativt sin längd är högre än ett större fartyg i samma fart.

7.4 Generella resultat för avsänkingsvågor

I första hand är det ett fartygs displacement och hastighet som styr storleken på avsänkingsvågen. Displacementet är kopplat till hur stor vattenvolym som trängs undan och fartygets hastighet styr hur snabbt denna vattenmassa förflytas och intensiteten i flödet kring skrovet. I motsats till genereringen av svallvågor har fartygets specifika skrovform endast en mindre betydelse för avsänkingsvågen.

Eftersom fartygens displacement till stor del styr avsänkingsvågen och skrovets specifika geometri har mindre betydelse så skalas våghöjden inte på samma sätt mellan fartygsklasser som för svallvågorna. Förklaringen kommer utifrån froudeskalning (se ovan) och att avsänkingsvågorna och svallvågorna inte varierar med farten på samma sätt. Detta betyder att den fartygsklass som ger störst svallvågor vid en viss fart inte bestämt ger den största avsänkingsvågen.

7.5 Landsort – Fifång

Sträckan Landsort till Fifång 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, som smala och grunda sund. Det är dessutom också den djupaste delen av farleden då den ligger ytterst mot öppna havet vilket generellt ger mindre svall- och avsänkingsvågor och propellerströmmarna inte når ned till botten.

Sammantaget bedöms inte fartygsinducerade vågor ge någon påverkan, för något alternativ, i denna del av farleden då systemet redan har en viss motståndskraft mot vågor och strömmar till följd av en stor naturlig variabilitet i våg- och strömmönstret.

7.6 Fifång – Regarn

På denna sträcka får farleden en ny östligare sträckning. Den nya farledssträckningen kommer att innebära en mindre påverkan på områden där den nuvarande farleden passerar nära land, som sydöstra Fifång, västra Grönsö och Pipskär samt delar av östra sidan på södra Mörkö (Björkholmen och Landsholmen vid Björnö).

Längs den nya farledssträckningen är det naturligt djupt och vågbildningen från fartygsrörelser blir därför liten. Varken avsänkningseffekter eller svallvågor bedöms ge någon påverkan av betydelse vid 9 knop då systemet redan har en motståndskraft mot vågor och strömmar. Dels på grund av att östsidan redan är utsatt för naturliga vindvågor pga. dominerande sydöstliga vindar och har därför anpassat sig genom tiderna. Den nya farledssträckningen passerar även nästan uteslutande på ett avstånd på 500 m eller mer från stranden, vilket inte är tillräckligt nära land för att kunna påverka erosionen på stränderna (då svallvågorna har mer än halverats på denna sträcka). Generellt halveras höjden på svallvågen efter ca 300 m.

Vid 12 knop drar de minsta klasserna upp så pass mycket svall att det på vissa ställen kommer vara högre än årsmedlet på den signifikanta vindvågshöjden, vilket redovisas nedan.

7.6.1 Nuläge

Svallvågor

Vid 12 knop bedöms svallvågorna genererade från tankerfartyg i Klass 1 och Klass 2 överstiga årsmedlet av den signifikanta vindvågshöjden på 0,25–0,3 m med en faktor 2. Svallvågornas påverkan på strandlinjen är lokaliserad till sydöstra Fifång, västra Grönsö och Pipskär. Även delar av Mörkö's östra strandlinje (Björkholmen och Landsholmen vid Björnö) bedöms vara påverkade av svallvågorna.

I Nuläget passeras detta farledsavsnitt av i snitt 141 fartyg om året som kan ge en påverkan i området eftersom dess genererade svallvågor vid strandlinjen är större än årsmedlet av vindvågorna.

Avsänkning

Ingen nämnvärd påverkan bedöms för detta område och alternativ då det är ett relativt öppet och djupt längs farledssträckan.

7.6.2 Nollalternativ

Svallvågor

Vid 12 knop bedöms svallvågor från Klass 1 och Klass 2 fartyg överstiga årsmedlet på den signifikanta våghöjden (0,15 m) med en faktor 3 längs sydöstra delen av Grönsö. På motsatta sidan (Revudden-Hästräs) kan våghöjdsårsmedlet (0,25 m) överstigas med en faktor 1,5. Det är även troligt att svallvågornas höjd överstiger den signifikanta våghöjdsårsmedlet (0,25 m) med en faktor 2 vid Pipskär och Björsholmen.

I Nollalternativet passeras detta farledsavsnitt av i snitt 81 fartyg om året som kan ge en påverkan i området eftersom dess genererade svallvågor vid strandlinjen är större än årsmedlet av vindvågorna.

Avsänkning

Ingen nämnvärd påverkan bedömd för detta område och alternativ då det är ett relativt öppet och djupt längs farledssträckan.

7.6.3 Planerat alternativ

Svallvågor

Vid 12 knop bedöms svallvågor från Klass 1 överstiga årsmedlet på den signifikanta våghöjden (0,15 m) med en faktor 3 längs sydöstra delen av Grönsö. På motsatta sidan (Revudden-Hästräs) kan våghöjdsårsmedlet (0,25 m) överstigas med en faktor 1,5. Det är även troligt att svallvågornas höjd överstiger den signifikanta våghöjdsårsmedlet på 0,25 m med en faktor 2 vid Pipskär och Björsholmen.

I det Planerade alternativet passeras detta farledsavsnitt av i snitt 69 fartyg om året som kan ge en påverkan i området eftersom dess genererade svallvågor vid strandlinjen är större än årsmedlet av vindvågorna.

Avsänkning

Ingen nämnvärd påverkan bedöms för detta område och alternativ då det är ett relativt öppet och djupt längs farledssträckan.

