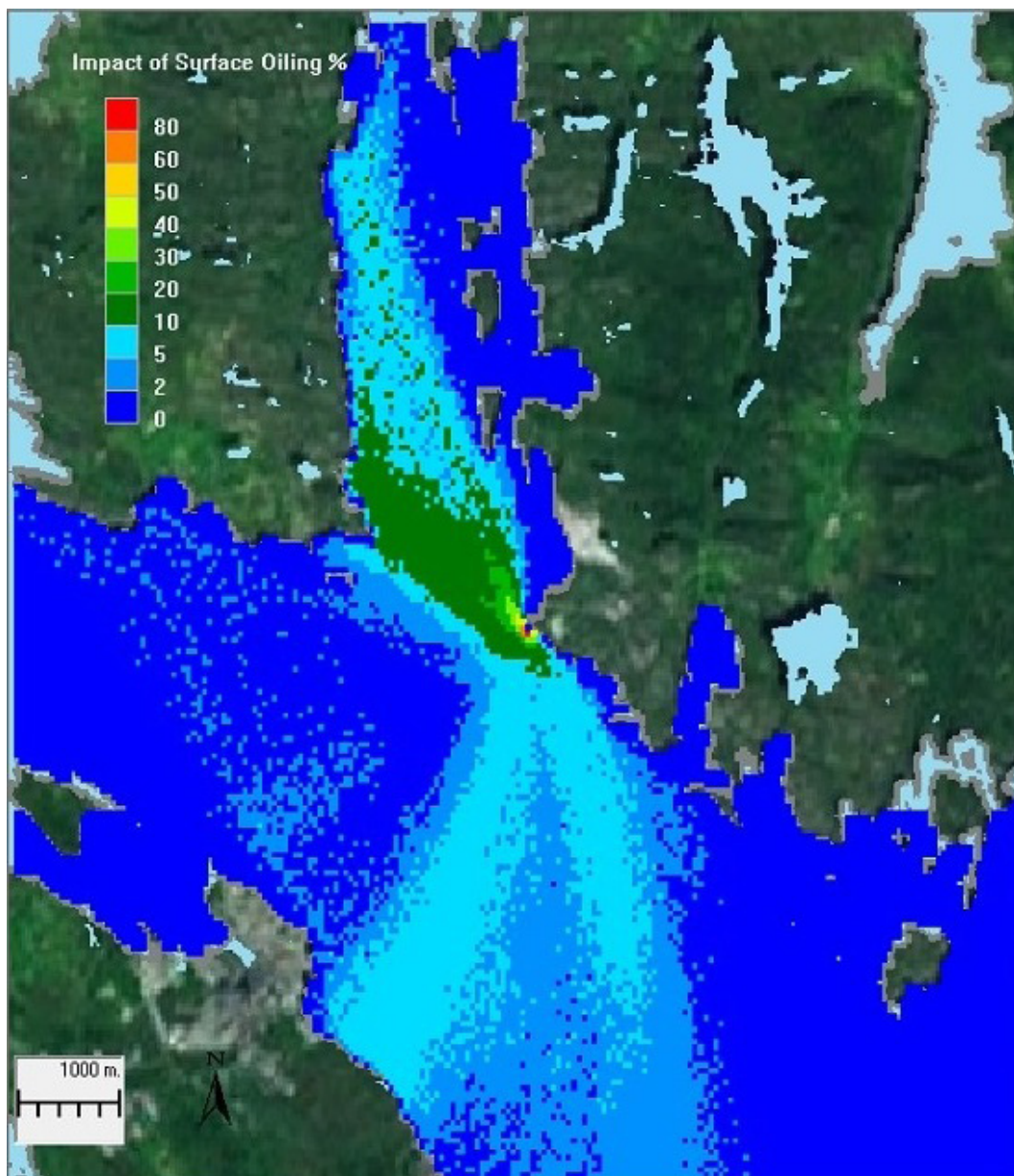


## Modellering av oljeutslipp i Sløvåg



# RAPPORT

**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**NIVA Region Sør**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**NIVA Region Innlandet**

Sandvikaveien 59  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**NIVA Region Vest**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Region Midt-Norge**

Høgskoleringen 9  
7034 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Modellering av oljeutslipp i Sløvåg	Løpenr. (for bestilling) 6554-2013	Dato 25.06.2012
	Prosjektnr. Undernr. 13190	Sider Pris 34
Forfatter(e) Torulv Tjomsland, Magdalena Kempa, Torgeir Bakke, Lars Golmen og Venkat Kolluru (ERM)	Fagområde Oceanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Alexela Sløvåg AS	Oppdragsreferanse Lars Narverud
---------------------------------------	------------------------------------

**Sammendrag**

Målet var å beskrive spredningen av oljelekkasje fra skip ved havnen i Sløvåg. Spredningen ble modellert med en matematisk modell, GEMSS.

Det ble laget scenarier hvor utslippet skjedde om vinteren, dvs. i perioden januar – mars. Det var da en sannsynlighet på over 10 % for oljepåvirkning av fjorden 2-3 km i nordvestlig retning og over 5 % for spredning 4-5 km i retning nordvest og sør. Om sommeren (juni-august) ble spredningsmønsteret noe mer variert, hovedretningen var utover fjorden mot vest, samt mot sør. Mesteparten av dette området kan nås i løpet av 5 timer. I utslippssonen kunne oljelagetes tykkelse bli over 1 mm. Etter transport i omkring 6 km ble maksimal tykkelse redusert til under 0,001 mm. Et slikt utslipp forventes kun å skape små negative konsekvenser for organismer langs strendene i tidevannssonen. Det er liten risiko for fisk og fiskeoppdrett.

<b>Fire norske emneord</b> 1. Oljeutslipp 2. Skipslekkasje ved kai 3. Strøm- og spredningsmodell 4. Sløvåg, Fensfjorden	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Oil spill 2. Leak from ship in harbor 3. Mathematical modeling 4. Sløvåg, Fensfjorden
---	---



Torulv Tjomsland  
Prosjektleder



John Rune Selvik  
Forskningsleder



James Berg  
Forskningsdirektør

Norsk institutt for vannforskning

Oslo

## Modellering av oljeutslipp i Sløvåg

Prosjektleder: Torulv Tjomsland  
Medarbeider: Magdalena Kempa  
Torgeir Bakke  
Lars Golmen  
Venkat Kolluru (ERM)

## **Forord**

Oppdraget er utført av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etter oppdrag fra Alexela Sløvåg AS. Lars Narverud har vært kontaktperson for oppdragsgiver.

Torulv Tjomsland og Magdalena Kempa har utført simuleringene i samråd med Venkat Kolluru, ERM i USA som har utviklet modellen som ble benyttet. Lars Golmen har bidratt med felldata og råd. Torgeir Bakke har vurdert marinbiologiske konsekvenser.

Oslo, 25.06.2013

*Torulv Tjomsland*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>8</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Mål	8
1.2 Beskrivelse av området	8
1.3 Modell	10
<b>2. Simulert strøm</b>	<b>11</b>
2.1 Data	11
2.2 Simulert strøm	13
<b>3. Simulert spredning av olje</b>	<b>17</b>
3.1 Vinter	18
3.2 Sommer	23
3.3 Diskusjon og konklusjoner	28
<b>4. Vedlegg Description of GEMSS</b>	<b>31</b>
GEMSS Background	31
Chemical and Oil Spill Model: GEMSS-COSIM	31
References	34

---

## Sammendrag

Målet var å beskrive spredningen av oljelekkasje fra skip ved havnen i Sløvåg.

Sløvåg ligger på nordøstsiden i ytre del av Fensfjorden sør for Sognefjorden. På motsatt side av fjorden ligger Mongstad.

Strøm og spredningen av olje ble modellert ved en matematisk modell, GEMSS. Vi benyttet stokastisk versjon av modellen GEMSS – COSIM. Ved stokastisk metode representerer resultatene varierende forhold i en gitt periode.

Et typisk strømmønster, i likhet med i fjorder flest, er at ferskvannstilførsler strømmer utover i overflaten, mens tidevannet avvekslende fører til inn- og utgående strømmer dypere ned med intervall på 6 timer. Overflatelaget blir i tillegg sterkt påvirket av vekslende vind. Det ble simulert strøm med forhold som i 2008. Om vinteren (januar-mars) var den mest typiske strømretningen mot nordvest. Om sommeren (juni-august) var den mest typiske strømretningen mot vest. De hyppigst forekommende strømmene var mellom 10 cm/s og 20 cm/s. Strømstyrken var størst om vinteren med 15 % over 50 cm/s mot 3 % om sommeren.

Vi antok at 70 m<sup>3</sup> olje, Varandey Blend Crude Oil, lekket ut under lasting/lossing av skip i løpet av ½ time ved Stonga havn ved Sløvåg.

Det ble laget scenarier hvor utslippet skjedde om vinteren, dvs. i perioden januar – mars. Det var en sannsynlighet på over 10 % for oljepåvirkning av fjorden 2-3 km i nordvestlig retning og over 5 % for spredning 4-5 km i retning nordvest og sør. Om sommeren (juni-august) ble spredningsmønsteret noe mer variert, hovedretningen var utover fjorden mot vest, samt mot sør.

Mesteparten av påvirket område kan nås i løpet av 5 timer. Omtrent hele området kan nås på under 10 timer.

I utslippssonen kunne oljelagets tykkelse bli over 1 mm. Etter transport i omkring 6 kilometer ble lagets maksimale tykkelse redusert til under 0,001 mm. Dette representerer modellert verste fall situasjonen på et hvert sted.

I snitt festet 61 % av utslippet seg til strendene om vinteren, om sommeren 56 %, noen få tiendedels prosent blandet seg ned i vannet og resten fordampnet.

Fiskedød kan inntreffe når oljenivået i vannet er høyere enn 1 mg/l. I følge simuleringene vil disse nivåene bare kunne forekomme nær selve utslippsstedet, men eksponeringstiden vil etter alt å dømme være for kort til at fiskedød er sannsynlig. Det er heller ikke rapportert fiskedød ved så små utlipp som det er snakk om.

Olje som driver i land kan gi skader, først og fremst på organismer i tidevannssonen. Den dominerende strandtypen i influensområdet er svaberg med til dels kraftig bølgepåvirkning. Denne typen strender har stor selvrensingsevne for et oljepåslag, selv om oljen vil kunne bli værende i fjellsprekker i lengre tid. All erfaring tilsier imidlertid at restitusjon etter skade fra små til moderate oljepåslag, slik det her er snakk om, på organismene i tidevannssonen vil skje i løpet av neste vekstsesong.

I influensområdet finnes det tre registrerte konsesjoner for fiskeoppdrett. Disse ligger i områder der det er mindre enn 10 % sannsynlighet for at oljen vil komme, men en risiko for påvirkning kan ikke helt utelukkes. Voksen fisk har evne til å detektere svært lave nivåer av oljehydrokarboner i vannet og villfisk vil sannsynligvis unngå oljen. Fisk i oppdrettsanlegg vil ikke kunne unngå olje i vannet.

Risikoen for dødelige effekter på oppdrettsfisk i sjøen er svært liten, men man kan tenke seg at olje i vannet kan skremme fisken så den skader seg, eller at den setter smak på fisken. Risikoen for slike effekter ansees likevel som liten i dette tilfellet. En eventuell smakspåvirkning vil også være kortvarig siden fisk har stor evne til å bryte med oljehydrokarboner.

## Summary

Title: Modelling of oil spill in Sløvåg

Year: 2013

Author: Torulv Tjomsland, Magdalena Kempa, Torgeir Bakke, Lars Golmen and Venkat Kolluru (ERM)

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-5776289-6

The objective was to describe the spreading of oil leaked from a ship in the harbor of Sløvåg. Sløvåg is located in the outer part of Fensfjorden.

The leak was supposed to be 70 m<sup>3</sup> of Varandey Blend Crude Oil. The spreading was simulated by the mathematical model GEMSS.

A typical current pattern is outgoing freshwater near the surface. This surface layer is also heavily influenced by wind. Below the surface the tide leads to in and out going currents with 6 hour interval.

During winter (January-March) the oil was spread 2-3 km toward the northeast with a probability of more than 10 %, and over 5 % for spreading 4-5 km toward northeast and south. During summer (June-August) the spreading became more varied. The main direction was toward the west, out of the fjord and southward.

Most of the area oil affected area could be reached within 5 hours and almost the whole area within 10 hours.

In the discharge area near the harbor, the thickness of the oil became more than 1 mm. The thickness was reduced to 0,001 mm about 6 km away.

Such an oil spill will probably lead to minor negative biological consequences on organisms in the tidal zone along the shores for a couple of years.



