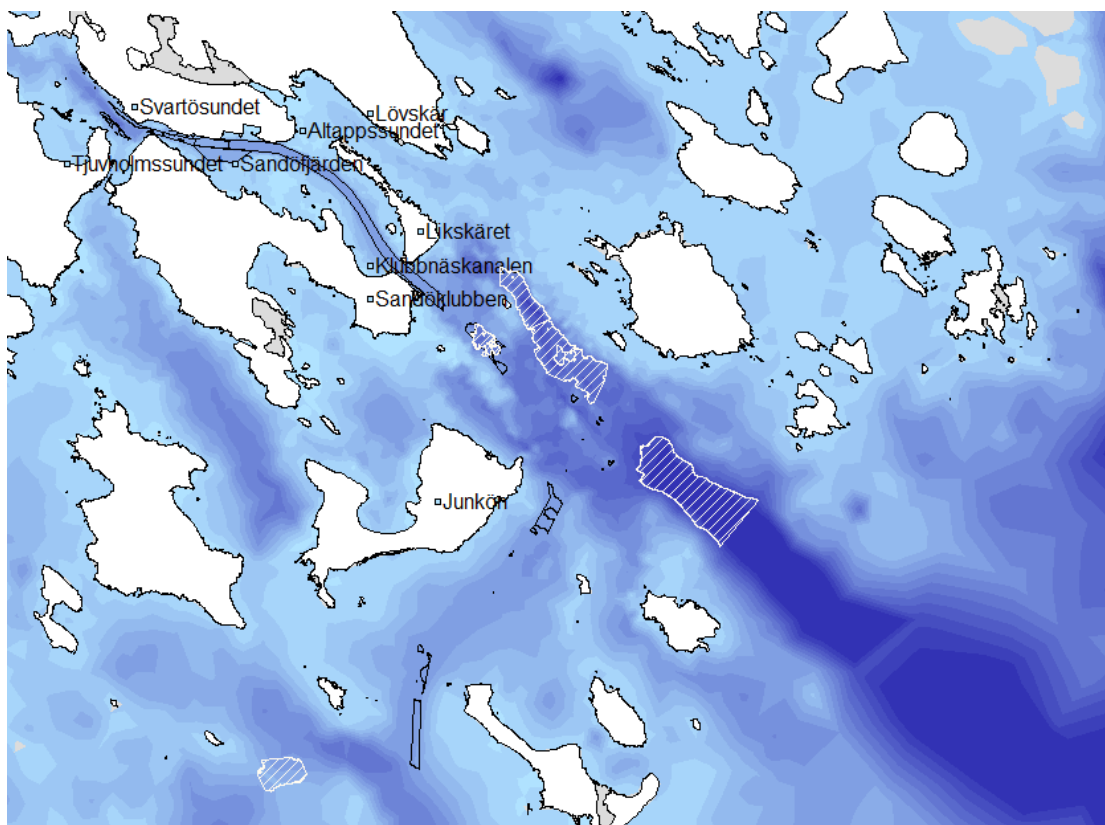


Malmporten Luleå

Beräkning av spridning av spill vid muddring och dumpning



Samfinansierat av EU
Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)

Ramböll Sverige AB

Rapport

Oktober 2015

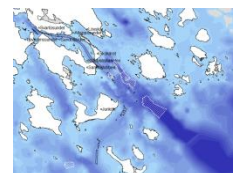
Denna rapport har tagits fram inom DHI:s ledningsystem
för kvalitet certifierat enligt ISO 9001 av DNV



Malmporten Luleå

Beräkning av spridning av spill vid muddring och dumpning

Framtagen för Ramböll Sverige AB
Kontaktperson Mattias Bååth



Projektledare	Anna Karlsson
Kvalitetsansvarig	Olof Liungman
Handläggare	Anna Karlsson, Christin Eriksson
Uppdragsnummer	12802687
Godkänd datum	2015-10-02
Version	2.0
Klassificering	Öppen



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	Sammanfattning	1
2	Inledning	2
2.1	Bakgrund	2
2.2	Miljöpåverkan	2
2.3	Innehåll.....	2
3	Luleå skärgård.....	3
3.1	Områdesbeskrivning	3
3.2	Allmän beskrivning av projektet	3
4	Data och metoder	5
4.1	Bakgrundskoncentrationer	5
4.2	Muddrat material	5
4.3	Muddrings- och dumpningsförfarande	7
4.4	Modellering av spill	8
4.4.1	Strömningsmodellering	8
4.4.2	Spridningsmodellering	13
4.4.3	Scenarier	15
4.5	Statistisk analys	17
5	Resultat.....	18
5.1	Strömmar och skiktning	18
5.2	Sedimentspill och sedimentation	21
5.2.1	Max- och medelkoncentrationer.....	22
5.2.2	Varaktighet för 5 mg/l.....	24
5.2.3	Varaktighet för 10 mg/l.....	26
5.2.4	Varaktighet för 50 mg/l.....	27
5.2.5	Avstånd till grumling.....	28
5.2.6	Sedimentation av spill	28
6	Slutsatser.....	30
7	Referenslista.....	31

FIGURER

Figur 3-1	Schematisk beskrivning av strömningen genom de olika sunden i Luleälvens utlopp (från ref./1/).	3
Figur 3-2	Karta över Luleå inre skärgård. Svarta linjer markerar de områden som skall muddras. Dumpningsområdena är streckade i vitt.	4
Figur 4-1	Karta med provpunkter där sedimentanalys genomförts.	6
Figur 4-2	Exempel på sugmudderverk t.v. och enskopeverk t.h.	7
Figur 4-3	Bottentömmande pråm, s.k. <i>split barge</i> . Källa Boskalis (boskalis.se).	8
Figur 4-4	Modellens beräkningsnät. Färgskalan anger djupet.	9
Figur 4-5	Modellens beräkningsnät i närheten av Luleå hamn. Färgskalan anger djupet.	10
Figur 4-6	Den regionala modellens beräkningsnät.	11

Figur 4-7	Uppmätta (symboler) och modellerade (linjer) salthaltsprofiler i punkt A5 inom utsjöprogrammet. Modellerade data från DHI:s operationella regionala modell.	11
Figur 4-8	Uppmätta (symboler) och modellerade (linjer) temperaturprofiler i punkt A5 inom utsjöprogrammet. Modellerade data från DHI:s operationella regionala modell.	12
Figur 4-9	Jämförelse mellan modellerad (blå) och uppmätt (svart) vind vid Rödkallen, maj till juni 2012.	13
Figur 4-10	Luleälven totala vattenföring i m ³ /s (från Vattenwebb subid 31290).	13
Figur 4-11	Områden som är aktuella för dumpning av rena muddermassor.	16
Figur 4-12	Principen för beräkning av maximal koncentration. Mörkare färg representerar högre koncentration.	17
Figur 4-13	Principen för beräkning av varaktighet. Orange färg indikerar att den valda koncentrationsnivån överskridits.	17
Figur 5-1	Den modellerade salthaltens variation under simuleringsperioden på tre djup.	18
Figur 5-2	Exempel på modellerad salthaltskiktning. Snittet representerar farleden ut genom Klubbnäset, med Luleå till vänster.	19
Figur 5-3	Modellerad salthalt i ytan som visar hur vattnet från Luleälvens utflöde sprids vid en stark nordostlig vind.	20
Figur 5-4	Modellerad salthalt i ytan som visar hur vattnet från Luleälvens utflöde sprids vid en stark sydlig vind.	20
Figur 5-5	Modellerad salthaltskiktning i juni 2012 i Svartösundet (överst), Klubbnäskanalen (nederst till vänster) och Altappssundet (nederst till höger). Samtliga figurer visar tvärsnitt.	21
Figur 5-6	Maximal grumling i ytan maj-oktober.	22
Figur 5-7	Maximal grumling vid botten, maj-oktober.	23
Figur 5-8	Medelgrumling i ytan, maj-oktober.	23
Figur 5-9	Medelgrumling vid botten, maj-oktober.	24
Figur 5-10	Varaktighet för SSC större än 5 mg/l i ytan, maj-oktober.	25
Figur 5-11	Varaktighet för SSC större än 5 mg/l vid botten, maj-oktober.	25
Figur 5-12	Varaktighet för SSC större än 10 mg/l i ytan, maj-oktober.	26
Figur 5-13	Varaktighet för SSC större än 10 mg/l vid botten, maj-oktober.	26
Figur 5-14	Varaktighet för SSC större än 50 mg/l i ytan, maj-oktober.	27
Figur 5-15	Varaktighet för SSC större än 50 mg/l vid botten, maj-oktober.	27
Figur 5-16	Nettosedimentation av spill efter sex månader uttryckt i mm.	29

TABELLER

Tabell 4-1	Sammanställning av kornstorleksfördelningen utifrån analyser i de provpunkter som visas i Figur 4-1.	6
Tabell 4-2	Fördelning av kornstorlekar hos det muddrade materialet som antagits för beräkningarna av grumling.	7
Tabell 4-3	Fallhastighet och kritisk bottenskjuvspänning för de fraktioner som ingår sedimentet.	14
Tabell 4-4	Muddrings- och dumpningsschema för modellsimuleringarna.	16
Tabell 5-1	Fördelningen av utflöde i % genom Tjuvholmsundet, Klubbnäskanalen och Lövsjär.	19
Tabell 5-2	Maximal grumling och varaktighet på olika avstånd till muddrings-/dumpningsområdet.	28

1 Sammanfattning

DHI har på uppdrag av Ramböll utfört en numerisk modelleringsstudie av sedimentspill och sedimentation i samband med muddring och dumpning i Luleå skärgård. Muddring och dumpning förväntas pågå i fyra år under de isfria månaderna och från ett flertal mudderverk samtidigt. Materialet som skall dumpas består av varierande sediment som morän och löst sammansatta sediment. Totalt skall ca 20 miljoner kubikmeter sediment muddras och dumpas.

De numeriska modellsimuleringarna omfattar spridningsberäkningar av spill från mudderdumpning under perioden maj-oktober med väder och hydrografi från 2012. Spridningsberäkningarna visar vilka koncentrationer av suspenderat material utöver bakgrundsnivå som kan uppstå under en sådan period, var sedimentation av spill sker och hur stor denna är.

Koncentrationer av spill från muddring och dumpning sediment beräknas med hjälp av en strömningsmodell för området kopplat till en sedimentmodell, MIKE 3 FM MT.

Beräkningarna visar att koncentrationerna som uppkommer till följd av spill är relativt låga i ytvattnet. Utanför Sandöfjärden och dumpningsområdena är koncentrationen av suspenderat sediment, SSC, i medeltal under 2 mg/l. Vid botten är SSC högre men i medeltal överstiger halterna inte 5 mg/l utanför muddrings- och dumpningsområdena.

De maximala halterna i ytan kan överstiga 500 mg/l i direkt anslutning till enskopeverken (inom ett avstånd om några tiotal meter) och vid dumpningsområdena under den tid som dumpningen pågår (2-10 min). Vid botten är grumlingen mer utbredd och med högre koncentrationer. Även här är de allra högsta koncentrationerna, >20 mg/l, begränsade till muddrings- och dumpningsområdena. Varaktigheten av grumlingen är också relativt begränsad utanför muddrings- och dumpningsområdena. Detta beror på att spillet till största del består av större silt- och sandfraktioner som snabbare faller mot botten.

Det spill som transporteras i vattenmassan och sedimenterar utanför farlederna och tippområdena har en sedimenttjocklek på några millimeter vilket i praktiken inte är mätbart.

De koncentrationer som räknas ut i rapporten är s.k. överkoncentrationer och visar koncentrationen utöver naturlig bakgrundskoncentration.

2 Inledning

DHI har fått uppdraget 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.

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. De muddrade massorna ska dumpas på ett antal utvalda dumpningsområden i skärgården. Denna studie utgör underlag till den del av miljökonsekvensbeskrivningen som gäller miljöpåverkan av muddring och dumpning.

2.2 Miljöpåverkan

Nästan alla stora infrastrukturprojekt i vatten innebär muddring av sediment och därmed behov av ett lämpligt dumpningsområde för rena massor. Vid muddring och dumpning är det oundvikligt att det sker ett visst spill av sediment i vattenmassan. Spillet omfattning beror på muddringsmetoden, sammansättningen av det muddrade materialet samt dumpningsförfarandet. Spillet kommer att spridas i vattenmassan till följd av materialets sammansättning, mängden spill och de hydrodynamiska förhållandena i området runt dumpningsområdet.

Spillet transporteras i vattenmassan tills det slutligen deponeras i ett område från vilket det inte resuspenderas. Innan detta sker kan sedimentet komma att sedimentera och resuspendera många gånger och bidra till en förhöjning av den bakgrundskoncentration som finns naturligt i området.

I denna rapport kommer följande parametrar att utvärderas:

- Förhöjning av koncentrationen av suspenderat material, s.k. överkoncentration
- Förhöjning av sedimentationen från suspenderat material

2.3 Innehåll

I denna rapport presenteras de numeriska modellsimuleringarna av spridningen av spill från muddring och dumpning under en period av sex månader (maj-oktober).

Spridningsberäkningarna visar vilka koncentrationer av suspenderat material utöver bakgrundsnivå, s.k. överkoncentrationer, som kan uppstå under perioden. Dessutom beräknas den ackumulerade sedimentationen av spill i området över sexmånadersperioden.

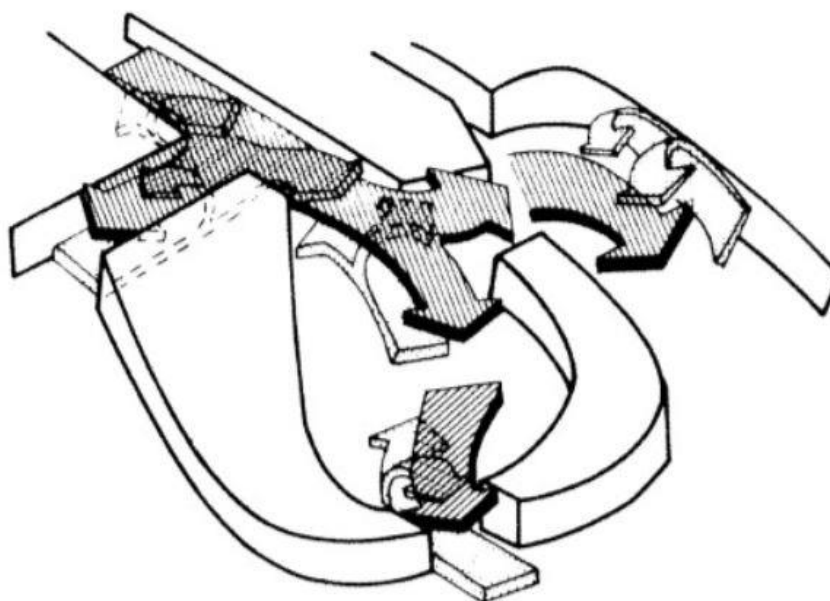
I avsnitt 3 presenteras en allmän beskrivning av området och muddringsarbetena, följt i avsnitt 4 av en sammanställning av det dataunderlag samt de metoder som använts. Resultaten presenteras i avsnitt 5 medan avsnitt 6 sammanfattar slutsatserna av modelleringsstudien.

3 Luleå skärgård

3.1 Områdesbeskrivning

I norra delen av Östersjön, Bottenviken, ligger Luleå hamn. Luleå hamn är väl skyddad innanför Sandön och Likskäret i Luleå skärgård och ligger i utkanten av Luleå stad vid Luleälvens utlopp. Luleälven påverkar hydrografen och strömningen i området eftersom det är ett stort sötvattenutflöde till ett bräckt innanhav. Vattnet från älven genererar en stor genomströmning i Sandöfjärden, ett annars skyddat område. Vid stora utflöden från älven skapas en plym av älvvatten i ytan som sprids så långt som 10km ut i havet.

