

**Grunnlagsrapport.** Oppdatering av faglig grunnlag for forvaltningsplanen for Barentshavet og områdene utenfor Lofoten (HFB). **Oljedriftsmodellering, StormDrift.**



Forfatter: Knut Lisæter, dr.scient

Bergen, 02.03.10



<i>Dato:</i>	<i>Rapport nr.</i>
30. mars 2010	StormDrift Report No. 2010-01 Revisjon 02
<i>Oppdragsgiver:</i>	<i>Oppdragsgiver ref:</i>
Olje- og Energidepartementet	Espen A. Hauge Kjell Hauge
<i>Rapportens tittel:</i>	
Grunnlagsrapport. Oppdatering av faglig grunnlag for forvaltningsplanen for Barentshavet og områdene utenfor Lofoten (HFB). Oljedriftsimulering, StormDrift.	
<i>Oppsummering:</i>	
<p>Rapporten inneholder statistiske resultater fra oljedriftssimuleringer i punktet 11°13'50"E, 67°14'20"N. Simuleringene vil bli brukt i oppdateringen av faglig grunnlag for forvaltningsplanen for Lofoten og Barentshavet, som gjennomføres av Olje og Energi Departementet.</p> <p>Modellsimuleringene er utført med oljedriftsmodellen StormDrift, og modelldataene er også tilgjengelig for kunden i formatet spesifisert av NOFO.</p> <p>Modellsimuleringene viser at utslipp i den oppgitte brønnlokasjonen vil føre til at oljemengder opp mot 10.000 tonn vil kunne treffe land i modellområdet, da primært i Lofoten, Ofoten og Vesterålen. Korteste drivtid fra start av utslippet til oljen treffer land er tre dager.</p>	
<i>Arbeid gjort av:</i>	<i>Arbeid kontrollert av:</i>
Dr. Scient. Knut Lisæter Seniorforsker	Dr. Scient. Nina Winther Seniorforsker  M.Sc. Hilde Holdhus Oseanograf



## Forord

Regjeringen vil legge frem en oppdatert forvaltningsplan for Barentshavet og områdene utenfor Lofoten i løpet av 2010. Det faglige grunnlaget for denne oppdateringen er utarbeidet av de rådgivende gruppene – Faglig forum, Overvåkingsgruppen og Risikogruppen. Som en del av dette arbeidet har det vært behov for eksterne studier. Disse grunnleggstudiene har bidratt med faglige resultater og beskrivelse av oppdatert kunnskapsbasis, og utgjør således et viktig grunnlag for den faglige oppdateringen. Spesiell fokus i arbeidene er på konsekvenser av potensielle akutte utslipp fra sektorene petroleumsvirksomhet og skipstrafikk, men også andre tema er berørt. Arbeidene har omfattet oppdatering av sektorvise grunnlagsstudier for petroleum, samt tilleggstudier innen skipstrafikk, petroleum og oljevern bestilt av Risikogruppen etter oppdrag fra den interdepartementale styringsgruppen for forvaltningsplanene.

Studiene har vært koordinert gjennom en ad hoc gruppe styrt av Risikogruppen, og kontraktspart for studiene er Olje- og energidepartementet.

Foreliggende studie omfatter temaet “Oljedriftsmodellering, StormDrift”.



# Innhold

<b>Innhold</b>	<b>7</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>9</b>
<b>2 Oppsett av modellen</b>	<b>9</b>
2.1 Kort beskrivelse av modellen . . . . .	9
2.2 Drivkrefter . . . . .	10
2.3 Oljeparametre . . . . .	11
2.4 Modelloppsett og topografi . . . . .	12
2.5 Utslippsscenario . . . . .	12
<b>3 Resultater</b>	<b>14</b>
3.1 Influensområder for overflateolje . . . . .	14
3.2 Olje i vannsøylen . . . . .	22
3.3 Strandet olje . . . . .	23
3.4 Eksempel fra enkeltscenarier . . . . .	30
<b>4 Oppsummering</b>	<b>33</b>
<b>A Tolking av masse og drivtid-histogram</b>	<b>34</b>
<b>B Strandingsstatistikk fra alle scenariene</b>	<b>35</b>
B.1 Overflateutslipp, utslippsrate på 8500m <sup>3</sup> /dgn . . . . .	35
B.2 Overflateutslipp, utslippsrate på 4500m <sup>3</sup> /dgn . . . . .	38
B.3 Sjøbunnutslipp, utslippsrate på 8500m <sup>3</sup> /dgn . . . . .	41
B.4 Sjøbunnutslipp, utslippsrate på 4500m <sup>3</sup> /dgn . . . . .	44
<b>Bibliografi</b>	<b>47</b>