# 1. Innledning

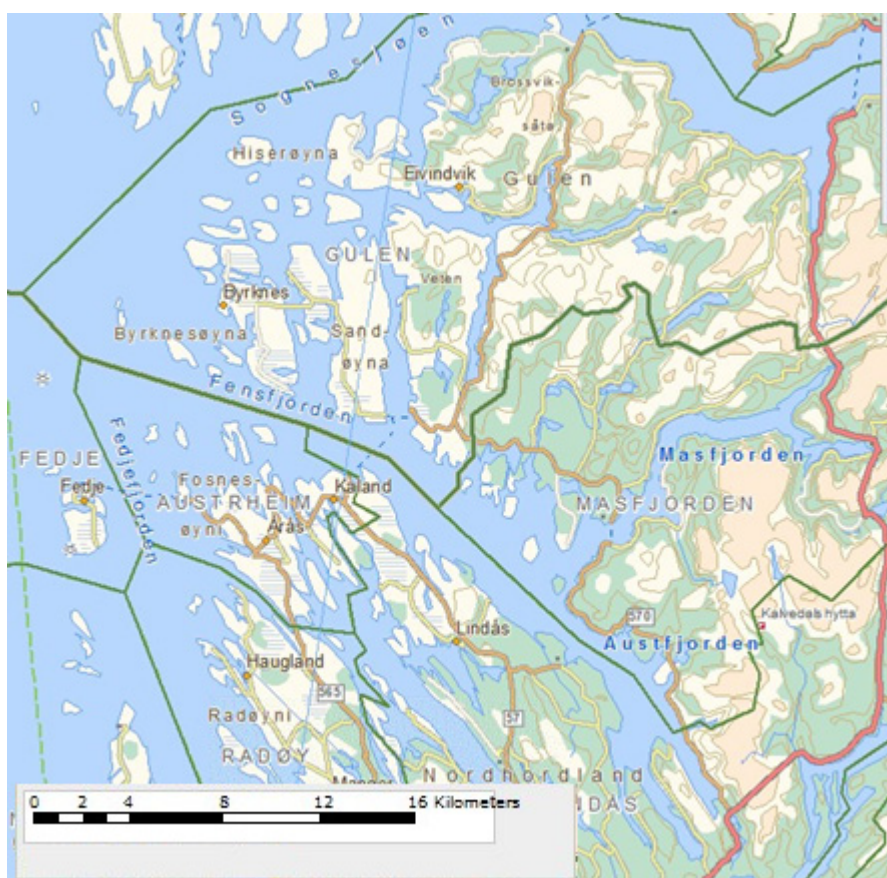
## 1.1 Mål

Målet var å beskrive spredningen av oljeutslipp fra skip ved havnen i Sløvåg.

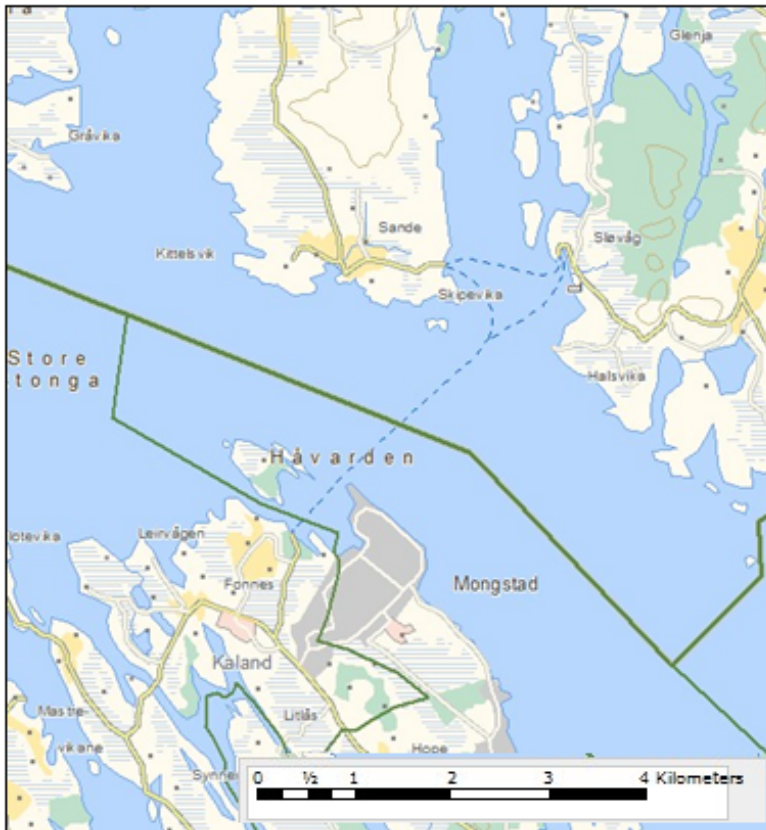
Spredningen av olje ble modellert ved en matematisk modell.

Sløvåg ligger i Fensfjorden sør for Sognefjorden. Sløvåg ligger på nordøstsiden i ytre del av fjorden. På motsatt side ligger Mongstad. Havnen ligger ved Stonga på Stonganeset nær Halsvika, **Figur 1 - Figur 3**.

## 1.2 Beskrivelse av området



**Figur 1.** Sløvåg ligger i Fensfjorden sør for Sognefjorden



**Figur 2.** Sløvåg ligger på nordøstsiden nær Halsvika i ytre del av fjorden. På motsatt side ligger Mongstad



**Figur 3.** Havnen ligger ved Stonga på Stonganeset.

### 1.3 Modell

Vi benyttet den 3-dimensjonale modellen GEMSS. Modellen beregner strøm, temperatur, konsentrasjon av stoffer med ulike egenskaper, bakterier, vannkvalitet, spredning av olje mm.

Modellen/modellpakken er utviklet av ERM's Surfacewater Modeling Group i Exton, Pennsylvania, USA. Modellen og eksempler på bruk av modellen kan studeres nærmere på hjemmesiden <http://www.erm-smg.com>. Modellen er blant de mest avanserte som finnes og benyttet i store deler av verden. Modellen er blant annet benyttet til å beregne spredningen av olje fra lekkasjen i Den Mexicanske gulf i 2010.

#### GEMSS - Hydrodynamikk og transport

Modellen simulerte strøm, temperatur, saltholdighet, vannutskiftning med mer i Ranfjorden. Fjorden ble delt inn i beregningsceller. Resultatene ble suksessivt beregnet fremover i tid med intervall på ca. ett minutt.

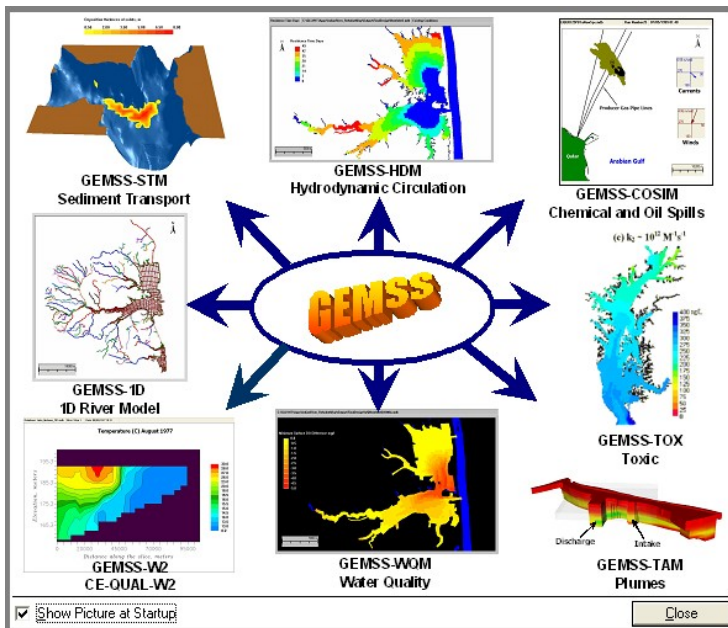
Som inputdata trengtes tidevann, temperatur og saltholdighet i ytre ende av fjorden, klimadata samt vannføringer og vanntemperatur i elvetilløpene. Videre var det behov for et detaljert dybdekart på digital form.

Resultatene ble benyttet som input til spesialmodulen COSIM som beskriver spredningen av olje.

#### GEMSS – COSIM Modul for spredning av olje

Resultatene som er presentert i denne rapporten gjelder stokastisk spredning av et oljeutslipp ved Kårstø olje terminal. Ved en stokastisk spredning blir oljen spredd i diverse retninger i samsvar med hvor sannsynlig vind og strøm er i de ulike retningene.

En nærmere beskrivelse av modellen er presentert i vedlegget.



**Figur 4.** GEMSS er en pakke med modeller for hydrodynamikk, sedimenttransport, vannkvalitet, spredning av olje mm. Modellen er utviklet av ERM, USA.

## 2. Simulert strøm

### 2.1 Data

Vi beregnet strøm, temperatur og saltholdighet for forhold som i 2008. De drivende kreftene er tidevann i ytre ende av fjorden, vind og vannføring i tilløpselvene. I tillegg er det behov for et digitalt dybdekart.

Vi benyttet dybdekart fra Statens kartverk med 10-meters koter.

Klimadata ble hentet fra Meteorologisk institutt sin stasjon fra Fedje i fjordmunningen til Fensfjorden. Aktuelle variable var: Lufttemperatur, duggpunkt temperatur, vindstyrke, vindretning, skydekning og lufttrykk. Dette ble observert 4 ganger i døgnet i perioden 2008.

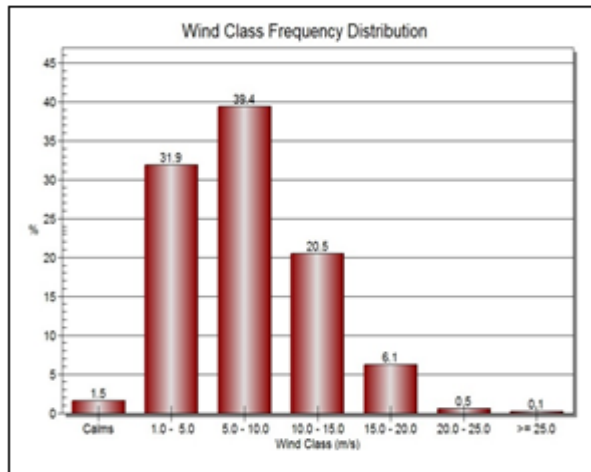
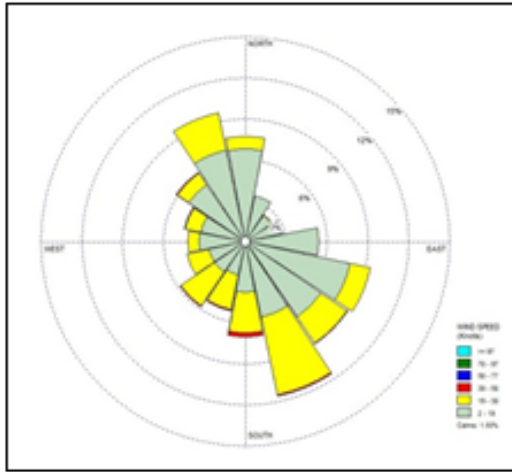
Daglige vannføringer fra de største elvene ble hentet fra databasen til NVE. Verdiene ble skalert til det øvrige nedbørfeltet. Vanntemperaturen i tilløpselvene ble beregnet av modellen som likevekts temperatur med klimaet til en hver tid.

Vannstanden hver time ble beregnet ved interpolering ut fra Kystverkets målinger på stasjonene Bergen og Måløy. I 2008 var forskjellen mellom høyeste og laveste vannstand 2,3 m. Vi benyttet temperatur og saltholdighetsprofiler fra Havforskningsinstituttets målestasjon, Sognesjøen ved utløpet av Sognefjorden. Det ble observert ca. to ganger per måned. Vi benyttet lineær interpolering mellom disse tidspunktene.

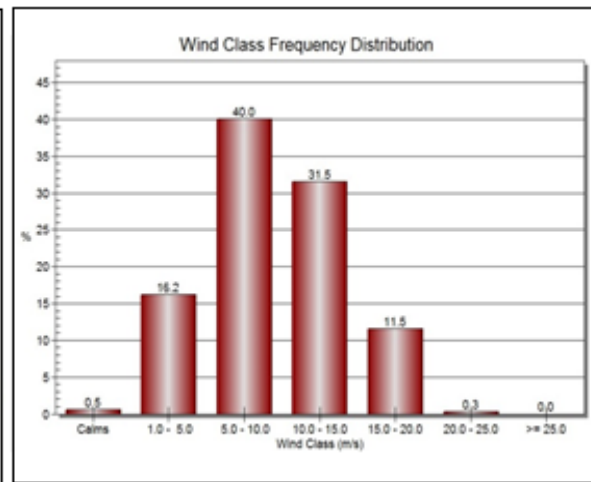
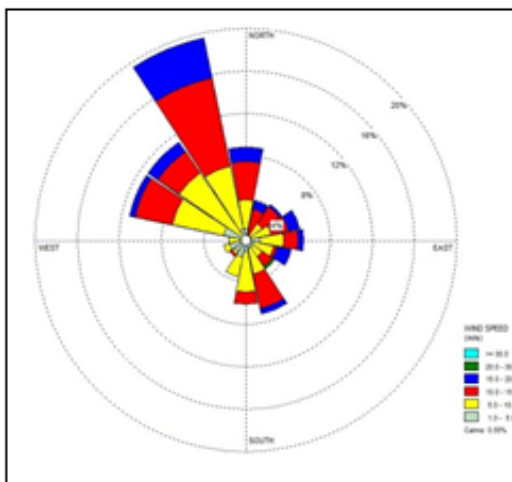
Oljen spres på overflaten og er særlig avhengig av strøm, vind og fordampning. Vi har følgelig simulert spredning av olje både vinter (januar – mars) og sommer (juni – august). Følgelig har vi lagt vekt på å spesifisere årstidsforskjeller med hensyn til strøm, vind og temperatur nær overflaten.