Generellt sett är områdets hydrografi väl beskriven i rapporten som sammanställer de ström- och skiktningmätningar som gjordes redan på 1970-talet (ref./1/). I den rapporten framgår det hur utflödet från Luleälven fördelas mellan flera sund på sin väg ut genom Luleå skärgård. Luleälvens vatten rinner enligt den beskrivningen till största delen ut i Sandöfjärden genom Svartösundet. Endast en mindre del går genom Tjuvholmssundet. Merparten av vattnet som lämnar Sandöfjärden passerar ut mot Bottenviken genom Altappssundet och förbi Lövskär. Då det utströmmande vattnet från Luleälven är lättare än det bräckta vattnet i Bottenviken sker utströmningen av Luleälvens vatten i ytan, vilket genererar en motriktad inströmning av saltare vatten från Bottenviken längs botten. Detta gör att det som oftast finns en tvåskiktad strömning i de sund som förbinder Luleälven med Bottenviken. En schematisk presentation av strömningen i de olika sunden ges i Figur 3-1.



Figur 3-1 Schematisk beskrivning av strömningen genom de olika sunden i Luleälvens utlopp (från ref./1/).

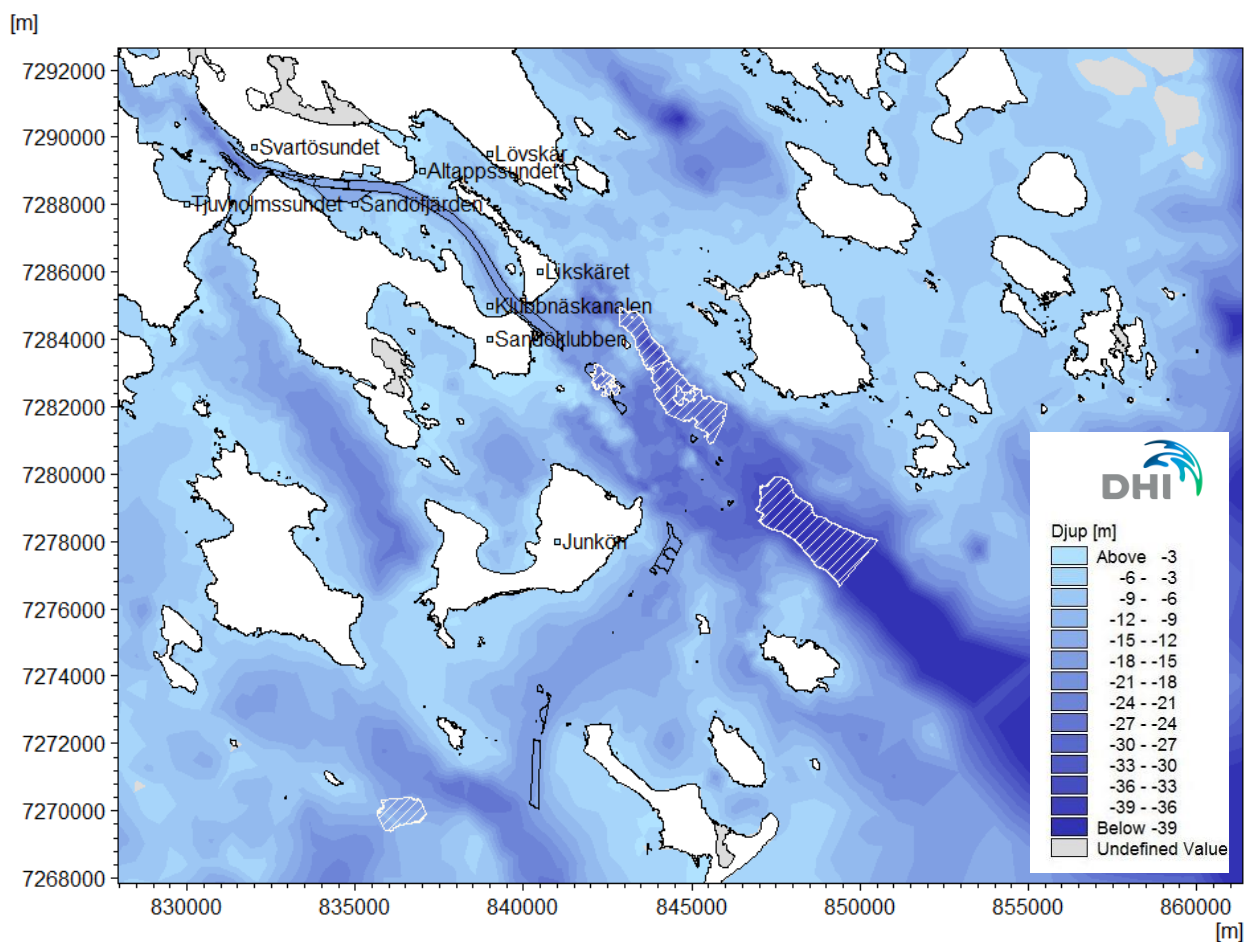
3.2 Allmän beskrivning av projektet

Projekt Malmporten syftar bl.a. till att fördjupa farlederna in till Luleå hamn. Sandöleden och Sandgrönleden samt områden inne i hamnen upp till Svartösundet ska fördjupas och breddas.

Totalt beräknar man att ca 20 miljoner kubikmeter skall muddras. I Figur 3-2 visas de områden som skall muddras och var dumpningsområdena ligger.

Muddringen planeras pågå under de isfria månaderna, ca sex månader per år. Enligt uppgifter från Sjöfartsverket¹ avser man använda i huvudsak två typer av muddringsverk; enskopeverk och sugmudderverk. Fyra verk kommer att muddra samtidigt. De uppkomna muddermassorna dumpas på olika platser. För denna utredning har vi fått uppgifter om fem olika tipplatser som kan komma att användas i varierande grad.

Med de storlekar på mudderverk och pråmar som använts i denna rapport kommer det att ta ca fyra år att genomföra hela muddringen. I föreliggande rapport har vi modellerat sedimentspridning under en av dessa fyra säsonger.



Figur 3-2 Karta över Luleå inre skärgård. Svarta linjer markerar de områden som skall muddras. Dumpningsområdena är streckade i vitt.

¹ Tage Edvardsson, projektchef.

4 Data och metoder

4.1 Bakgrundskoncentrationer

Transport, erosion och deposition av naturligt förekommande sediment eller muddrat sediment styrs av de hydrodynamiska förhållandena. Under perioder med hårt väder, stora vågor och starka strömmar kommer sediment att eroderas, hållas i suspension och transporteras med strömmarna. Under lugna perioder kommer sedimenten att deponeras. Med skiftande väder kommer därmed sediment att fortsätta att resuspendera och sedimentera tills det når ett område där de hydrodynamiska förhållandena är sådana att sedimenten inte kan resuspenderas igen.

Det finns mycket få uppgifter om naturliga bakgrundshalter av suspenderat sediment i Sveriges kustvatten. Öresund är ett relativt väl undersökt område, inte minst i samband med byggandet av Öresundsbron, och här finns en del information att utgå ifrån. SMHI har gjort en del grumlighetsmätningar, främst i vattendrag, och från den finska kusten finns ett fåtal uppgifter i litteraturen. Nedan sammanfattas de värden som är intressanta för denna rapport.

- I norra Öresund ligger normala värden mellan 1-2 mg/l, ref. /2/. Vid kraftiga vindar och lokalt i kustområden kan koncentrationer på 20-40 mg/l förekomma, ref. /3/ och /4/.
- SMHI har gjort en sammanställning av medelvärdet av totalt suspenderat material i olika vattendrag 1967-1979, ref./5/. I Luleälven ligger bakgrundshalten från uppmätta värden på ca 5-10 mg/l. Andra studier pekar dock på högre värden, upp mot 30 mg/l i vattendrag i Norrland.
- Från finska kusten rapporteras bakgrundskoncentrationer mellan 2-10 mg/l vid ostörda förhållanden (ref./6/).

Förhållandena i Luleå skärgård vid lugnt väder bör återspegla de värden som uppmätts av SMHI och i finska skärgården, dvs. 2-10 mg/l. Vi har inga lokala uppgifter om SSC under perioder med hårt väder. Ett rimligt antagande är dock att det lokalt vid kusten även här kan förekomma koncentrationer mellan 20 och 40 mg/l.

4.2 Muddrat material

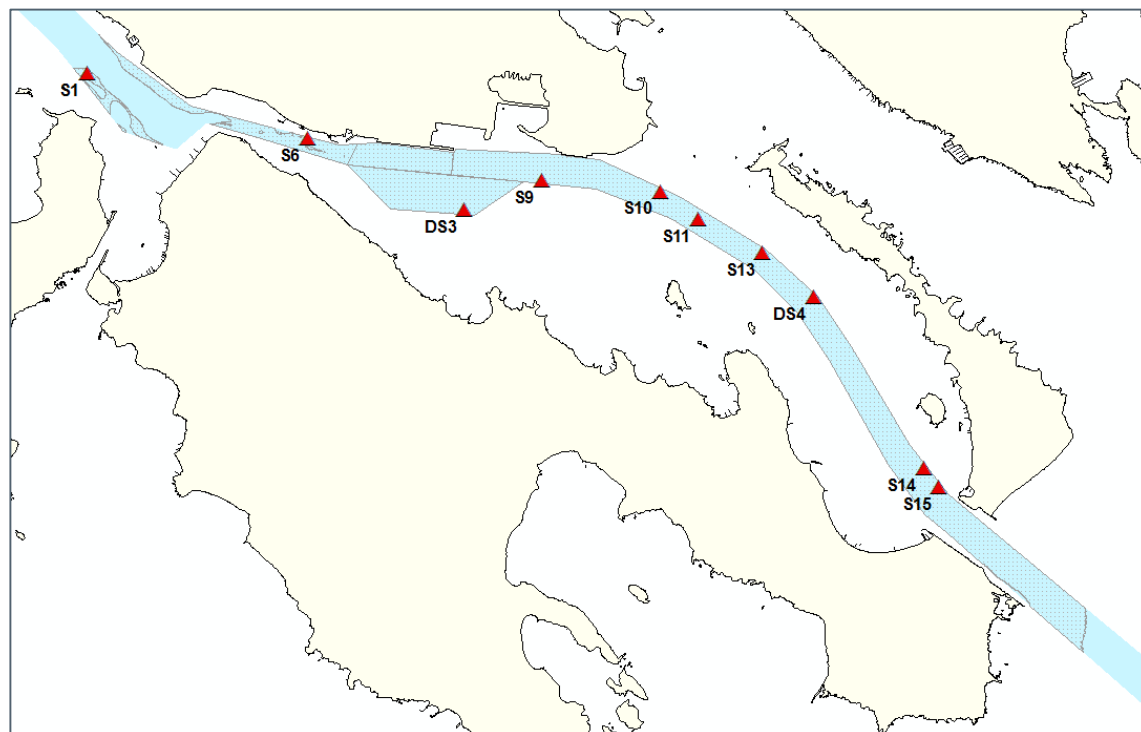
De områden som skall muddras uppvisar olika typer av bottenmaterial, allt från lösare dy, silt och sand till morän, isälvsavlagringar och postglacial lera. Förutom den postglaciala leran är de finare fraktionerna löst sammansatta.

Det har gjorts sedimentanalyser från ett antal provpunkter i området. Provpunkterna visas i Figur 4-1 och en sammanställning av kornstorleksanalysen visas i Tabell 4-1. Proverna är relativt ytliga, generellt sett från den översta metern av sedimentet.

För sedimentmodelleringen har vi fått slå ihop proverna och ta fram ett representativt medelvärde för de områden som muddras. Ramböll har gjort en bedömning av vilka prover som kan vara representativa för de olika delområdena och baserat på detta har DHI tagit fram en medelvärdesbildad kornstorleksfördelning av det muddrade materialet. Denna fördelning visas i Tabell 4-2. Finsilt och ler har slagits ihop till en fraktion i modellen.

Tabell 4-1 Sammanställning av kornstorleksfördelningen utifrån analyser i de provpunkter som visas i Figur 4-1.

Prov	Djup [m]	Ler <2 µm	Finsilt 2-6 µm	Mellansilt 6-20 µm	Grovsilt 20-63 µm	Finsand 63-125 µm
S1	0 - 0.1	0.4%	3.6%	31.0%	29.1%	35.9%
S6	0.1 - 0.3	3.6%	2.4%	7.0%	19.8%	67.2%
S9	0.4 - 0.5	2.0%	8.0%	35.0%	22.0%	33.0%
S10	0.4 - 0.5	14.6%	17.4%	18.0%	12.9%	37.1%
S11	0.6 - 0.7	0.6%	4.4%	14.0%	19.7%	61.3%
	0.7 - 0.8	0.3%	4.7%	11.0%	20.9%	63.1%
S13	0.3 - 0.4	0.2%	1.8%	2.0%	3.6%	92.4%
S14	0.4 - 0.5	0.6%	2.4%	6.0%	20.6%	70.4%
S15	0.4 - 0.5	0.6%	3.4%	3.0%	3.5%	89.5%
DS3	0.1 - 0.2	1.0%	2.0%	15.0%	32.6%	49.4%
	0.3 - 0.4	2.6%	2.4%	7.0%	16.4%	71.6%
	1.3 - 1.5	4.3%	5.7%	18.0%	24.4%	47.6%
DS4	0 - 0.2	1.1%	6.9%	27.0%	27.6%	37.4%



Figur 4-1 Karta med provpunkter där sedimentanalys genomförts.

Tabell 4-2 Fördelning av kornstorlekar hos det muddrade materialet som antagits för beräkningarna av grumling.

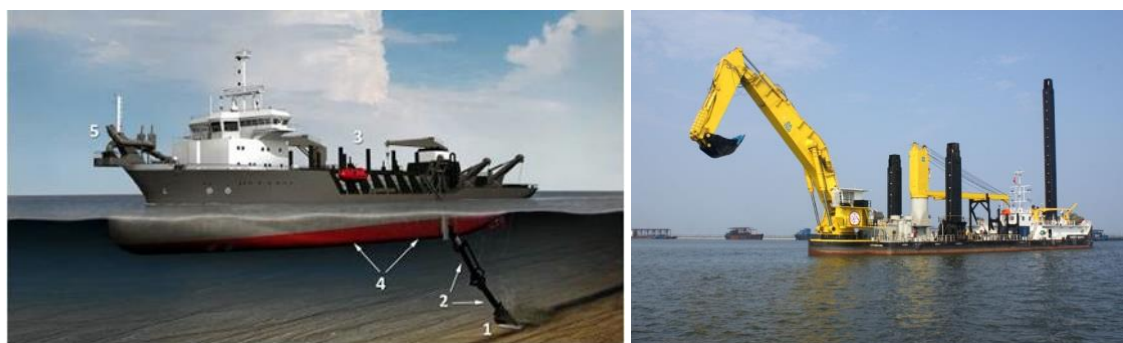
Benämning Kornstorlek [µm]	Sand > 63	Grovsilt 20-63	Mellansilt 6-20	Finsilt/Ler < 6
Andel [%]	57.1	19.9	17.3	5.8

4.3 Muddrings- och dumpningsförfarande

Enligt uppgifter från Sjöfartsverket ser man att främst två olika typer av mudderverk skall användas, sugmudderverk (*Trailer Suction Hopper Dredger, TSHD*) och enskopeverk (*Backhoe dredger, BHD*).

Ett sugmudderverk spiller sediment endast vid sughuvudet vid botten, förutsatt att man slutar muddra när verket är fullt, d.v.s. man tillåter inte s.k. *overflow* uppe vid ytan. Enskopeverken spiller sediment i hela vattenkolumnen från botten till ytan. Spillet antas uppgå till ca 3 % för båda verken. Detta antagande baseras på studier från CIRIA² och ref /7/.

Enskopeverken kan jobba dygnet runt eftersom muddermassorna lastas på separata pråmar som transporteras till tipplatserna. Sugmudderverken alternerar mellan att muddra och transport till och från dumpningsområdena. För transport och dumpning av muddrat material med enskopeverk används bottenöppnande pråmar (Figur 4-3). Sugmudderverken har samma funktion med skillnaden att de är kompletta fartyg. Vid dumpning kommer större delen av materialet falla direkt ner på botten, medan resterande del, till följd av medrivning, kommer att hålla sig svävande i vattenmassan. Det senare är det som man vanligtvis refererar till som spill.



