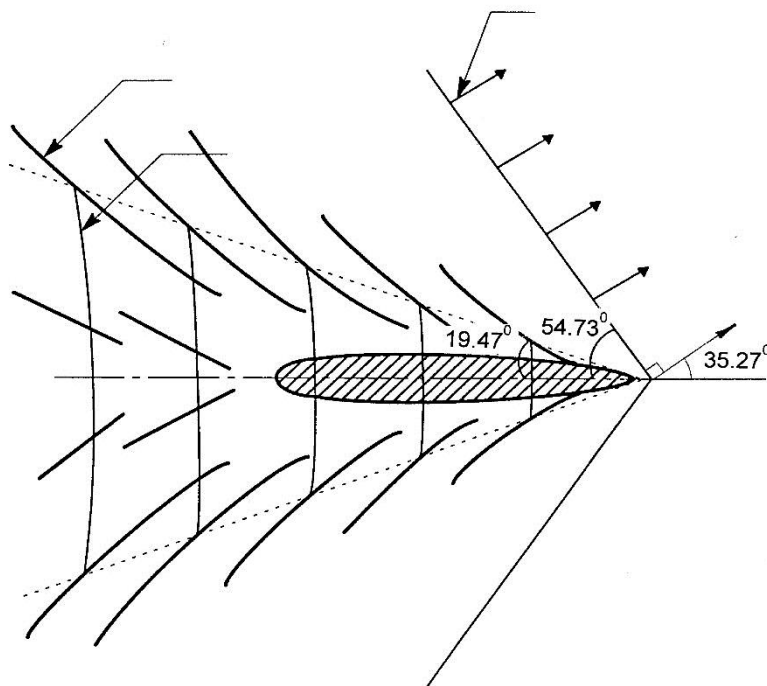


## Malmporten Luleå

Bedömning av risken för ändrade  
erosionsförhållanden efter muddring



**Samfinansierat av EU**  
Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)

Ramböll Sverige AB

Rapport

Oktober 2015

Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningsystem  
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 av DNV



## Malmporten Luleå

Bedömning av risken för ändrade  
erosionsförhållanden efter muddring

Framtagen för      Ramböll Sverige AB  
Kontaktperson      Mattias Bååth

---

Projektledare	Anna Karlsson
Kvalitetsansvarig	Anna Karlsson
Handläggare	Olof Liungman, Peter Sloth, Rolf Deigaard

Uppdragsnummer	12802687
Godkänd datum	2015-10-08
Version	1.2
Klassificering	Öppen



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b>Sammanfattning .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>4</b>
2.1	Bakgrund .....	4
2.2	Frågeställning.....	4
<b>3</b>	<b>Dataunderlag .....</b>	<b>5</b>
3.1	Bottentopografin.....	5
3.2	Farleden .....	6
3.3	Bottenförhållanden .....	6
3.4	Fartygsegenskaper .....	7
<b>4</b>	<b>Metodik .....</b>	<b>8</b>
4.1	Övergripande beskrivning .....	8
4.2	Förändrade strömhastigheter.....	8
4.3	Propellerströmmar.....	10
4.4	Svallvågor .....	11
<b>5</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>13</b>
5.1	Förändrade strömhastigheter.....	13
5.2	Propellerströmmar.....	18
5.3	Svallvågor .....	20
<b>6</b>	<b>Slutsatser.....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>Referenslista.....</b>	<b>22</b>

## FIGURER

Figur 3-1	Detalj av modellbatymetrin före muddring och dumpning. ....	5
Figur 3-2	Detalj av modellbatymetrin efter muddring och dumpning. ....	6
Figur 4-1	Karta över modellens beräkningsnät. Djupen avser nuvarande förhållanden. ....	9
Figur 4-2	Modellens beräkningsnät i närheten av Luleå hamn. Djupen avser nuvarande förhållanden. ....	10
Figur 4-3	En illustration av en propellerström bakom ett skepp. ....	11
Figur 4-4	Illustration av sekundära vågor från ett fartyg.....	12
Figur 5-1	Modellerad maximal strömhastighet vid botten före muddring. Svarta linjer visar farlederna. ....	13
Figur 5-2	Modellerad maximal strömhastighet vid botten efter muddring. Svarta linjer visar farlederna. ....	14
Figur 5-3	Modellerad medelströmhastighet vid botten före muddring. Svarta linjer visar farlederna.....	15
Figur 5-4	Modellerad medelströmhastighet vid botten efter muddring. Svarta linjer visar farlederna.....	16
Figur 5-5	Andel av simuleringsperioden som den modellerade strömhastigheten vid botten överstiger 0,26 m/s före muddring. Svarta linjer visar farlederna. ....	17
Figur 5-6	Andel av simuleringsperioden som den modellerade strömhastigheten vid botten överstiger 0,26 m/s efter muddring. Svarta linjer visar farlederna. ....	18
Figur 5-7	Strömhastighet nära botten på grund av propellerströmmar. X-axeln anger avståndet från propellern akterut. ....	19



## 1 Sammanfattning

Denna rapport avser del B inom DHI:s uppdrag för Ramböll avseende underlag för en miljökonsekvensbeskrivning gällande projekt Malmporten i Luleå. Syftet är att ta fram en preliminär bedömning av risken för erosion efter muddring på grund av förändrade strömmar samt utökad fartygstrafik.

För att bedöma muddringens påverkan på bottenströmmarna och därmed risken för ökad erosion har strömmar beräknade med den hydrodynamiska modell som satts upp för området analyserats statistiskt. Effekten av propellerströmmar respektive svallvågor från större fartyg efter muddringen har uppskattats utifrån gängse formler.

Resultaten visar att strömhastigheterna vid botten påverkas mycket lite av muddringen. Den tydligaste effekten blir vid dumpningsplatserna när dessa fylls igen av muddermassor, vilket medför ett mindre vattendjup och därmed högre maxhastigheter. På några platser där farlederna fördjupas sker det omvända. Förändringarna är däremot inte så stora att man bör förvänta sig förändrade erosionsförhållanden någonstans, särskilt som medelhastigheterna respektive andelen av totala tiden som bottenströmhastigheterna överstiger det kritiska värdet visar att höga, eroderande hastigheter vid botten är synnerligen ovanliga, både före och efter muddring.

När det gäller fartygsinducerade bottenströmmar så förväntas inte propellerströmmar från den större fartygstyp som antas trafikera Luleå hamn efter muddringen kunna ge upphov till någon märkbar erosion i farlederna. 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 eller grumlighetsnivåerna i området, särskilt med tanke på det begränsade antalet anlöp.

Svallvågor från den fartygstyp som analyserats kan delas in i två typer. De divergerande sekundära vågor som man vanligtvis refererar till som svallvågor förväntas inte ge upphov till någon erosion längs farledens stränder. Den primära vågtypen, som uppstår som en lång nedsänkning av vattenytan längs skrovet, skulle kunna ge upphov till en viss grumling samt påverkan då den når strandlinjen i form av ett svall med amplituden ca 0,1 m. Effekten torde däremot vara liten och borde som mest ge en viss förändring av strandprofilen på grunda djup (upp till några decimeters djup). Naturliga variationer kommer sannolikt göra sådana effekter omätbara.

## 2 Inledning

DHI har fått i uppdrag att simulera strömningsförhållanden och spridning av spill i samband med muddring och dumpning i Luleå hamn och skärgård. Syftet med modellstudien är att visa vilka grumlingsnivåer som kan förekomma och ge underlag för att bedöma miljöpåverkan från verksamheten. Det deluppdrag som presenteras här – deluppdrag B – syftar till att göra en översiktlig bedömning av risken för ökad erosion efter muddring på grund av förändrade strömförhållanden samt att större fartyg trafikerar hamnen.

### 2.1 Bakgrund

Sjöfartsverket, Luleå hamn och Trafikverket driver tillsammans projektet Malmporten. Projektet omfattar en utökning och förbättring av Luleå Hamn, farlederna till hamnen och anslutande järnväg i syfte till att förbättra säkerheten och tillgängligheten för sjöfarten till Luleå.

I projektet föreslås omfattande muddring av farlederna in till Luleå hamn inklusive områden i själva hamnen. DHI har fått i uppdrag av Ramböll att genomföra en numerisk modelleringsstudie av sedimentspill i samband med muddring och dumpning (deluppdrag A), samt bedöma sannolikheten för ökad erosion på grund av förändrade strömförhållanden och förändrad fartygstrafik (deluppdrag B) respektive förändrade bottenförhållanden på dumpningsplatserna (deluppdrag C).