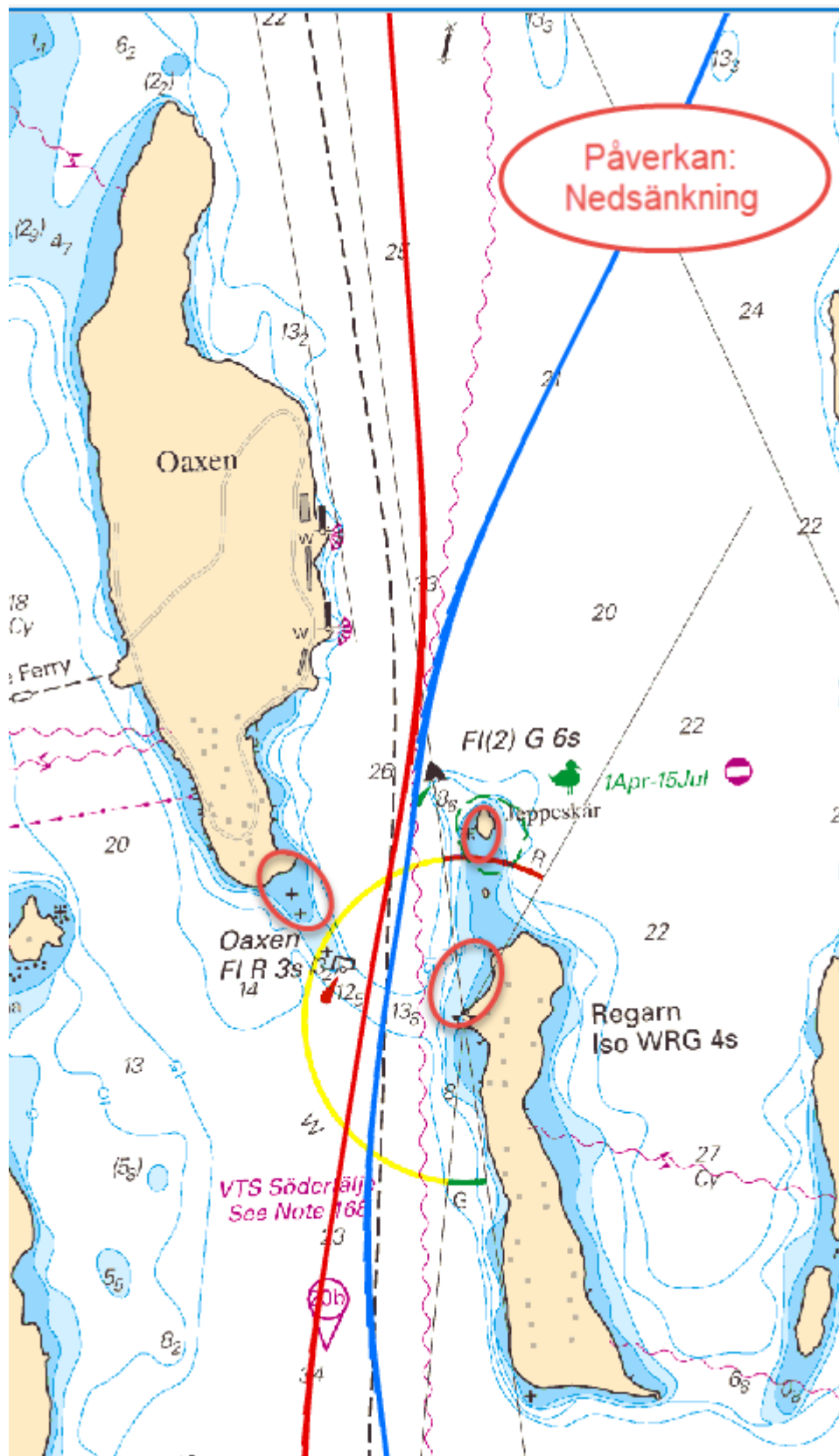
7.7 Regarn – Oaxen

Längs denna sträcka kommer avsänkningsvågor att öka med större fartygstyper och det kan finnas en risk att avsänkningsvågor påverkar bottenerosionen i den smalaste passagen. Då farleden även passerar nära land (<300 m) kan svallvågor från fartygen påverka strandlinjen.

Vid en fartygspassage med de större fartygen (Klass 5) i 9 respektive 12 knop kommer det att genereras svallvågor med en signifikant höjd av ca. 0,1 respektive ca 0,2 m vid de grundaste områdena längs farleden. Då svallvågorna hinner avta något innan de når strandkanten kommer de vid dessa farter vara mindre än de naturliga vindvågorna på 0,1–0,2 m.

Vid en fartygspassage med de minsta fartygen (Klass 1) i 9 respektive 12 knop bedöms det att det genereras svallvågor med en höjd av ca. 0,3 respektive 1,5 m vid de grundaste (15 m djup) områdena längs farleden⁴. Våghöjderna hinner avta innan de når strandkanten, de initiala höga vågorna avtar snabbare än de lägre i detta fall. Om fartygen framförs med 12 knop kommer svallvågen att vara mycket större jämfört med årsmedlet på de naturliga vindvågorna på 0,1–0,2 m. Avsänkningseffekter bedöms däremot ha störst betydelse för Klass 4 och 5 fartyg i detta område eftersom de mindre klasserna har så pass litet displacement. I Figur 7.7-1 nedan indikeras de områden där avsänkningseffekten bedöms kunna ge en påverkan som beskrivs i kapitel 7.7.1 till 7.7.3.

⁴ Beräkningarna som ligger till grund för de genererade svallvågorna är framtagna från en empirisk relation beskriven i (/4/). För en diskussion kring svallvågsgenerering och fartygsskalning se avsnitt (6.3 och 7.3)



Figur 7.7-1 Oaxen-Regarn: Områden (röda ellipser) som bedöms kunna vara påverkade av avsänkning i de olika alternativen.

7.7.1 Nuläge

Svallvågor

I nuläget gäller en hastighetsbegränsning på 12 knop i sundet mellan Oaxen och Regarn. I denna hastighet genererar fartyg i de mindre klasserna svallvågor som vid strandlinjen väsentligt överstiger den signifikanta vindvågshöjden på ca. 0,1–0,2 m. Bedömningen är att strandlinjen på Oaxens västra och Regarns östra sida är påverkade av fartygsvall.

Avsänkning

I 12 knop genererar Klass 5 tankerfartyg en avsänkningsvåg med strömhastigheter upp mot 0,5 m/s vid strandlinjen vilken överskrider gränsvärdet för erodering. Även Klass 4 fartyg i denna hastighet genererar strömhastigheter som överstiger gränsvärdet för erosion med 0,35 m/s. De lägre klasserna (1–3) bedöms inte generera strömmar över 0,2 m/s och alltså heller ingen påverkan. I Nuläget sker 152 passager av Klass 4 fartyg och 1 passage med Klass 5.

I detta alternativ är fördelningen ca 81 % på Container/Ro-Ro fartyg och 19 % på Tank/Bulk och generellt har Container/Ro-Ro en slankare skrov som tar upp ca. 10–15 % mindre volym, vilket reducerar avsänkningseffekten något jämfört med Tank/Bulk.

7.7.2 Nollalternativ

Svallvågor

I nuläget gäller en hastighetsbegränsning på 12 knop i sundet mellan Oaxen och Regarn. I denna hastighet genererar fartyg i de mindre klasserna svallvågor som vid strandlinjen väsentligt överstiger den signifikanta vindvågshöjden på ca. 0,1–0,2 m. Bedömningen är att strandlinjen på Oaxens västra och Regarns östra sida är påverkade av fartygsvall.

Avsänkning

I Nollalternativet sker inga passager av Klass 5 fartyg men däremot 516 passager av Klass 4. Dessa genererar i 12 knops framfart strömhastigheter som överstiger gränsvärdet för erosion med 0,35 m/s. De lägre klasserna (1–3) bedöms inte generera strömmar över 0,2 m/s och alltså heller ingen påverkan.

Fördelningen är ca 62 % på Container/Ro-Ro fartyg och 38 % på Tank/Bulk och generellt har Container/Ro-Ro en slankare skrov som tar upp ca. 10–15 % mindre volym, vilket reducerar avsänkningseffekten något jämfört med Tank/Bulk.

7.7.3 Planerat alternativ

Svallvågor

En förutsättning i denna rapport är att en hastighetsbegränsning på 9 knop gäller mellan Oaxen och Regarn. Vid denna hastighet bedöms inte någon av fartygsklasserna (eller fartygstyperna) kunna generera vågor vid strandlinjen som är större än årsmedelvärdet på den signifikanta vindvågshöjden (ca. 0,1–0,2 m).

Avsänkning

Fördelningen av fartygstyper för de olika klasserna i det planerade alternativet är 554 passager av Klass 4 och 5. Av dessa är 83 passager av Klass 5 som kan ha störst påverkan dvs nå upp i strömhastigheter mellan 0,2 till 0,3 m/s i 9 knop. Av Klass 4 sker 474 passager som kan ge viss påverkan men inte nå över 0,2 m/s strömhastighet. De lägre klasserna (1–3) bedöms inte ha någon påverkan utöver bakgrundstillståndet.

I detta alternativ är fördelningen ca 75 % på Container/Ro-Ro fartyg och 25 % på Tank/Bulk för Klass 4 samt ungt. 50–50 % för Klass 5. Generellt har Container/Ro-Ro en slankare skrov som tar upp ca. 10–15 % mindre volym, vilket reducerar avsänkningseffekten något jämfört med Tank/Bulk.