Figur 4-2 Exempel på sugmudderverk t.v. och enskopeverk t.h.

Studier med den amerikanska mjukvaran STFate³ visar att spillet från en bottenöppnande pråm generellt sett är i intervallet 5-10 procent och är relativt oberoende av fördelningen av partikelstorlekar. Detta intervall gäller främst för material som inte sitter ihop i klumpar. För beräkningarna i denna rapport har DHI ansatt 6 % spill. Detta värde baserar sig på erfarenhet från tidigare stora projekt med liknande muddrings- och dumpningsteknik, och tar även hänsyn till sedimentets egenskaper i området.

² ciria.org

³ <http://el.erdc.usace.army.mil>



THE BARGE IN OPEN POSITION



Figur 4-3 Bottentömmande pråm, s.k. *split barge*. Källa Boskalis (boskalis.se).

4.4 Modellering av spill

4.4.1 Strömningsmodellering

En hydrodynamisk strömningsmodell har satts upp i MIKE 3 FM, ett tredimensionellt numeriskt modellsystem för beräkning av strömning och transport i vatten. FM står för *Flexible Mesh*. Detta 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 består av flera delmoduler. Den grundläggande modulen är den som beräknar de hydrodynamiska processerna (HD), d.v.s. hur vattnet rör sig utifrån de drivande krafterna. Denna modul bygger på välkända hydrodynamiska ekvationer som löses så exakt som beräkningsnätets upplösning, noggrannheten i de drivande krafterna och andra indata tillåter. MIKE 3 HD kan ta hänsyn till alla de viktigaste processerna, vilka är:

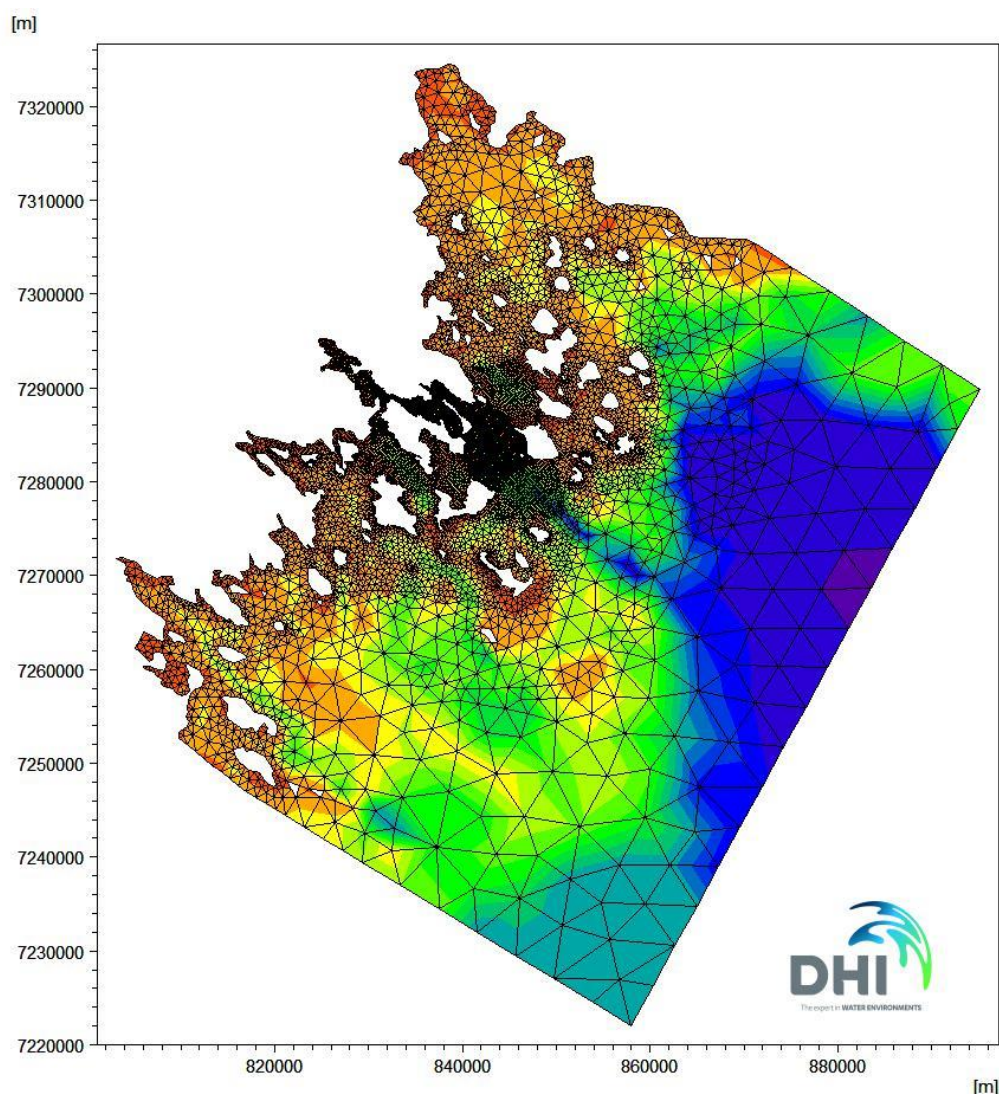
- Transport av salt och värme
- Drivning på grund av variationer i densitet
- Bottenfriktion
- Vindens drivning på ytan
- Drivning på grund av vattenståndsvariationer
- Tillflöden och utsläpp från land
- Värmeutbyte med atmosfären
- Turbulens
- Corioliseffekten

MIKE 3 HD utgör grundbulten i DHI:s svit av programvaror för marina och kustnära områden och används vid projekt världen över.

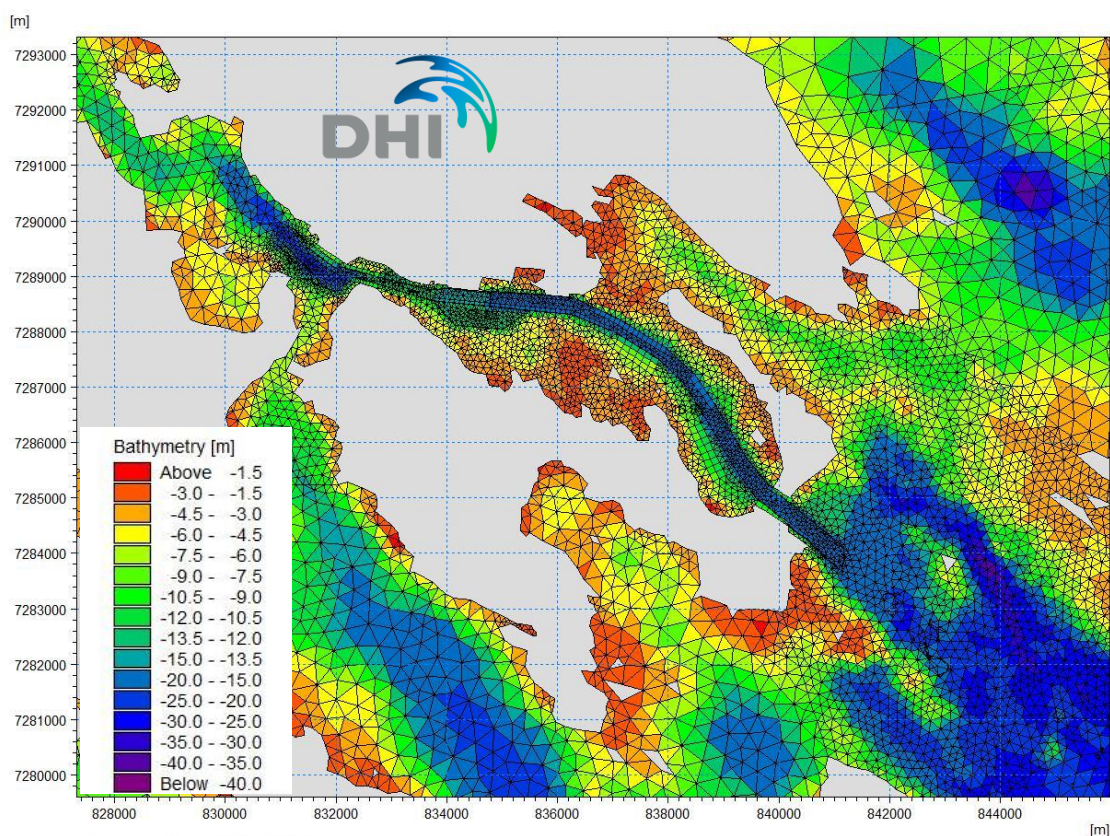
4.4.1.1 Beräkningsnät

Modellen som satts upp täcker in ett område från Bocköfjärden i norr till Kallfjärden i söder och österut till ett djup på omkring 50-70 m, se Figur 4-4. För att på ett tillförlitligt sätt kunna modellera strömmarna i Luleås inseglingsområde har ett relativt stort modellområde valts. Anledningen är 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.

Modellen beräknar strömmen i området i ett beräkningsnät som på ett detaljerat sätt beskriver djup och strandlinje. Beräkningsnätets högsta upplösning finns i farleden in till Luleå där de rektangulära beräkningscellerna är ca 50m x 50m. Varje cell är ca 1 m tjock. En förstorad bild av beräkningsnätet runt Luleå hamn visas i Figur 4-5. Djupinformationen har tillhandahållits från Sjöfartsverket som gjort detaljerade sjömätningar i farlederna in till Luleå hamn. Utanför farlederna har sjökortsdata använts.



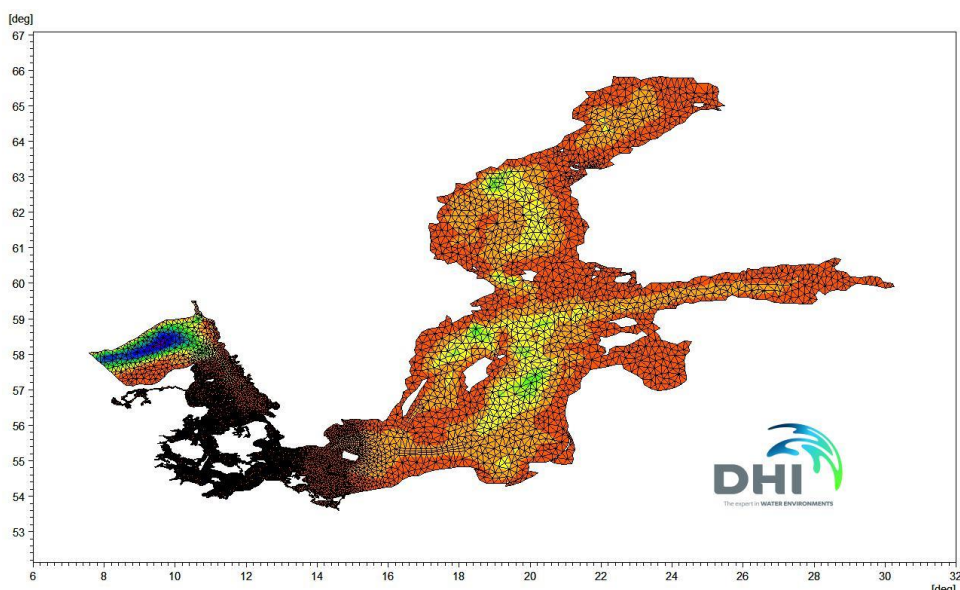
Figur 4-4 Modellens beräkningsnät. Färgskalan anger djupet.



Figur 4-5 Modellens beräkningsnät i närheten av Luleå hamn. Färgskalan anger djupet.

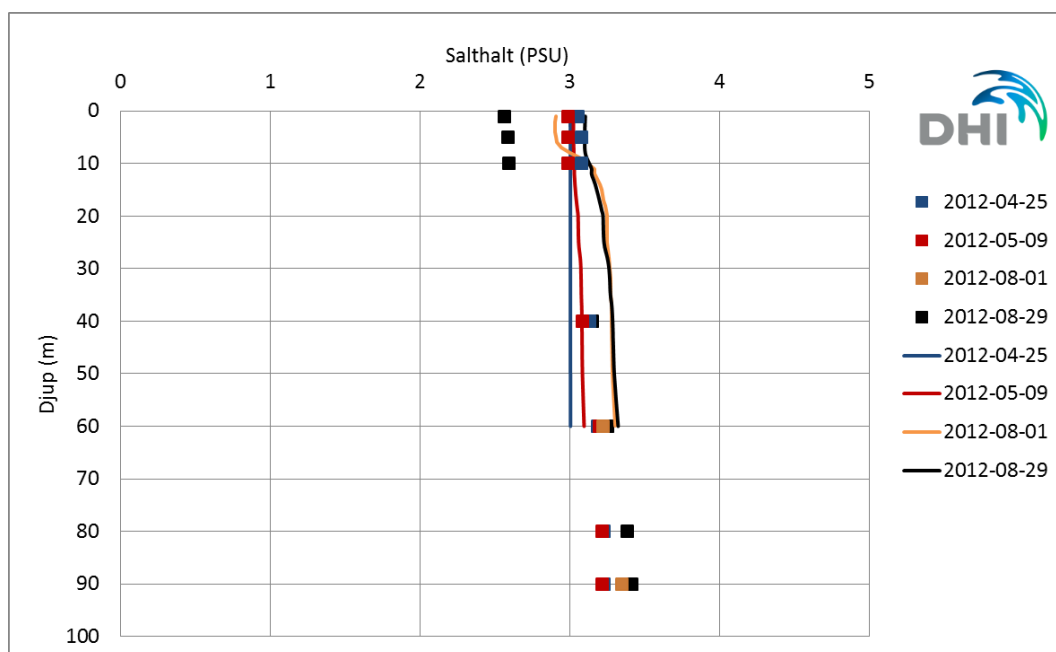
4.4.1.2 Drivning

Strömningsmodellen drivs av vattenståndsvariationer, skiktning och strömning i havet utanför modellområdet samt de meteorologiska förhållandena. DHI har en operationell hydrodynamisk modell för haven runt Sverige och Danmark ur vilken drivdata avseende vattenstånd, skiktning, strömning och meteorologi extraheras för det lokala modellområdet (Figur 4-6). Den regionala modellen, som täcker Östersjön, Öresund och Bälten, Kattegatt och Skagerak, ger två gånger per dygn, året runt, prognoser av strömmar för några dagar framåt i tiden. Denna modell har använts för att leverera randvillkor till den lokala Luleå-modellen för perioden april-oktober 2012.



Figur 4-6 Den regionala modellens beräkningsnät.