Temperaturen i overflaten var om vinteren 2-3 °C. Om sommeren steg den til nær 10 °C.

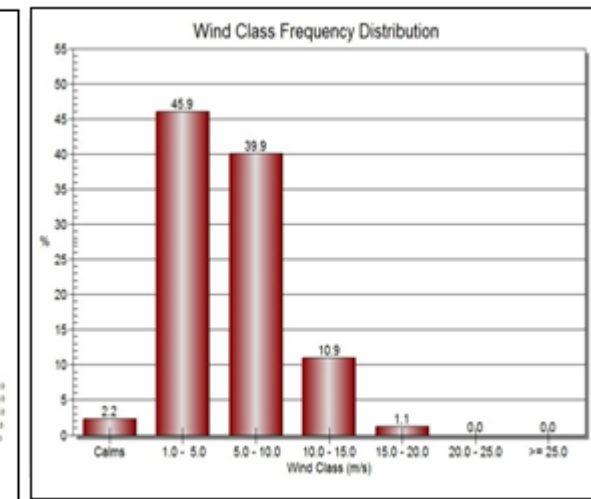
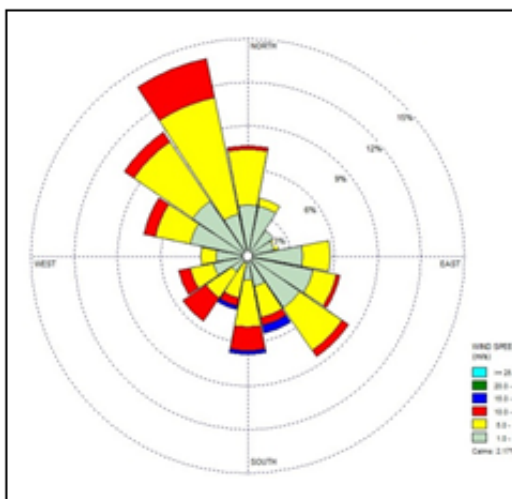
Vindmålinger ved Fedje 2008. Retning fra sentrum av rosen. Vinterstid (januar – mars) var hovedretningen mot nordvest. Dette gjaldt også om sommeren (juni – august) og i året som helhet, dog var det mer varierende retninger da. Vindstyrken var noe større om vinteren enn om sommeren, **Figur 5**.



Vind 2008



Vind vinter (januar-mars)



Vind sommer (juni-august)

**Figur 5.** Vindmålinger ved Fedje 2008. Retning fra sentrum av rosen. Vinterstid (januar – mars) var hovedretningen mot nordvest. Dette gjaldt også om sommeren (juni – august) og i året som helhet, dog var det mer varierende retninger da. Vindstyrken var noe større om vinteren



## 2.2 Simulert strøm

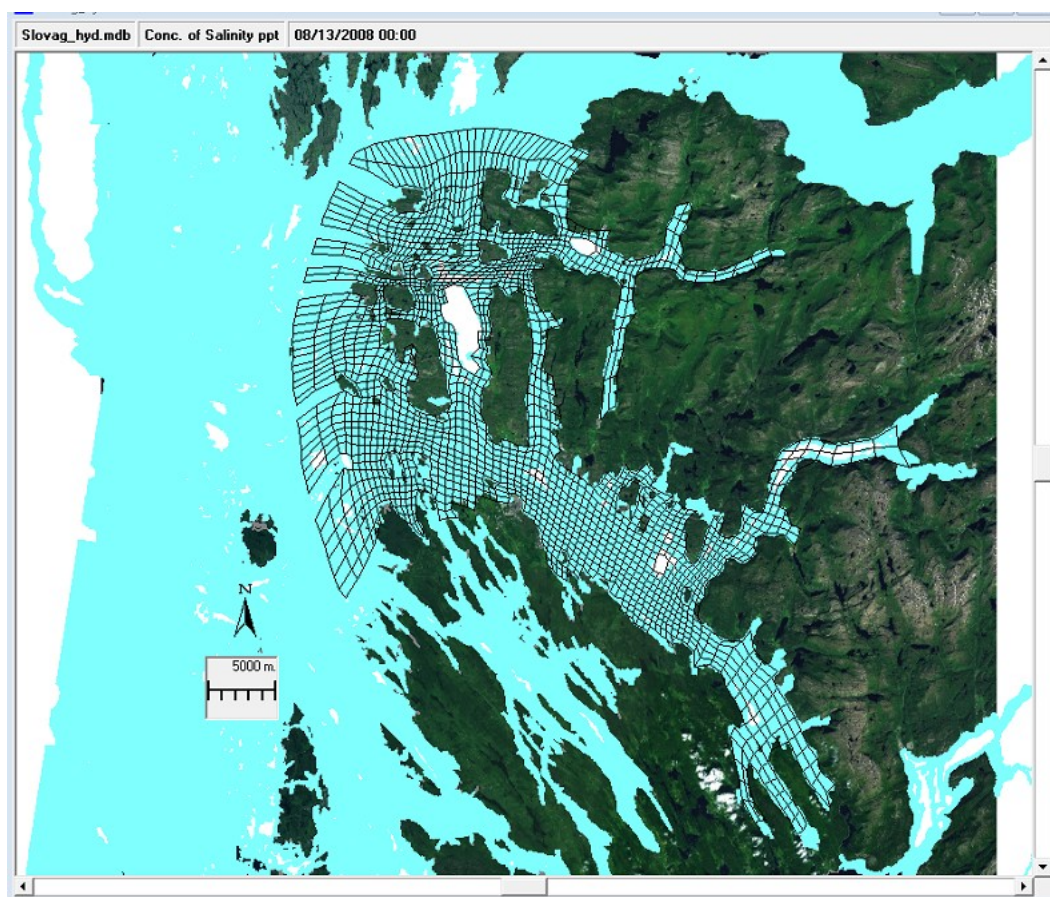
Strømmene ble beregnet for et grid som dekket Fensfjorden og fjorden nordenfor,

### Figur 6. I

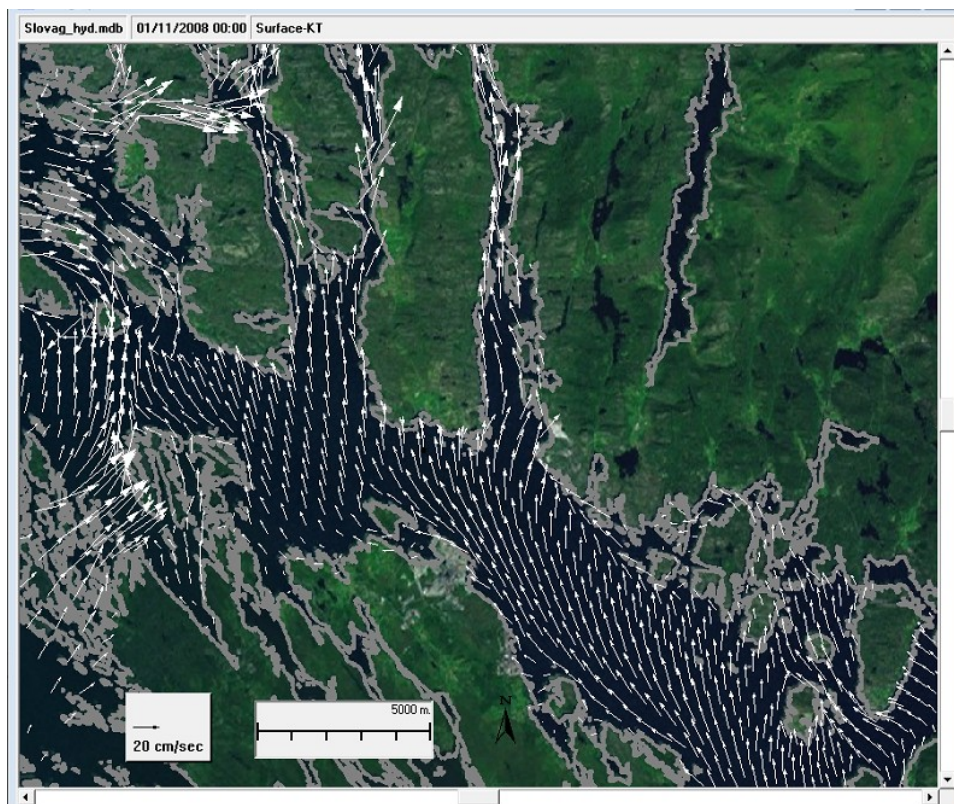
I horisontalplanet var gridet som vist på figuren. Rutenettet hadde variabel størrelse, nær utslippet var sidelengden ca. 400 m, i dybderetningen 2,5 m. Strøm, temperatur og saltholdighet ble beregnet framover i tid med intervall på ca. 1 minutt for 2008.

Om vinteren (januar-mars) var den mest typiske strømretningen i overflaten mot nordvest. Om sommeren (juni-august) var den mest typiske strømretningen mot vest. De hyppigst forekommende strømmene var mellom 10 cm/s og 20 cm/s. Strømstyrken var størst om vinteren med 15 % over 50 cm/s mot 3 % om sommeren, **Figur 7 - Figur 10**.

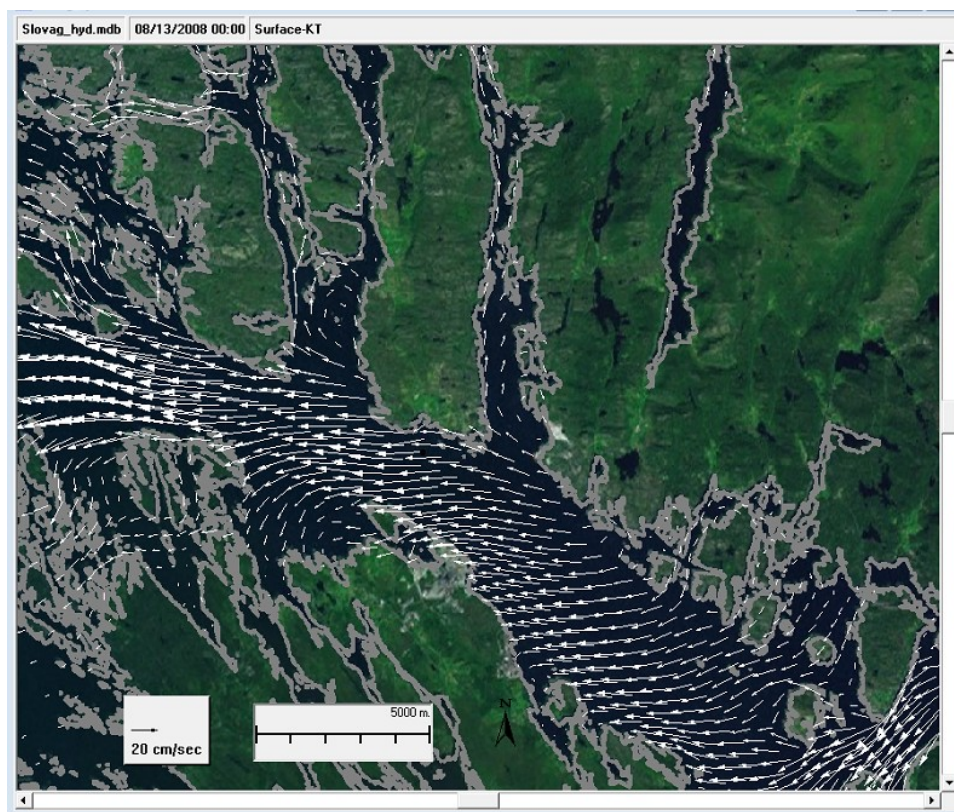
Et typisk strømmønster i likhet med fjorder flest er at ellevannet strømmer utover i overflaten, mens tidevannet avvekslende fører til inn- og utgående strømmer dypere ned. **Figur 10** viser et eksempel på et saltholdighetsprofil hvor det er et markert ferskvannspåvirket overflatelag. Dette overflatelaget blir også sterkt påvirket av vekslende vindretninger. Saltholdighetsprofilen var i bra samsvar med observasjoner i juni 2013.