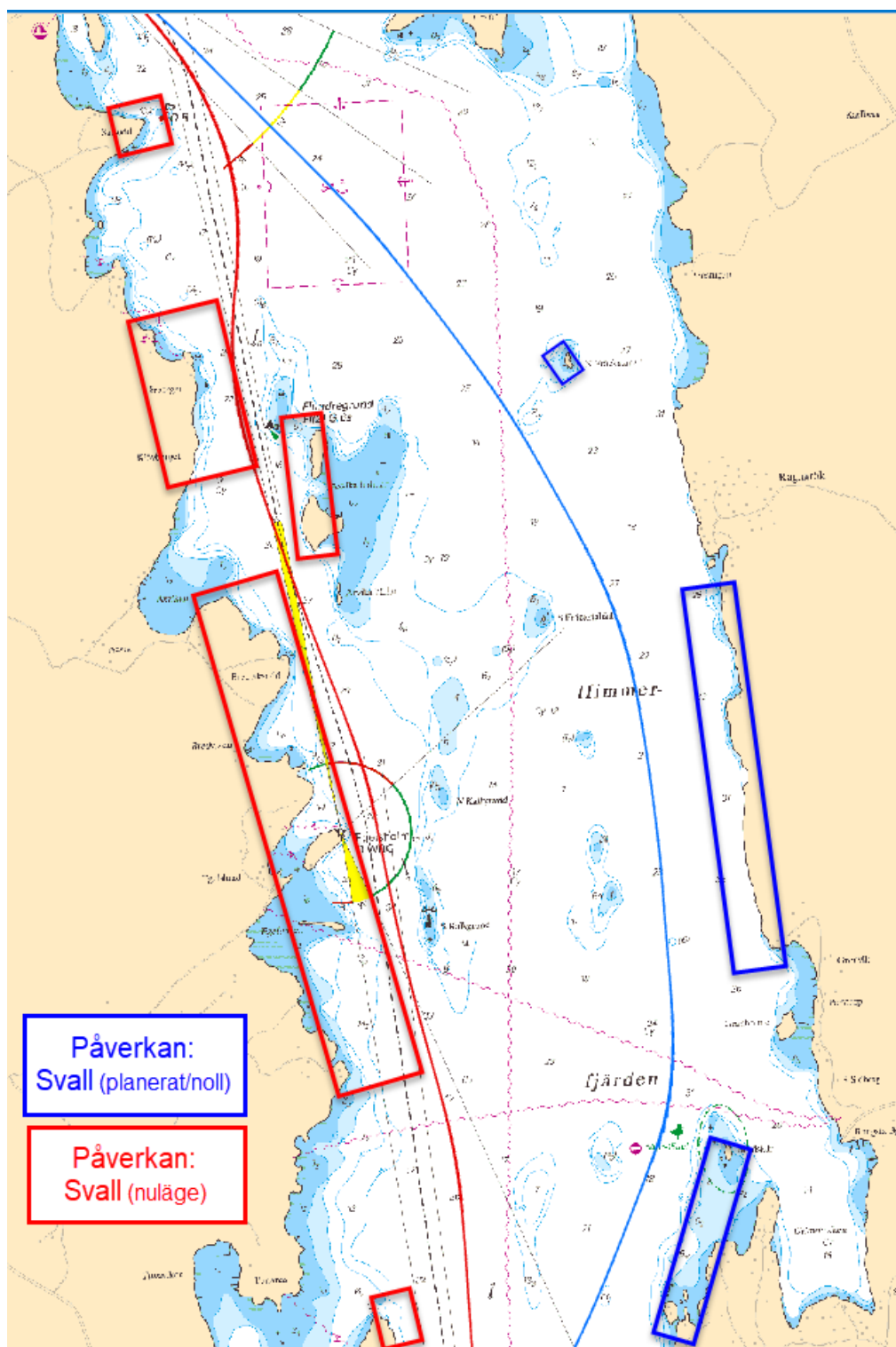
7.8 Oaxen – Skansundet

Den planerade östra sträckningen har förutom en strandlinje på längre avstånd från farleden också en kustlinje som karakteriseras av urberg samt mindre erosionskänsliga jordarter. Här bedöms det därför inte bli någon märkbar påverkan från fartygstrafiken. Längs den östra sidan av Himmerfjärden är den naturliga vågbildningen större och bättre rustad för en ökning av svallvågor och avsänkningseffekter än den västra sidan. Även om den nya farledssträckningen ligger i ett naturligt djupt område kan de allra största svallvågorna som genereras i denna del, vid en hastighet på 12 knop, vara runt 1 m höga för vissa Klass 1 fartyg⁵. Resultaten från avsänkingsmodelleringen pekar på att det inte blir några effekter från avsänkingsvågen längs strandlinjen på det avstånd som fartygen normalt passerar, vilket är ca 500 m eller mer.

Det nuvarande västra farledsavsnittet i Himmerfjärden ligger närmare strandlinjen och är betydligt mindre vindpåverkat, än vad den östra föreslagna farledssträckningen är, och således mer känslig för ökad fartygstrafik. Längs den västra sidan av Himmerfjärden finns det dessutom fler platser med erosionskänsliga jordarter.

Bedömningarna är gjorda för en hastighet på 12 knop över djupt vatten (>25 m). Årsmedlet på den signifikanta våghöjden är ca. 0,2 m vid den östra stranden och 0,1 m vid den västra.

⁵ Beräkningarna som ligger till grund för de genererade svallvågorna är framtagna från en empirisk relation beskriven i (4/). För en diskussion kring svallvågsgenerering och fartygsskalning se avsnitt (6.3 och 7.3)



Figur 7.8-1. Områden som bedöms få viss påverka av svall i området mellan Oaxen och Skansundet från fartyg i 12 knop. Nuläge rött farledsspår och planerat alternativt blått farledsspår.

7.8.1 Nuläge

Svallvågor

Generellt genererar Klass 5 fartyg och containerfartygen i alla klasser svallvågor i samma storleksordning som årsmedlet på de signifikanta vindvågorna. För de övriga klasserna bedöms Klass 2–4 generera ungefär samma svallvågor som vid strandlinjen när en höjd på ca. 0,3 m. Då vindvågorna har ett årsmedel på endast 0,1 m följer det av resonemanget i Avsnitt 5.1 att dessa kan erodera strandkanten. Klass 1 fartyg genererar de högsta svallvågorna på drygt 1 m vilka bedöms vara ca. 0,5–0,6 m när de når strandlinjen.

Per år passerar 194 stycken Klass 2–4 tankerfartyg samt 70 stycken Klass 1 tankerfartyg enligt fartygprognosen. De områden som bedöms påverkas är indikerade med de röda rektanglarna i Figur 7.8-1 ovan.

Avsänkning

Då endast ett Klass 5 fartyg passerar per år har avsänkningen ingen påverkan. För övriga fartygsklasser bedöms inte avsänkingsvågen nå in till strandlinjen och påverka lokalt i detta öppna och djupa område, där fartygen passerar med flera fartygslängder från stranden.

7.8.2 Nollalternativ

Svallvågor

Generellt är svallvågshöjder under eller i samma storlek som årsmedlet på vindvågorna från alla fartyg utom för Tankers Klass 1 och 2. Här bedöms Klass 1 ha en svallvågshöjd på ca. 0,5 m och Klass 2 en svallvågshöjd på 0,3 m när de når strandkanten jämfört med vindvågorna som ligger på ca. 0,2 m.

Per år passerar 81 tankerfartyg av Klass 1 samt 162 Klass 2 tankerfartyg enligt fartygprognosen. De områden som bedöms påverkas är indikerade med de blåa rektanglarna i Figur 7.8-1 ovan.

Avsänkning

I detta öppna och djupa område är farleden dragen flera fartygslängder från strandkanten och det är endast avsänkingsvågen från Klass 5 fartyg som ger någon påverkan. I Nollalternativet passerar dock inga Klass 5 fartyg och avsänkingsvågen från de mindre fartygen bedöms varken påverka strandlinjen eller botten lokalt.

I detta alternativ bedöms alltså avsänkingsvågen ej ge någon påverkan. .