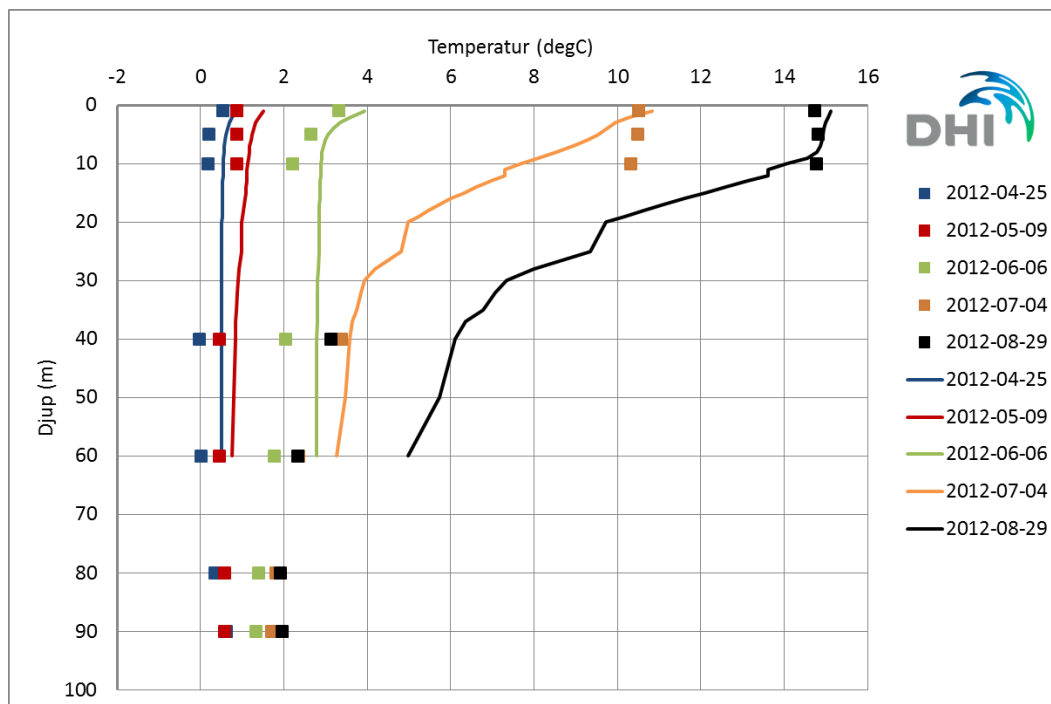
För att kunna räkna fram korrekta strömmar i Luleå skärgård krävs att den regionala operationella modellen kan leverera tillräckligt bra hydrografisk information på ränderna till utsjön. Tyvärr finns det begränsat med mätningar av strömmar, vattenstånd, salthalt och temperatur som kan användas för att validera modelldata. Den enda jämförelse som kunnat göras är mellan ett fåtal månadsmätningar av salt och temperatur från SMHI:s utsjöprogram och modellberäknade data för samma tidpunkter. Dessa presenteras i Figur 4-7 och Figur 4-8. Jämförelsen visar att den regionala modellen kan beskriva de salthalts- och temperaturprofiler som uppmätts. När det gäller salthalten (Figur 4-7) så visar mätningarna på ett något sötare ytlager i slutet av augusti, vilket inte syns i modellen. Felet är däremot relativt litet, ca 0,5 PSU. I övrigt är överensstämmelsen god.



Figur 4-7 Uppmätta (symboler) och modellerade (linjer) salthaltsprofiler i punkt A5 inom utsjöprogrammet. Modellerade data från DHI:s operationella regionala modell.

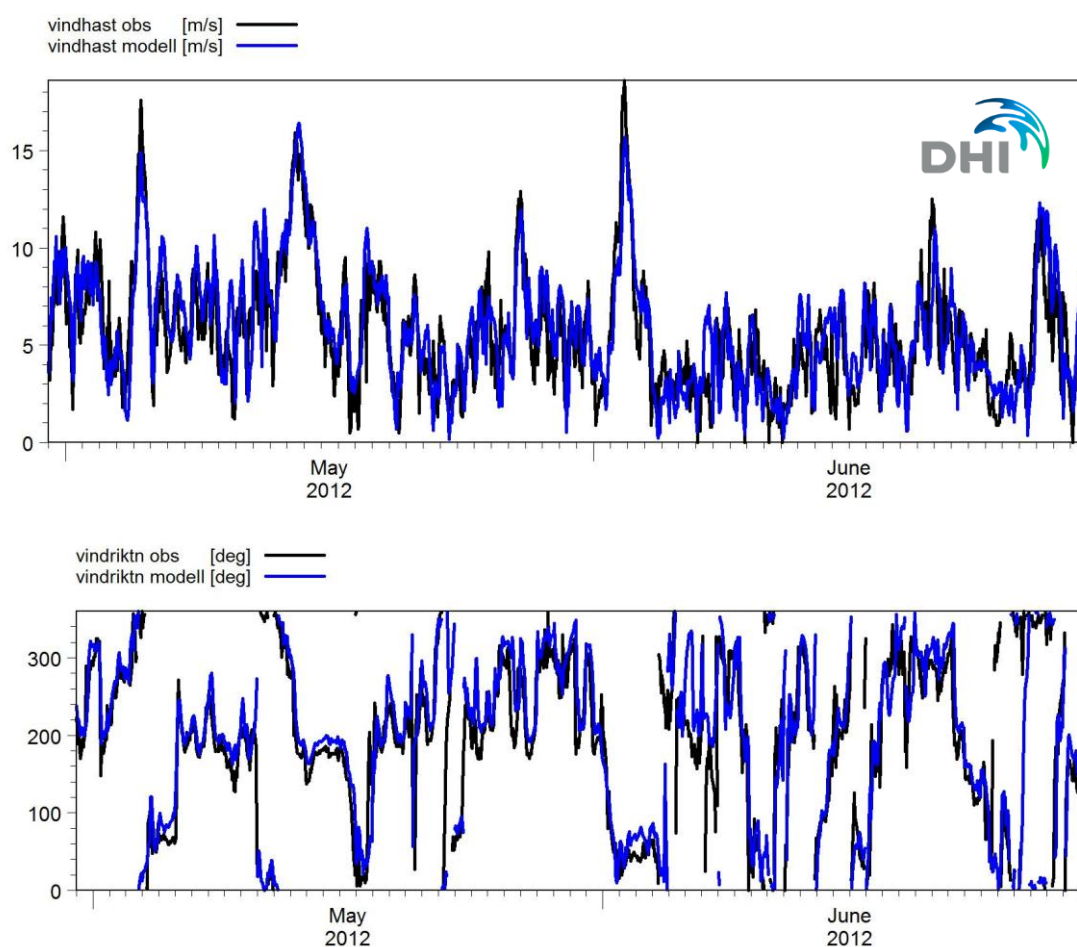
Om vi betraktar temperaturprofilerna (Figur 4-8) så framgår det att den regionala modellen återskapar uppvärmningen i ytvattnet på ett realistiskt sett. Däremot överskattar modellen temperaturerna på 40 och 60 m, särskilt i slutet av augusti.

Sammanfattningsvis bedömer vi att den regionala modellen utgör en fullgod och realistisk drivning för den lokala modellen.



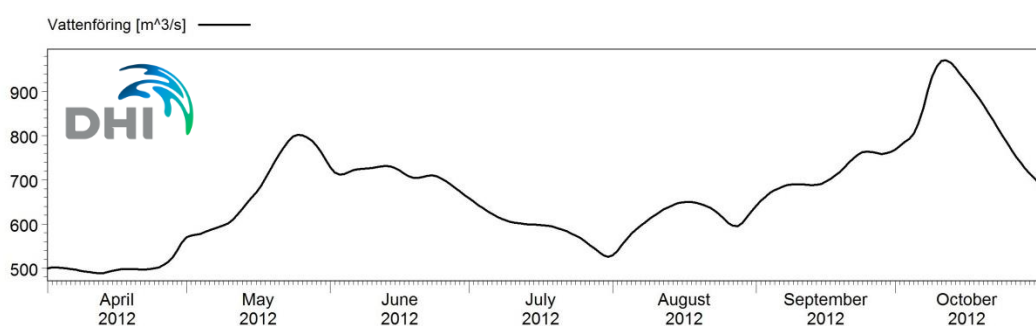
Figur 4-8 Uppmätta (symboler) och modellerade (linjer) temperaturprofiler i punkt A5 inom utsjöprogrammet. Modellerade data från DHI:s operationella regionala modell.

De meteorologiska data, främst vind, som ligger till grund för både den regionala och den lokala strömningsmodellen utgörs av prognoser från företaget StormGeo. En jämförelse med uppmätt vindhastighet och vindriktning visas i Figur 4-9. Överensstämmelsen är mycket god vilket är betryggande då vinden enligt tidigare utredning (SMHI 1980) är av stor betydelse för hur strömbilden ser ut utanför Sandöklubben och Likskär.



Figur 4-9 Jämförelse mellan modellerad (blå) och uppmätt (svart) vind vid Rödkallen, maj till juni 2012.

Slutligen drivs modellen också av den lokala färskvattentillrinningen från Luleälven. Denna är hämtad från SMHI:s Vattenwebb och bygger på modellberäknade data för total vattenföring (se Figur 4-10).



Figur 4-10 Luleälven totala vattenföring i m³/s (från Vattenwebb subid 31290).

4.4.2 Spridningsmodellering

Sedimentspill från muddring och dumpning kommer att spridas med strömmarna. Silt- och lerfraktioner har mycket låga fallhastigheter och kommer därför att förbli i suspension under en lång tid och kan transporteras över långa sträckor. Finkorniga sediment kan sedimentera om strömhastigheterna minskar men kommer att resuspenderas när den botten nära strömmen och därmed bottenkjuvspänningen överskrider ett kritiskt gränsvärde. Sandfraktioner sedimenterar fort och kommer därmed att förbli i området kring dumpningsområdet.

För sedimenttransport är de viktigaste parametrarna för spridning av fina sediment som silt och ler:

- Fallhastighet
- Kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation (under vilken sediment deponeras)
- Kritisk bottenskjuvspänning för erosion (över vilken sediment resuspenderas)

Spridningen av fina sediment har beräknats med den tredimensionella modellen MIKE 3 FM MT (*Mud Transport*). Modellen är integrerad med den hydrodynamiska modellen och tar hänsyn till:

- Det faktiska spillet av sediment under dumpning som en funktion av tid, position, typ av muddrat material och muddringsmetod.
- Advektion och dispersion av suspenderat sediment i vattenkolumnen som en funktion av de tredimensionella strömmarna beräknade med MIKE 3 HD.
- Sedimentation av spill.
- Erosion av spill.

Bidraget från ytvågor till bottenskjuvspänningen har inte inkluderats i dessa beräkningar. Huvudsyftet med modellstudien har varit att beräkna spridning av spill. Här har ytvågor liten betydelse för resultaten och kan därför uteslutas. Beräkningarna av SSC (halten suspenderat sediment) görs för spillet vid muddring och dumpning. De naturliga bakgrundsvärdena är inte inkluderade i modellberäkningarna och resultaten visar därmed koncentrationer och förändringar utöver bakgrundsförhållandena, s.k. överkoncentrationer.

Det muddrade materialet är inte homogent utan består av en fördelning av kornstorlekar (Tabell 4-2). Dessa kornstorlekar representeras av fyra fraktioner i modellen. Varje fraktion representerar ett kornstorleksintervall och karakteriseras av en fallhastighet samt kritiska bottenskjuvspänningar (Tabell 4-3). Vi förutsätter att de finaste lerpartiklarna inte flockulerar då sedimentet tippats, ett konservativt antagande. Minsta partikelstorleken i modellen har satts till 4 μm .

Tabell 4-3 Fallhastighet och kritisk bottenskjuvspänning för de fraktioner som ingår sedimentet.

Fraktion nr.	1	2	3	4
Typ av sediment	Finsand	Grovsilt	Mellansilt	Finsilt/ler
Kornstorlek [μm]	63	28	10	4
Fallhastighet [mm/s]	2.63	0.52	0.07	0.01
Kritisk bottenskjuvspänning för sedimentation [N/m^2]	0.07	0.07	0.07	0.07

Generellt sett ligger det kritiska värdet för sedimentation mellan 0.06-0.1 N/m^2 , men kan variera beroende på sedimentets egenskaper (ref. /9/). Den kritiska bottenskjuvspänningen för erosion ligger mellan 0.15 och 0.35 N/m^2 för nyligen avsatta sediment, ref. /9/ och /10/. I t.ex. Öresund ligger den kritiska bottenskjuvspänningen på ca 0.3 N/m^2 , ref. /11/. För beräkningarna i denna rapport har vi valt att ansätta 0.2 N/m^2 , ett något konservativt värde, för att inte underskatta grumlingen.

Fallhastigheten för varje fraktion måste vara känd för att spridning av spill skall kunna simuleras. Fallhastigheten W_s har beräknats med hjälp av Stokes lag och kräver att man vet kornstorlek, densitet och vattnets viskositet.

$$W_s = \frac{(\rho_s - \rho_w)g(fd)^2}{18\nu} \quad (4.1)$$

Här är ρ_s sedimentets densitet, ρ_w vattnets densitet, g gravitationen, d kornstorleken, f en flockuleringsfaktor och ν den kinematiska viskositeten.

4.4.3 Scenarier

För att beskriva vilka koncentrationer av suspenderat sediment som kan uppkomma i samband med muddring och dumpning har DHI utifrån tillgänglig information satt ihop ett muddrings- och dumpningsschema.

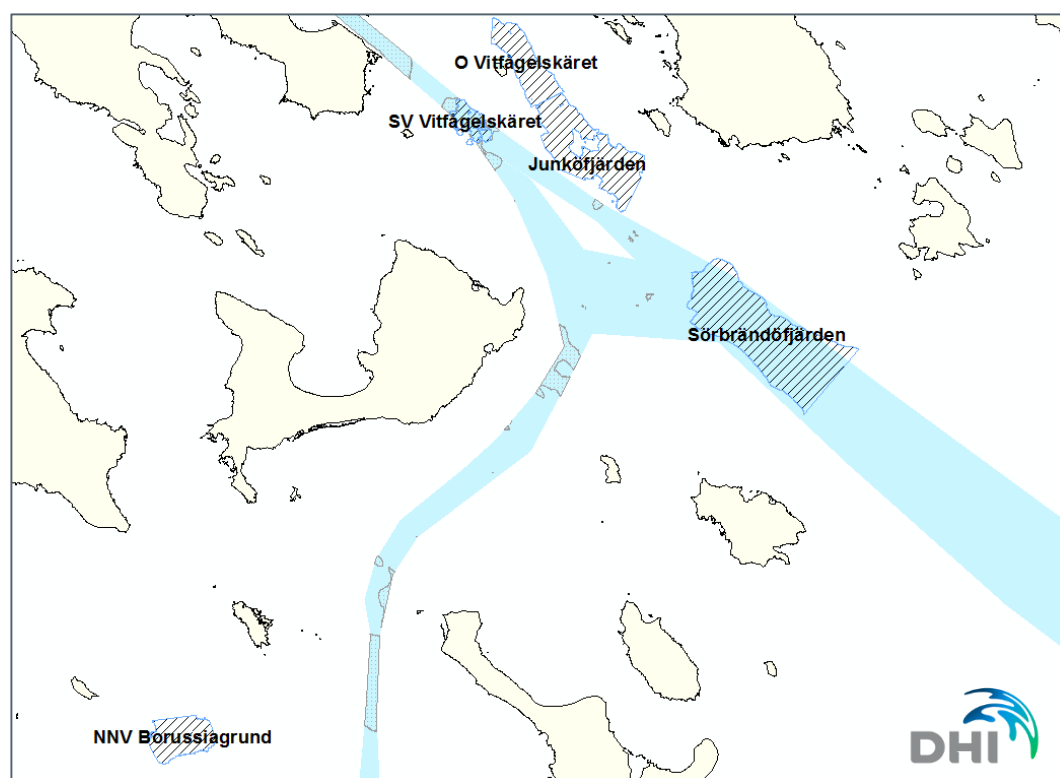
Fyra verk muddrar samtidigt; BHD1, BHD2, TSHD1 och TSHD2, dvs. två enskopeverk och två sugmudderverk. I simuleringarna har vi försökt placera verken så att de skall ge upphov till så mycket sammanlagd grumling som möjligt men under förutsättning att de verkar i olika delområden och med ett tomt delområde emellan sig. I Tabell 4-4 visas muddrings- och dumpningsschemat som använts i modellsimuleringarna. Figur 4-11 visar en karta över dumpningsområdena.

Enskopeverken spiller över hela kolumnen vilket gör att dessa ger upphov till grumling även i ytan. Kapaciteten är dock avsevärt lägre än för ett sugmudderverk så den totala andelen spill är mindre. Sugmudderverken spiller endast vid botten och därför påverkar dessa ytvattnet i mycket mindre utsträckning, trots den högre kapaciteten och mängden spill.

Vid dumpning i modellen så används pråmar som rymmer ca 600 m³ för materialet muddrat med enskopeverk. Dessa pråmar tippas 8 ggr/dygn. Sugmudderverken tippas 5 ggr/dygn och rymmer 30 000 m³. För pråmarna räknar vi med att all volym är sediment medan för sugmudderverken antar vi att hälften är vatten.