**Figur 6. I** horisontalplanet var gridet som vist på figuren. Nær Sløvåg har rutene en sidelengde på omkring 400 m. I dybderetningen 2,5 m.

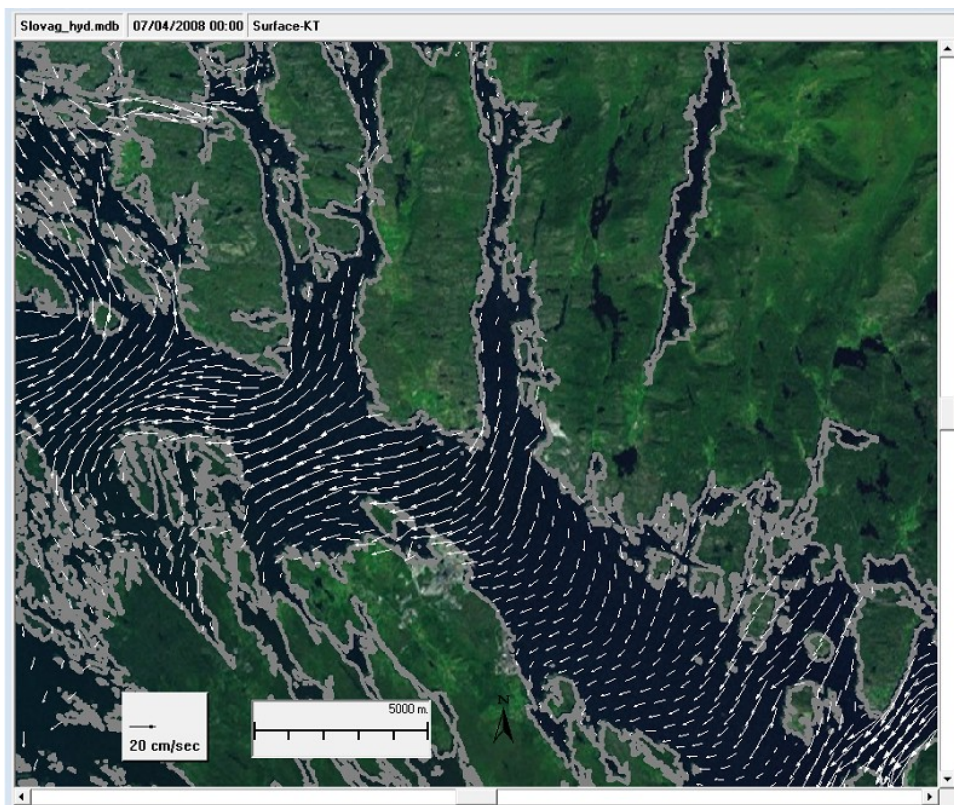
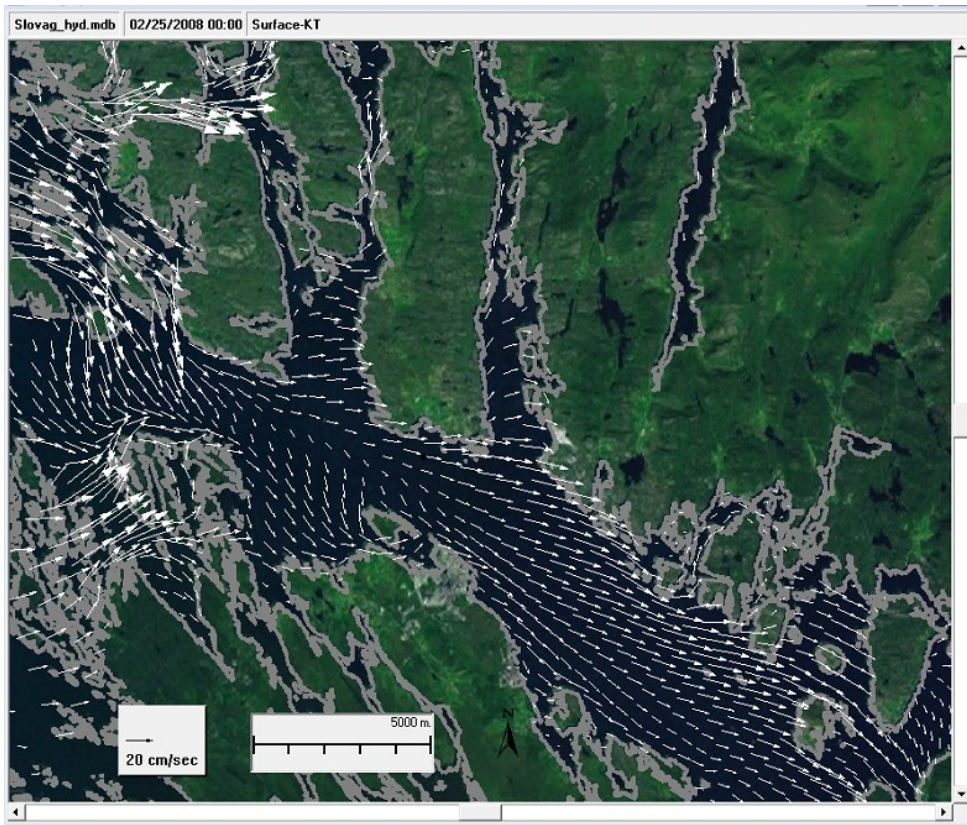


**Figur 7.** Om vinteren var den mest typiske strømretningen mot nordvest.



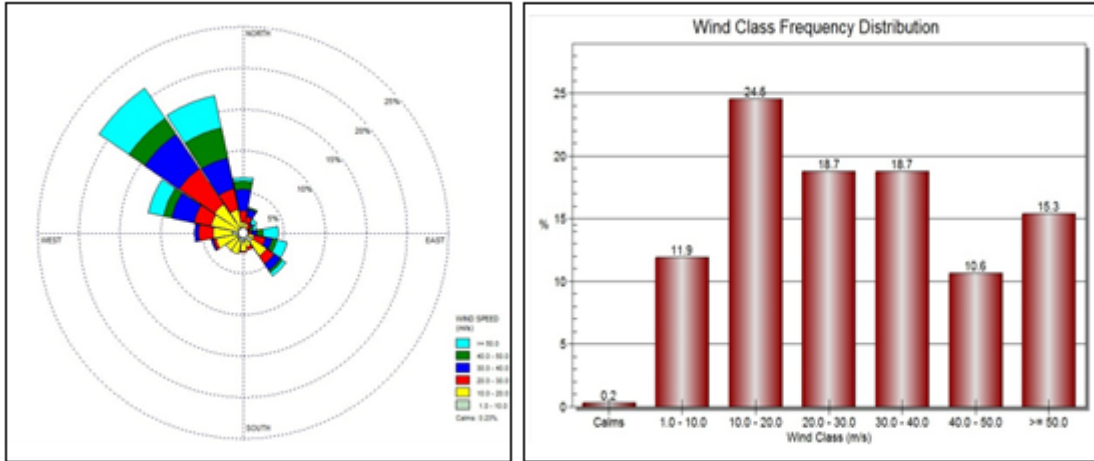
**Figur 8.** Om sommeren var den mest typiske strømretningen mot vest.



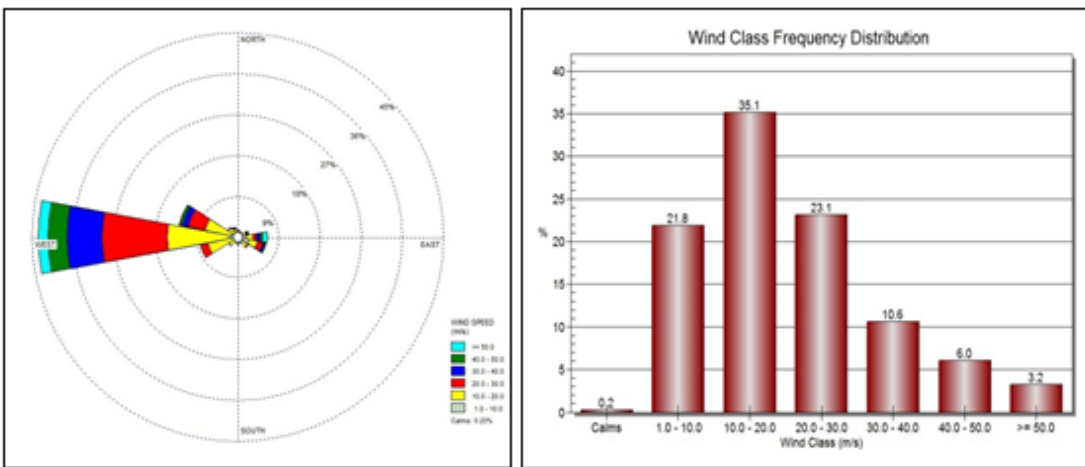


Figur 9. Strøm i andre retninger var også vanlig..

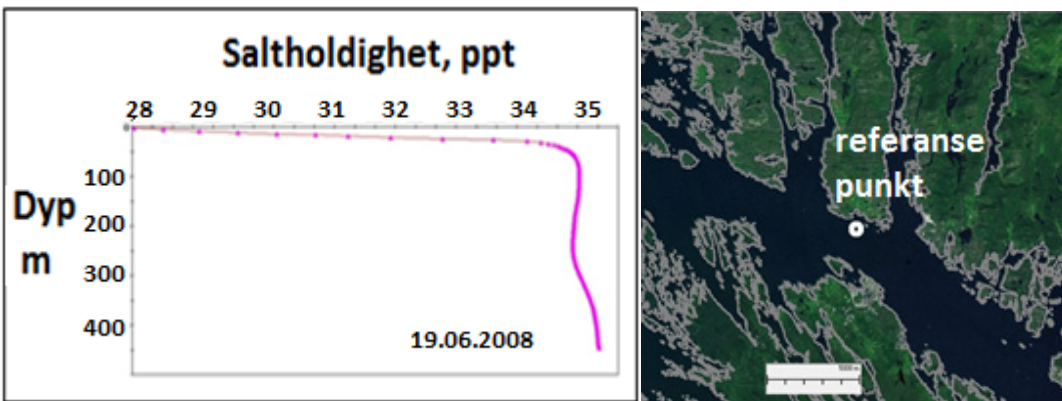




Vinter. Simulert Strøm i overflaten.



Sommer. Simulert strøm i overflaten.



**Figur 10.** Om vinteren (januar-mars) var den mest typiske strømretningen mot nordvest. Om sommeren (juni-august) var den mest typiske strømretningen mot vest. De hyppigst forekommende strømmene var mellom 10 cm/s og 20 cm/s. Strømstyrken var størst om vinteren med 15 % over 50 cm/s mot 3 % om sommeren. Overflatevannet har lavere saltholdighet som følge av ferskvannstilførselene.

### 3. Simulert spredning av olje

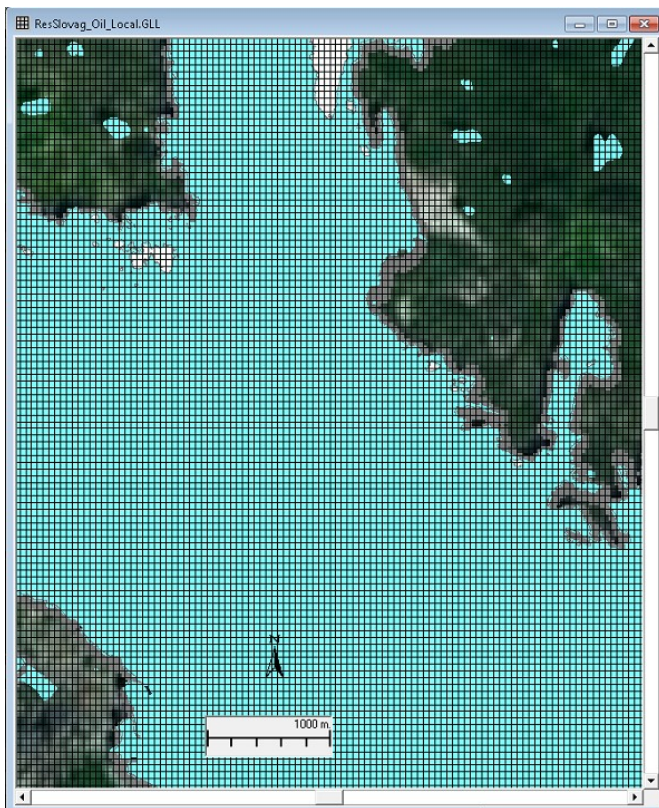
Vi antok at 70 m<sup>3</sup> olje, Varandey Blend Crude Oil, lekket ut under lasting/lossing av skip i løpet av ½ time ved Stonga havn ved Sløvåg.

Det ble laget ett scenarium som representerer forhold om vinteren (januar – mars) og ett scenarium for sommerforhold (juni – august).