### 2.2 Frågeställning

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 angöra en hamn, vilket i sin tur innebär större svallvågor 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 den planerade muddringen presenteras i denna rapport en analys baserad på numeriska och analytiska uppskattningar av tre mekanismer som kan ge upphov till erosion:

1. Förändrade strömhastigheter efter muddring.
2. Propellerströmmar från större fartyg.
3. Fartygsinducerade vågor från större fartyg.

För en allmän beskrivning av projektet och området hänvisas läsaren till ref. /1/.



### 3 Dataunderlag

Nedan följer en sammanställning av det dataunderlag som är av särskild vikt för denna delstudie. För ytterligare information se ref. /1/.

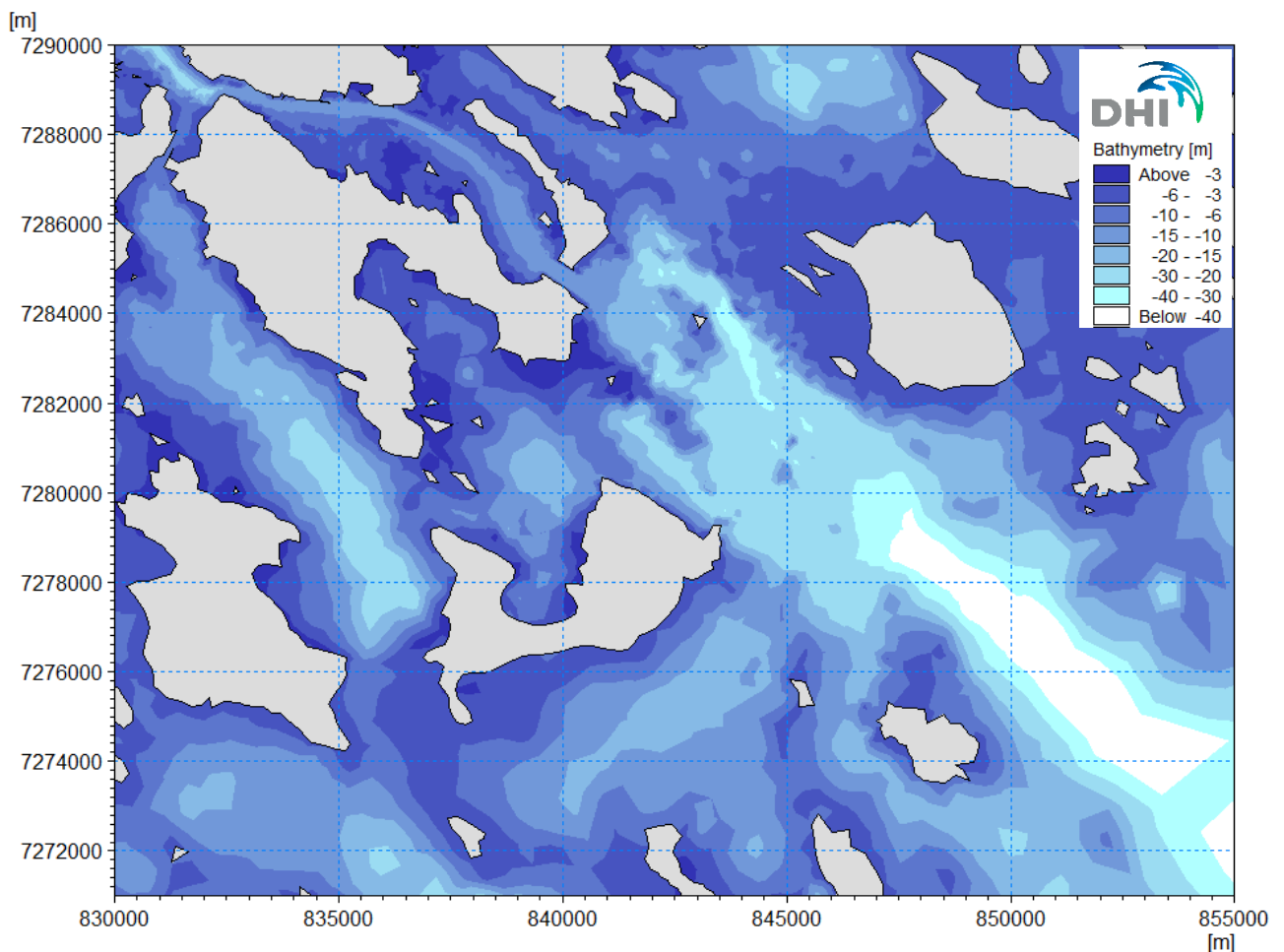
De data som framför allt är viktiga för att bedöma förändringar i erosionsförhållandena är:

- Bottentopografin och dess förändring i samband med muddring och dumpning.
- Farledens sträckning.
- Bottenförhållande med avseende på material och erosionskänslighet.
- Karakteristiska egenskaper hos de fartyg som förväntas anlöpa hamnen efter muddringen.

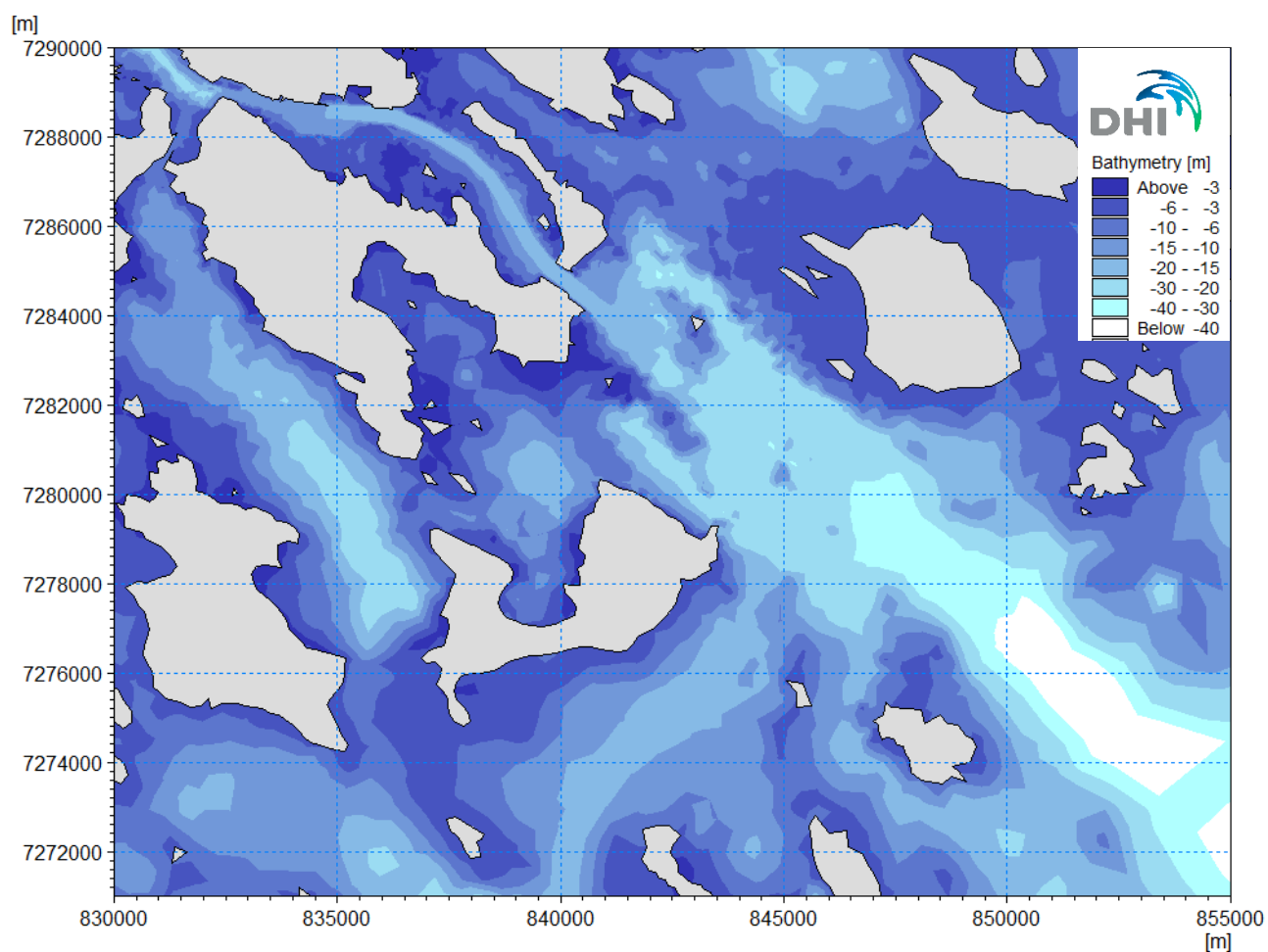
Dessa fyra datamängder beskrivs kortfattat nedan.