Tabell 4-4 Muddrings- och dumpningsschema för modellsimuleringarna.

x	y	Muddring	maj	juni	juli	augusti	september	oktober	
831887	7289322	Gräsjöfjärden	BHD1						
		Svartösundet							
834296	7288655	Victoriahamnen	TSHD1						
834632	7288262	Vändyta Victoriahamnen		TSHD1					
		Malmhamnen							
836485	7288391	Sandöleden 1	BHD2						
		Sandöleden 2							
837676	7287768	Sandöleden 3	TSHD2						
838151	7287399	Sandöleden 4		TSHD2					
838540	7286941	Sandöleden 5			TSHD2				
838905	7286434	Sandöleden 6				TSHD2			
		Sandöleden 7							
		Sandöleden 8							
839922	7284901	Sandöleden 9					TSHD2		
		Sandöleden 10							
		Sandöleden 11							
		Vitfågelskär							
		Larsgrundet							
		Junkön							
844538	7277742	Sandgrönleden 1			BHD1				
		Sandgrönleden 2							
		Sandgrönleden 3							
		Sandgrönleden 4							
840410	7271552	Sandgrönleden 5						BHD2	
		Sandgrönleden 6							
		<i>Tipplatser</i>							
848104	7278588	Sörbrändöfjärden	BHD1						
849215	7277826	Sörbrändöfjärden	TSHD2						
845334	7281938	Junköfjärden	BHD2						
843627	7283962	O Vitfågelskåret	TSHD1						
836364	7269921	NV Borussiagrund						BHD2	



Figur 4-11 Områden som är aktuella för dumpning av rena muddermassor.

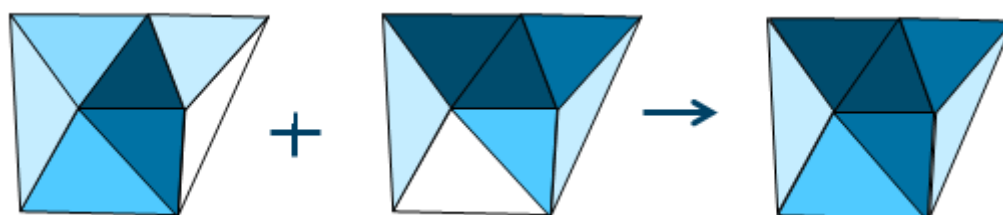
4.5 Statistisk analys

Resultaten från modellberäkningarna av suspenderat sediment är koncentrationsfält som varierar i tid och rum. För att på ett tydligt sätt åskådliggöra vilka koncentrationer av spill som uppstår, bearbetas resultaten statistiskt. Tre typer av statistiska variabler har tagits fram för simuleringsperioden; den maximala koncentrationen, medelkoncentrationen och varaktigheten för att en viss koncentration överskrids.

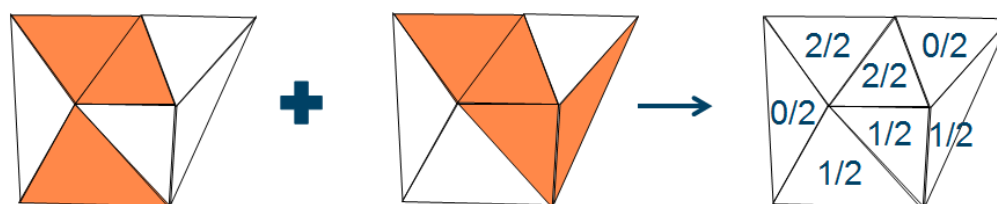
Den maximala koncentrationen beräknas genom att för varje cell välja ut den maximala koncentrationen under hela simuleringsperioden. Principen för att ta fram denna illustreras av Figur 4-12. Koncentrationerna under två tidssteg kombineras genom att det maximala värdet i varje beräkningscell sparas i en ny fil. När samma procedur utförs för alla tidssteg får man till slut en karta över de maximala koncentrationer som uppstått i samtliga beräkningsceller, oavsett när de inträffade under perioden.

Medelvärdet räknas helt enkelt ut genom att man tar tidsmedelvärdet av alla beräknade koncentrationer i en cell under den simulerade perioden.

För att kunna värdera miljöpåverkan beräknas också varaktigheten för att en viss koncentration överstigs. Detta ger alltså ett mått på hur länge koncentrationen är över en viss nivå i olika områden. För varje beräkningscell räknar vi ut under hur många tidssteg som koncentrationen överstiger referensvärdet. Detta illustreras av Figur 4-13. Antalet tidssteg då gränsvärdet överskrids divideras sedan med det totala antalet tidssteg för perioden och räknas om till timmar.



Figur 4-12 Principen för beräkning av maximal koncentration. Mörkare färg representerar högre koncentration.

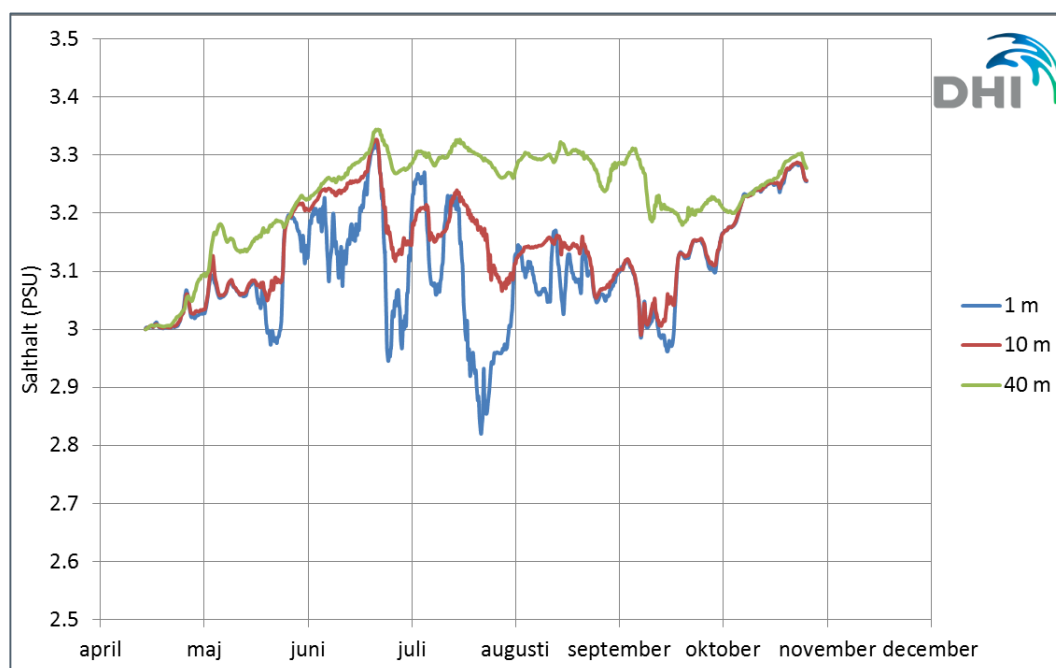


Figur 4-13 Principen för beräkning av varaktighet. Orange färg indikerar att den valda koncentrationnivån överskridits.

5 Resultat

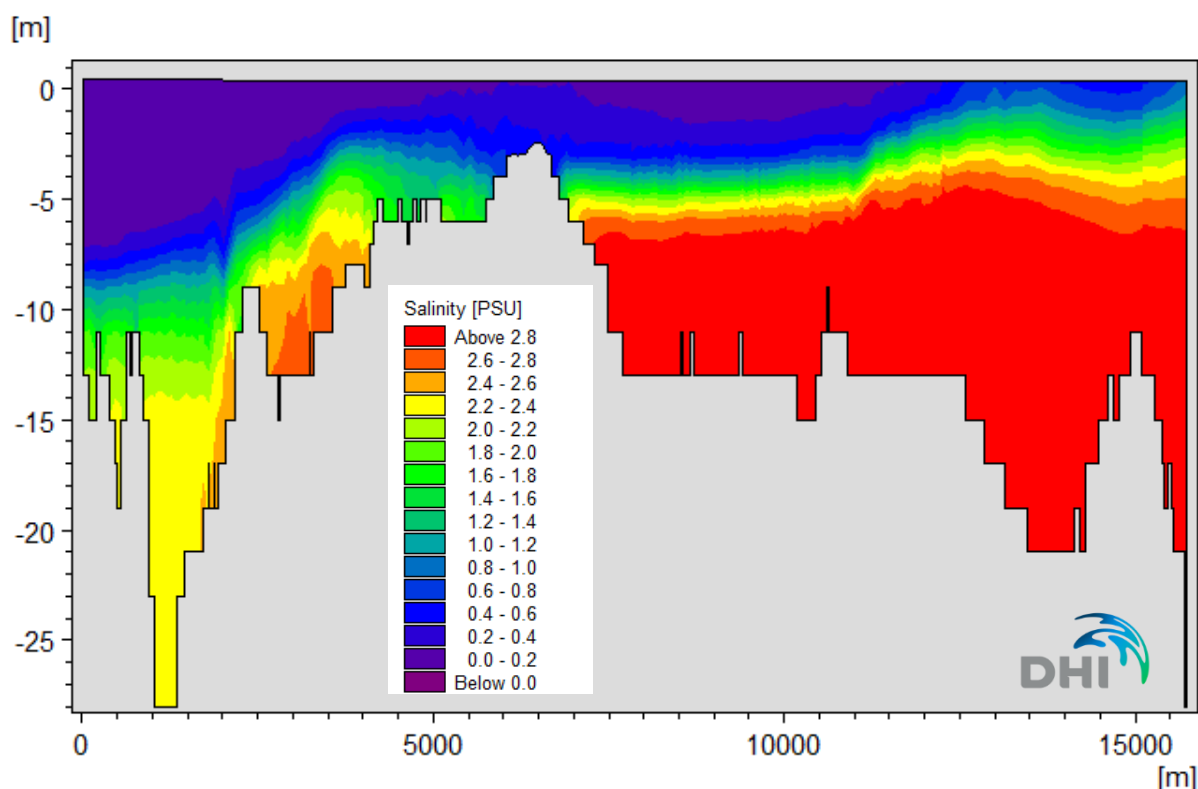
5.1 Strömmar och skiktning

Figur 5-1 presenterar simulerade tidserier för salthalten på tre olika djup i en punkt nära mitten av den västra randen. Ju längre isär linjerna är desto skarpare salthaltsskiktning. Typiskt för Bottenviken är att ytvattnet blir sötare på sommaren på grund av stor landavrinning via älvarna, vilket ger upphov till ett skarpere språngskikt under sommaren. Som framgår av Figur 5-1 minskar salthalten i modellen på 1 och 10 m från och med slutet av juni, och ett språngskikt utvecklas mellan 10 och 40 m. Modellen uppvisar därmed de karakteristiska dragen av en starkare sommarskiktning på ett tillfredsställande sätt.



Figur 5-1 Den modellerade salthaltens variation under simuleringsperioden på tre djup.

Den lokala tillförseln av sötvatten från Luleälven driver ett utåtgående flöde i ytan från det inre av Luleå hamn ut mot skärgården. Den lokala modellen återskapar detta flöde och den salthaltsskiktning som uppstår i Sandöfjärden. Ett exempel på detta visas i Figur 5-2.



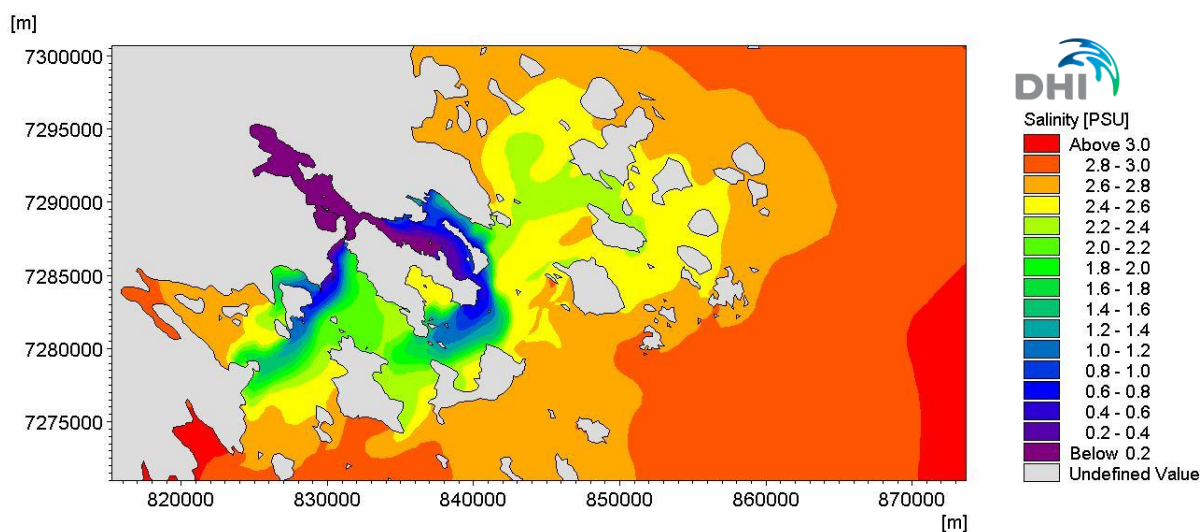
Figur 5-2 Exempel på modellerad salthaltskiktning. Snittet representerar farleden ut genom Klubbnäset, med Luleå till vänster.

Utfloppet från Luleälven sker via tre större sund: Tjuvholmsundet, Klubbnäskanalen och Lövsjär. I SMHI:s rapport (1980) har man utifrån strömmätningar i de olika sunden uppskattat hur det utflödande sötvattnet fördelas mellan de olika sunden. I Tabell 5-1 presenteras SMHI:s uppskattningar samt motsvarande resultat från den lokala modellen. Vi har valt att visa jämförelsen för det utgående flödet genom sundet, vilket är representativt för sötvattenflödet. Siffrorna avser medelvärden över simuleringsperioden. Det är tydligt att överensstämmelsen är så god som kan förväntas med tanke på att det är olika tidsperioder som jämförs.

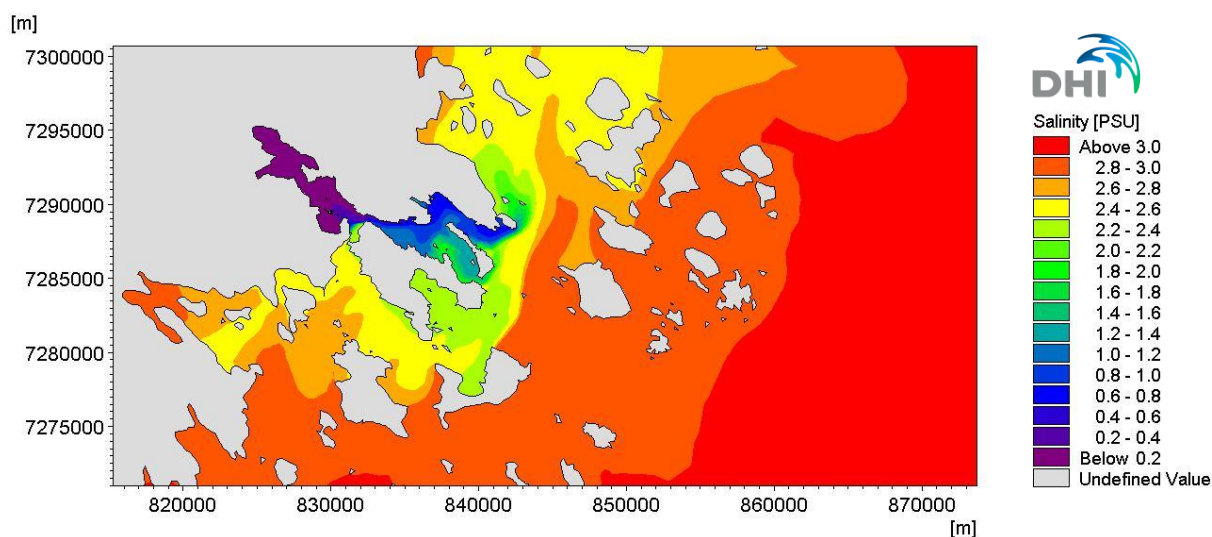
Tabell 5-1 Fördelningen av utflöde i % genom Tjuvholmsundet, Klubbnäskanalen och Lövsjär.