7.8.3 Planerat alternativ

Svallvågor

Generellt är svallvågshöjder under eller i samma storlek som årsmedlet på vindvågorna från alla fartyg utom för Tankers Klass 1 och 2. Här bedöms Klass 1 ha en svallvågshöjd på ca. 0,5 m och Klass 2 på 0,3 m när de når strandkanten jämfört med vindvågorna som ligger på ca. 0,2 m.

Per år passerar 69 Klass 1 samt 138 Klass 2 tankerfartyg enligt fartygprognosen. De områden som bedöms påverkas är indikerade med de blåa rektanglarna i Figur 7.8-1 ovan.

Avsänkning

Avsänkingsvågen från Klass 5 fartyg bedöms ha en marginell påverkan med 83 passager per år. Mindre förändringar sker i vattnet bortanför fartygsspåret utanför Grimstaviken och vid

Granholmen vid varje passage. För övriga fartygsklasser bedöms avsänkingsvågen varken påverka strandlinjen eller botten lokalt.

7.9 Skanssundet – Södertälje

Denna sträcka karakteriseras mestadels av en liten naturlig vågbildning och är därmed sämre utrustad för en förändring i vågklimatet. Av fartygsvågorna är det framförallt avsänkingsvågen i de smala sunden som ger en påverkan och som kan komma att ge upphov till strömhastigheter som kan påverka bottensedimenten och leda till erosion. Svallvågorna som modellerats för 7 knops hastighet bedöms inte ge någon påverkan på strandkanten då de är små jämfört med årsmedelvärdet på den signifikanta våghöjden för vindvågorna. I de områden då fartyg framförs med 12 knop kan svallvågor som når stranden vara högre än det nämnda årsmedelvärdet. Längs de grunda delarna (<16 m) av farleden kan även en viss erosion av bottensediment förekomma från propellerströmmen.

Avsänkingsvågorna från Klass 3–5 bedöms ge en påverkan på i de trånga passagerna vid Skanssundet och Brandalsund samt Fläsklösa (södra Hallsfjärden). Störst påverkan ger Klass 5 och minskar sedan med deplacementet för de övriga fartygsklasserna. I de trängre passagerna kan påverkan från de mindre fartygen bedömas genom att jämföra dess deplacement med deplacementet från Klass 5 och 4 fartyg. Vid modelleringar i liknande områden som Brandalsund ses en tydlig skillnad i effekt mellan ett Klass 5 och ett Klass 4 fartyg. I detta fall var skillnaden i deplacement ca. en faktor 3 vilket då ger en reducerad avsänkningseffekt för Klass 4 jämfört med Klass 5 i de närliggande områdena.

Sträckan mellan Skanssundet till Södertälje, där det bedöms kunna bli en påverkan, har delats in i följande underområden där viss typ av påverkan och hastighet råder (i riktning Skanssundet mot Södertälje):

- Skanssundet – Avsänkning (vid 7 knop). Se Figur 7.9-1
- Näslandsfjärden – Svallvågor (vid 12 knop). Se Figur 7.9-2
- Brandalsund – Avsänkning (vid 7 knop). Se Figur 7.9-3
- Hallsfjärden Södra – Avsänkning (vid 7 knop). Se Figur 7.9-4
- Hallsfjärden Norra – Svallvågor (vid 12 knop). Se Figur 7.9-5

7.9.1 Nuläge

Svallvågor

Ingen svallpåverkan sker på sträckor längs farleden där hastigheten är begränsad till 7 knop då dessa vågor är av samma storlek eller mindre än årsmedlet på den signifikanta våghöjden som ligger runt 0,1 m.

För sträckorna där 12 knop gäller så bedöms svallvågor kunna nå indikerade områden i Näslandsfjärden (Figur 7.9-2) och Hallsfjärden Norra (Figur 7.9-5).

I Näslandsfjärden ligger farleden ca. 300 m från land och högst svall nås från tankerklassen. Svallvågorna vid strandlinjen från Klass 1 (70 passager) når 0,5 m, Klass 2 och 3 (146 passager) når 0,3 m, Klass 4 och 5 (49 passager) når 0,2 m.

I norra Hallsfjärden ligger farleden ca. 250 till 300 m från land och högst svall nås från tankerklassen. Svallvågorna vid strandlinjen från Klass 1 fartyg (70 passager) når 0,6 m, Klass 2 och 3 fartyg (146 passager) når 0,4 m och Klass 4 och 5 fartyg (49 passager) når 0,3 m.

Avsänkning

Avsänkningseffekten i form av strömmar och vattenståndsförändring blir störst i anslutning till de trängre passagerna vid Skansundet (Figur 7.9-1), Brandalsund (Figur 7.9-3) och Fläsklösa i södra Hallsfjärden (Figur 7.9-4).

Klass 5 fartyg med 1 passage ger den mest märkbara effekten följt av Klass 4 med 253 passager och Klass 3 med 101 passager. Vattenståndsförändringar kan ske med en amplitud på ca. 0,3 m vid passage för Klass 5, ca. 0,15 m för Klass 4 och mindre än 0,1 m för Klass 3 fartyg inom de inringade områdena i figurena.

Strömhastigheter från Klass 5 fartyg kan som högst nå upp till 0,8 m/s vid strandlinjen där det är som allra smalast. Klass 4 fartyg ger motsvarande strömhastigheter på ca. 0,4 m/s. Även Klass 3 fartyg bedöms kunna ge en påverkan då strömhastigheterna från avsänkningarna når upp till 0,2 m/s. Strömmar genererade av avsänkingsvågen från fartygsklasserna 3–5 ligger alltså över det kritiska gränsvärdet för erosion och bedöms kunna påverka strandlinjen. De högsta strömhastigheterna är dock kortvariga "toppar" på några sekunder under hela avsänkningseffekten med förhöjda strömhastigheter som pågår i en eller ett par minuter.

7.9.2 Nollalternativ

Svallvågor

Ingen svallpåverkan uppstår på sträckor längs farleden där hastigheten är begränsad till 7 knop då dessa vågor är av samma storlek eller mindre än årsmedlet på den signifikanta våghöjden som ligger runt 0,1 m.

För sträckorna där 12 knop gäller så bedöms svallvågor kunna nå indikerade områden i Näslandsfjärden (Figur 7.9-2) och Hallsfjärden Norra (Figur 7.9-5).

I Näslandsfjärden ligger farleden ca. 300 till 350 m från land och högst svall genereras av de mindre tankfartygen. Klass 1 fartyg genererar en svallvåg vid kusten på 0,5 m (81 passager), fartyg i Klass 2 och 3 genererar en svallvåg på 0,3 m (499 passager). De största fartygen som passerar i detta alternativ är Klass 4 fartyg vilka genererar en svallvåg på 0,2 m vid kustlinjen. Inga passager med Klass 5 fartyg sker i detta alternativ.

I norra Hallsfjärden där farleden ligger närmare land än Näslandsfjärden (ca. 250 till 300 m från strandlinjen) skapar tankfartygen något högre svallvågor. Klass 1 fartyg genererar en svallvåg vid kusten på 0,6 m (81 passager), fartyg i Klass 2 och 3 genererar en svallvåg på 0,4 m (499 passager). De största fartygen som passerar i detta alternativ är Klass 4 fartyg vilka genererar en svallvåg på 0,3 m vid kustlinjen. Inga passager med Klass 5 fartyg sker i detta alternativ.

Avsänkning

Avsänkningseffekten (strömmar och vattenståndsförändring) blir störst i anslutning till de trängre passagerna vid Skansundet (Figur 7.9-1), Brandalsund (Figur 7.9-3) och Fläsklösa i södra Hallsfjärden (Figur 7.9-4).