#### 3.1 Bottentopografin

Djupinformationen har tillhandahållits från Sjöfartsverket som gjort detaljerade sjömätningar i farlederna in till Luleå hamn. Utanför farlederna har sjökortsdata använts. Efter muddring och dumpning förändras djupförhållandena på så sätt att farleden fördjupats medan samtliga dumpningsplatser fyllts upp till givna nivåer. Uppgifter om hur bottentopografin kommer att förändras har tillhandahållits av Ramböll i form av tabeller och GIS-skikt. Den modellerade bottentopografin presenteras i Figur 3-1 (nuvarande förhållanden) och Figur 3-2 (efter muddring och dumpning).



Figur 3-1 Detalj av modellbathymetrin före muddring och dumpning.



Figur 3-2 Detalj av modellbatymetrin efter muddring och dumpning.

## 3.2 Farleden

Farledens nuvarande sträckning framgår av sjökortet. Dessutom har Ramböll tillhandahållit en översiktskarta i PDF-format som visar planerade områden för muddring, dumpning samt förändringar i farledsutmärkningen.

## 3.3 Bottenförhållanden

Som underlag har Ramböll tillhandahållit ett yttrande från Sveriges geologiska undersökning (SGU) där de geologiska förhållandena beskrivs. I yttrandet ingår också en översiktskarta. Dessutom har en karta från Statens geotekniska institut (SGI) tillhandahållits, där bland annat stränder med förutsättningar för erosion indikeras.

### 3.4 Fartygsegenskaper

Följande uppgifter som beskriver den fartygstyp som förväntas angöra hamnen efter muddringen genomförts har lämnats av Sjöfartsverket och tillhandahållits av Ramböll:

- Fartygsdimensioner: L 330 m, B 50 m, D 15 m, tonnage ca 160 000 ton
- Hastighet: 6-7 knop genom Klubbnäspassagen och sedan reduceras hastigheten in mot kaj
- Typisk rutt: Enligt farleder i sjökortet, framför allt förbi Farstugrunden
- Trafikintensitet: 1-2 fartyg per dag
- Maskinstyrka: Omkring 25 000 hk

## 4 Metodik

### 4.1 Övergripande beskrivning

Metodiken som använts för att bedöma om erosionsförhållandena förändras efter att muddring och dumpning har genomförts varierar beroende på vilken av de tre mekanismerna som undersökts. När det gäller förändringar i strömhastigheter och strömningsmönster så har resultaten från delstudie A avseende spridningen av sedimentspill (ref. /1/) och delstudie C (ref. /2/) använts, då strömningen både före och efter muddring och tippning har simulerats med hjälp av en tre-dimensionell numerisk strömningsmodell (se avsnitt 4.2).

När det gäller den erosion som större fartyg kan ge upphov till på grund av starkare propellerströmmar (se avsnitt 4.3) eller större svallvågor (se avsnitt 4.4) så har analytiska uppskattningar använts samt beprövad erfarenhet och information från litteraturen.

### 4.2 Förändrade strömhastigheter

Strömmarna i området har beräknats med hjälp av en hydrodynamisk strömningsmodell som satts upp i MIKE 3 FM, ett tredimensionellt numeriskt modellsystem för beräkning av strömning och transport i vatten. FM står för Flexible Mesh, vilket innebär att området beskrivs med ett ostrukturerat beräkningsnät av trianglar och fyrkanter vars storlek kan variera mellan olika delar av modellområdet. På så sätt kan modellens upplösning vara detaljerad i de områden som är av störst intresse och grövre där detaljer inte är lika viktiga. I varje element i beräkningsnätet beräknas strömmarna till riktning och styrka, densiteten (som funktion av temperatur och salthalt), den turbulenta blandningen, lösta ämnens koncentrationer och andra parametrar som efterfrågas.

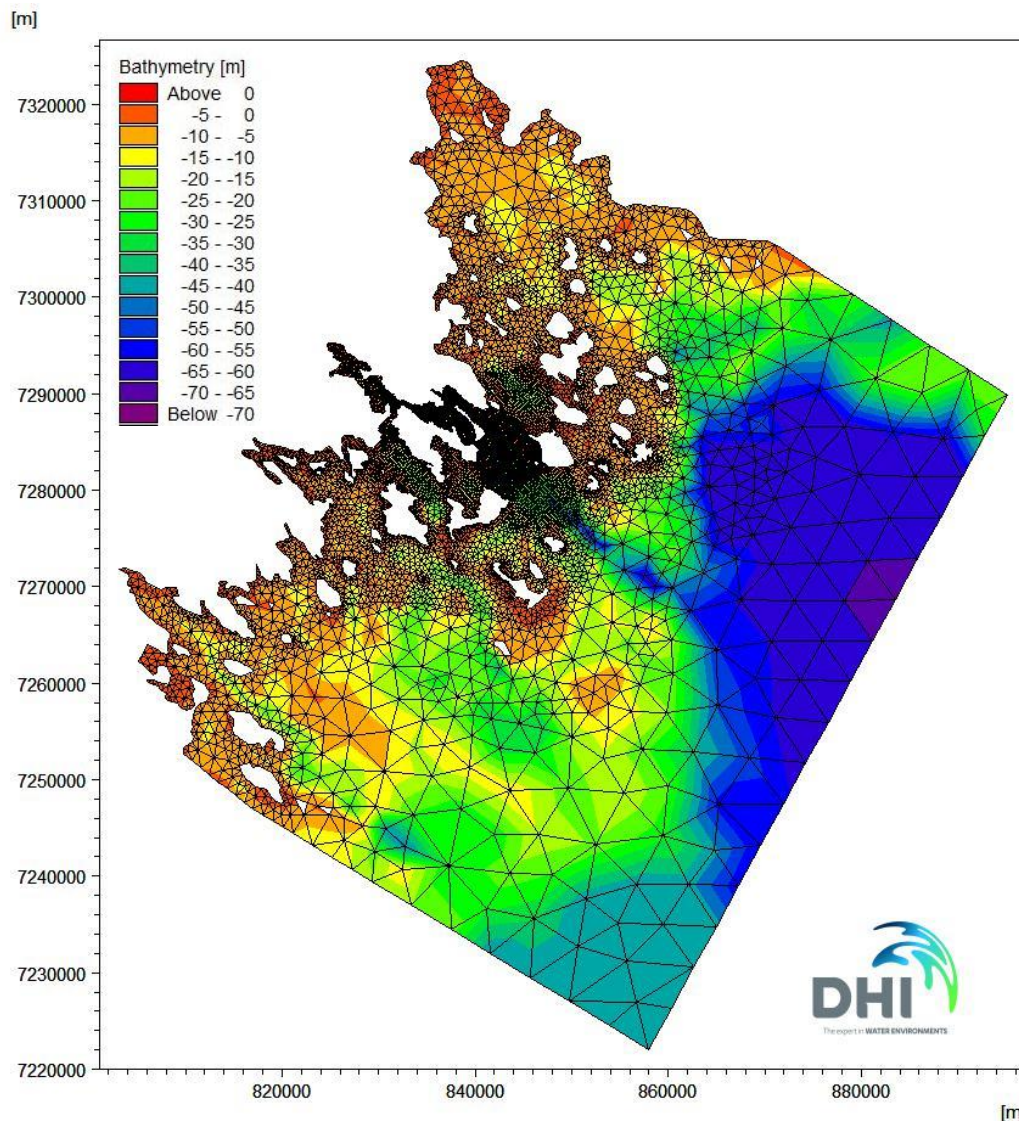
MIKE 3 FM kan ta hänsyn till alla de viktigaste processerna, vilka är:

- Transport av salt och värme
- Drivning på grund av variationer i densitet
- Bottenfriktion
- Vindens drivning på ytan
- Drivning på grund av vattenståndsvariationer
- Tillflöden och utsläpp från land
- Värmeutbyte med atmosfären
- Turbulens
- Corioliseffekten

Strömningsmodellen drivs av vattenståndsvariationer, skiktning och strömning i havet utanför modellområdet, avrinning från land samt de meteorologiska förhållandena.

Modellen som satts upp täcker in ett område från Bocköfjärden i norr till Kallfjärden i söder och österut till djup på omkring 50-70 m, se Figur 4-1. För att på ett tillförlitligt sätt kunna modellera strömmarna i Luleås inseglingsområde har modellen gjorts relativt stor. Detta beror på att vattnets rörelser i farledsområdet är beroende av vad som sker i havet utanför och hur vattnet strömmar i norra och södra skärgården. En annan orsak till modellens utbredning är att den skall passa till de regionala prognosmodeller som DHI kör operationellt och som levererar randvillkor för de öppna gränserna mot utsjön i modellen. Beräkningsnätets högsta upplösning finns i farleden in till Luleå där de rektangulära cellerna är ca 50x50 m (se Figur 4-2). Varje cell är ca 1 m tjock.