Sund	SMHI 1980	Lokal modell
Tjuvholmsundet	15	18
Klubbnäskanalen	32	37
Lövsjär	53	45

Hur fördelningen av det utströmmande vattnet sker vid olika vindriktningar har också undersökts. Figur 5-3 och Figur 5-4 visar hur det utströmmande vattnet från Luleälven väljer olika vägar beroende på vilken vindriktning som råder. Detta är i överensstämmelse med slutsatserna i SMHI (1980) där vindriktningen visade sig vara en väldigt avgörande komponent i hur sötvattnet sprider sig.



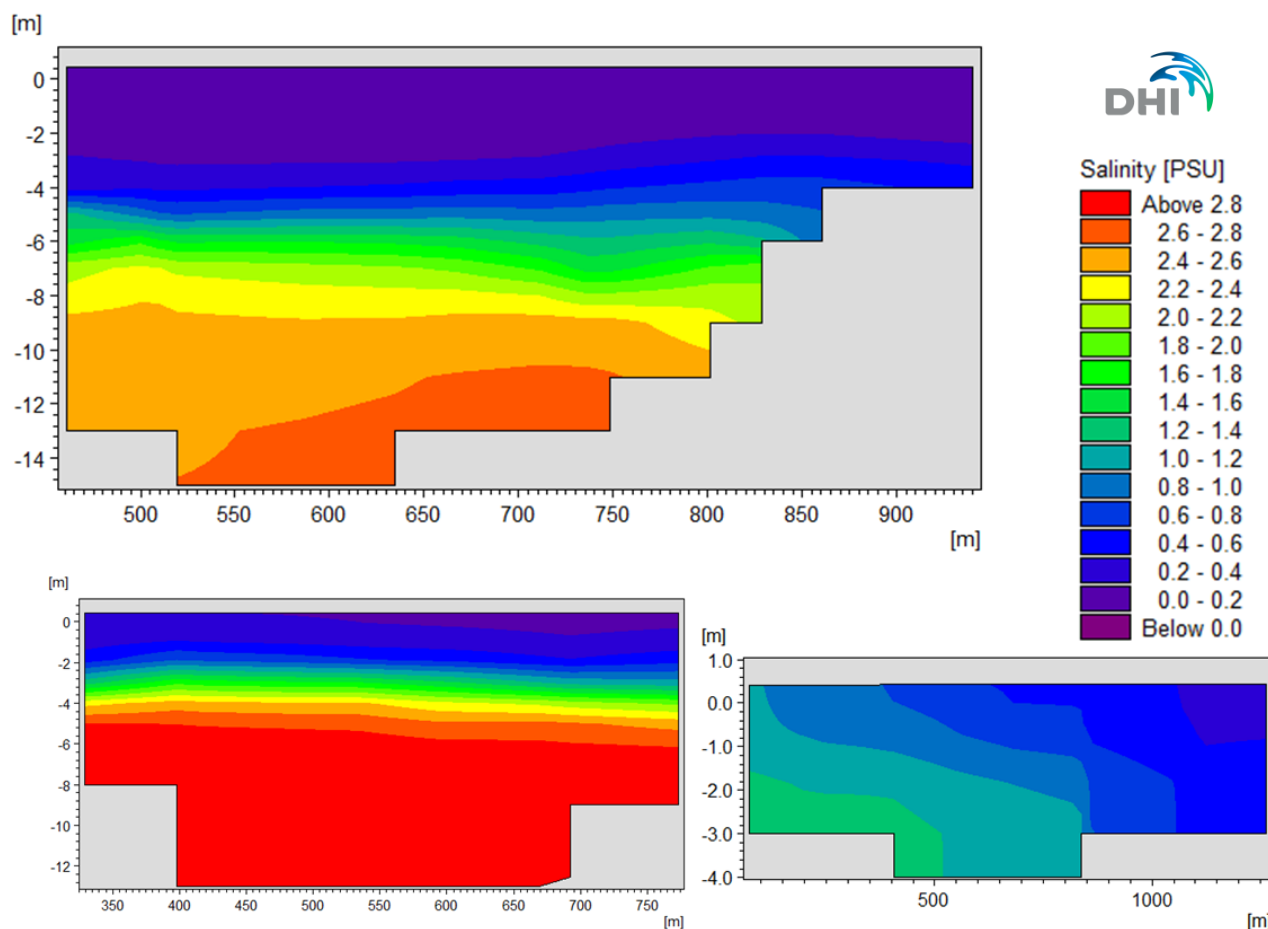
Figur 5-3 Modellerad salthalt i ytan som visar hur vattnet från Luleälvens utflöde sprids vid en stark nordostlig vind.



Figur 5-4 Modellerad salthalt i ytan som visar hur vattnet från Luleälvens utflöde sprids vid en stark sydlig vind.

Under ett par dagar i juni 2012 utfördes mätningar av både salt, temperatur och ström i de olika sunden i samband med ett tidigare mätprogram. Dessa mätningar har inte gjorts tillgängliga för jämförelse i form av data men utifrån de bilder som redovisas i mät rapporten föreligger det en överensstämmelse med den skiktning som simulerats i modellen. Dagarna ifråga präglades av ett starkt utflöde i ytan med en motriktad underström längs botten vilket även syns i den modellerade skiktningen, se Figur 5-5.

Den modellerade salthaltsskiktningen i de olika sunden har även jämförts med de karakteristiska dragen enligt SMHI (1980) och visar då på en god överensstämmelse vad gäller språngskikt djupen.



Figur 5-5 Modellerad salthaltskiktning i juni 2012 i Svartösundet (överst), Klubbnäskanalen (nederst till vänster) och Altappssundet (nederst till höger). Samtliga figurer visar tvärsnitt.

5.2 Sedimentspill och sedimentation

I följande avsnitt (5.2.1 till 5.2.5) redovisas resultaten från modelleringen av spridningen av spill vid muddring och dumpning. Koncentrationen av suspenderade sediment (SSC) anges i mg/l. De beräknade koncentrationerna är överkoncentrationer, dvs. koncentration utöver den naturliga. Färgskalan i figurerna relaterar i viss mån till vad som kan antas ligga i linje med de naturliga variationerna i området. Koncentrationer under 10 mg/l anges i blått då dessa förväntas ligga i nivå med de naturliga variationerna under lugna till måttliga väderförhållanden. Intervallet 10-50 mg/l visas i grönt och är halter som enligt litteraturen kan förekomma under naturliga förhållanden vid stormar. Över 50 mg/l visas med färgskalan gult till rött.

SSC redovisas för ytan och vid botten. Observera att medan ytan är en fix nivå så varierar bottendjupet och detta återspeglas i figurerna.

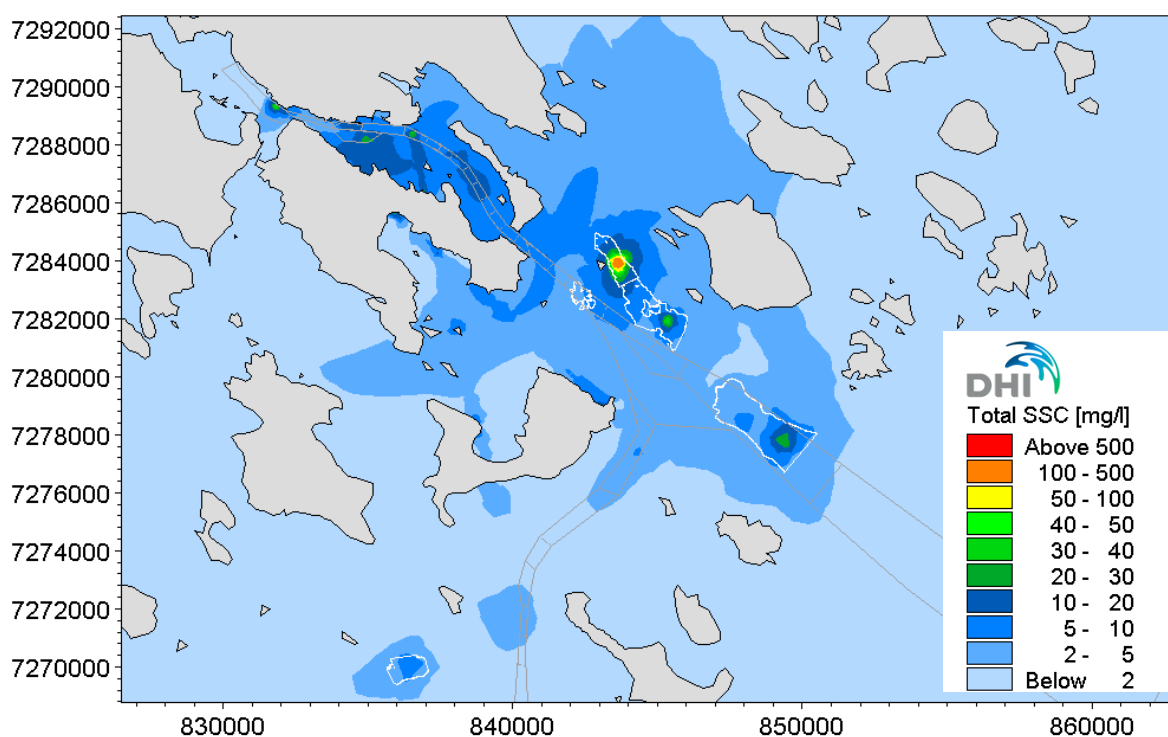
Varaktighet redovisas för referensnivåerna 2, 5, 10, och 50 mg/l i ytan och vid botten i en färgskala med enheten dygn. Om en referensnivå inte överskrids mer än totalt ett halvt dygn redovisas detta som "ingen påverkan".

All statistik baseras på tidsperioden från 1/5 till och med 31/10.

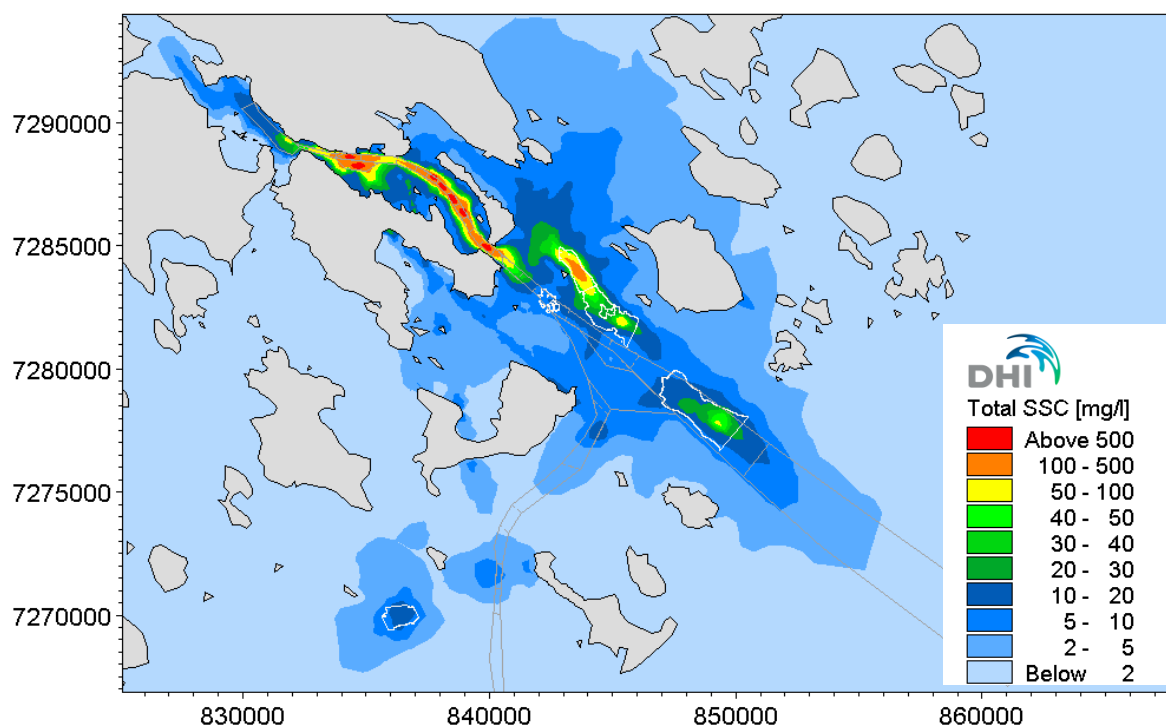
5.2.1 Max- och medelkoncentrationer

De maximala koncentrationerna av suspenderat sediment i ytan visas i Figur 5-6 och vid botten i Figur 5-7. Bilden i ytan skiljer sig från den vid botten. Sugmudderverken spiller endast vid botten samtidigt som de har störst kapacitet. Därför blir också grumlingen och SSC högst här. I ytan är halterna generellt sett lägre men spillet sprider sig också över ett större område. Eftersom det muddrade materialet består av relativt lite finsilt och lera blir grumlingen från spill begränsad. Detta beror på att de större fraktionerna snabbt faller ur vattenmassan och sedimenterar. Det är endast i områden i direkt anslutning till mudderverken som SSC överstiger 10 mg/l. Områden där SSC understiger 2 mg/l anses vara opåverkade av muddringen.

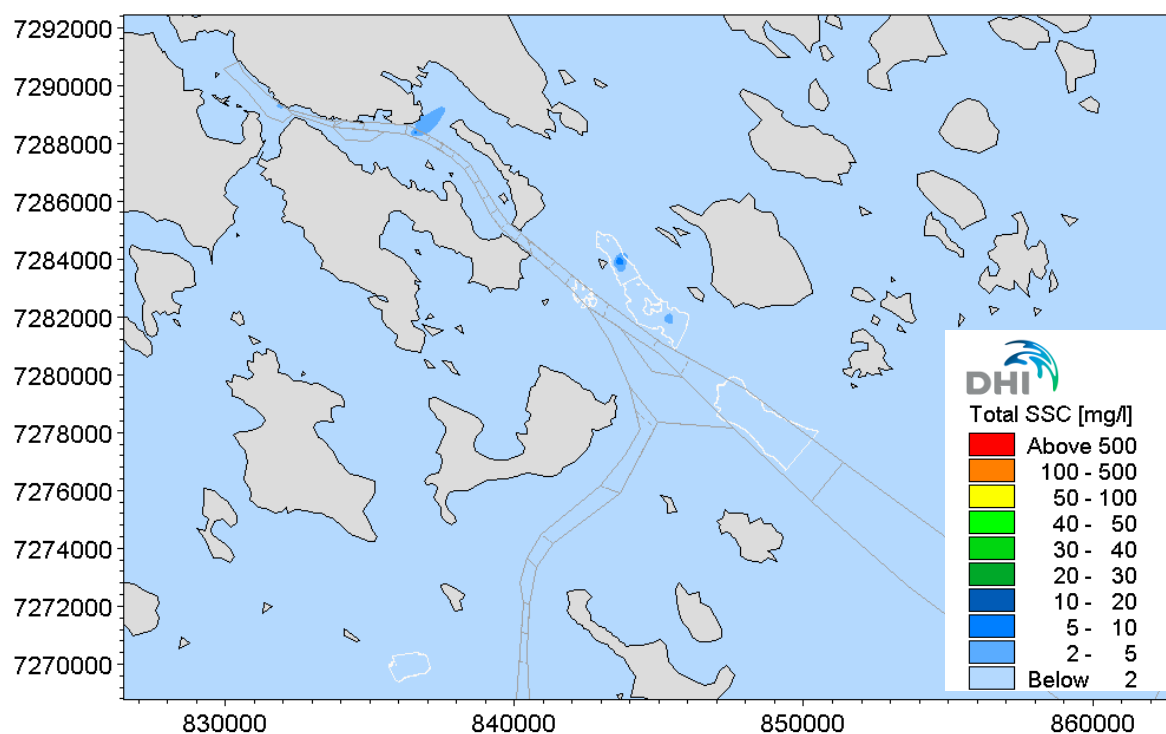
I medeltal är koncentrationerna generellt sett låga utanför muddrings- och dumpningsområdena, under 2 mg/l i ytan (Figur 5-8) och under 10 mg/l vid botten (Figur 5-9). I tippområdena beror detta på att de höga koncentrationerna är kortvariga då de endast uppstår i samband med själva dumpningen. Spillet faller ur vattenmassan relativt fort, dvs. sjunker till botten och sedimenterar.