Inga Klass 5 fartyg passerar i Nollalternativet vilket minskar den maximala avsänkingsvågen jämfört med Nuläget. Dock ökar den totala fartygstrafiken i och med många fler passager med Klass 4 och Klass 3 fartyg (516 och 399 passager jämfört mot 253 och 101 passager i Nuläget).

Vattenståndsförändringar för Klass 4 och 3 är mindre än 0,15 m och 0,1 m. Bottenströmmar genererade av avsänkingsvågen kan vid strandkanten uppnå till 0,4 m/s för Klass 4 fartyg och bedöms kunna nå 0,2 m/s för Klass 3 fartyg. Båda dessa klasser generera alltså strömmar över 0,2 m/s och bedöms kunna påverka strandkanten. De högsta strömhastigheterna är dock kortvariga "toppar" på några sekunder under hela avsänkningseffekten med förhöjda strömhastigheter som pågår i en eller ett par minuter.

7.9.3 Planerat alternativ

Svallvågor

Ingen svallpåverkan uppstår på sträckor längs farleden där hastigheten är begränsad till 7 knop då dessa vågor är av samma storlek eller mindre än årsmedlet på den signifikanta våghöjden som ligger runt 0,1 m.

För sträckorna där 12 knop gäller så bedöms svallvågor kunna nå indikerade områden i Näslandsfjärden (Figur 7.9-2) och Hallsfjärden Norra (Figur 7.9-5).

I Näslandsfjärden ligger farleden ca. 300 m från land och högst svall nås från tankerklassen. Svallvågorna vid strandlinjen från Klass 1 (69 passager) når 0,5 m, Klass 2 och 3 (404 passager) når 0,3 m, Klass 4 och 5 (162 passager) når 0,2 m.

I norra Hallsfjärden ligger farleden ca. 250 till 300m från land och högst svall nås från tankerklassen. Svallvågorna vid strandlinjen från Klass 1 fartyg (69 passager) når 0,6 m, Klass 2 och 3 fartyg (404 passager) når 0,4 m och Klass 4 och 5 fartyg (162 passager) når 0,3 m.

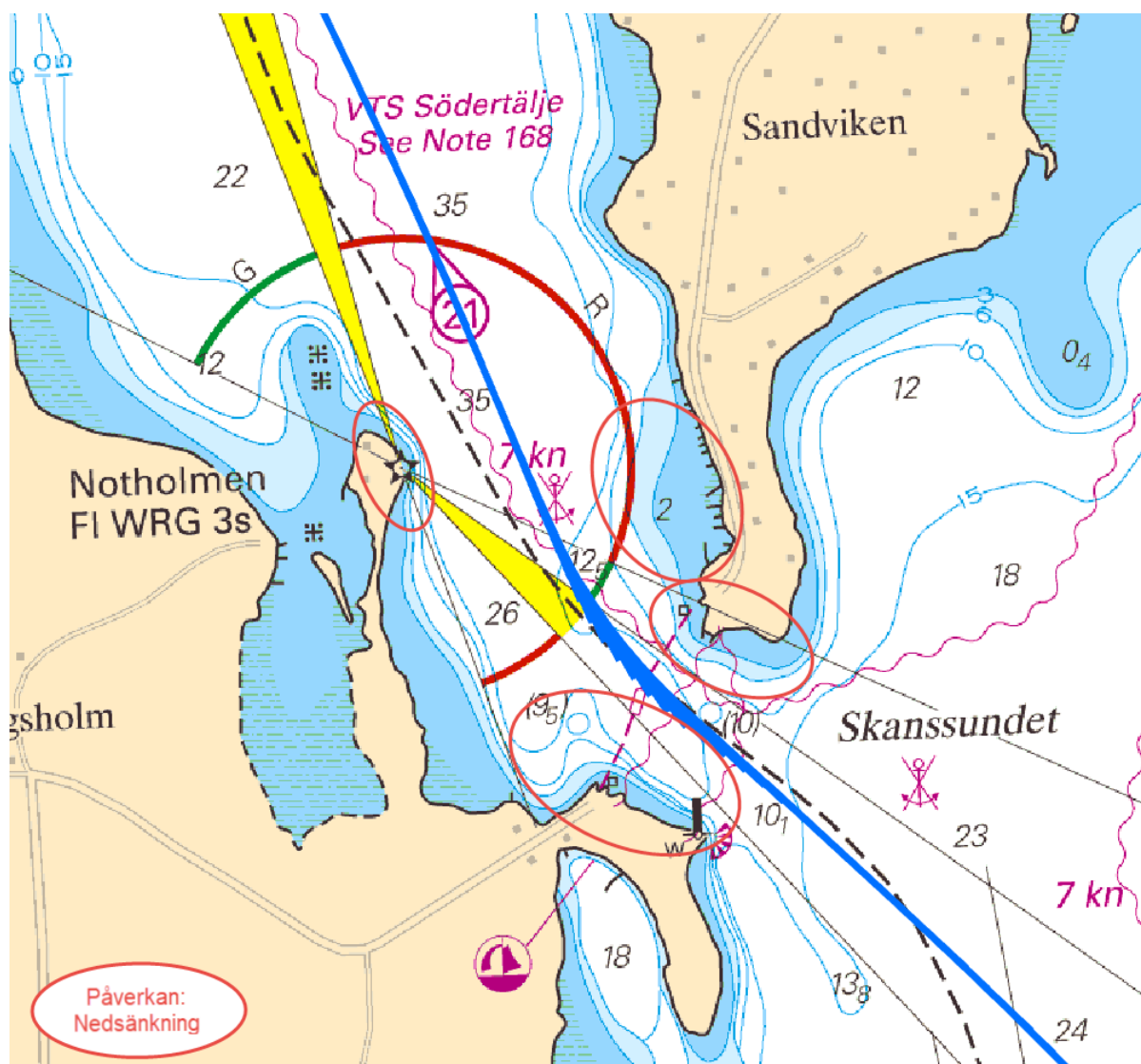
Avsänkning

Avsänkningseffekten i form av strömmar och vattenståndsförändring blir störst i anslutning till de trängre passagerna vid Skansundet (Figur 7.9-1), Brandalsund (Figur 7.9-3) och Fläsklösa i södra Hallsfjärden (Figur 7.9-4).