Modellen har använts för att simulera perioden april-oktober 2012 för två olika fall avseende bottenprofilen: före planerad muddring (nuvarande förhållanden) samt efter avslutad dumpning. För mer information se ref. /1/.



Figur 4-1 Karta över modellens beräkningsnät. Djupen avser nuvarande förhållanden.

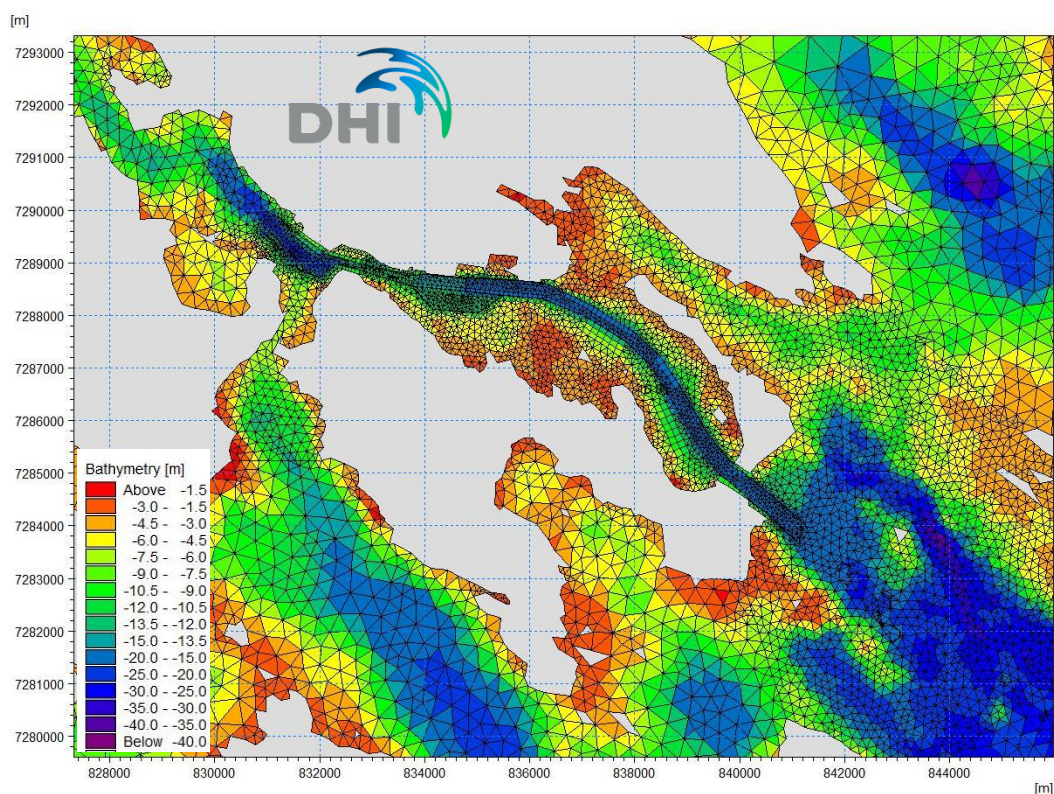
Flödesfälten som beräknats av strömningsmodellen har sparats varje halvtimme. Ur dessa resultat har strömshastigheten vid botten extraherats och analyserats statistiskt. För det första har maximala värdet respektive medelvärdet beräknats i varje punkt. För det andra har den totala andel av simuleringsperioden som strömshastigheten överstiger ett kritiskt värde för erosion beräknats. Ovanstående statistiska parametrar presenteras som kartor för förhållandena före respektive efter muddring och dumpning

Den kritiska strömshastigheten har uppskattats utifrån formeln för bottenskjuvspänningen  $\tau$ :

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

Här är  $\rho$  vattnets densitet ( $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $C_D$  är friktionskoefficienten ( $\approx 0,003$ ) och  $U$  är strömshastigheten i bottenlagret. Om den kritiska bottenskjuvspänningen för erosion är ca  $0,2 \text{ N/m}^2$  (ref. /1/) så blir den kritiska strömshastigheten för erosion vid botten ca  $0,26 \text{ m/s}$ .





Figur 4-2 Modellens beräkningsnät i närheten av Luleå hamn. Djupen avser nuvarande förhållanden.

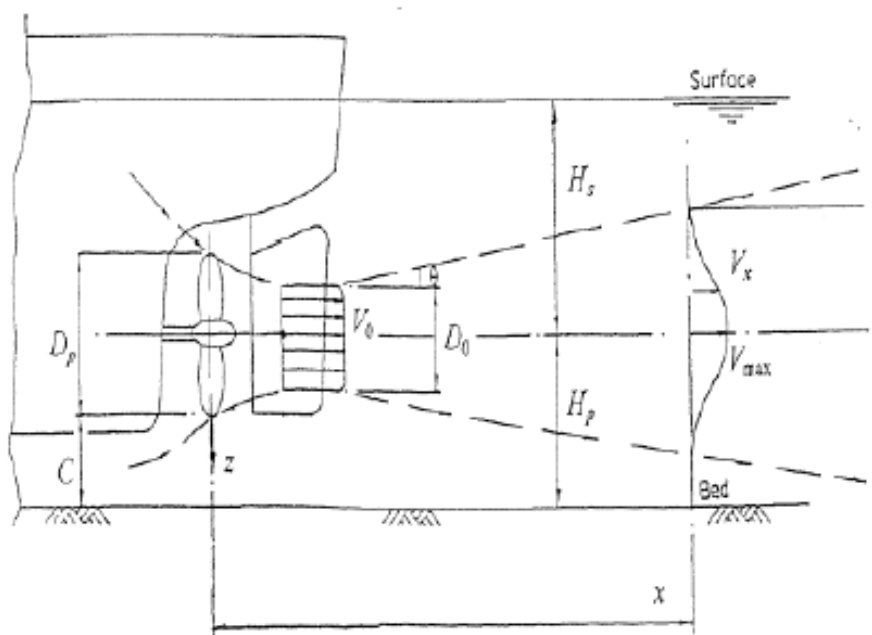
### 4.3 Propellerströmmar

För att bedöma om de större fartyg som förväntas trafikera Luleå hamn 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 (se avsnitt 0). Dessa har uppskattats utifrån litteraturen för ett typiskt bulkfartyg av den storlek som specificerats (se ref. /3/, /4/, /5/ och /6/):

- *Block coefficient* (ett mått på fartygsskrovets form): 0,85
- Propellerdiameter: 7,5 m
- Propelleraxelns höjd över kölen: 4,15 m
- Marschfart: 14,5 knop
- Propellerns varvtal vid marschfart: 80 rpm
- *Propeller thrust coefficient* (ett mått på propellerns effektivitet): 0,35

Denna analys fokuserar på erosionseffekterna i farleden, inte i samband med manövrering nära kaj vid låga hastigheter. Det finns flera metoder för att uppskatta den första effekten (se t.ex. ref. /7/) men den senare effekten har inte analyserats i samma omfattning. Här använder vi den analysmetod som redovisas i ref. /8/. Figur 4-3 illustrerar en propellerström bakom ett fartyg.



Figur 4-3 En illustration av en propellerström bakom ett skepp.

## 4.4 Svallvågor

När ett fartyg rör sig genom vattnet bildas vågor, vilka kan ge upphov till erosion när de bryter mot en strand. Det finns i huvudsak två typer av svallvågor från fartyg: primära och sekundära. De primära vågorna beror på att fartyget tränger undan en vattenvolym. Detta ger upphov till tillfälliga lång-periodiska vågor och utgör ofta det dominerande problemet i smala sund och fartygsleder. De sekundära vågorna skapas av tryckgradienter runt fartygsskrovet. De är ofta kortare vågor och utgår från bogen och aktern. 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 4-4. 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. /9/. 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, djupgående, *block coefficient* (0,83) samt avståndet från bogen till där fartygsskrovet når sin maximala bredd (55 m)
2. Vattendjupet (16,85 m i farleden)
3. Fartygets hastighet  $V$  i knop
4. Avståndet vinkelrätt ut från fartyget

För de primära vågorna föreslås följande formel för den nedsänkning av vattenytan  $\Delta H$  som sker nära skeppet (ref. /9/):