# 1 Introduksjon

Som et ledd i oppdateringen av det faglige grunnlaget for forvaltningsplanen for Barentshavet og området utenfor Lofoten (HFB), har oljedriftsmodellen StormDrift blitt brukt til å beregne oljedrift fra et punkt i nærheten av Lofoten, i posisjonen  $11^{\circ}13'50''\text{E}$ ,  $67^{\circ}14'20''\text{N}$ .

StormDrift er en relativt ny oljedriftsmodell, men har allerede blitt brukt i miljørisikoanalyser på norsk sokkel. Modellen bruker en annen tilnæringsmetode enn eksisterende modeller i bruk i konsekvensanalyser, blant annet ved at modellen har en såkalt Eulersk beskrivelse av overflate og nedblandet olje, mens eksisterende modeller bruker en Lagrangsk (partikkel) beskrivelse av oljen.

StormDrift er basert på en modell beskrevet i *Tkalich et al. (2003)*, som inneholder adveksjons-diffusjons ligningen for tykkelsen til oljefilmen, og transportligninger for de andre komponent som inngår i oljedriftmodellen. Ett av hovedfokusene i modellen har vært å bruke høykvalitets drivkrefter for atmosfære, strøm og bølger. Dette er spesielt viktig langs norskekysten hvor den norske kyststrømmen har en sterk nordlig middelkomponent. For en mer detaljert beskrivelse av modellen viser vi til *Winther and Lisæter (2009)* og *Lisæter and Winther (2009)*.

## 2 Oppsett av modellen

### 2.1 Kort beskrivelse av modellen

StormDrift er en oljedriftsmodell med hovedfokus på transport av overflateolje, og dens nedblanding i vannsøylen. Modellen beskriver forvitring av oljen og bruker parametriseringer for å beskrive effekten av fordamping, dannelse av vann i olje-emulsjon, og nedblanding. Alle disse parametriseringene er basert på tilsvarende parametriseringer brukt i andre oljedriftsmodeller, og på publiserte parametriseringer.

Den oljen som blir blandet ned i vannsøylen blir fulgt over tid, med en tredimensjonal beskrivelse av oljens transport i vannsøylen. Dette kan da brukes til å gi et estimat av oljekonsentrasjonen i vannsøylen over tid, som følge av transport med havstrømmer.

Den kanskje største forskjellen mellom StormDrift og eksisterende oljedriftsmodeller er hvordan beskrivelsen av oljen gjøres med tanke på horisontal transport. De fleste nåværende oljedriftsmodeller bruker en såkalt Lagrangsk koordinatbeskrivelse. Det vil si at oljeutslippet blir presentert som partikler som beveger seg med strømmen over tid. Typisk begrenser man oljeinnholdet i en partikkel til  $1\text{m}^3$ , og et oljeutslipp vil således simuleres av mange

partikler som beveger seg over tid.

StormDrift, derimot, bruker en Eulersk beskrivelse av horisontaltransport. I et Eulersk koordinatsystem definerer man et sett faste punkter, ofte arrangert i et rutenett. Den Eulerske beskrivelsen av horisontal transport vil nå beskrive tidsutviklingen til for eksempel oljemengde i disse faste punktene, i motsetning til Lagrangske koordinatsystem som beskriver tidsutviklingen til oljen i bevegelige partikler. Innenfor geofysikk, med modellering av for eksempel atmosfære, hav og havbølger, er Eulerske koordinatsystem den dominerende koordinatbeskrivelsen.