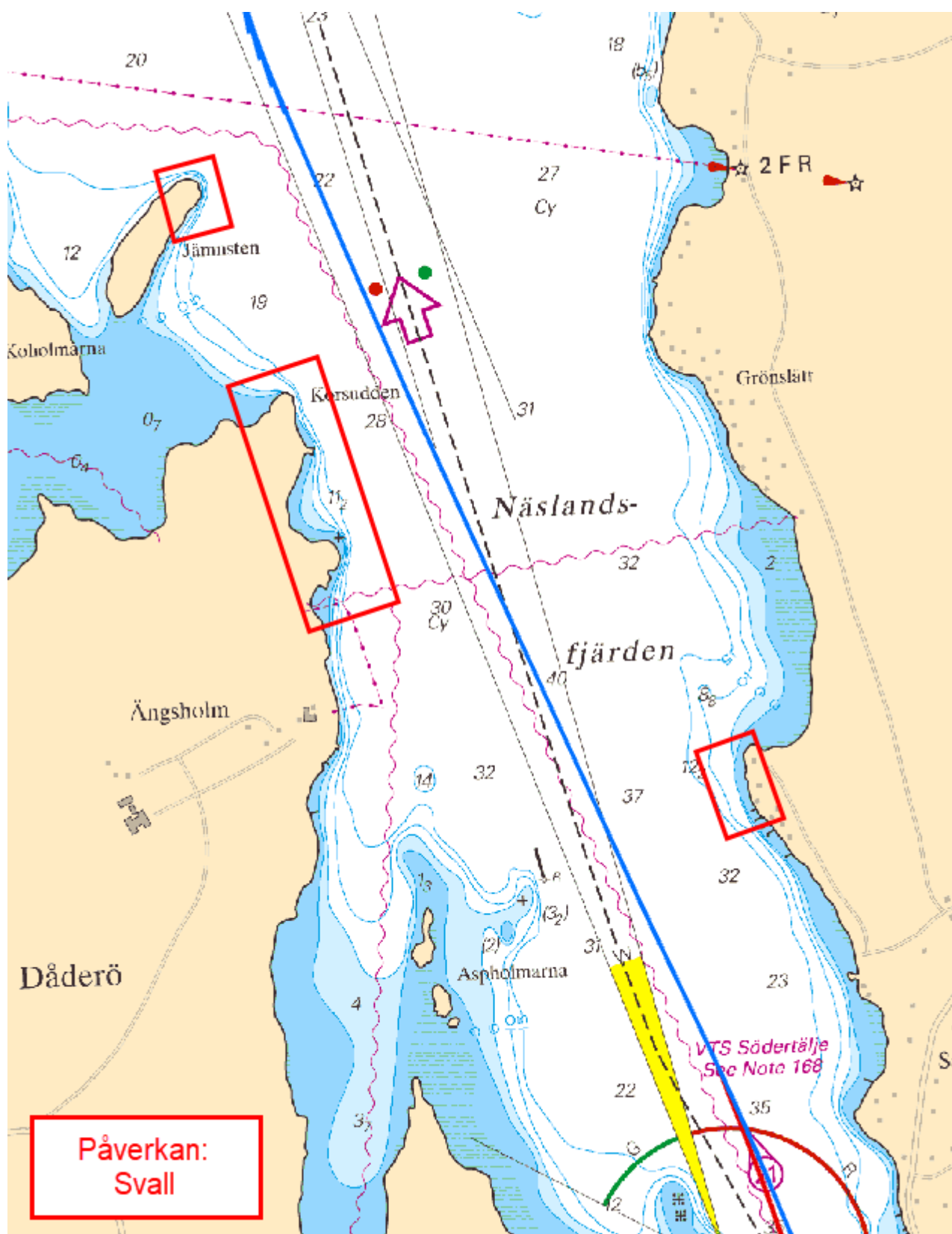
Det är uteslutande fartyg i Klasserna 3–5 som genererar en så pass stor avsänkingsvåg att de kan påverka strandkanten. Den mest märkbara påverkan kommer från Klass 5 fartyg med 83 passager följt av Klass 4 med 474 passager samt Klass 3 med 342 passager. Vattenståndsförändringar kan ske med en amplitud på ca. 0,3 m vid passage för Klass 5, ca. 0,15 m för Klass 4 och mindre än 0,1 m för Klass 3 fartyg. Påverkansområdena indikeras genom de inringade områdena i figurerna nedan.

Strömhastigheter från Klass 5 fartyg kan som högst nå upp till 0,6 m/s vid strandlinjen där det är som allra smalast. Klass 4 fartyg ger motsvarande strömhastigheter på ca. 0,3 m/s. Klass 3 fartyg bedöms inte ha någon påverkan då strömhastigheterna från avsänkningen inte når upp till 0,2 m/s. Det betyder att endast fartyg i Klass 5 och 4 når över det kritiska gränsvärdet för erosionsgenererande strömhastigheter. De högsta strömhastigheterna är dock kortvariga "toppar" på några sekunder under hela avsänkningseffekten med förhöjda strömhastigheter som pågår i en eller ett par minuter.

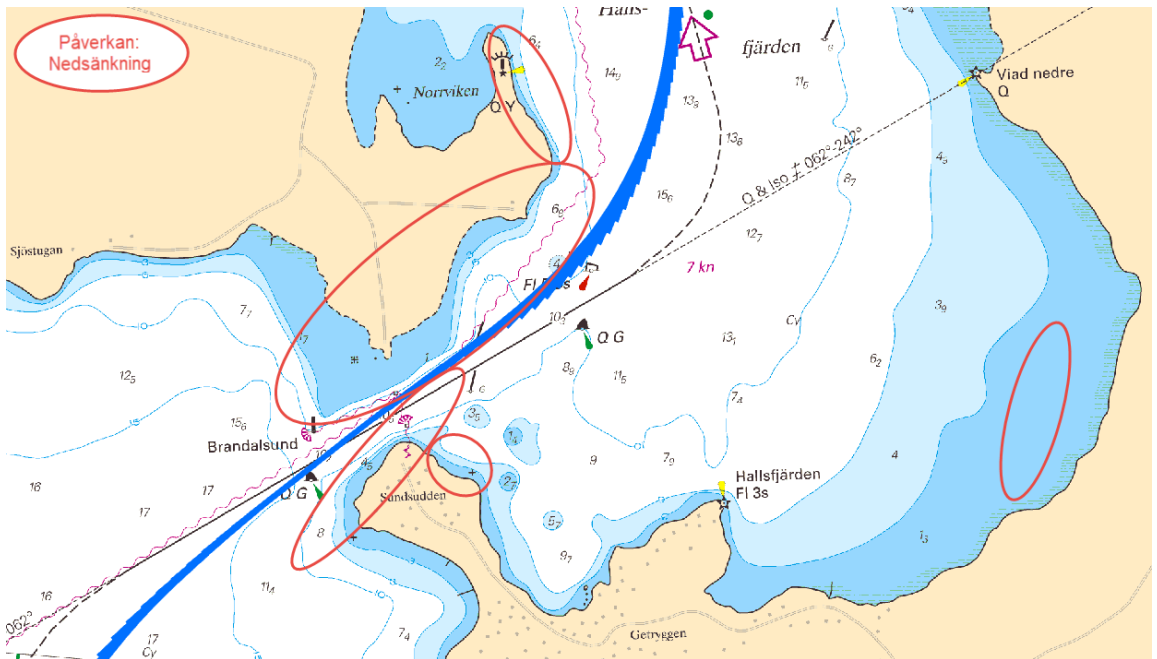
Det skall noteras att det i detta alternativ skall muddras ned till 10,5 m djupgående vilket ger ett visst mått av extra utrymme åt fartygen att passera igenom. I det Planerade alternativet har det antagits att denna muddring minskar påverkan för de största fartygen jämfört med de övriga alternativen eftersom då farledsdjupet ökas. Denna fördjupning av farleden ökar sundens tvärsnittsarea vilket minskar strömhastigheterna genererade av avsänkingsvågen. Effekten av muddringen har antagits reducera strömhastigheterna med 25 % jämfört med de övriga fallen. Vidare resonemang om detta förs i kapitlet Slutsats.