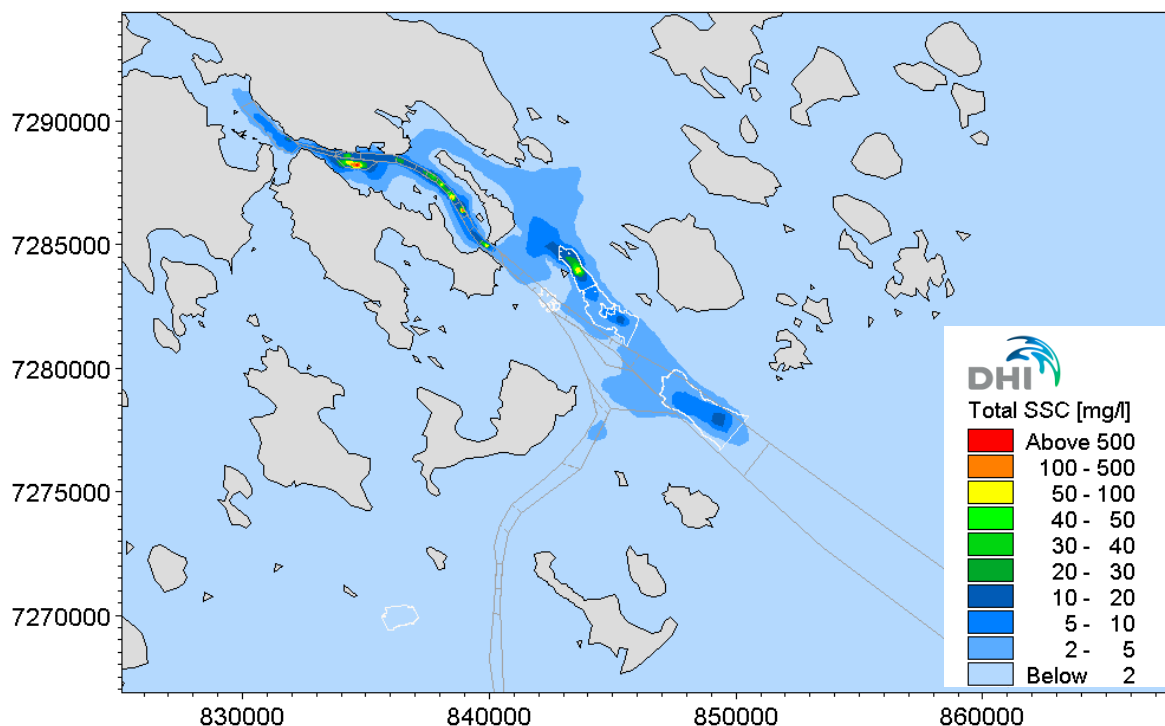
Figur 5-6 Maximal grumling i ytan maj-oktober.



Figur 5-7 Maximal grumling vid botten, maj-oktober.



Figur 5-8 Medelgrumling i ytan, maj-oktober.

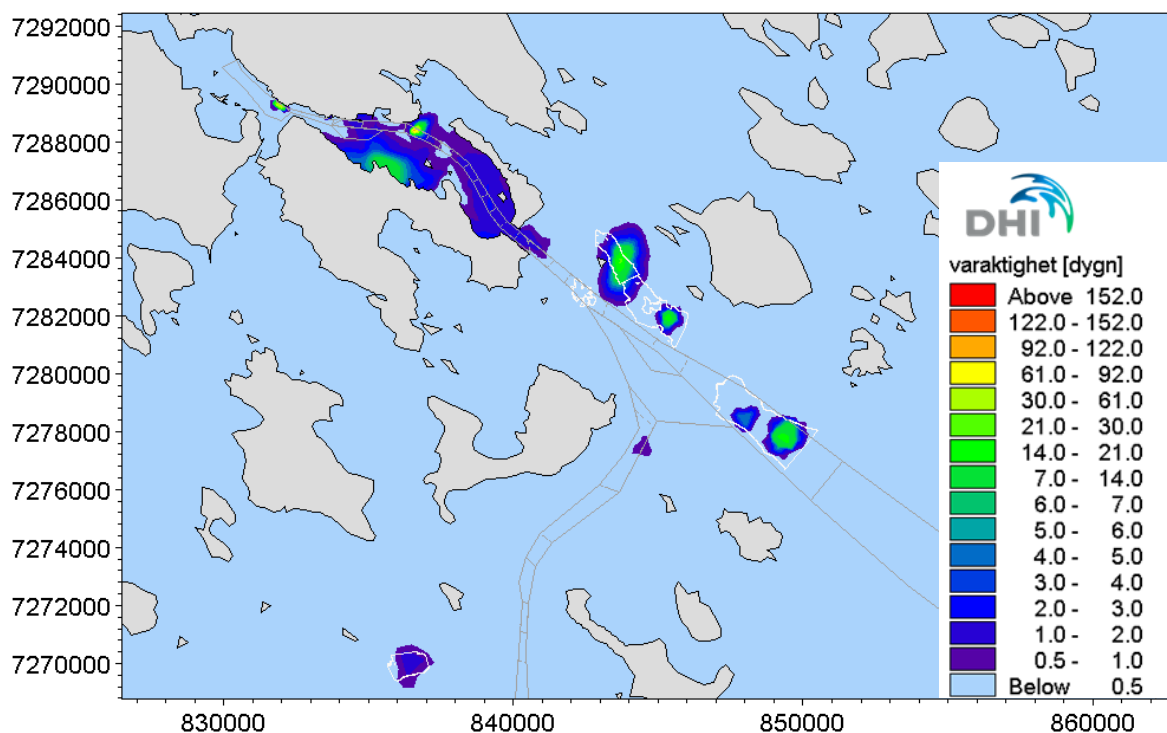


Figur 5-9 Medelgrumling vid botten, maj-oktober.

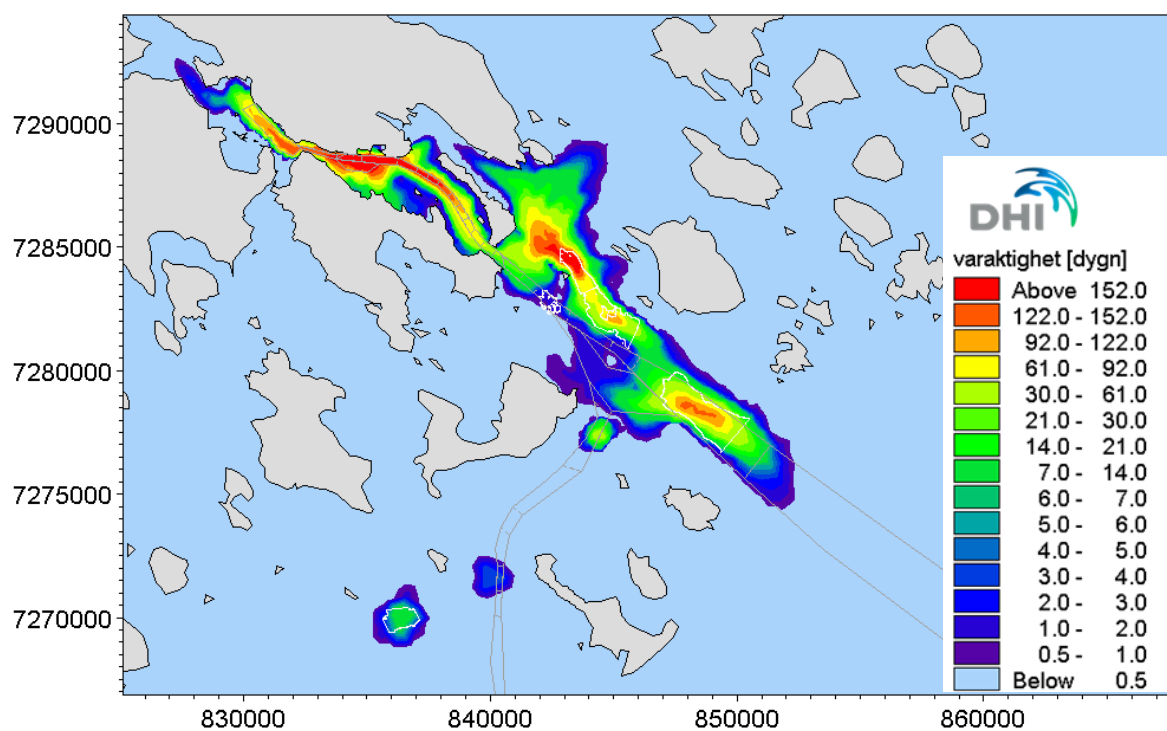
5.2.2 Varaktighet för 5 mg/l

De lägsta koncentrationerna är de som har längst varaktighet. I ytan, Figur 5-10, är varaktigheten, dvs. den tid som koncentrationerna överstiger 5 mg/l, under 12 timmar överallt förutom i området Sandöfjärden ut till Klubbnäset och tippområdena. Utanför dessa områden kan koncentrationen överstiga 5 mg/l – som vi såg från bilden för maximal koncentration – men detta sker totalt under mindre än en halv dag under hela muddringsperioden maj-oktober.

Vid botten, Figur 5-11, är antalet dagar då SSC överstiger 5 mg/l betydligt fler och detta beror dels på att spillet faller till botten och dels att den största källan till spill, sugmudderverkets huvud, finns här. Topografin begränsar utbredningen av koncentrationerna i bottenvattnet. Vid botten sker en transport av suspenderat sediment inåt förbi Svartösundet upp till Gråsjäljärden.



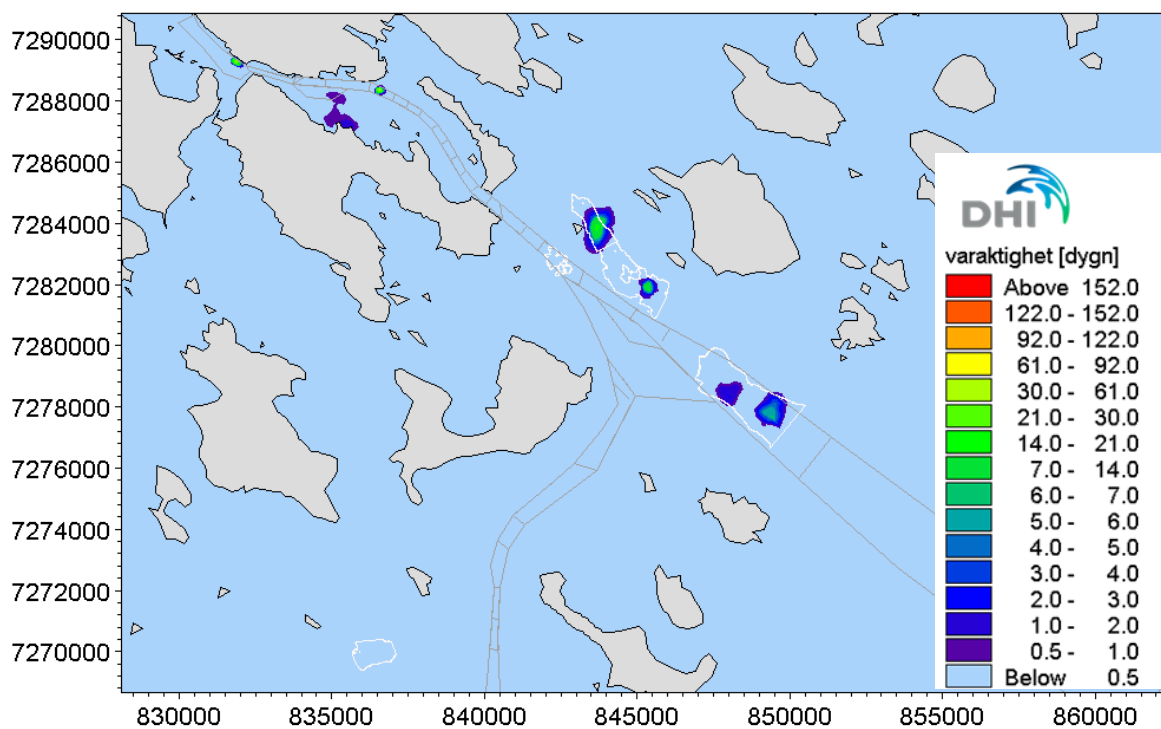
Figur 5-10 Varaktighet för SSC större än 5 mg/l i ytan, maj-oktober.



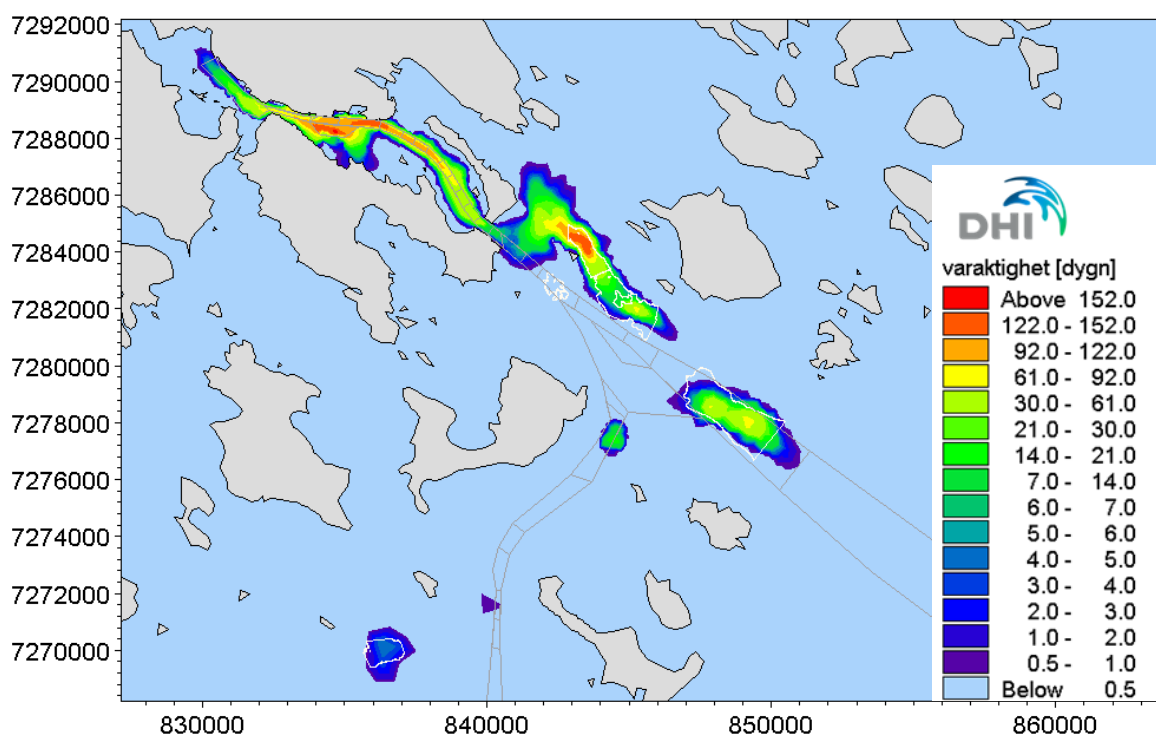
Figur 5-11 Varaktighet för SSC större än 5 mg/l vid botten, maj-oktober.

5.2.3 Varaktighet för 10 mg/l

I Figur 5-12 och Figur 5-13 visas varaktigheten för koncentrationer som överstiger 10 mg/l, i ytan resp. vid botten. I ytan är utbredningen begränsad till muddringsområdena och dumpningsområdena. Vid botten är varaktigheten längre och framför allt i de djupare delarna. Även här sker en transport med strömmarna in till Gråsjäl fjärden.