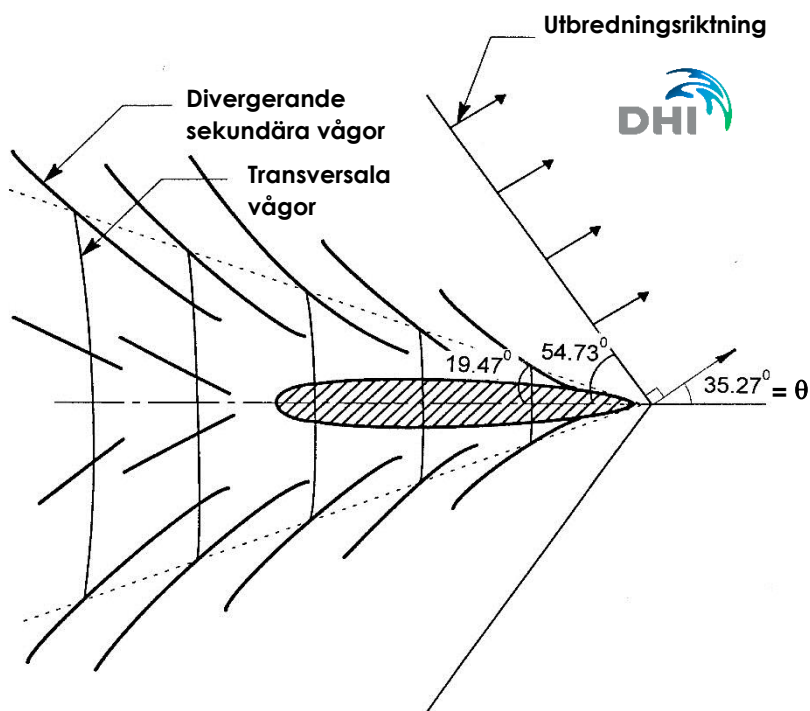
$$\Delta H = DC_1 e^{C_2 F^*}$$

Här är  $D$  djupgåendet,  $C_1$  och  $C_2$  koefficienter och  $F^*$  ett modifierat s.k. Froude-tal.

De sekundära vågornas period  $T$  kan uppskattas med formeln

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

där  $\Theta$  är vågornas utbredningsriktning relativt fartygets rörelseriktning (se Figur 4-4). Resultatet blir att  $T \approx 0.27V$ .



Figur 4-4 Illustration av sekundära vågor från ett fartyg.

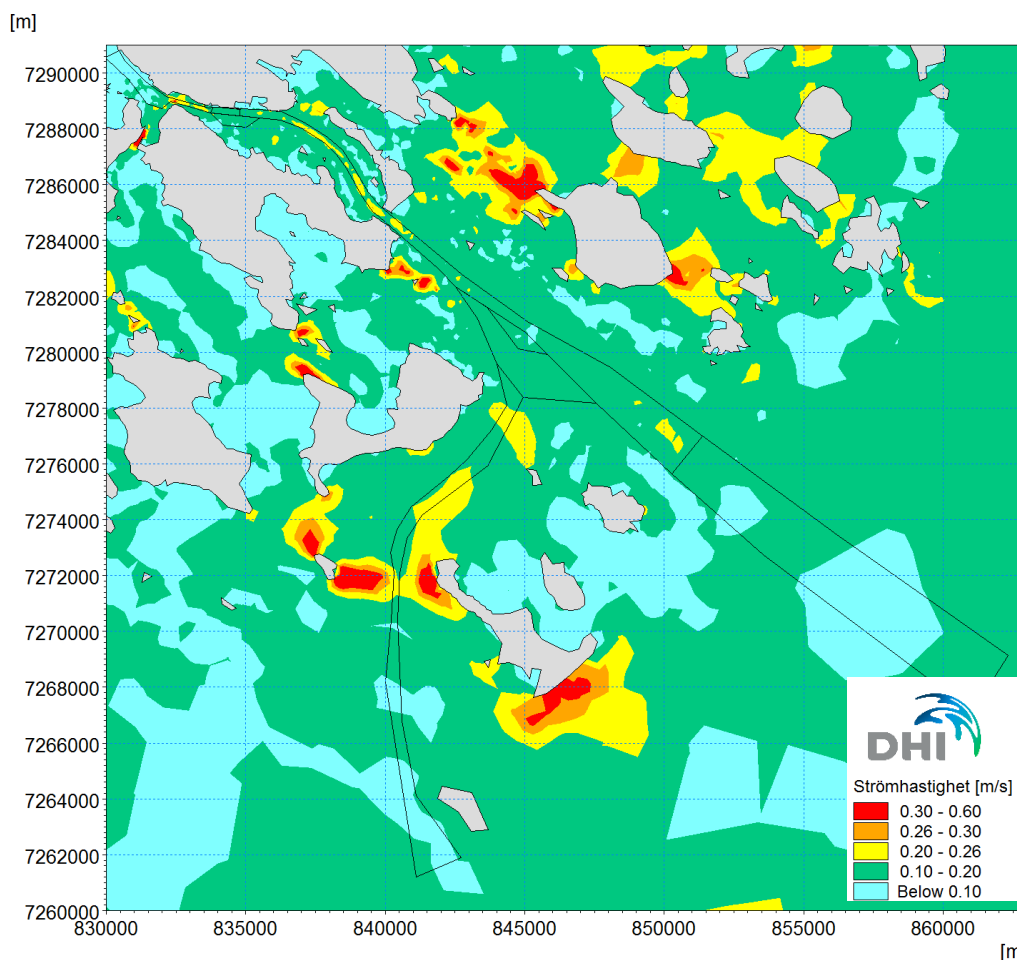


## 5 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten för de tre mekanismerna utifrån den metodik som presenterats i avsnitt 0.

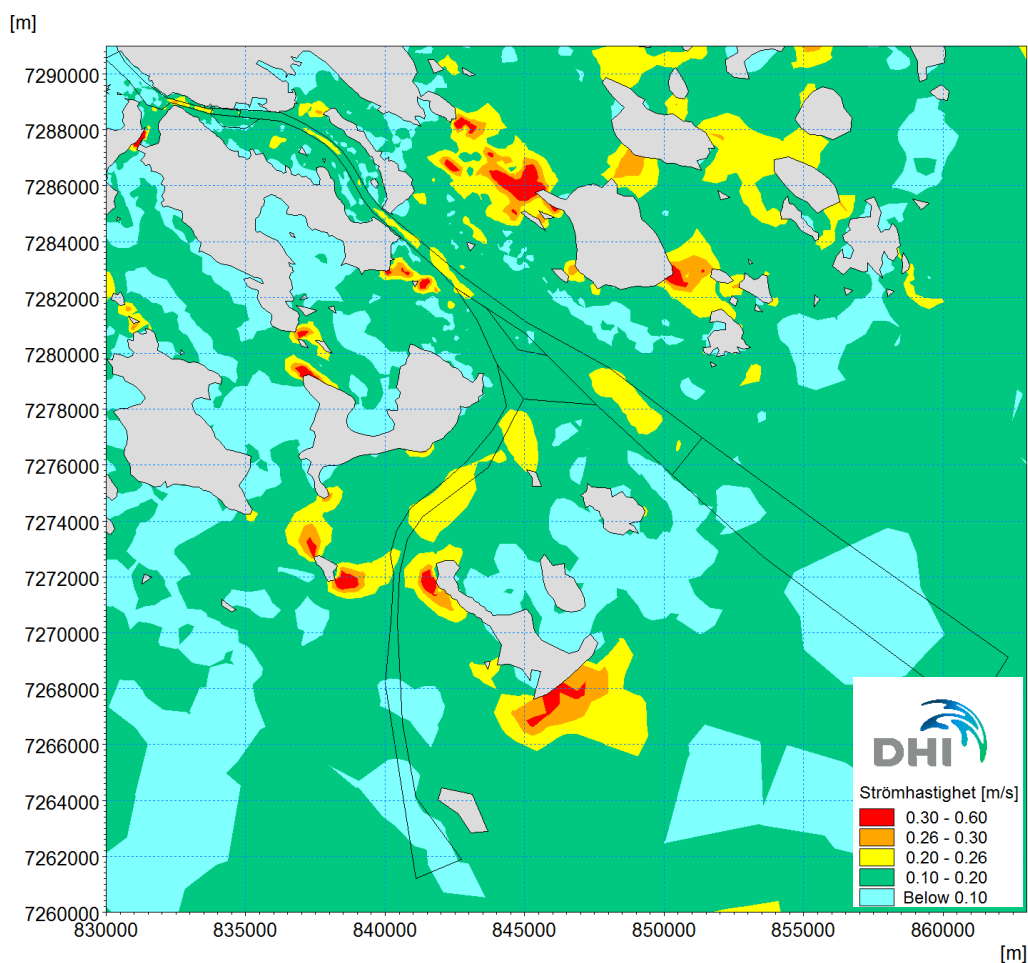
### 5.1 Förändrade strömhastigheter

Figur 5-1 visar den maximala strömshastigheten vid botten som beräknats under simuleringsperioden före muddringen. Orange och röd färg visar där strömshastigheten vid botten överstiger det kritiska värdet för erosion (0,26 m/s), medan gul färg visar där hastigheten är mellan 0,2 och 0,26 m/s. Värdet 0,2 m/s används ibland som en undre gräns för erosion. Observera att de flesta områdena med höga strömshastigheter vid botten ligger utanför farlederna.