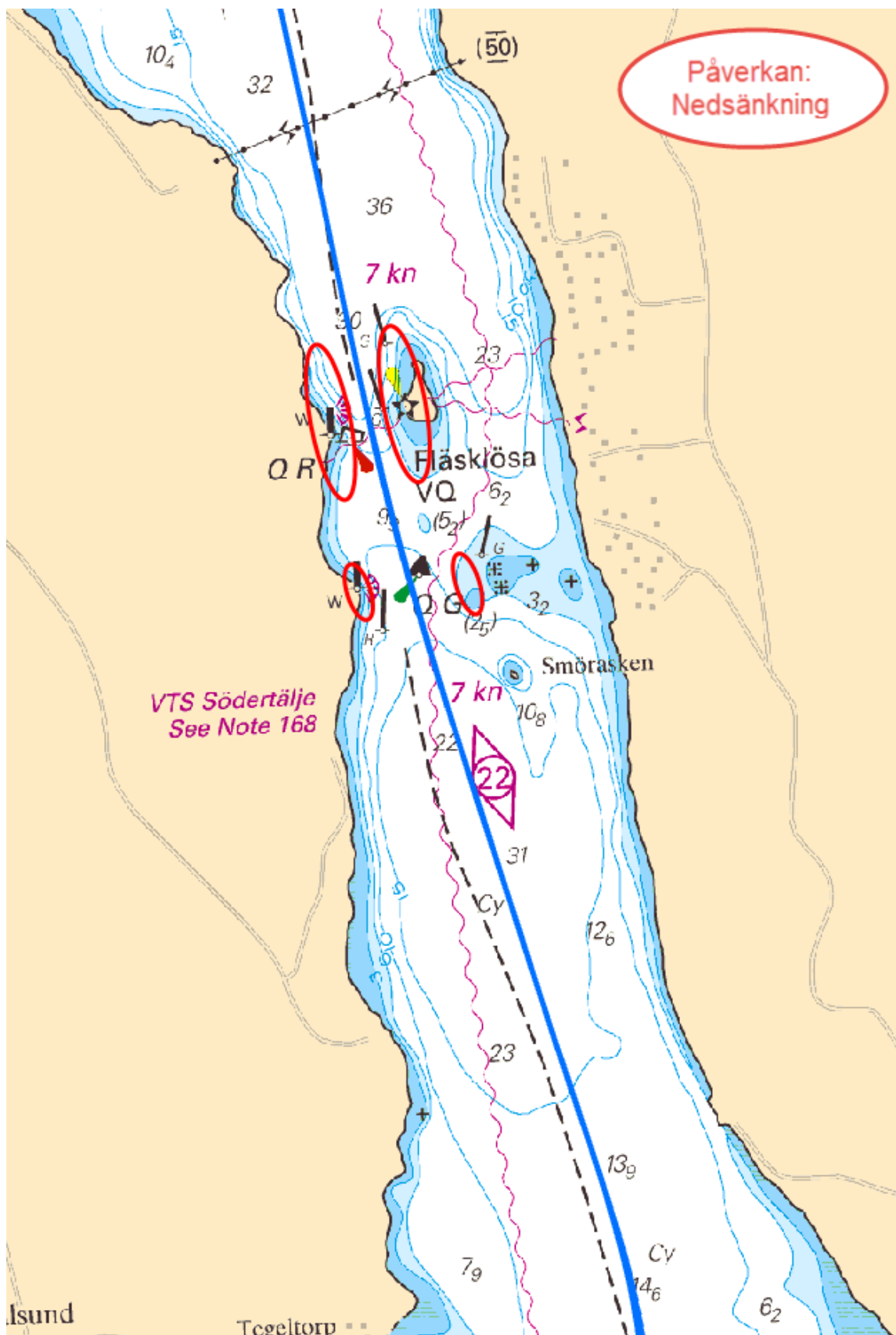
Figur 7.9-1 Skansundet: Områden som bedöms kunna vara påverkade av avsänkingsvågor är markerade med röda ellipser. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.



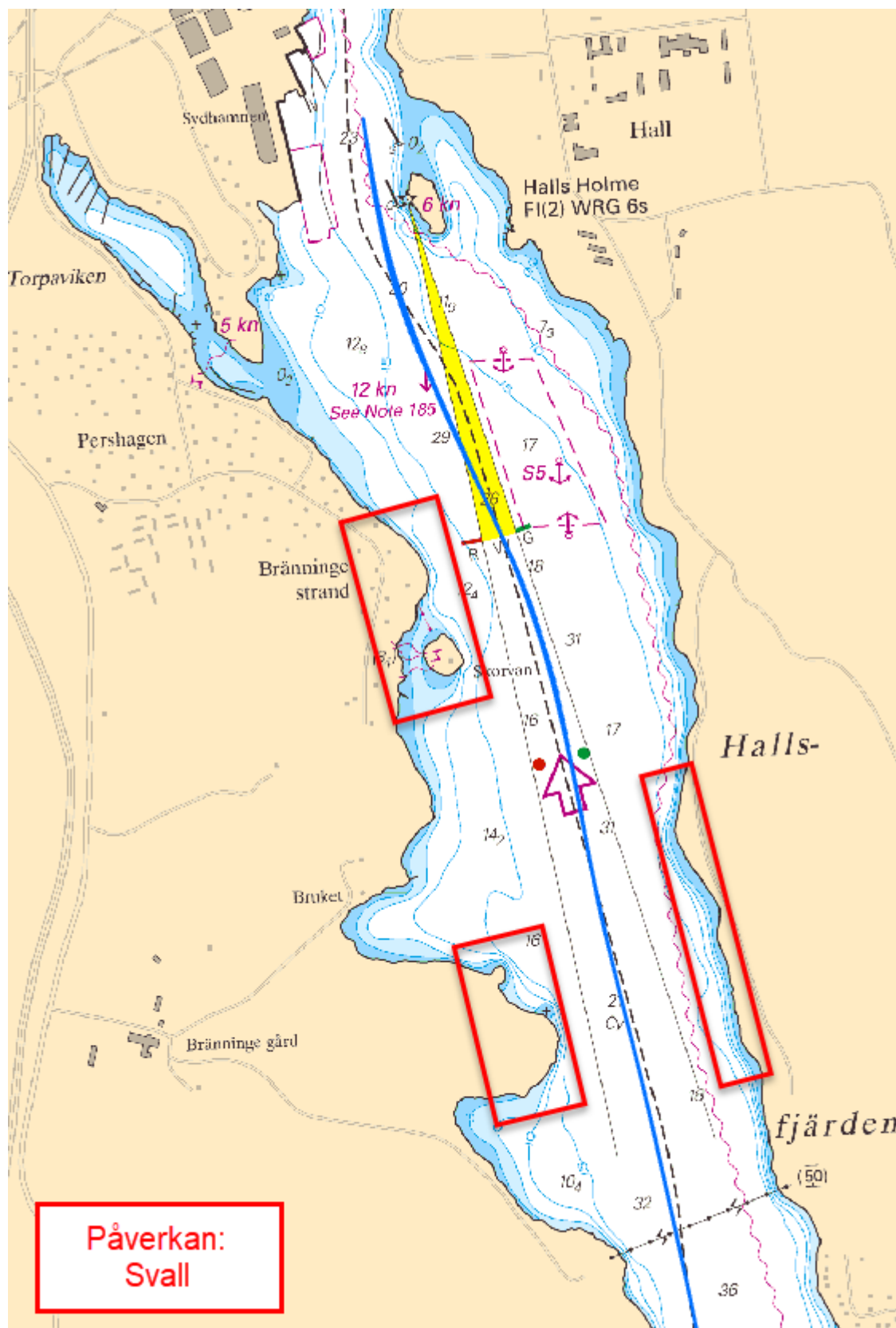
Figur 7.9-2 Näslandsfjärden: Områden som bedöms kunna vara påverkade av svallvågor är markerade med röda rektanglar. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.



Figur 7.9-3 Brandalsund: Områden som bedöms kunna vara påverkade av avsänkingsvågor är markerade med röda ellipser. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.



Figur 7.9-4 Hallstjärnen vid Fläsklösa: Områden som bedöms kunna vara påverkade av avsänkningsvågor är markerade med röda ellipser. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.



Figur 7.9-5 Norra Hallsfjärden: Områden som bedöms kunna vara påverkade av svallvågor är markerade med röda rektanglar. Påverkansområdena gäller för alla alternativ.

8 Slutsats

Från denna studie kan de olika alternativen (Nuläge, Nollalternativ och Planerat alternativ) jämföras utifrån de bedömningar som gjorts på hur många fartygspassager som kan tänkas påverka omgivningen. Påverkan har i denna studie definierats som då svallvågornas höjd vid strandkanten överstiger årsmedlet på den signifikanta vindvågshöjden. Vindvågorna anses vara den naturliga påverkan. För avsänkingsvågen är det primärt den strömhastighet som denna bidrar till som har bedömts. För denna strömhastighet har det antagits en gräns på 0,2 m/s som är relaterad till den hastighet då sediment av typen silt och lera kan börja eroderas.