Vi benyttet stokastisk versjon av modellen GEMSS – COSIM. Ved stokastisk metode representerer resultatene varierende forhold i en gitt periode. I dette tilfellet har vi altså valgt en vinterperiode og en sommerperiode. Modellen velger en tilfeldig dato, oljen til slippes ut og spredningen beregnes i tilstrekkelig lang tid, 2 døgn, med tidskritt på noen minutter. Dette ble gjentatt 50 ganger. Hver av simuleringene bidrar til det endelige resultatet med 1/50 eller 2 %. For hver av de 50 simuleringene blir det sluppet ut en mengde oljepartikler som i modellen blir transportert inntil de treffer land, passerer beregningsområdets grense, fordamper mm.

I denne rapporten har vi presentert hvordan oljen ble spredt i overflaten. I tillegg til å følge vannets bevegelser i strømretning, blir oljen på overflaten direkte påvirket av vind og til dels også av bølger.

Det ble laget nye grid for beregning av oljedrift. Disse var mer detaljert enn for de hydrodynamiske beregningene. Et grid dekket omtrent det samme området som det hydrodynamiske, sidelengden var 200 m. Det mest detaljerte gridet dekket kun det området som viste seg å være mest interessant mht. spredning av det aktuelle oljeutslippet, sidelengden var 45 meter.



**Figur 11.** Spredningen av olje ble utført i beregningsceller med sidelengde på 45 meter.

### 3.1 Vinter

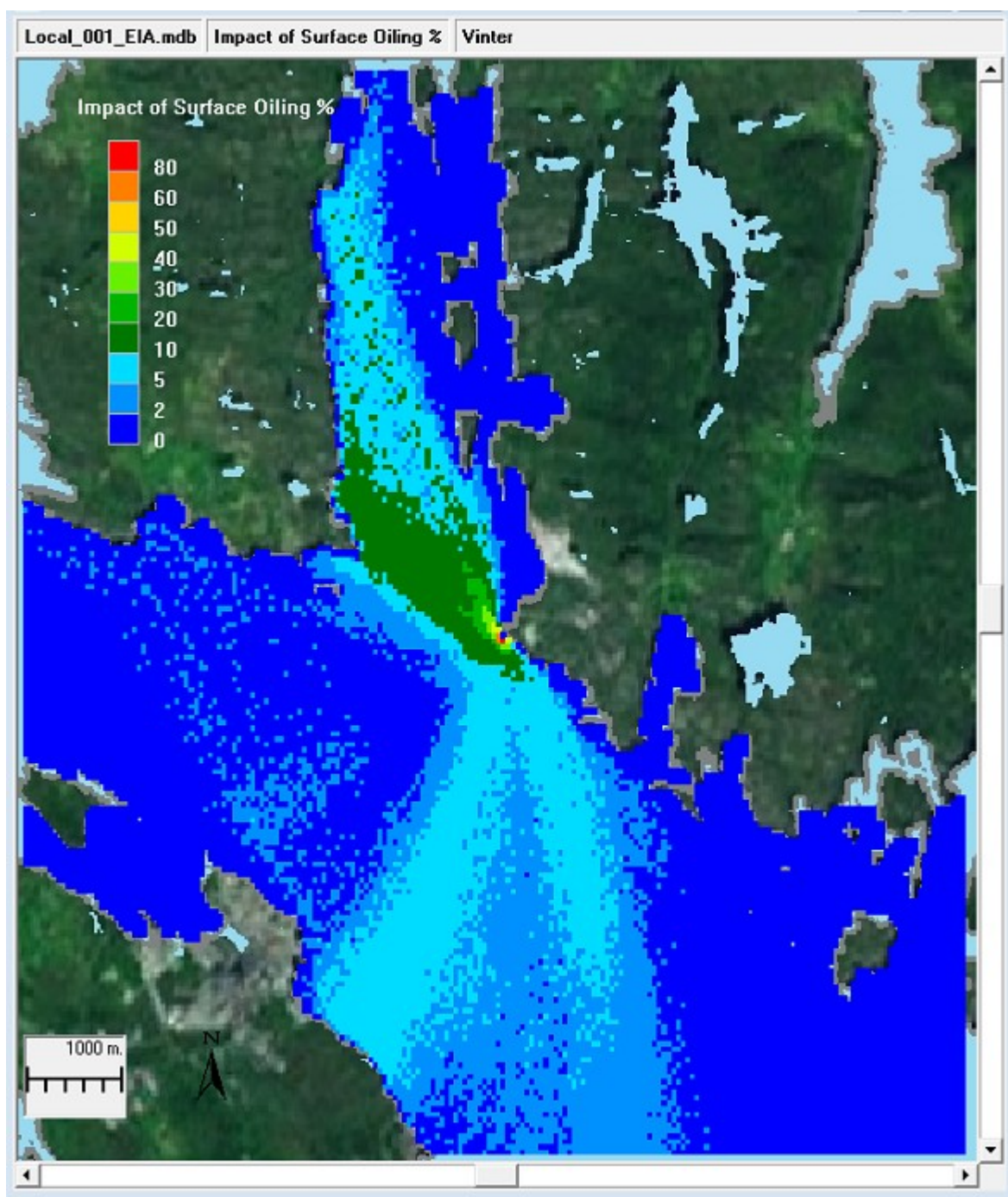
Det ble laget scenarier hvor utslippet skjedde om vinteren, dvs. i perioden januar – mars.

Det er en sannsynlighet på over 10 % for oljepåvirkning av fjorden 2-3 km i nordvestlig retning og over 5 % for spredning 4-5 km i retning nordvest og sør, **Figur 12**. 10 % sannsynlighet betyr at beregningscellen ble påvirket i 5 (10 %) av de til sammen 50 enkelsimuleringene innen vinterperioden.

Mesteparten av oljepåvirket område kan nås i løpet av 5 timer. Omtrent hele området kan nås på under 10 timer, **Figur 13**.

I utslippssonen kunne oljelagets tykkelse bli over 1 mm, **Figur 14** og **Figur 15**. Etter transport i omkring 6 kilometer mot nord og sør ble lagets maksimale tykkelse redusert til under 0,001 mm. Kartene representerer modellert verste fall situasjonen på et hvert sted.

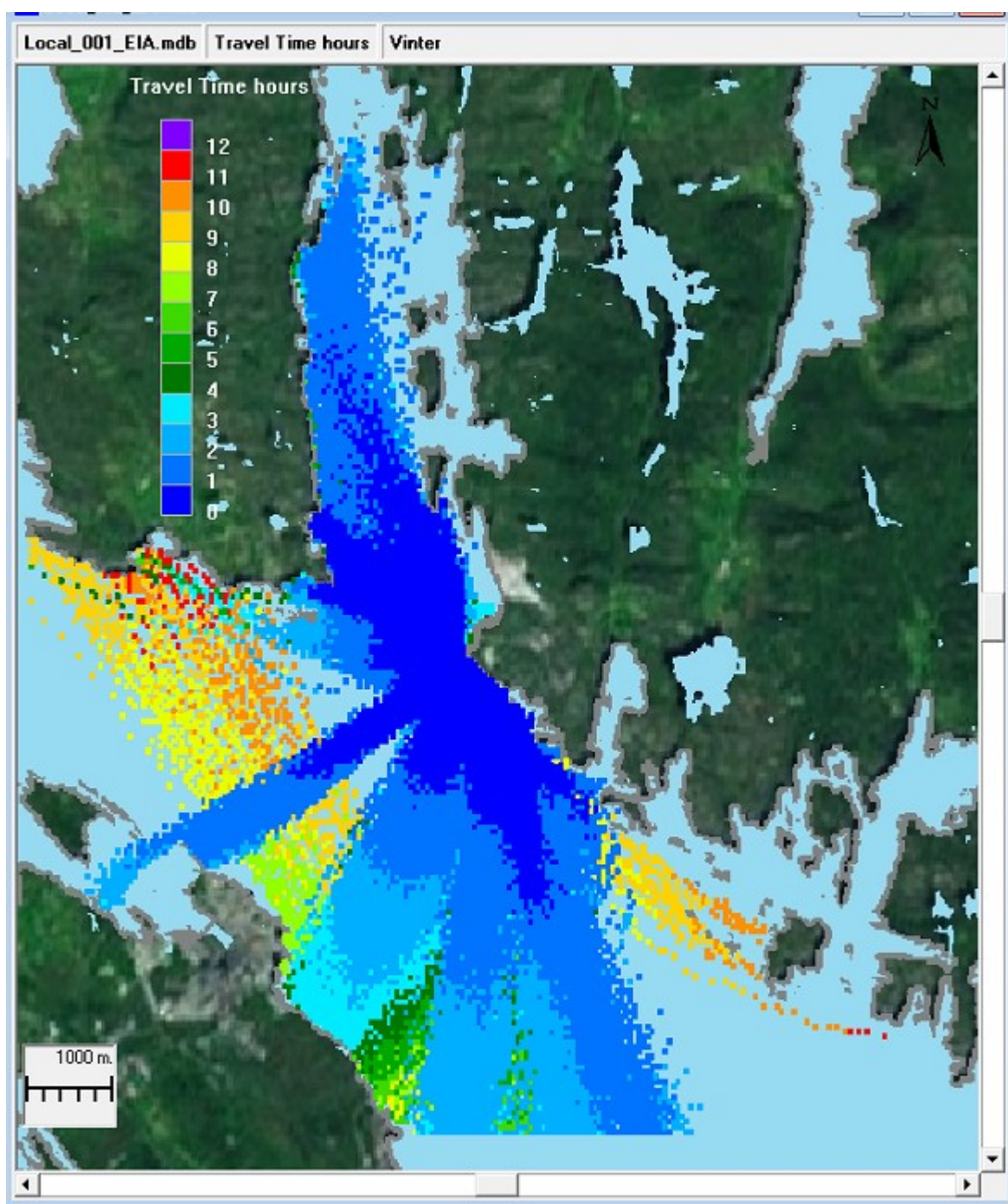
I snitt nådde 61 % av utslippet land og ble værende der, under 1 % ble blandet ned i vannmassene og resten 38 % fordampet.



Vinter (januar-mars) – 50 simuleringer

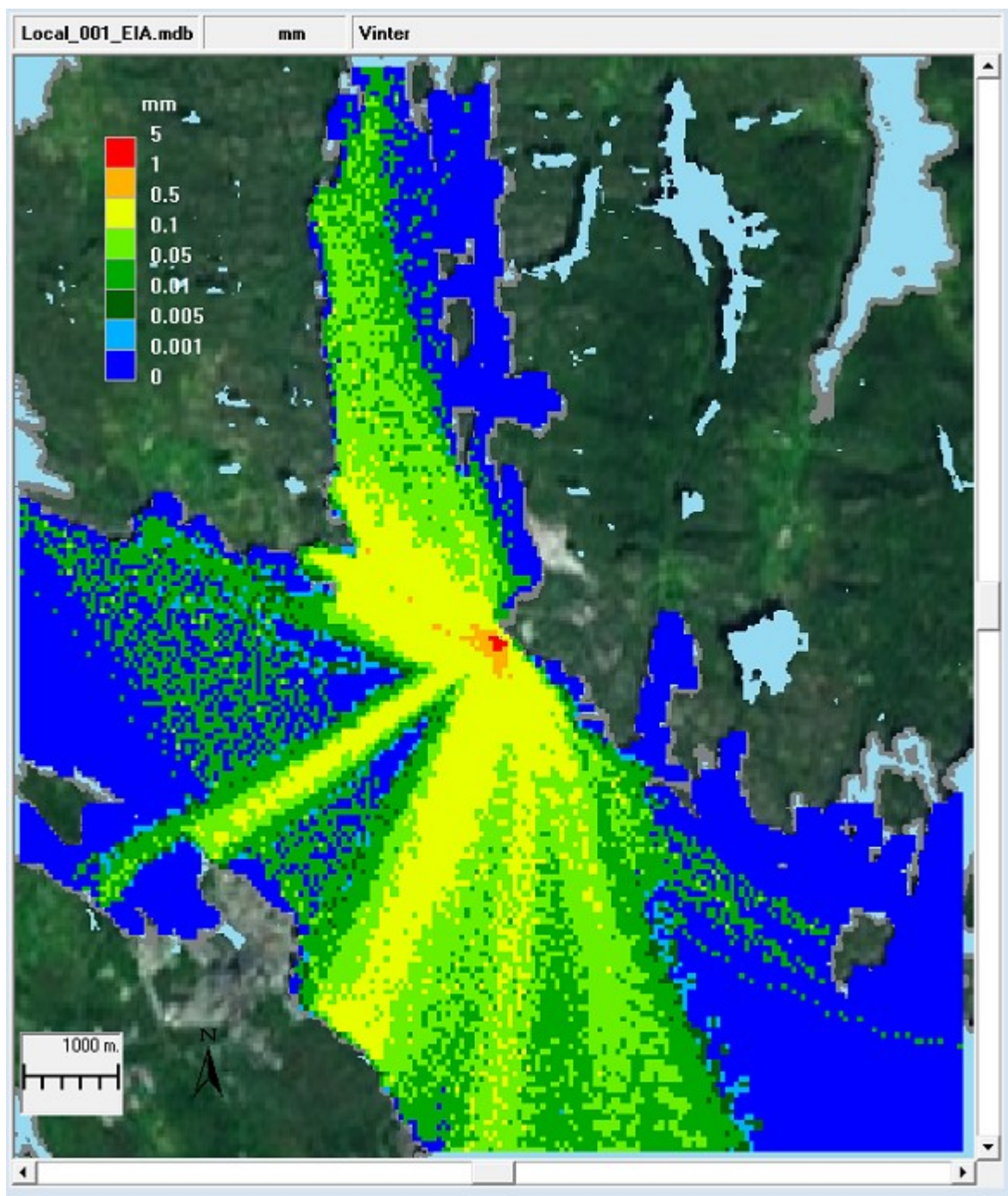
**Figur 12.** Sannsynlighet for påvirkning av olje. Det er en sannsynlighet på over 10 % for oljepåvirkning av fjorden 2-3 km i nordvestlig retning og over 5 % for spredning 4-5 km i retning nordvest og sør.