Eulerske og Lagrangske beskrivelser av væsker har begge sine fordeler og ulemper. Etter vår mening er det nyttig å ha forskjellige innfallsvinkler til problemstillinger rundt oljedrift, StormDrift er i så måte et nyttig tillegg de eksisterende oljedriftsløsningene som er i bruk i Norge.

For videre detaljer om StormDrift viser vi til rapportene *Winther and Lisæter* (2009) og *Lisæter and Winther* (2009).

## 2.2 Drivkrefter

Datasettet som gir vind og bølger i modellen er “ERA-Interim” datasettet, som er beskrevet i *Uppala et al.* (2008). “ERA-Interim” datasettet er basert på modellkjøringer gjort ved European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). I dette datasettet bruker man også observasjoner av atmosfære og bølger for å lage et sluttprodukt som beskriver atmosfære-hav tilstanden best mulig. “ERA-Interim” datasettet dekker tidsperioden 1989 og opp til nåtid.

For å beskrive strøm har vi brukt et datasett levert fra Met.no, som dekker Lofoten og Barentshavet (*Røed et al.*, 2009). Tidsperioden til dette datasettet dekker perioden fra og med 1986 til 1996. For å kunne nyttegjøre oss av mest mulig realistiske drivkrefter har vi valgt å kjøre simuleringene med oljedriftsmodellen for tidsperioden som overlapper mellom de to datasettene, altså tidsperioden fra og med 1989 til og med 1995.

Den romlige oppløsningen til datasettene er viktig, spesielt for å beskrive effekten av strøm i modellen. Selve havmodellen som strømdataene er basert på ble opprinnelig kjørt med en oppløsning på 4 km. Dessverre var ikke dataene tilgjengelig i denne oppløsningen fra Met.no sin side, men et re-interpolert datasett var tilgjengelig, med en romlig oppløsning på 8 km.

Bølge og atmosfæredataene har en lavere oppløsning på 0.75 grader. Oppløsningen på de to sistnevnte er lavere enn for strømdataene, men dette oppveies av at karakteristiske

Tabell 1: Oljeparametre for Balder oljen

Parameter	Verdi	Enhet
Tetthet til fersk olje	916	kg/m <sup>3</sup>
Maksimalt vanninnhold	80	%
Viskositet til fersk olje	132	cP
Viskositet til oljen ved maks vanninnhold og maks fordamping	22100	cP
Initiell filmtykkelse ved overflateutslipp	2	mm
Initiell filmtykkelse ved sjøbunnsutslipp	0.1	mm
Antall simuleringer brukt i scenariene	1000	–

lengdeskalaer som oftest er mye større i atmosfære enn i hav. Ett unntak er nær kystlinjer, der lengdeskalaene i atmosfæren kan være mindre, likeså for bølger.

## 2.3 Oljeparametre

Egenskapene til oljen er viktig for forvitringsegenskapene den vil ha. I simuleringene er parametrene som beskriver oljen basert på “Balder”-oljen (*Lewis et al.*, 1996). Balder er en tung oljetype der en relativt liten andel av oljen vil fordampe, og den danner dessuten en stabil olje-emulsjon med viskositet i overkant av 20.000 cP. Alt dette peker på en olje-emulsjon som kan eksistere lenge på overflaten, selv i grov sjø.

StormDrift simulerer forvitringen av overflateoljen, og beregner denne på bakgrunn av fordampet volum av oljen, samt vanninnhold av emulsjonen som blir dannet. Inngangsparametre til oljen er basert på SINTEF-rapporten som omhandler Balder (*Lewis et al.*, 1996), og noen av de viktigste inngangsparametrene er gjengitt i tabell 1. All nedblandet olje blir fulgt i vannsøylen, og denne oljen inngår også i den totale oljemengden som blir rapportert i statistikken i ContAct-rutenettene.