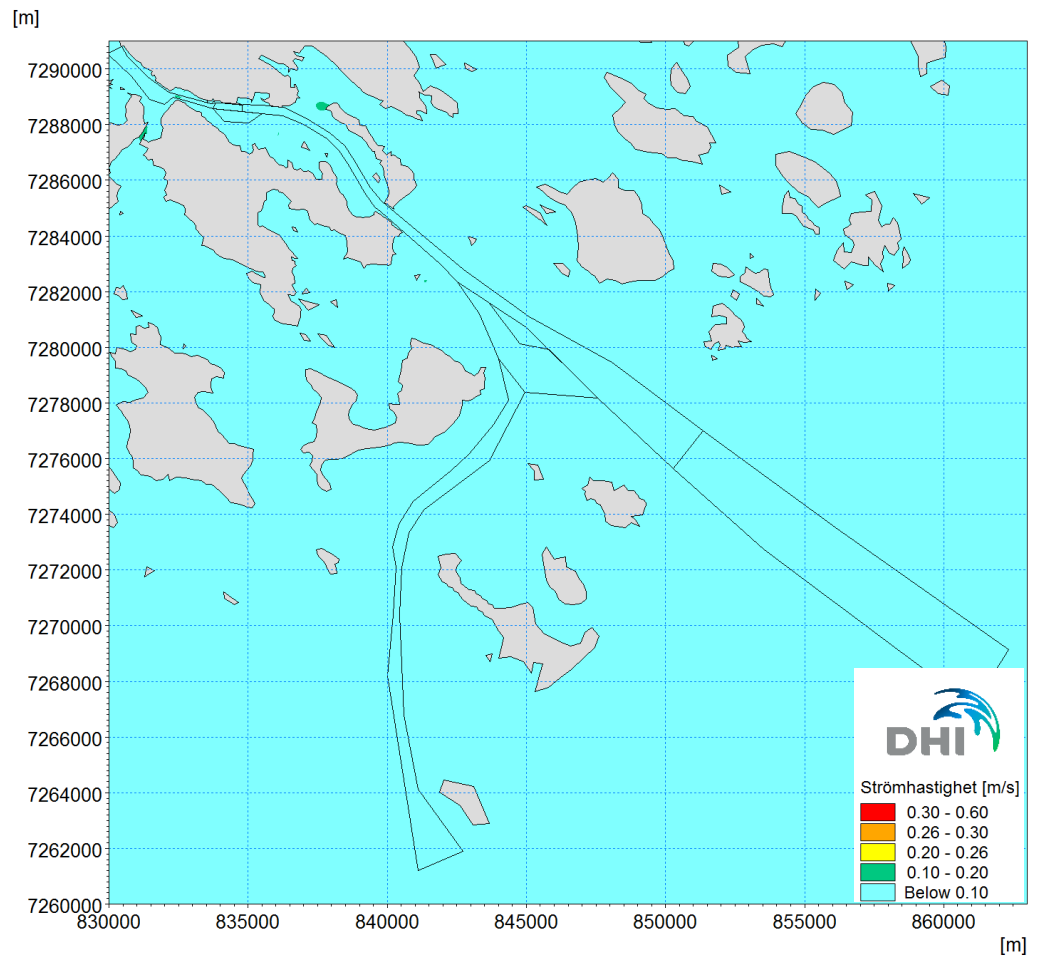
Figur 5-1 Modellerad maximal strömshastighet vid botten före muddring. Svarta linjer visar farlederna.

Om vi jämför Figur 5-1 med Figur 5-2 – som visar samma parameter men efter att muddringen är genomförd – så ser vi inga signifikanta förändringar. De tydligaste förändringarna är vid dumpningsplatsen i Sörbrändöfjärden och SV Vitfågelskäret, där dumpningen ger upphov till maximala bottenströmshastigheter över 0,2 m/s efter muddring och dumpning. Inne i Klubbviken minskar den maximala bottenströmshastigheten något och likaså mellan Gråsjälgrundet och Sandgrönorna, sannolikt som ett resultat av den fördjupning som muddringen ger upphov till.

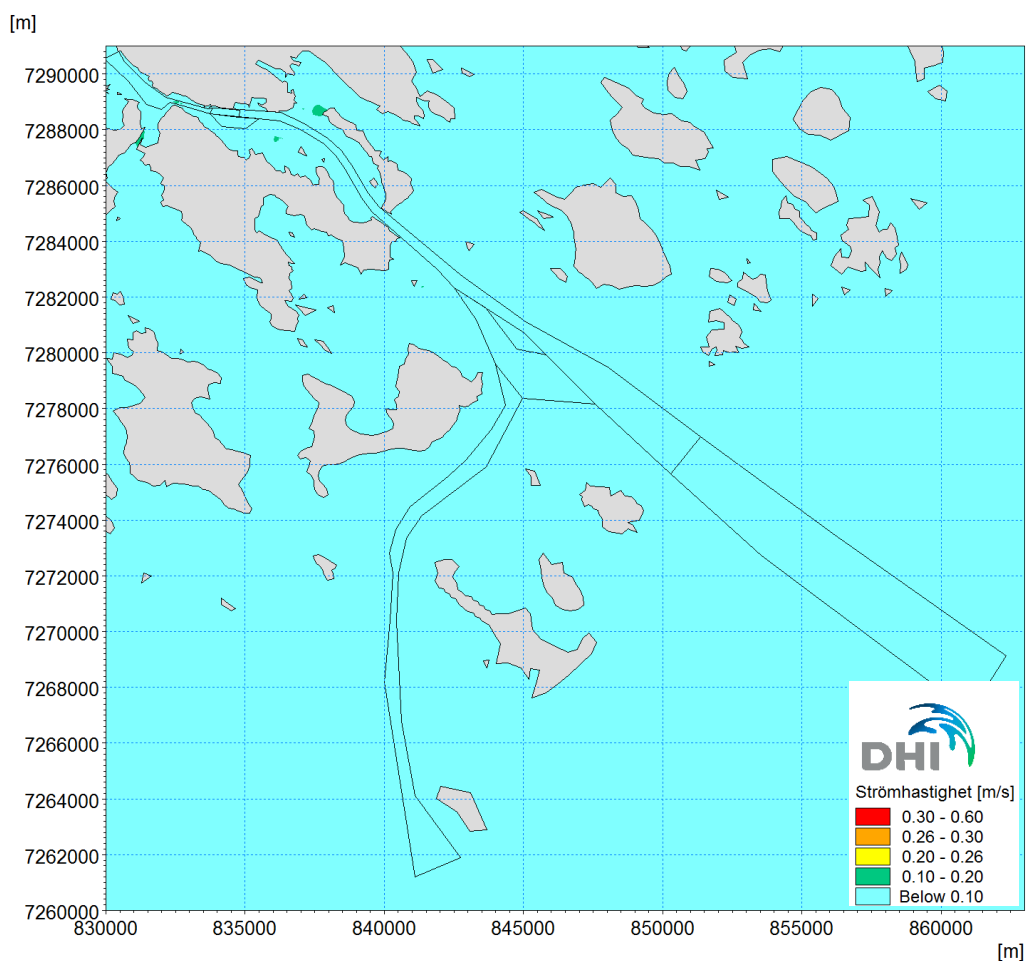


Figur 5-2 Modellerad maximal strömhastighet vid botten efter muddring. Svarta linjer visar farlederna.

Figur 5-3 respektive Figur 5-4 visar samma jämförelse mellan före och efter muddring, men för medelströmhastigheten vid botten under hela simuleringsperioden. Det är tydligt att medelströmhastigheten vid botten är under det kritiska värdet för erosion i hela farledsområdet, både före och efter muddring. Dessutom ser man ingen skillnad, möjligen med undantag för ett lite större område med medelströmhastigheter över 0,1 m/s i närheten av Bolinsgrundet efter muddring.