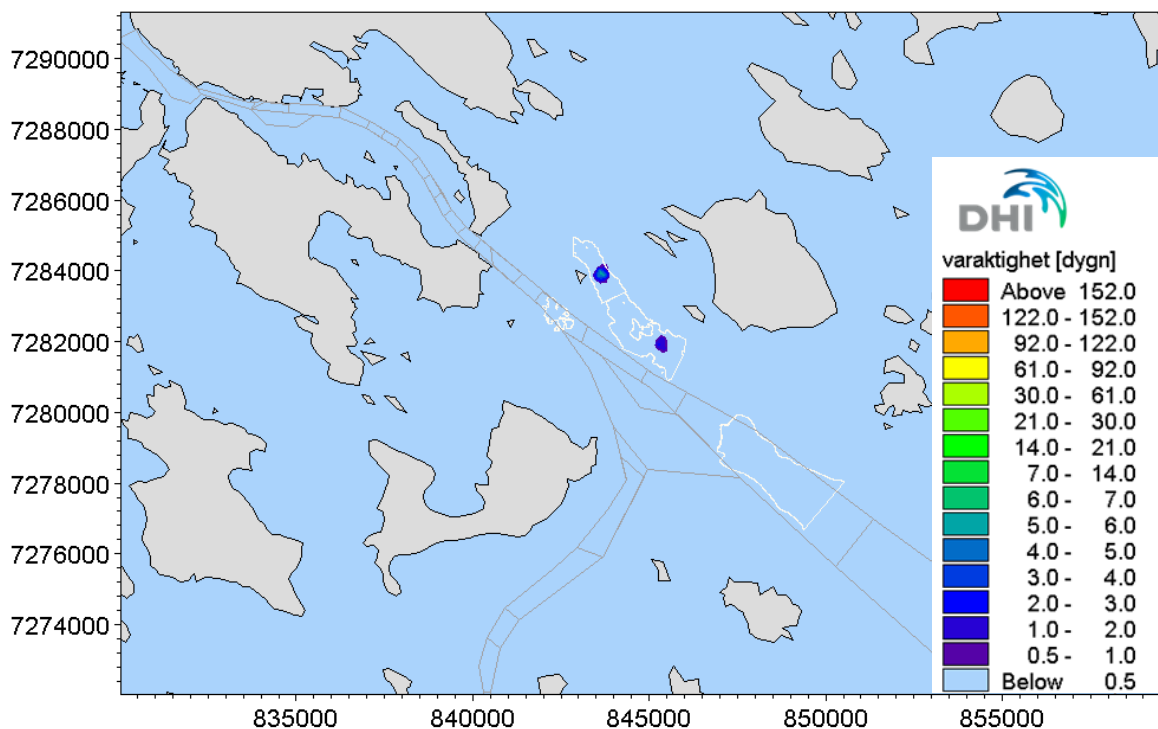
Figur 5-12 Varaktighet för SSC större än 10 mg/l i ytan, maj-oktober.



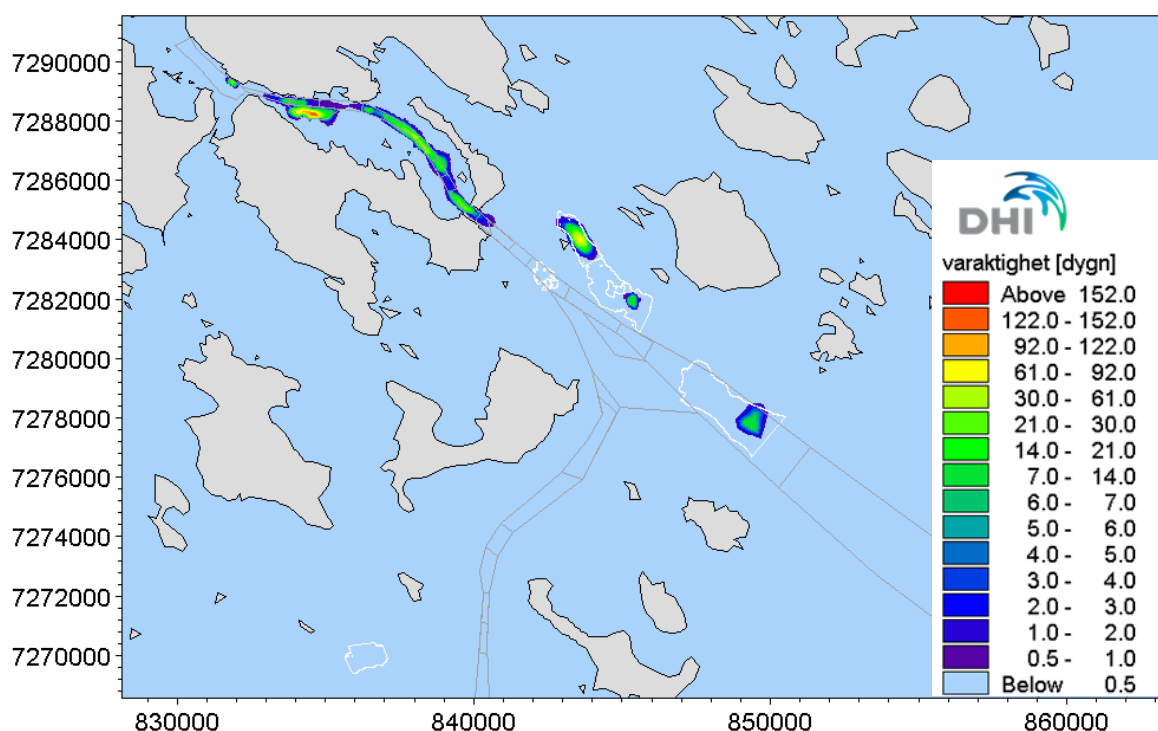
Figur 5-13 Varaktighet för SSC större än 10 mg/l vid botten, maj-oktober.

5.2.4 Varaktighet för 50 mg/l

I Figur 5-14 och Figur 5-15 visas varaktigheten för koncentrationer som överstiger 50 mg/l, i ytan resp. vid botten. Det är endast i direkt anslutning till dumpningsområdena och eventuellt inom några tiotal meter från enskopeverken som SSC kan överstiga 50 mg/l. Varaktigheten vid botten står i direkt proportion till antalet dagar som ett mudderverk arbetar på en viss plats.



Figur 5-14 Varaktighet för SSC större än 50 mg/l i ytan, maj-oktober.



Figur 5-15 Varaktighet för SSC större än 50 mg/l vid botten, maj-oktober.

5.2.5 Avstånd till grumling

I Tabell 5-2 visas den maximala grumlingen på x m avstånd från muddrings-/dumpningsområdet. Tabellen är en slags sammanfattning av figurerna i avsnitten ovan (5.2.1 - 5.2.4). De maximala halterna är relativt låga i ytan. Detta beror på att materialet relativt snabbt faller ur vattenmassan och det är därmed precis vid botten som den största grumlingen finns. Ytan är representativ för stora delar av vattenmassan.

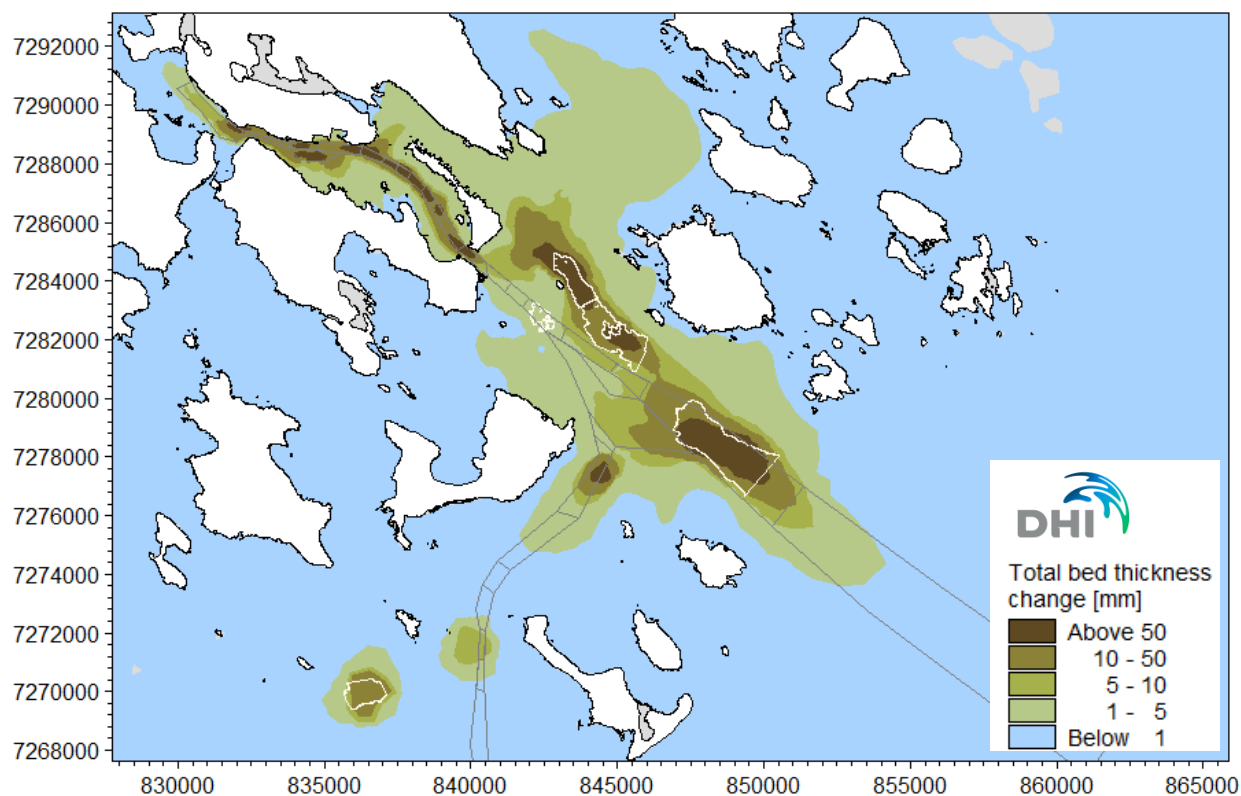
Tabell 5-2 Maximal grumling och varaktighet på olika avstånd till muddrings-/dumpningsområdet.

Område	Muddring/ Dumpning	200 m		500 m		1000 m	
		Yta mg/l (dagar)	Botten mg/l (dagar)	Yta mg/l (dagar)	Botten mg/l (dagar)	Yta mg/l (dagar)	Botten mg/l (dagar)
Gräsjälsfjärden	M	3 (-)	30 (<0.5)	2 (-)	10 (1)	< 2 (-)	7 (<10)
Viktoriahammen/ Vändyta	M	15 (<0.5)	80 (0.5)	12 (<1)	50 (<0.5)	12 (<1)	20 (<0.5)
Sandöleden	M	15 (<0.5)	100 (1)	10 (<0.5)	20 (0.5)	6 (5)	7 (<8)
Sandgrönleden	M	3 (-)	7 (3)	3 (-)	6 (3)	2 (-)	5 (0.5)
Sörbrändöfjärden	D	5 (<0.5)	25 (<0.5)	4 (<0.5)	20 (<0.5)	2 (-)	15 (<0.5)
Junköfjärden	D	5 (<0.5)	20 (<0.5)	4 (<0.5)	15 (<0.5)	2 (-)	10 (0.5)
O Vitfågelskäret	D	30 (0.5)	50 (<0.5)	15 (<0.5)	40 (<0.5)	6 (2)	25 (4)
NV Borussiagrund	D	4 (1)	10 (8)	3 (-)	6 (3)	2 (-)	4 (0.5)

5.2.6 Sedimentation av spill

Den mängd sediment som spills vid muddring och dumpning och sprids med strömmarna kommer så småningom att sedimentera. Av de fraktioner som spills är dock merparten relativt grova och sedimentationen kommer därför att ske i nära anslutning till muddrings- och dumpningsområdena. I Figur 5-16 visas mängden spill som sedimenterat den sista oktober, efter att muddring och dumpning pågått under sex månader. Skalan i figuren är i millimeter.

Sedimentation av spill förekommer över ett stort område men i så små mängder att det knappt är mätbart. Den största sedimentationen av spill sker i tippområdena och i de farleder som muddras. Detta betyder att spill från muddring sedimenterar och sedan muddras igen.



Figur 5-16 Nettosedimentation av spill efter sex månader uttryckt i mm.

6 Slutsatser

Spridningsberäkningarna visar att sedimentspillet vid muddring och dumpning relativt snabbt sedimenterar (större fraktioner) eller sprids och späds effektivt i skärgården (mindre fraktioner). Detta innebär att området med överkoncentrationer över 5 mg/l i ytan i princip är begränsat till Sandöfjärden ut till Klubbnäset samt tippområdena. Grumlingen vid botten är större av samma skäl som de är låga i ytan. Spillet består till större del av tyngre fraktioner som snabbare sedimenterar än de finare fraktionerna finsilt och ler. Det är främst botten med djup om minst 10 m som påverkas av överkoncentrationer över 10 mg/l.

De huvudsakliga spridningsvägarna styrs av Luleälvens flöde och vindarna i området. I ytan kan strömmen vara riktad åt ett håll samtidigt som den vid botten går åt ett annat håll. Eftersom vi i denna rapport har titta på en verklig historisk sexmånadersperiod täcker vi in de flesta hydrodynamiska förhållanden som kan tänkas förekomma i området med varierande vindar och flöden.

Det spill som transporteras i vattenmassan och sedimenterar utanför farlederna och tippområdena har en sedimenttjocklek på några millimeter vilket i praktiken inte är mätbart. Det bör påpekas att sedimentationen som beräknats är överskattad eftersom den resuspenderande effekten från vågor inte finns med i beräkningarna.

Sedimentrelaterade processer och parametrar är svåra att mäta i fält och det finns därför osäkerheter kopplade till kunskapen om fallhastighet, flockulering, kritisk bottenkjuvspänning för erosion och sedimentation och konsolidering av finkorniga sediment. I denna studie har vi därför varit relativt konservativa när det gäller vissa antaganden såsom spillprocent.

7 Referenslista

- /1/ Broman, B. *Luleå Hamn, slutrapport. Resultat av ström- och skiktningmätningar i Luleå skärgård 1974-1978*. SMHI, 1980.
- /2/ Pejrup, M., Larsen, B., 1994. *Natural sediment transport through Öresund*. Report no. 7170. DHI/LIC Joint Venture.
- /3/ Valeur, J.R., Pejrup, M., 1993. *Hydrographic investigations in Öresund. Turbidity in Öresund*. Report no. 7057. DHI/LIC Joint Venture.
- /4/ Valeur, J.R., Pejrup, M., Jensen, A., 1996. *Particle Dynamics in the sound between Denmark and Sweden*. Coastal Dynamics '95: International conference on coastal Research in Terms of Large-Scale Experiments, s. 951-962.
- /5/ SMHI Hydrologi. *Sedimenttransport i svenska vattendrag, exempel från 1967-1994*. Rapport nr 69, 1996.
- /6/ Bonsdorff, E., et.al. *Ecological Changes in the Brackish Water Environment of the Finnish West Coast Caused by Engineering Works*. Ophelia, Suppl. 3:33-44, December 1984.
- /7/ Becker, J., et.al. 2015. *Estimating source terms for far field dredge plume modelling*. Journal of Environmental Management, nr 149, sid 282-293.
- /8/ FEHY (2013). *Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Marine Soil – Impact Assessment. Sediment Spill during Construction of the Fehmarnbelt Fixed Link*. Report No. E1TR0059 – Volume II.
- /9/ Soulsby, R.et. al., 2000. *Dynamics of Estuarine Muds*. HR Wallingford.
- /10/ van Rijn, L.C., 2007. Unified view of sediment transport by currents and waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness and Bed-Load Transport. J. of Hydraul. Eng., 133:649-667.
- /11/ Lumborg, U., 2005. Modelling the deposition, erosion and flux of cohesive sediment through Öresund. Journal of Marine systems, 56:179-193