Andre inngangsparametre til oljemodellen er den initielle filmtykkelsen til oljefilmen, som er basert på initielle filmtykkelser brukt i tidligere ULB-rapporter (*Rudberg*, 2003). For overflateutslipp er filmtykkelsen satt til 2 mm, mens for sjøbunnsutslipp er den initielle filmtykkelsen satt til 0.1 mm. Det er videre antatt at all oljen ved et sjøbunnsutslipp kommer opp til overflaten, den vil med andre ord ikke bli dispergert på veien opp til overflaten.

Det er viktig å merke seg at filmtykkelsen som er satt bare er brukt initielt. Ettersom oljen akkumulerer seg i et modellområde, noe som kan skje om feks strømkreftene konvergerer oljen, så er det teoretisk mulig at filmtykkelsen kan bli større enn den initielle verdien.

Initialbetingelsene som er brukt for sjøbunnsutslipp er som sagt basert på tidligere ULB-rapporter (*Rudberg, 2003*). En forbedret beskrivelse av sjøbunnsutslipp er planlagt i den videre utviklingen av StormDrift, slik at utviklingen av oljefasene tar hensyn til utslippsrate og gass/olje fordelingen i utslippet.

## 2.4 Modelloppsett og topografi

StormDrift-modellen har et rutenett med en oppløsning på 2 km, bunntopografien som blir brukt er basert på ETOPO1-datasettet (*Amante and Eakins, 2009*). ETOPO1-datasettet har en romlig oppløsning på 1 minutt i lengde og breddegrad, altså noe lavere enn rutenettet som blir brukt i StormDrift.

Gitt at strøm, bølge og vinddataene som er brukt i modellen har noe lavere oppløsning, så kan kanskje 2 km oppløsning virke overdrevet. Den største grunnen til at en slik oppløsning er valgt er at kystlinjer og øyer blir bedre oppløst, noe som muliggjør en mer detaljert analyse av strandet olje i slike områder. Bunntopografien og den tilhørende landmasken som har blitt brukt i simuleringene er illustrert i Figur 1.

## 2.5 Utslippsscenario

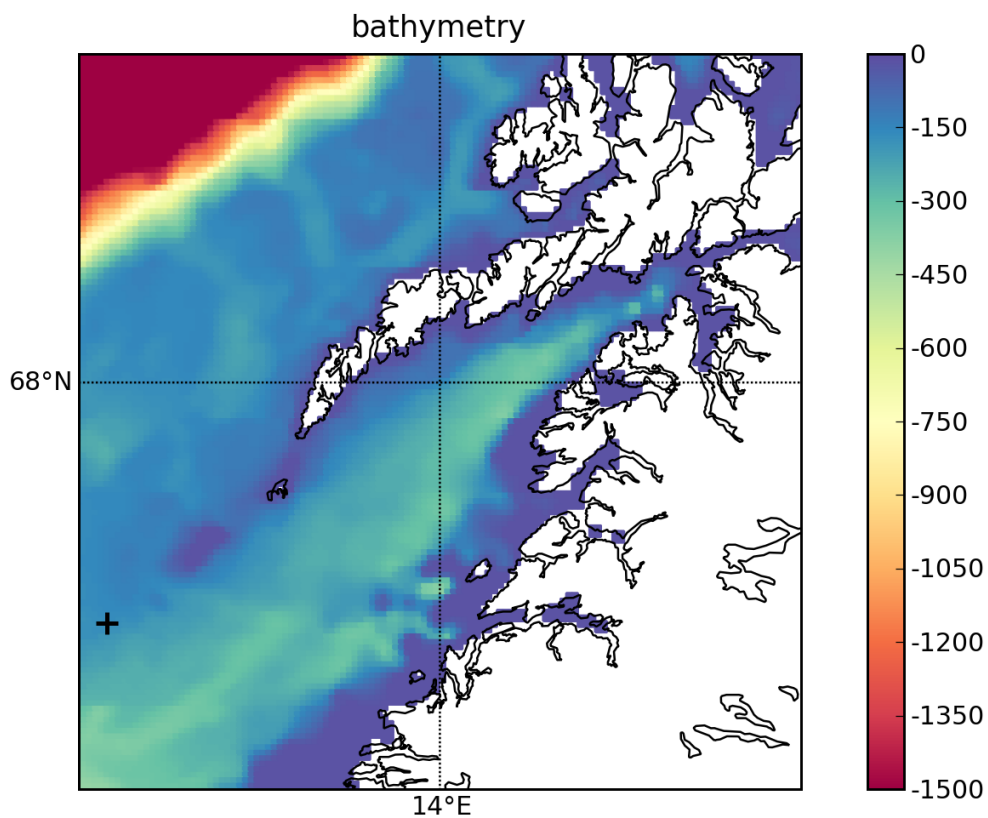
Simuleringene blir startet med utslipp i posisjonen  $11^{\circ}13'50''E$ ,  $67^{\circ}14'20''N$ . Dette utslippet har en varighet på 2 døgn, og simuleringene blir kjørt i 30 døgn etter at utslippet er ferdig, altså en total simuleringstid på 32 døgn per simulering.