Vinter (januar-mars) – 50 simuleringer

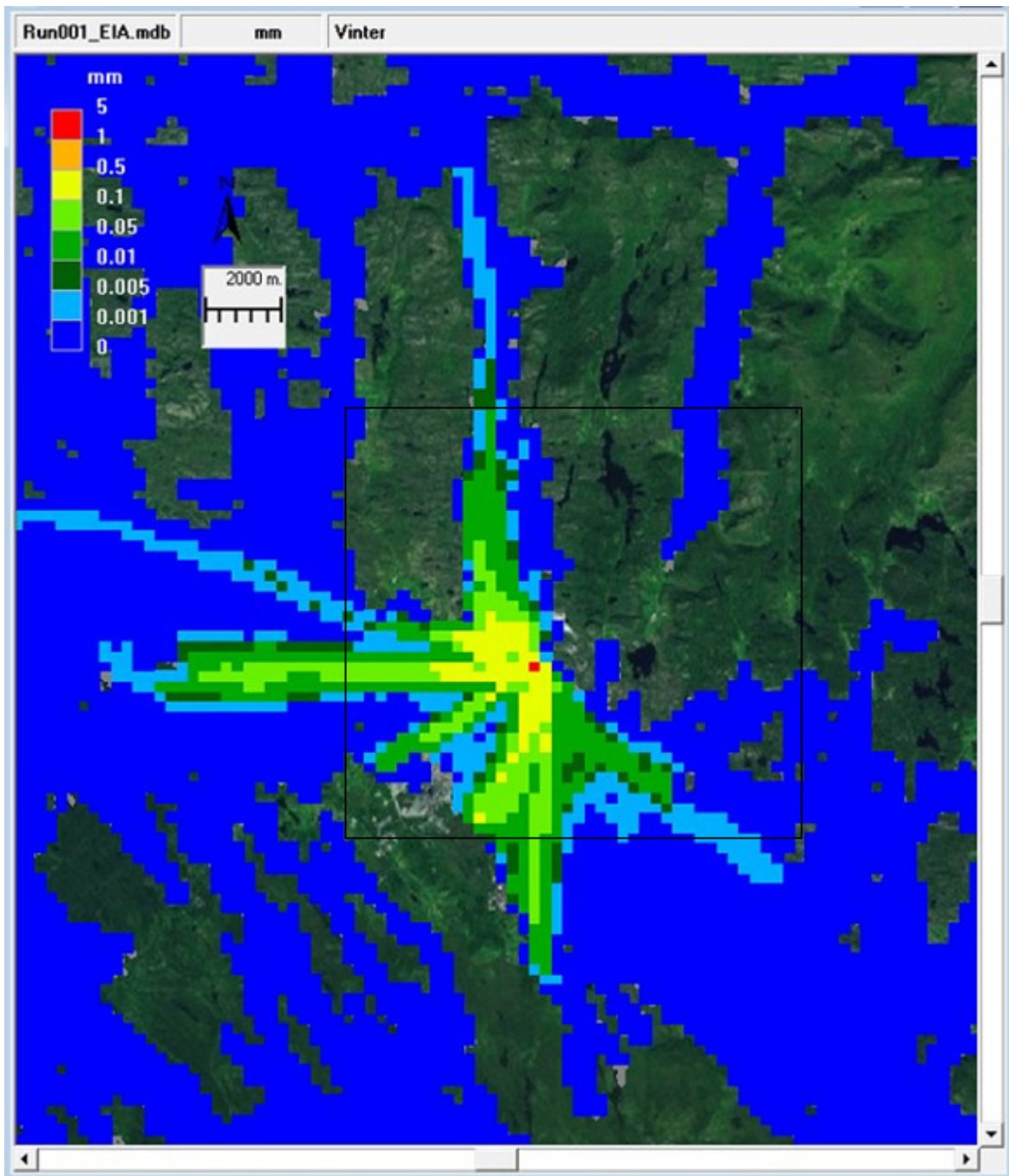
**Figur 13.** Mesteparten av området kan nås i løpet av 5 timer. Omtrent hele området kan nås på under 10 timer.



Vinter (januar-mars) – 50 simuleringer

**Figur 14.** Maksimum tykkelse på oljen. I utslippssonen kunne oljelagets tykkelse bli over 1 mm. I beregningsområdets ytterkant i nord og sør ble lagets maksimale tykkelse redusert til under 0,001 mm. Kartet representerer modellert verste fall situasjonen på et hvert sted.





Vinter (januar-mars). 50 simuleringer. Stort beregningsområde

**Figur 15** Maksimum tykkelse på oljen. Oljelaget kunne oppnå en tykkelse på mellom 0,01 og 0,001 mm også ca. 4 kilometer utover det detaljerte gridets render, dvs. totalt ca. 6 km fra utslippet.

### 3.2 Sommer

Det ble laget scenarier hvor utslippet skjedde om sommeren, dvs. i perioden juni – august.

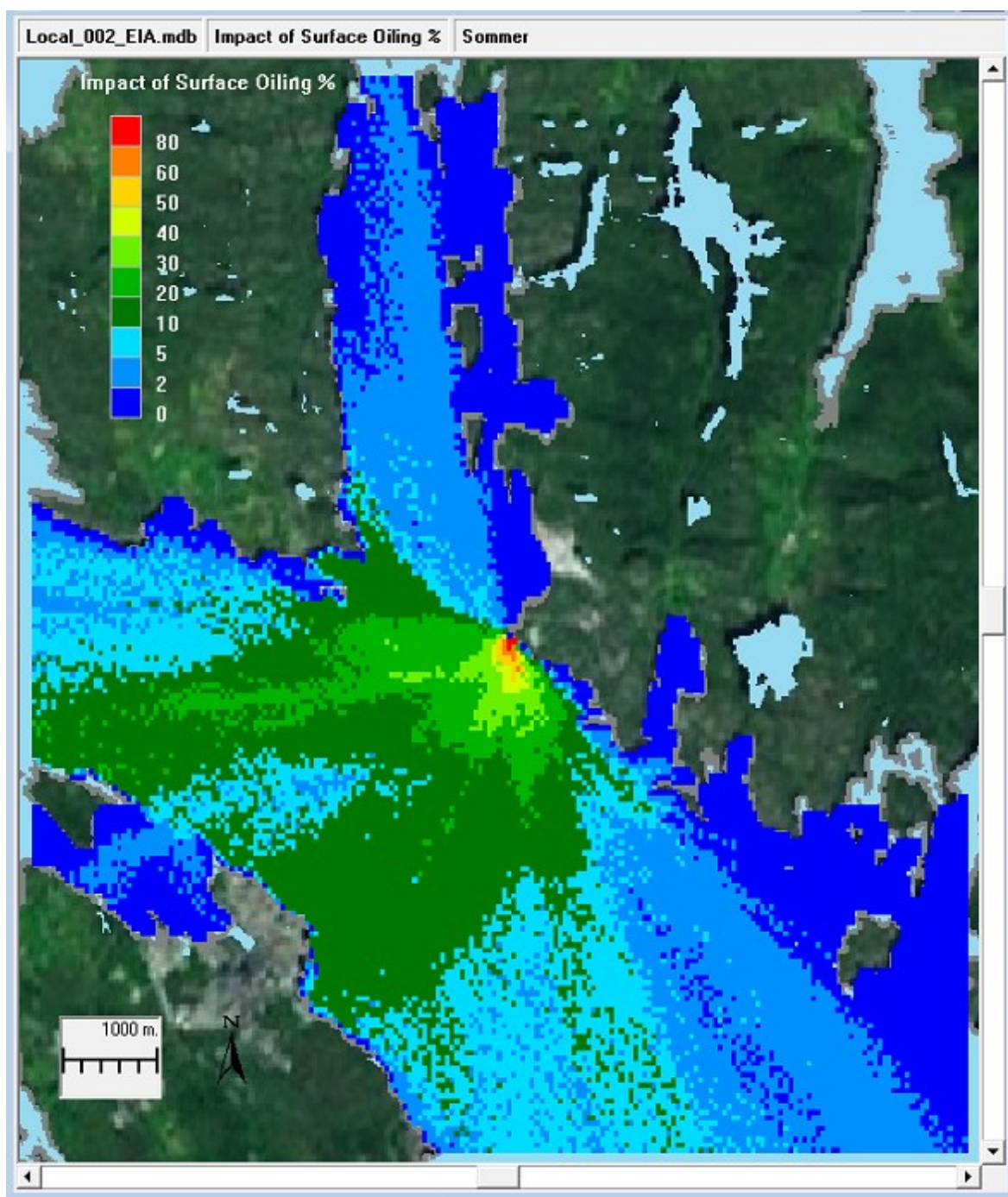
Sannsynlighet for påvirkning av olje. Det er over 10 % sannsynlighet for at fjorden vest og sørvest for Sløvåg vil bli påvirket og over 5 % for påvirkning av fjorden mot sør og vest til beregningsområdets avgrensning, **Figur 16**.

Mesteparten av området kan nås i løpet av 5 timer. Omtrent hele området kan nås på under 10 timer, **Figur 17**.

Maksimum tykkelse på oljen. Oljelagets tykkelse avtok fra over 1 mm i utslippssonen til 0,001 mm nær beregningsområdets grenser ca. 5 km unna, **Figur 18**. Oljelaget kunne oppnå en tykkelse på mellom 0,01 og 0,001 mm også ca. 4 km utover det detaljerte gridets render, **Figur 19**. Kartene representerer modellert verste fall situasjonen på et hvert sted.

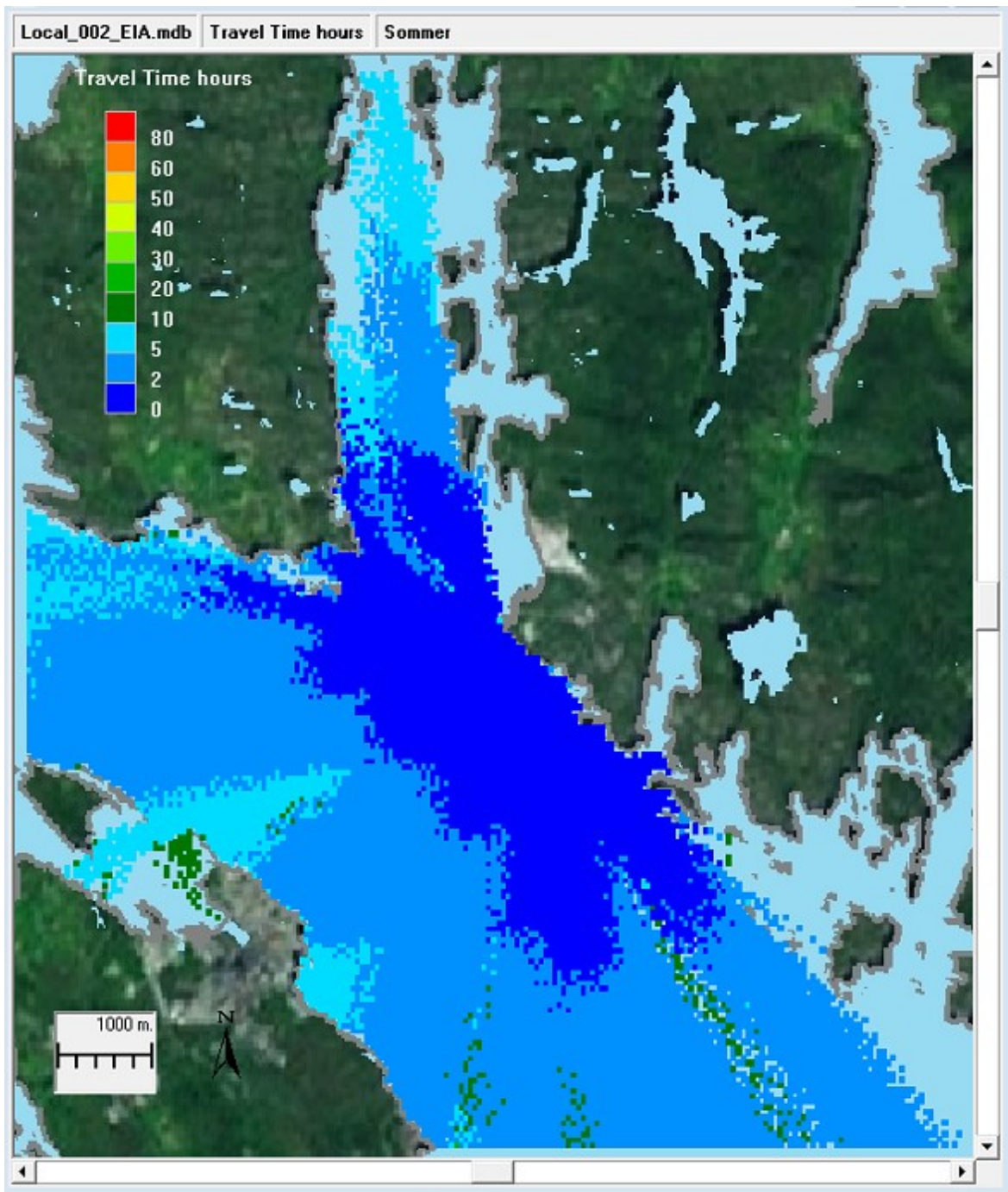
I snitt nådde 56 % av utslippet land og ble værende der, under 1 % ble blandet ned i vannmassene og 43 % fordampet.