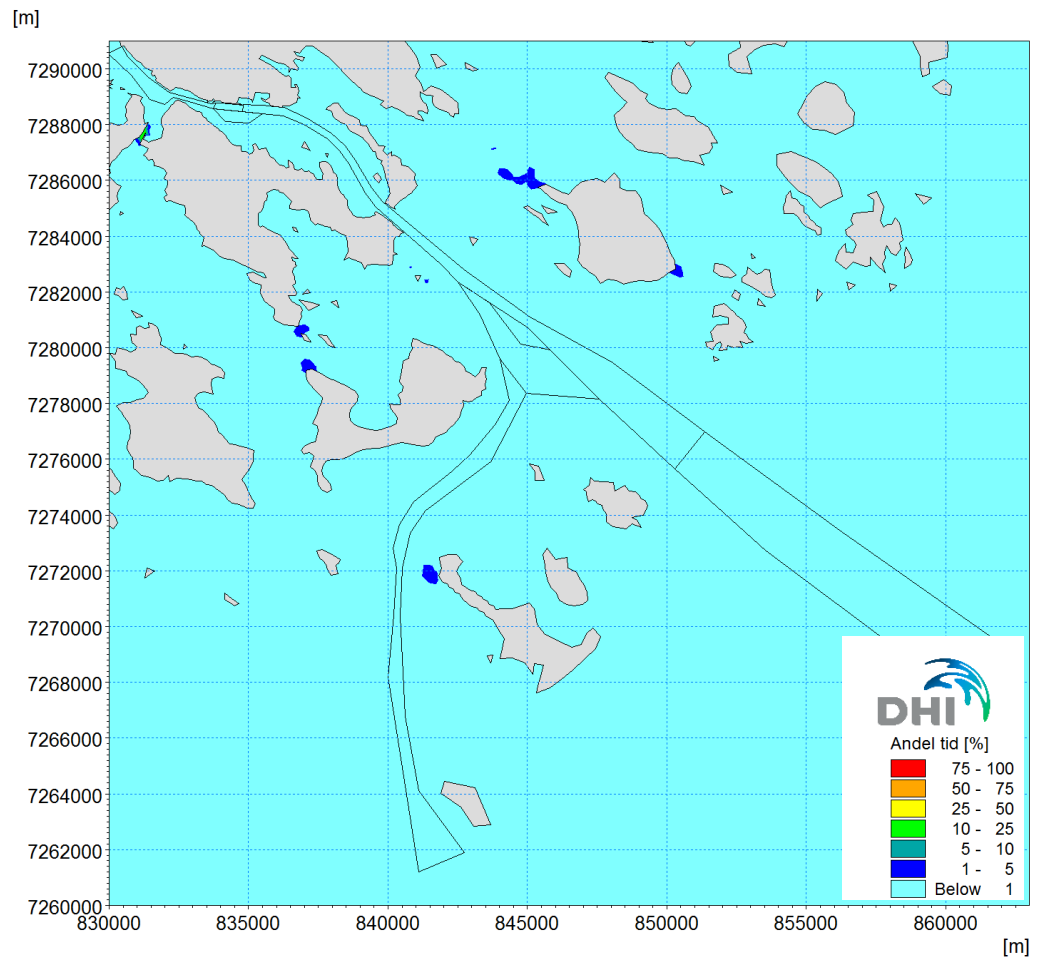


Figur 5-3 Modellerad medelströmshastighet vid botten före muddring. Svarta linjer visar farlederna.

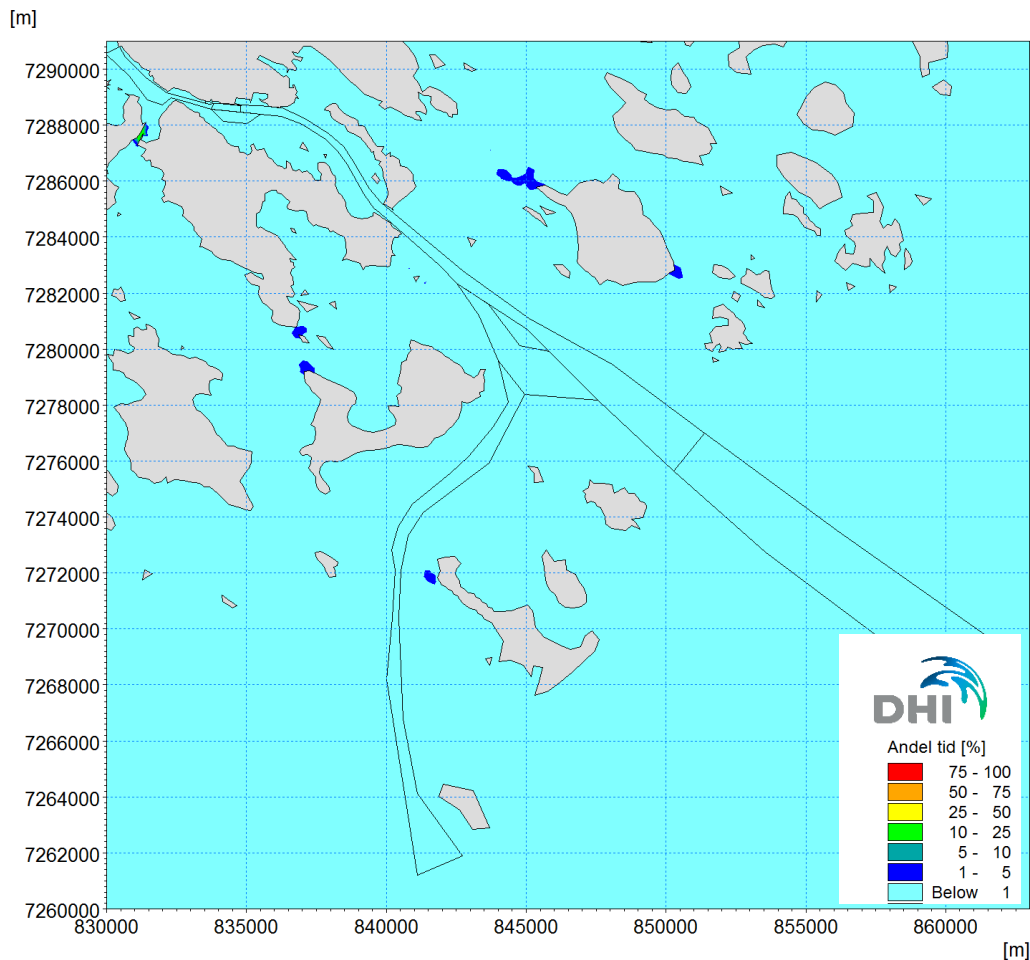


Figur 5-4 Modellerad medelströmshastighet vid botten efter muddring. Svarta linjer visar farlederna.

I Figur 5-5 och Figur 5-6 presenteras den andel av den totala simuleringsperioden (6 månader) som den modellerade strömshastigheten vid botten överstiger det kritiska värdet före respektive efter muddring. Resultaten bekräftar det som antyds av medelströmshastigheten, nämligen att det är mycket ovanligt med bottenströmmar vars hastighet överstiger det kritiska värdet. Dessutom är skillnaden mellan situationen före och efter muddring försumbar.



Figur 5-5 Andel av simuleringsperioden som den modellerade strömhastigheten vid botten överstiger 0,26 m/s före muddring. Svarta linjer visar farlederna.



Figur 5-6 Andel av simuleringsperioden som den modellerade strömhastigheten vid botten överstiger 0,26 m/s efter muddring. Svarta linjer visar farlederna.

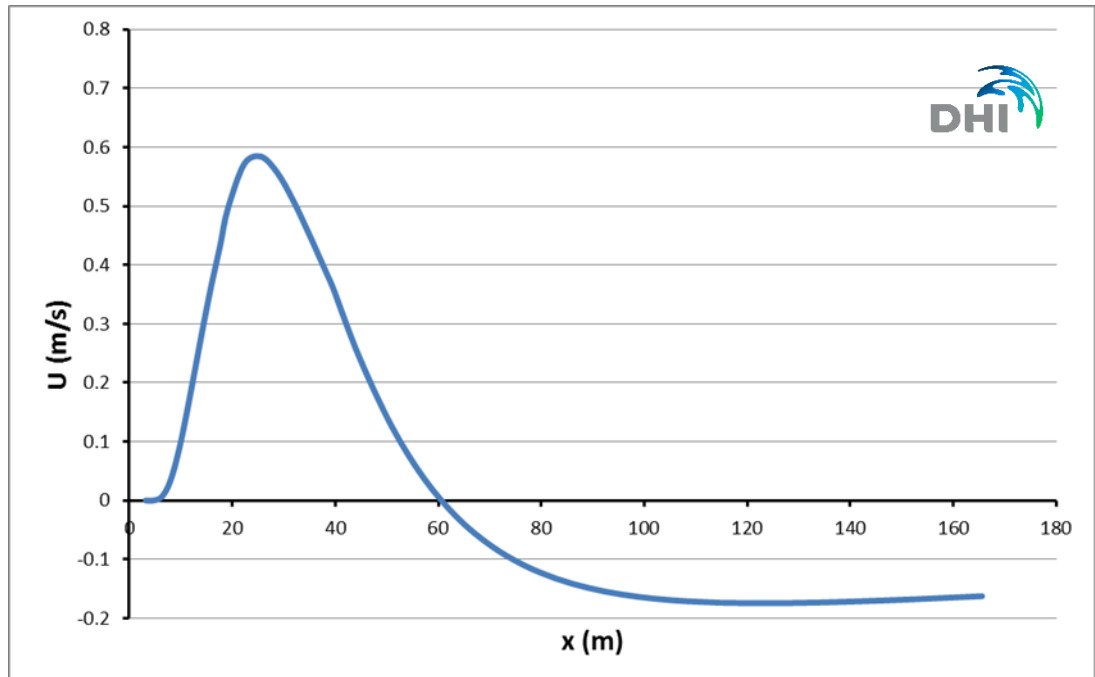
## 5.2 Propellerströmmar

Resultatet av beräkningen av strömhastigheterna nära botten på grund av propellerströmmar visas i Figur 5-7. Diagrammet visar hur maximala strömhastigheten nära botten varierar med avståndet från propellern.