Fire forskjellige utslippsscenarioer ble simulert;

- Overflate-utslipp med rate på  $8500 \text{ m}^3/\text{døgn}$  over to døgn
- Overflate-utslipp med rate på  $4500 \text{ m}^3/\text{døgn}$  over to døgn
- Sjøbunn-utslipp med rate på  $8500 \text{ m}^3/\text{døgn}$  over to døgn
- Sjøbunn-utslipp med rate på  $4500 \text{ m}^3/\text{døgn}$  over to døgn

som nevnt i del 2.3 er den initielle filmtykkelsen forskjellig ved sjøbunn og overflateutslipp.

For å generere statistikk over simuleringene ble det kjørt totalt 1000 simuleringer per scenario. Start-tidspunktet for disse simuleringene ble plukket tilfeldig over perioden 1989-1995.



Figur 1: Utsnitt av bunntopografien brukt i modellen, med fokus på Lofoten-området. Landmaske er gitt i hvitt, og en kystlinje er lagt på toppen av plottet for å illustrere forskjellen mellom kystlinje brukt i modell, og reell kystlinje.

## 3 Resultater

Denne delen beskriver resultater fra modellen. Fokuset er på spredningen av oljen, og på timingen og mengden av strandet olje. Spredningen av oljen er illustrert ved sannsynlighetskart i del 3.1 og del 3.2 og statistikk for strandet olje er vist i del 3.3. Til slutt blir det presentert eksempler fra enkeltscenarier i del 3.4.

### 3.1 Influensområder for overflateolje

Influensområder beskriver sannsynligheten for at massen av strandet olje overskrider en viss terskelverdi i et område. Influensområdene blir laget ved å se på alle oljedrift-simuleringene, og telle simuleringene der oljen overskrider terskelverdien en eller annen gang i løpet av simuleringen. Ved å bruke denne fremgangsmåten kan man lage et sannsynlighetskart, omtalt her som influensområder.

Influensområdene som er gjengitt her beskriver sannsynligheten for at en konsentrasjon av olje-emulsjon tilsvarende mer enn 1 tonn olje per 100 km<sup>2</sup> vil inntreffe i et område. Terskelverdien som blir brukt her tilsvarer en terskelverdi som er mye brukt av NOFO, og vi har brukt den videre i rapporten. Ett tonn olje per 100 km<sup>2</sup> tilsvarer for eksempel også 10 kg olje per kvadratkilometer. Vi presiserer her at terskelverdien er en konsentrasjon, og ikke må forveksles som en beskrivelse av modellopløsningen. De plottene som blir presentert her og senere er basert på modelldata med 2 km oppløsning.

Statistikken for influensområdene er videre inndelt i sesonger for å illustrere noe av variasjonene over et år. Året er her delt opp i fire segmenter, og vi presenterer statistikk for alle simuleringene som starter i Januar-Februar-Mars, April-Mai-Juni, Juli-August-September og Oktober-November-Desember.

Det er verdt å presisere at vi i influensområdene her refererer til olje-emulsjon alene, og ikke total oljemengde i en rute. Den totale oljemengden vil også inneholde nedblandet olje i en rute.