Sommer (juni-august) – 50 simuleringer

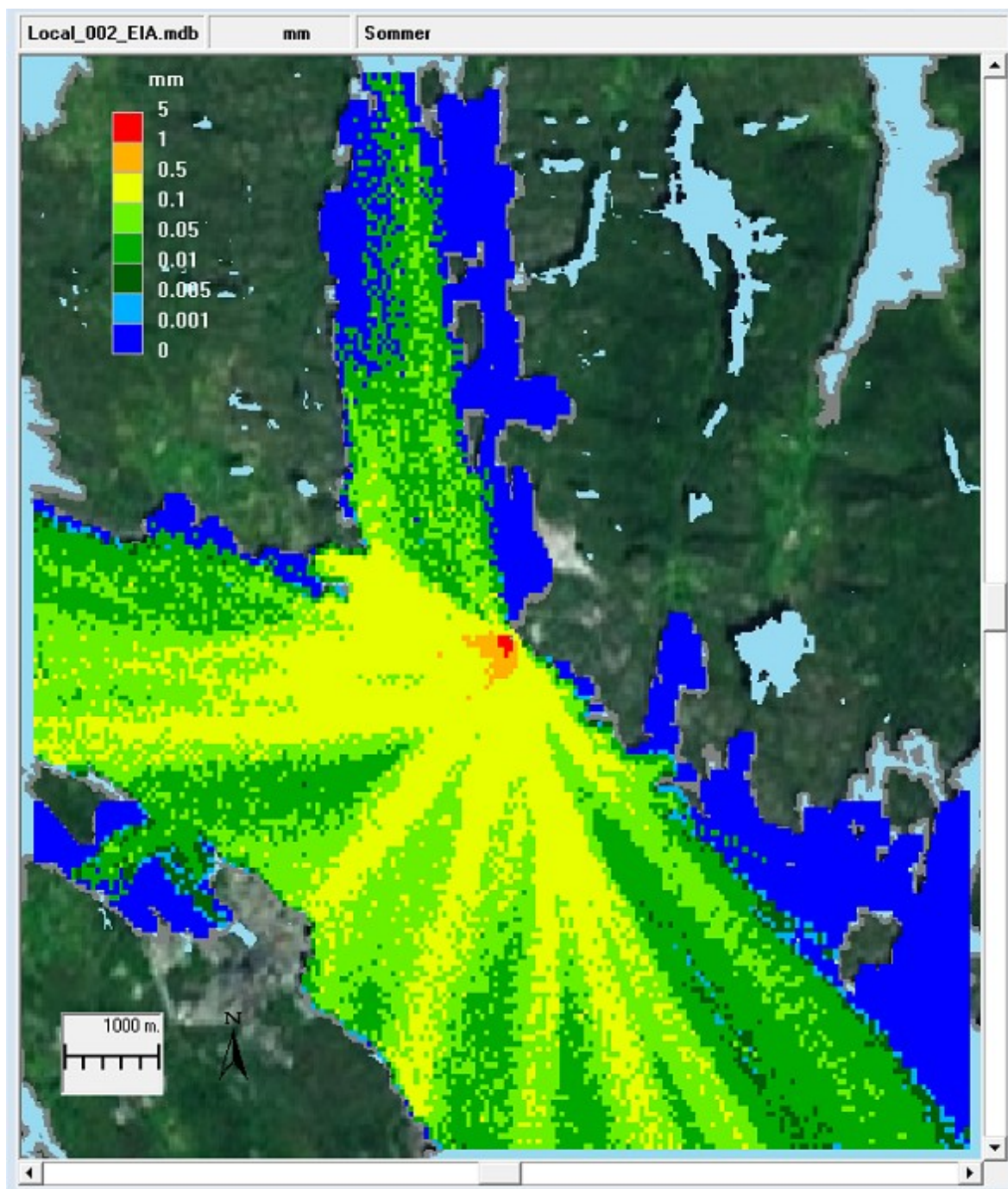
**Figur 16.** Sannsynlighet for påvirkning av olje. Det er over 10 % sannsynlighet for at fjorden vest og sørvest for Sløvåg vil bli påvirket og over 5 % for påvirkning av fjorden mot sør og vest til beregningsområdets avgrensning.



Sommer (juni-august) – 50 simuleringer

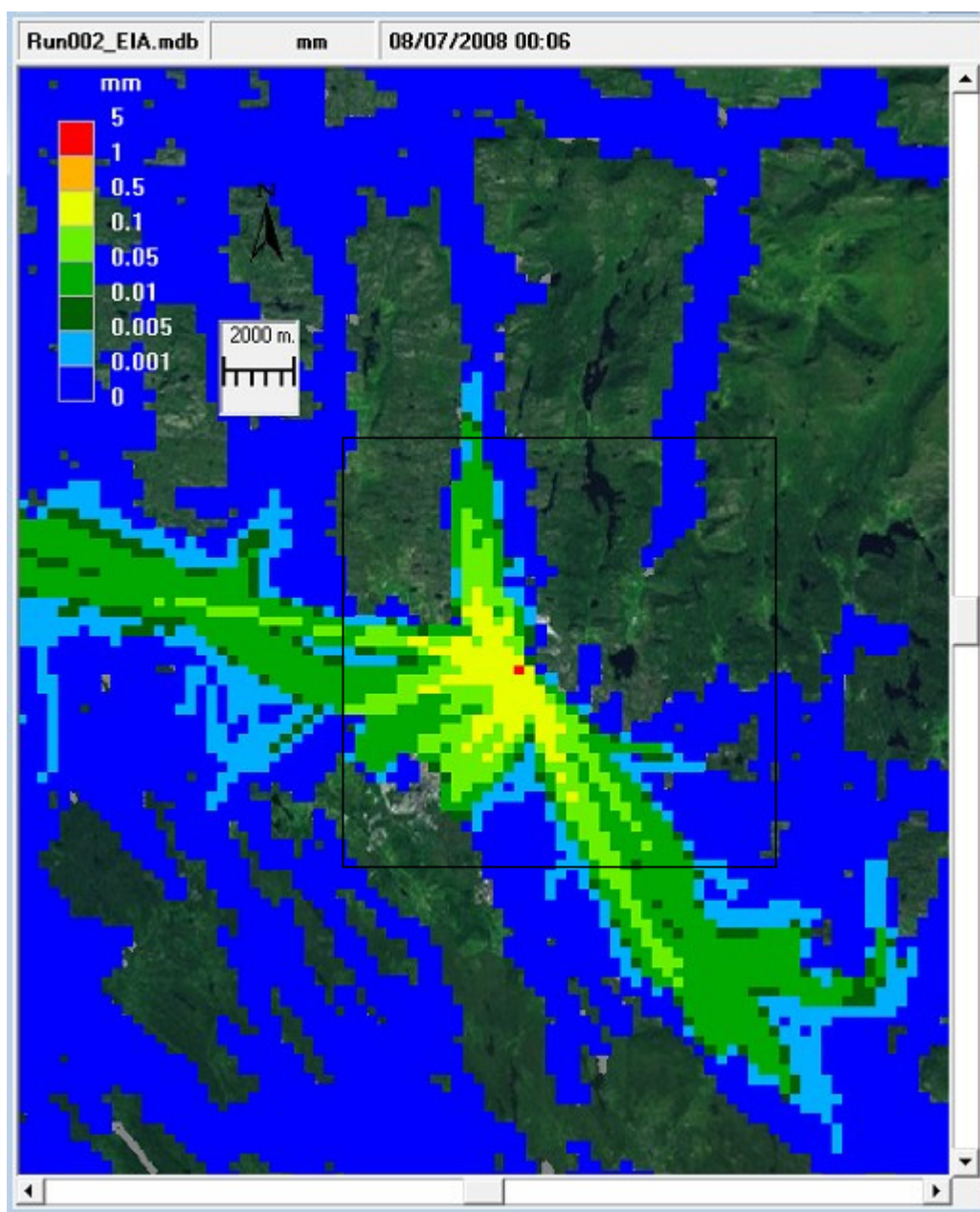
**Figur 17.** Mesteparten av området kan nås i løpet av 5 timer. Omtrent hele området kan nås på under 10 timer.





Sommer (juni-august) – 50 simuleringer

**Figur 18.** Maksimum tykkelse på oljen. Oljelagets tykkelse avtok fra over 1 mm i utslippssonen til 0,001 mm nær beregningsområdets grenser ca. 5 km unna. Kartet representerer modellert verste fall situasjonen på et hvert sted.



Sommer (juni-august). 50 simuleringer. Stort beregningsområde.

**Figur 19.** Maksimum tykkelse på oljen. Oljelaget kunne oppnå en tykkelse på mellom 0,01 og 0,001 mm også ca. 4 kilometere utover det detaljerte gridets render, dvs. totalt ca. 6 km fra utslippet.

### 3.3 Diskusjon og konklusjoner

Vi antok at 70 m<sup>3</sup> olje, Varandey Blend Crude Oil, lekket ut under lasting/lossing av skip i løpet av ½ time ved Stonga havn ved Sløvåg.

Hvert av kartene er sammensatt av 50 simulerte utslipp under ulike forhold. De enkelte spredningsforløpene kan i blant ses som striper ut fra tilførselspunktet. Ved tolking av resultatene må vi forvente at tilsvarende verdier også kan forekomme mellom disse stripene om det skulle skje et fremtidig uhell. Tilsvarende ser det ut til at oljen strømmer forbi en del bukter. Dette kan være reelt, særlig ved stabil vindretning. Vi har som nevnt benyttet vindobservasjoner med 6 timers intervall slik at de simulerte strømmene kan endres langsommere en reelt er. Dette, samt lokale topografi, kan føre til at små upåvirkede lommer på kartet i verste fall kan bli påvirket.

Det er større sannsynlighet for spredning mot nordvest om vinteren enn om sommeren. Om sommeren spres det mer i mange ulike retninger, særlig mot vest og sør. I utslippssonen kunne oljelagets tykkelse bli over 1 mm. I verste fall ble oljen transportert 6 km i hovedretningene før tykkelsen ble redusert til under 0,001 mm.

Fordampningen var noe større om sommeren (43 %) enn om vinteren (38 %) slik at mengde olje som til slutt festet seg til strendene ble noe større om vinteren. I snitt festet 61 % av utslippet seg til strendene om vinteren, om sommeren 56 %, noen få tiendedels prosent blandet seg ned i vannet og resten fordampet.

Mesteparten av påvirket område kan nås i løpet av 5 timer. Omtrent hele området kan nås på under 10 timer.

Det er her gitt en beskrivelse av det området som kan bli påvirket av olje. Vi skal i fortsettelsen gi en kort vurdering av mulig påvirkning på akvatisk liv sammen med en generell beskrivelse av oljedrift i hav.

Erfaringsmateriale fra spredning av oljeutslipp er fortrinnsvis knyttet til utslipp av råolje på åpent hav. Hvordan de ulike prosessene som fordampning, overflatespredning, nedblanding og biologisk nedbryting skjer er avhengig av både oljesammensetning, utslippsforhold og værforhold. Særlig er det mangelfull informasjon om påvirkning av raffinerte olje-produkter. Den følgende svært generelle og forenklete fremstillingen er hentet bl.a. fra Børresen 1993, Green and Trett 1989 og Mackay 1985.