Avsänkning

För avsänkingsvågen kan det konstateras att påverkan sker för det större fartygsklasserna i de trånga sund och passager som finns i den inre delen av Landsortsfarleden (Skanssundet, Brandalsund och Fläsklösa). I dessa områden finns en hastighetsbegränsning på 7 knop som gör att svallvågorna inte bidrar med någon ytterligare påverkan. Även vid Oaxen-Regarn genereras avsänkingsvågor som överstiger gränsvärdet för erosion. Påverkan från avsänkingsvågor i det Planerade och Nollalternativet är här jämförbara då ökningen av Klass 5 fartyg i det Planerade alternativet vägs upp av en minskning av hastighetsbegränsningen från 12 till 9 knop.

Störst avsänkingsvåg genereras av Klass 5 fartyg. Strömhastigheterna för dessa vågor överstiger med marginal det kritiska värdet på 0,2 m/s som antagits för erosion. Det Planerade alternativet har 83 passager med fartyg i denna Klass medan Nuläget har 1 passage och Nollalternativet inga passager. Även Klass 4 fartyg genererar en avsänkingsvåg som överstiger detta kritiska strömhastighetsvärde men med mindre marginal. För Klass 4 fartyg, som alltså antas ge en moderat påverkan, har det Planerade alternativet 474, Nolläget 516 och Nuläget 253 passager.

En aspekt att ta hänsyn till är att det kommer muddras i det Planerade alternativet. I genomsnitt ökas djupen med över 2 m jämfört med idag. Denna fördjupning av farleden minskar avsänkningseffekten från fartygen. Ett antagande har gjorts att strömhastigheterna som genereras av avsänkingsvågen minskas med ca. 25 % för alla fartygsklasser. Jämför man de olika alternativen har detta framförallt betydelse för Klass 4 fartygen eftersom så pass många passager sker med dessa fartyg. Passagerna med Klass 4 fartyg i det Planerade alternativet har alltså en mindre påverkan än passager med samma fartyg i de övriga alternativen. Självklart minskas även påverkan från Klass 3 med då dessa fartyg endast har en marginell påverkan från början blir det mindre viktigt i jämförelsen. Samma gäller för Klass 5 fartyg men av anledningen att Nollalternativet inte har några passager och Nuläget endast har en passage.

Svallvågor

Det är inte ovanligt att svallvågorna från olika fartygstyper och storlekar generellt är högre än årsmedelvärdet på den signifikanta vindvågshöjden längs Landsortsfarled vid 12 knops hastighet. Utmärkande är svallet från tankfartygens alla klasser och samt den minsta klassen av containerfartygen vid denna hastighet. Vid 9 knops hastighet är det uteslutande en påverkan från den minsta tankerlassen över djup som är 20 m eller grundare.

Sammanställt för de olika alternativen är det Planerade alternativet det mest fördelaktiga alternativet för sträckningen Landsort in till Skanssundet. Även om detta alternativ medför fler passager än Nuläget och passager med större fartyg än Nollalternativet så är den kumulativa påverkan mindre. Detta på grund av en fördelning av fartygstyper över klasserna som medför färre passager med de fartyg som genererar högst svallvågor.

Från Skanssundet in till Södertälje (Halls holme) är det Nuläget som är mest fördelaktiga alternativet då det har markant mindre antal passager med Klass 2–5 fartyg än de andra

alternativen. Jämfört mellan Planerat alternativ och Nollalternativet är det Planerade som är det mest fördelaktiga och har färre passager av alla klasser än Nollalternativet. Totalt är det 632 mot 776 passager.

Varaktighet

I resultatdelen har fartygsgenererade svallvågshöjder jämförts mot årsmedelvärdet på den signifikanta vindvågshöjden. Detta ger en indikation på hur mycket varje specifik fartygspassage påverkar omgivningen i relation till hur utsatt strandkanten redan är av de naturligt förekommande vindvågorna. För att uppskatta den kumulativa påverkan av fartygssvall behövs antalet passager och varaktigheten av ett event tas i betraktande. Den totala varaktigheten av svallvågor av en viss höjd kan sedan sättas i relation till storleken på vindvågorna under samma tid.

För att beräkna den totala varaktigheten över ett år för påverkan av fartygssvall kan följande beräkning göras:

Anta att en passage med ett fartyg som går i 12 knop genererar svallvågor med en vågperiod på ca. 3 s. Då svallvågor är en grupp av vågor på uppskattningsvis 10 stycken så kommer en passage att ge en påverkan som varar i 30 s. Under ett år antar vi att vi det passerar 1800 fartyg vilket ger en total varaktighet på 15 timmar (0,17 % av ett år).

Utifrån vindvågsmodelleringen kan sedan medelvärdet för 99,83-percentilen tas, det vill säga medelvärdet av de högsta naturliga våghöjderna som uppmätts under en total tid på 15 timmar av ett år (15-timmarsvärdet). Detta värde kommer vara väsentligt högre än årsmedelvärdet eftersom endast de högsta vågorna tas med i medelvärdesbildningen. Genom att jämföra detta medelvärde med det svallvågshöjden från fartygen kan den kumulativa effekten utvärderas.

Några exempel på skillnaderna i dessa värden har gjort för följande platser:

- **Grönsö sydöstra sida:** Vindvågornas medelvärde är 0,15 m och dess 15-timmarsvärde är 0,4 m. Svallvåghöjden har bedömts till ca. 0,45 m för Klass 1 och 2 fartyg.
- **Himmerfjärdens östra sida:** Vindvågornas medelvärde är 0,20 m och dess 15-timmarsvärde är 0,8 m. Svallvåghöjden har bedömts till ca. 0,50 m för Klass 1 och 2 fartyg.
- **Norra Halsfjärdens västra sida:** Vindvågornas medelvärde är 0,1 m och 15-timmarsvärdet är 0,2 m. Svallvåghöjden har bedömts till ca. 0,6 m för Klass 1 fartyg.
- **Norra Halsfjärdens östra sida:** Vindvågornas medelvärde är 0,1 m och 15-timmarsvärdet är 0,35 m. Svallvåghöjden har bedömts till ca. 0,6 m för Klass 1 fartyg.

Sett ur ett varaktighetsperspektiv kan i vissa fall svallvågshöjden från fartygen överstiga vindvågshöjdens 15-timmarsvärde. I dessa fall är den kumulativa påverkan från fartygssvallen högre än den kumulativa vindvågspåverkan. Detta kan ske i områden skyddade från vindvågor där hastighetsbegränsningen för fartygen är 12 knop.

9 Källförteckning

- /1/ DHI. Beräkningar av potentiell påverkan från propellerströmmar och fartygsinducerade vågor i en framtida Landsortsfarled. 2018-02-27.
- /2/ PIANC. Report no 99. Considerations to reduce environmental impacts of vessels. 2008
- /3/ 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.
- /4/ 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.
- /5/ Holthuijsen, L. (2007). Description of ocean waves. In Waves in Oceanic and Coastal Waters (pp. 24-55). Cambridge: Cambridge University Press.
doi:10.1017/CBO9780511618536.004
- /6/ Dou, G. (2000). Incipient motion of sediment under currents. China Ocean. Eng., 14(4), 391-406.
- /7/ Thorn, M. (1981). Physical processes of siltation in tidal channels. Hydraulic modelling maritime engineering problems. London
- /8/ van Rijn, L. (1993). Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. (Acqua Publications) Hämtat från www.acquapublications.nl
- /9/ Houwing, E. (2000). Sediment dynamics in the pioneer zone in the land reclamation area of the Waddenzee, Groningen, The Netherlands (Doctoral Thesis). Utrecht, The Netherlands: University of Utrecht



The expert in **WATER ENVIRONMENTS**