Figur 2 viser influensområdet for de forskjellige utslippsscenariene i perioden Januar-Februar-Mars. Av disse figurene kommer det frem at det er en relativt liten forskjell mellom sjøbunn og overflateutslipp. Noe av dette kan komme av at vi her opererer med relativt store utslippsrater. Om utslippsratene er store nok, kan oljen akkumulere seg raskere i utslippsområdet enn det blir transportert vekk av vind og strømkrefter. I praksis betyr det at den initielle filmtykkelsen ikke blir den bestemmende faktoren for hvor tykk oljen er på overflaten. Dette vil bli kommentert videre i del 3.1.

En annen observasjon i Figur 2 er at influensområdet er relativt lite i vinterhalvåret,

noe vi tolker som en effekt av store bølger i utslippsområdet. I vinterhalvåret vil mye av bølgeklimaet langs norskekysten være bestemt av dønninger som blir generert i Norskehavet og Grønlandshavet. Lokalt genererte bølger (vindsjø) er derfor utilstrekkelig for å beskrive bølger i havområdet rundt Lofoten.

Det siste er verdt å merke seg da olje-nedblanding er sterkt avhengig av bølgeaktiviteten i et område. Noen parametriseringer av olje-nedblanding tar kun hensyn til effekten av lokal vind, som igjen bare kan beskrive lokalgenererte bølger (vindsjø). StormDrift bruker derimot bølgeverdier fra en bølgemodell, som er en mer realistisk beskrivelse av bølgetilstanden, og inkluderer effekten både fra vindsjø og dønninger.

Effekten av bølger i utslippsområdet kan best illustreres ved å sammenligne med situasjonen i perioden Juli-August-September, Figur 4. I denne tidsperioden er bølgeaktiviteten lavere, og influensområdet blir dermed mye større enn det man kan se for Januar-Februar-Mars. Dette til tross for generelt lavere vindhastigheter i denne perioden.

Influensområder er også vist for perioden på våren, April-Mai-Juni, i Figur 3, og for perioden på høsten, Oktober-November-Desember, i Figur 5.

Influensområdene som er vist her er relativt små når man sammenligner dem med influensområder i tidligere ULB-rapporter (*Rudberg, 2003*). I den konteksten er det viktig å poengtere at utslippslengden i våre kjøring er kun to dager. Dette vil påvirke influensområdene siden oljen vil "sveipe ut" et mindre område enn om man har ved en lengre utslippslengde. I tillegg viser det seg at mye av olje-emulsjonen vil treffe land i kjøringene, noe som naturlig vil redusere influensområdene.

Strømmene i området er viktige for hvordan influensområdet vil se ut. Figur 6 viser hvordan den midlede strømmen er over tidsperioden 1989-1995. Den norske kyststrømmen trer klart frem i bildene, og i figuren kan man se hvordan denne passerer sør for utslipplokasjonen brukt i simuleringene (utslippspunktet er markert med en stjerne). Kyststrømmen ser ut til å spille en viktig rolle for influensområdene, da hovedstrømmen korresponderer bra med de sørlige og vestlige grensene for influensområdene.

Det er også verdt å merke seg at utslipplokasjonen ligger noe nord for ruten som kyststrømmen tar. Dette har innflytelse over spredningen siden oljen må drive noe sør eller vestover før den kan bli fanget opp av kyststrømmen.

## **Kommentar til simuleringene med sjøbunnutslipp**

Det ble observert at simuleringene med sjøbunn og overflateutslipp ga veldig like resultater, noe som var overraskende. Som nevnt, om utslippsratene er store nok, så kan oljen akkumulere seg raskere i utslippsområdet enn det blir transportert vekk av vind og strømkrefter.

I praksis betyr det at den initielle filmtykkelsen ikke blir den bestemmende faktoren for hvor tykk oljen er på overflaten.