Olje som slippes ut i vann forandrer sine kjemiske og fysiske egenskaper i løpet av noen timer. Ved utslipp til rolig vann sprer oljen seg på vannoverflaten til en tykkelse på under omkring 0,1 mm. En del av dette sprer seg som et svært tynt lag "blåskimmer" med en tykkelse på under 0,001 mm. Ved transport vil en del av overflateoljen havne på strendene. I den første fasen er normalt også fordampningen av lette komponenter stor samtidig med at restolje på overflaten i større eller mindre grad danner emulsjoner med vannet. Emulsjonsdannelsen er størst ved kraftig vind og bølger. Emulsjoner med lite vann kan danne flak/klumper på overflaten som er motstandsdyktige mot videre endring. Jo mer vann som blir blandet inn ved emulsjon jo lettere vil oljen bli transportert nedover i vannmassene. Mikrobiell nedbrytning vil skje i større eller mindre grad i alle fasene. Alle prosessene er ulik for de ulike oljekomponentene slik at både mengde og sammensetning av oljen vil endre seg over tid. En forenklet fordeling av olje etter 10 dager i kaldere farvann er: ca. 25 % fordampet, ca. 30 % fortsatt på overflaten eller strandet, ca. 40 % dispergert i vannmassene, resten oppløst i vannet, biodegradert eller sunket ut til bunnen. Her er det selvfølgelig store variasjoner fra utslipp til utslipp.

Forsøk i laboratorier, modelløkosystemer og i felt har generert betydelig kunnskap om hvilke nivåer av olje som gir effekter. Typiske grenseverdier for skade på planteplankton, dyreplankton og bunnlevende organismer er fra 0,1 mg/l, men dette er ved mye lengre tids eksponering (uker – måneder) enn det som er realistisk her. Fiskedød kan inntreffe når oljenivået i vannet er høyere enn 1 mg/l. I følge simuleringene vil disse nivåene bare kunne forekomme nær selve utslippsstedet, men

eksponeringstiden vil etter alt å dømme være for kort til at fiskedød er sannsynlig. Det er heller ikke rapportert fiskedød ved så små utslipp som det er snakk om.

Olje som driver i land kan gi skader, først og fremst på organismer i tidevannssonen. Den dominerende strandtypen i influensområdet er svaberg med til dels kraftig bølgepåvirkning. Denne typen strender har stor selvrensingsevne for et oljepåslag, selv om oljen vil kunne bli værende i fjellsprekker i lengre tid. All erfaring tilsier imidlertid at restitusjon etter skade fra små til moderate oljepåslag, slik det her er snakk om, på organismene i tidevannssonen vil skje i løpet av neste vekstsesong.

I beregningsområdet finnes det tre registrerte konsesjoner for fiskeoppdrett. Disse ligger i områder der det er mindre enn 10 % sannsynlighet for at oljen vil komme, men en risiko for påvirkning kan ikke helt utelukkes. Voksen fisk har evne til å detektere svært lave nivåer av oljehydrokarboner i vannet og villfisk vil sannsynligvis unnvike oljen. Fisk i oppdrettsanlegg vil ikke kunne unnvike olje i vannet. Risikoen for dødelige effekter på oppdrettsfisk i sjøen er svært liten, men man kan tenke seg at olje i vannet kan skremme fisken så den skader seg, eller at den setter smak på fisken. Risikoen for slike effekter ansees likevel som liten i dette tilfellet. En eventuell smakspåvirkning vil også være kortvarig siden fisk har stor evne til å bryte med oljehydrokarboner.

## 4. Referanser

Børresen, J.A. 1993: Olje på havet. ISBN 82-417-0282-5, Ad Notam Gyldendal AS

ERM - hjemmeside: <http://www.erm-smg.com>

Green, J and Trett, M.W. 1989. The fate and effects of oil in freshwater. ISBN 1-85166-318-5. Elsevier science publishers LTD

Mackay, D. 1985. The physical and chemical fate of spilled oil. Pp 3-61 in Engelhardt FR (Ed) Petroleum effects in the arctic environment, Elsevier, London

## 5. Vedlegg Description of GEMSS

Impact assessment was performed using the Generalized Environmental Modeling System for Surface Waters (GEMSS). GEMSS<sup>®</sup> is an integrated system of 3-D hydrodynamic and transport models embedded in a geographic information and environmental data system. GEMSS includes a grid generator and editor, control file generator, 2-D and 3-D post processing viewers, and an animation tool.

### GEMSS Background

Developed in the mid-1980s as a hydrodynamic platform for transport and fate modeling the hydrodynamic platform (“kernel”) provides 3-D flow fields from which the distribution of various constituents can be computed. The constituent transport and fate computations are grouped into modules including hydrodynamics, thermal analysis, water quality, sediment transport, particle tracking, oil and chemical spills (the Chemical/Oil Spill Impact Module-COSIM, (Kolluru, 1993), sediment transport module-GIFT (Kolluru et al., 1998), entrainment, and toxics.

The theoretical basis of the hydrodynamic kernel of GEMSS is the three-dimensional Generalized, Longitudinal-Lateral-Vertical Hydrodynamic and Transport (GLLVHT) model which was first presented in Edinger and Buchak (1980 and 1985). Improvements to the transport scheme, addition of new constituent modules, and the incorporation of software tools, GIS interoperability, visualization tools, graphical user interface (GUI), and the post-processors have been developed by Kolluru et al. (1999, 2003 and 2006).

GEMSS and its component modules have met agency approval in North American and Middle Eastern countries. GEMSS-based studies have been accepted by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), several U.S. state agencies including California, Massachusetts, Pennsylvania, Louisiana, Texas and Delaware and Washington State’s Department of Ecology has adopted GEMSS as their standard tool for estuarine and water quality modeling. Outside the U.S., GEMSS and its various software modules have also been approved by agencies in the Bahamas, Qatar, India, and Canada. Most recently GEMSS has been published as a recommended three-dimensional hydrodynamic and water quality model in studies funded by EPA, (HGL and Aqua Terra, 1999) and by the Water Environment Research Foundation (WERF), (Water Environment Federation 2001). It is the sole hydrodynamic model listed in the WERF model selection tool database for hydrodynamic and chemical fate models that can do 1-D, 2-D, and 3-D time-variable modeling for most waterbody types, all state variables, for near-field and far-field simulations, with GUIs, grid generation, GIS linkage, and strong documentation.

### Chemical and Oil Spill Model: GEMSS-COSIM

COSIM is a three-dimensional chemical and oil spill model. The model operates both in Lagrangian and Eulerian frameworks. In the Lagrangian framework, the oil/chemical on the surface and in the water column is represented by a series of particles. The particles are advected in x-, y- and z-directions due to the combined action of tides, winds and density forcing, (Spaulding et al. 1993). The particles are diffused using 3-D random walk method in x-, y- and z-directions, (Bear and Verruijt 1987). The spatial and temporal variation of hydrodynamic currents, salinity and temperature can be obtained from GEMSS-HDM (Hydrodynamic Module) or directly from observed currents data. The Eulerian framework follows the scheme provided in the TOX15 model of the U.S. EPA, (WASP 2006) and it can be run simultaneously with GEMSS-HDM to obtain potential toxic concentrations in the water column. The entrainment of potential toxic substances from the oil/chemical on the surface and into the water column is supplied as time and spatially variant sources in the transport equation solved in GEMSS-HDM.

The transport and fate processes are modeled using different types of algorithms based on currently available literature on oil and chemical spill modeling, (ASCE 1996). The model includes four sub-



models depending on the specific project needs and the level of complexity involved in a typical spill impact study. They are listed in Table 1.

The spill model is designed to handle either single chemical or oil with multi component fractions. In the present study, the spill of oil was assumed to have both gas and liquid fractions while diesel was assumed to have only liquid fractions. COSIM can simulate both liquid and gas components of the spill constituent.

The model keeps track of number of moles available in each fraction with time after going through a series of weathering processes. The model writes output data for the particles on the surface and sub-surface and concentrations of each fraction in the water column for user specified output times and intervals. The concentrations are computed in a dynamic plume cubical grid that changes with time and extent of the plume. This approach provides a better estimate of concentration peak values than Eulerian where the grid sizes are fixed in time. COSIM can perform simultaneous mass balances for a full suite of specific chemicals or groupings of chemicals with similar properties. This feature enables greater modeling precision by applying chemical specific rates for parameters such as solubility, evaporation, solids partitioning, and toxicological response estimates.

The model also includes the bubble plume development due to the release of gas-liquid mixture from the seabed due to oil well blowouts. The bubble plume configuration is shown in Figure 1. The plume interaction with the water surface is shown in Figure 2. A detailed description of gas bubble plume modeling is described in Kolluru 1996.

GEMSS-COSIM and its various sub models have been applied successfully both in hindcast, (Fichera et al., 2001 and 2003), and stochastic mode, (ERM, 2002a and 2002b). It is currently being applied for spill impact studies off the coast of Western Australia.

Table A1 Models available in GEMSS-COSIM

<b>Model Type</b>	<b>Purpose</b>
Trajectory	Quick estimation of spill transport Does not include the fate analysis of the spill
Trajectory and Fate	Transport and fate analysis with good forcing data (e.g. winds, tides, currents and waves) Water column is lumped as one component and there is no spatial and temporal variation of spill concentrations or mass
Subsurface	Similar to the previous sub-model Includes complete subsurface modeling that predicts the fate and transport of the spill in the water column Computes time and spatial variation of toxic concentrations in the water column
Stochastic	Similar to subsurface sub-model Includes complete tidal currents Computes wind transition matrix using long term wind records Performs many simulations with wind record changing with time for each simulation
Receptor	Running trajectory model in the reverse mode to identify the possible spill sources
Response	Running trajectory model along with application of mechanical response devices such as booms, skimmers, burning, chemical dispersion etc. for emergency response

## References

- ASCE, 1996. State-Of-The-Art Review Of Modeling Transport And Fate Of Oil Spills. ASCE Task Committee on Modeling of Oil Spills of the Water Resources Engineering Division. *Journal of Hydraulic Engineering*, November 1996, pp. 594-609.
- Bear, Jacob and Arnold Verruijt, 1987. *Modeling Ground Water Flow and Pollution With Computer Programs for Sample Cases*, Kluwer Academic publishers.
- Edinger, J. E. and E. M. Buchak. 1980. Numerical Hydrodynamics of Estuaries in Estuarine and Wetland Processes with Emphasis on Modeling, (P. Hamilton and K. B. Macdonald, eds.). Plenum Press, New York, New York, pp. 115-146.
- Edinger, J. E., and E. M. Buchak. 1985. Numerical Waterbody Dynamics and Small Computers. Proceedings of ASCE 1985 Hydraulic Division Specialty Conference on Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age. American Society of Civil Engineers, Lake Buena Vista, FL. Aug. 13-16.
- ERM 2002a, Fate and Transport Modeling of Accidental Spill Releases from Natural Gas Pipelines, Prepared for URS Corporation, Houston, TX.
- ERM, 2002b. Fate and Transport Modeling of Drilling Mud. Prepared for Haley & Aldrich, Inc., Rochester, New York 14623-4264.
- HGL and Aqua Terra. 1999. Selection of Water Quality Components for Eutrophication-Related Total Maximum Daily Load Assessments. Task 4: Documentation of Review and Evaluation of Eutrophication Models and Components EPA Contract Number 68-C6-0020 Work Assignment No. 2-04. Prepared by HydroGeoLogic, Inc. Herndon, VA 20170 and AQUA TERRA Consultants, Mountain View, CA. June.
- IARC 1989, American Petroleum Institute.
- Kolluru, V. S. 1996. Oil Blowout Model. ERM, Inc., Exton, PA.
- Kolluru, V. S., E. M. Buchak, J. Wu, 1999. "Use of Membrane Boundaries to Simulate Fixed and Floating Structures in GLLVHT." In Spaulding, M.L, H.L. Butler (eds.). Proceedings of the 6th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. pp. 485 – 500.
- Kolluru, V. S., J. E. Edinger, E. M. Buchak and P. Brinkmann 2003. "Hydrodynamic Modeling of Coastal LNG Cooling Water Discharge." *Journal of Energy Engineering*. Vol. 129, No. 1, April 1, 2003. pp 16 – 31.
- Kolluru, V.S., M.L. Spaulding and E. Anderson, 1994. A Three Dimensional Subsurface Oil Dispersion Model using a Particle Based Approach. In Proceedings of the 17th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, Vancouver, British Columbia, Canada. pp. 867 - 894.
- Spaulding, M.L., A. Adulo and V. S. Kolluru, 1993. A Hybrid Model to Predict the Entrainment and Subsurface transport of oil. In Proceedings of the Arctic Marine Oil Spill Program, Calgary, Canada.
- WASP, 2006. Water Quality Analysis Simulation Program, Version 6 User Manual. Environmental Protection Agency, USA.
- Water Environment Federation. 2001. Water Quality Models: A Survey and Assessment. Order No.: D13209WW (Electronic Media)