Strax bakom propellern är hastigheten på grund av propellerströmmarna noll nära botten, eftersom strålen bakom propellern inte har hunnit nå ner till botten ännu. I och med att strålen breddas när den till slut botten. Eftersom hastigheterna är störst mitt i propellerstrålen så ökar hastigheten nära botten, i och med att mer och mer av strålen skär botten. Samtidigt avtar hastigheterna i strålen ju längre bort från fartyget man kommer. Denna effekt tar så småningom över och strömhastigheten nära botten når ett maximum varefter de börjar avta. I detta fall når propellerströmmarna en maximal hastighet nära botten om ca 0,57 m/s ungefär 25 m akter om propellern. Vid  $x = 60$  m byter hastigheterna tecken, vilket beror på att kölvattenströmningen bakom fartyget börjar dominera.

I avsnitt 4.2 uppskattas den kritiska strömhastigheten för erosion till ca 0,26 m/s. För säkerhets skull låt oss utgå ifrån en gräns på 0,2 m/s, för att inte underskatta risken för erosion. Ur Figur 5-7 framgår att hastigheterna vid botten på grund av propellerströmmar överstiger detta värde över en sträcka på ca 35 m. Strömhastigheten börjar överstiga 0,2 m/s ca 11 m bakom propellern. Utifrån strålens tre-dimensionella utseende kan man uppskatta den bottenarea som påverkas av strömhastigheter över 0,2 m/s till ca 600 m<sup>2</sup>. Den bottenarea som påverkas av

strömhastigheter över 0,4 m/s är ungefär en fjärdedel så stor. Detta område med strömningshastigheter över det kritiska värdet för erosion förflyttas hela tiden i och med att fartyget rör sig framåt. Med den hastighet som fartyget rör sig så kommer en given punkt som fartyget passerar utsättas för strömhastigheter som överstiger 0,2 m/s under ca 11 sekunder. Tiden som punkten utsätts för strömhastigheter över 0,4 m/s är ca 6 sekunder.



Figur 5-7 Strömshastighet nära botten på grund av propellerströmmar. X-axeln anger avståndet från propellern akterut.

Beräkningarna ovan avser ett lastat fartyg. Ett tomt fartyg kommer att flyta högre och därmed kommer propellern att vara längre från botten vilket ger lägre strömshastigheter nära botten. Ju mer fartyget saktar in – och därmed minskar propellerns varvtal – desto lägre blir propellerströmmarna. Enligt uppgift sker 1-2 sådana här anlöp per dag.

Manövrering som sker under en kortare tid med högre varvtal och roderutslag kan ge upphov till högre strömshastigheter nära botten och lokal erosion. Sådana tillfälliga händelser sker dock endast under en kort tid och påverkan är lokal. Dessutom är det rimligt att tro att dessa händelser inte alltid sker på exakt samma plats och därför förväntas de inte ha någon större påverkan.

Bogpropellrar kan förväntas ha en mindre effekt på bottenströmshastigheterna jämfört med huvudpropellern. Eventuella bogserbåtar har sina propellrar högre upp och förväntas därför inte heller ha någon större påverkan.

Sammanfattningsvis är vår bedömning att den fartygstyp som analyserats kan ge upphov till att den kritiska bottenströmshastigheten överskrids under en mycket begränsad tid, men att detta inte utgör något allvarligt erosionstryck på farleden. En mindre erosion och transport av finare sand kan uppstå samt tillfälligtvis kan lösa, fina sediment virvlas upp, men ingen av dessa effekter bedöms kunna ge upphov till några signifikanta problem med erosion längs farleden, vare sig när det gäller förändringar i bottentopografin eller grumling.

### 5.3 Svallvågor

Uppskattningen av de primära vågorna som skapas av fartygstypen ifråga ger en nedsänkning av vattenytan vid fartygsskrovet om ca 0,1 m. De sekundära vågornas våghöjd kan uppskattas till ca 5 cm på avståndet 50 m från fartyget med en period på ca 2 sekunder.

De primära vågorna kan ge upphov till svall med en motsvarande vattenståndsförändring vid stränderna runt farleden. Detta kan i sin tur ge upphov till en viss erosion och en tendens till en förändrad strandprofil. Förändringarna kommer vara begränsade till ett djup som är några gånger amplituden på 0,1 m och förväntas inte transportera bort sand från kusten. Naturliga variationer kommer sannolikt jämna ut effekten av de primära vågorna, särskilt då denna effekt kommer att vara liten med bara 1-2 fartygsanlöp per dag samt att påverkan kommer att ske på olika delar av strandprofilen.

De sekundära vågorna har en så liten våghöjd att de inte förväntas ge upphov till någon märkbar erosion på stränderna i farledsområdet.



## 6 Slutsatser

Den preliminära bedömning som genomförts, avseende hur muddringen kan påverka erosionsförhållandena i området genom tre olika mekanismer, visar följande.

Strömhastigheterna vid botten påverkas mycket lite av muddringen. Den tydligaste effekten blir vid dumpningsplatserna när dessa fylls igen av muddermassor, vilket medför ett mindre vattendjup och därmed högre maxhastigheter. På några platser där farlederna fördjupas sker det omvända. Förändringarna är däremot inte så stora att man bör förvänta sig förändrade erosionsförhållanden någonstans, särskilt som medelhastigheterna respektive andelen av totala tiden som bottenströmhastigheterna överstiger det kritiska värdet visar att höga, eroderande hastigheter vid botten är synnerligen ovanliga, både före och efter muddring.

När det gäller fartygsinducerade bottenströmmar så förväntas inte propellerströmmar från den större fartygstyp som antas trafikera Luleå hamn efter muddringen kunna ge upphov till någon märkbar erosion i farlederna. Visserligen kan propellerströmmarna ge upphov till strömhastigheter vid botten över det kritiska värdet, men bara över en kort sträcka akter om fartyget och bara under den korta tid som fartyget passerar en given punkt. Den begränsade erosion och uppvirvling av bottenmaterial som därmed kan ske förväntas inte ha någon märkbar effekt på bottenpogografien eller grumlighetsnivåerna i området, särskilt med tanke på det begränsade antalet anlöp.

Svallvågor från den fartygstyp som analyserats kan delas in i två typer. De divergerande sekundära vågor som man vanligtvis refererar till som svallvågor förväntas inte ge upphov till någon erosion längs farledens stränder. Den primära vågtypen, som uppstår som en lång nedsänkning av vattenytan längs skrovet, skulle kunna ge upphov till en viss påverkan då den når strandlinjen i form av ett svall med amplituden ca 0,1 m. Effekten torde däremot vara liten och borde som mest ge en viss förändring av strandprofilen på grunda djup (upp till några decimeters djup). Naturliga variationer kommer sannolikt göra sådana effekter svåra att mäta.

## 7 Referenslista

- /1/ Karlsson, A., Eriksson, C. och Liungman, O. *Malmporten Luleå – Beräkning av spridning av spill vid muddring och dumpning*. DHI, uppdragsnummer 12802687, oktober 2015.
- /2/ Karlsson, A., Liungman, O. *Malmporten Luleå – Bedömning av erosionsrisk på dumpningsplatserna*. DHI, uppdragsnummer 12802687, oktober 2015.
- /3/ 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.
- /4/ *Basic principles of ship propulsion*. MAN Diesel & Turbo, 43 pp.
- /5/ *Propulsion trends in bulk carriers*. MAN Diesel & Turbo, 23 pp.
- /6/ 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.
- /7/ PIANC: *Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships*. PIANC report No. 180. 129 pp. plus appendices, 2015.
- /8/ 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.
- /9/ 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.