Et enkelt eksempel kan illustrere akkumuleringen; anta at snittykkelsen på overflateoljen er  $\frac{1}{10}$  mm. Ved en typisk horisontaltransport på 0.2m/s så vil transporten ut av utslippsruten i modellen være av størrelsesorden

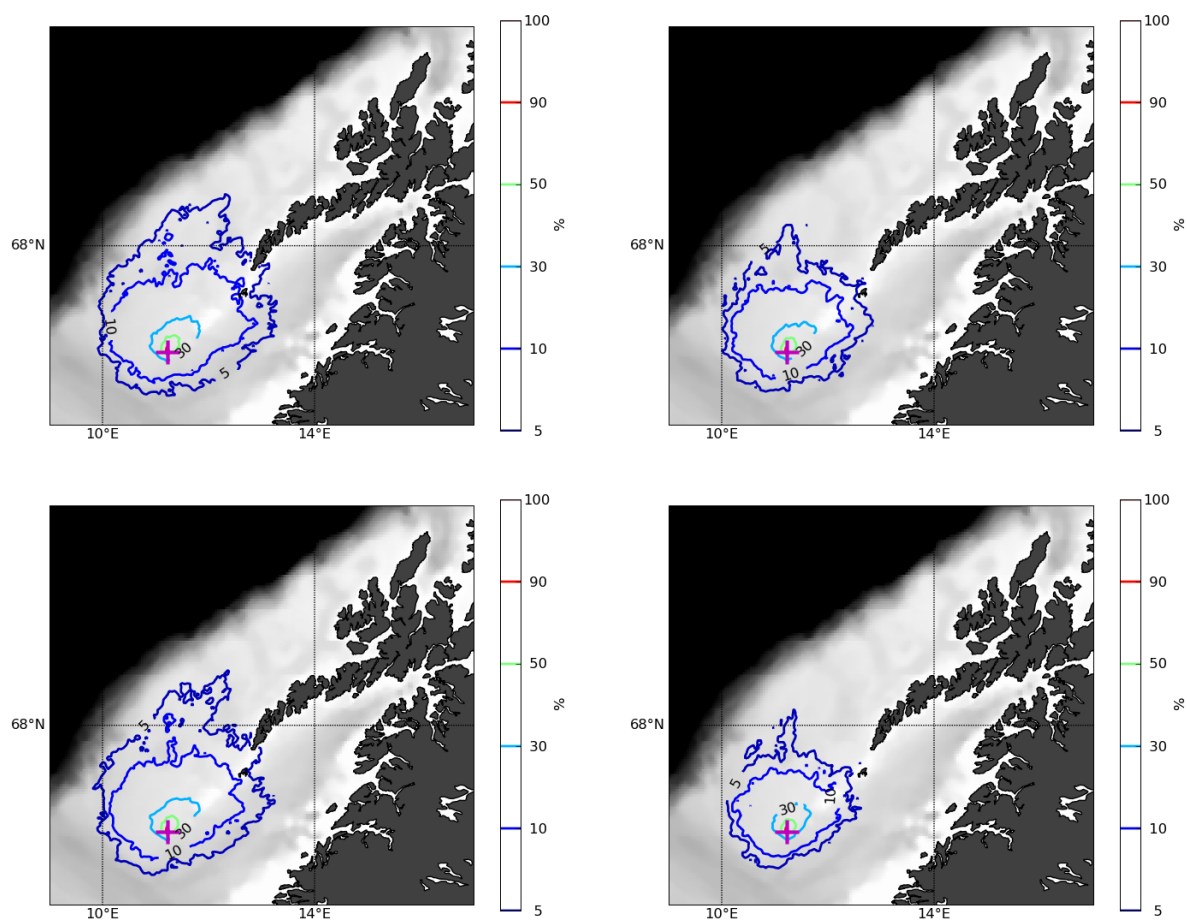
$$0.2\text{m/s} \times 0.0001\text{m} \times 2000\text{ m} \times 86400\text{s} \sim 3500\text{m}^3/\text{d} \quad (1)$$

dette er mindre enn utslippsratene som er brukt i scenarien. Her har vi i tillegg vært konservative, i og med at snittykkelsen er satt til den initielle filmtykkelsen ved sjøbunnsutslipp, 0.1 mm. I praksis vil verdien være noe mindre.

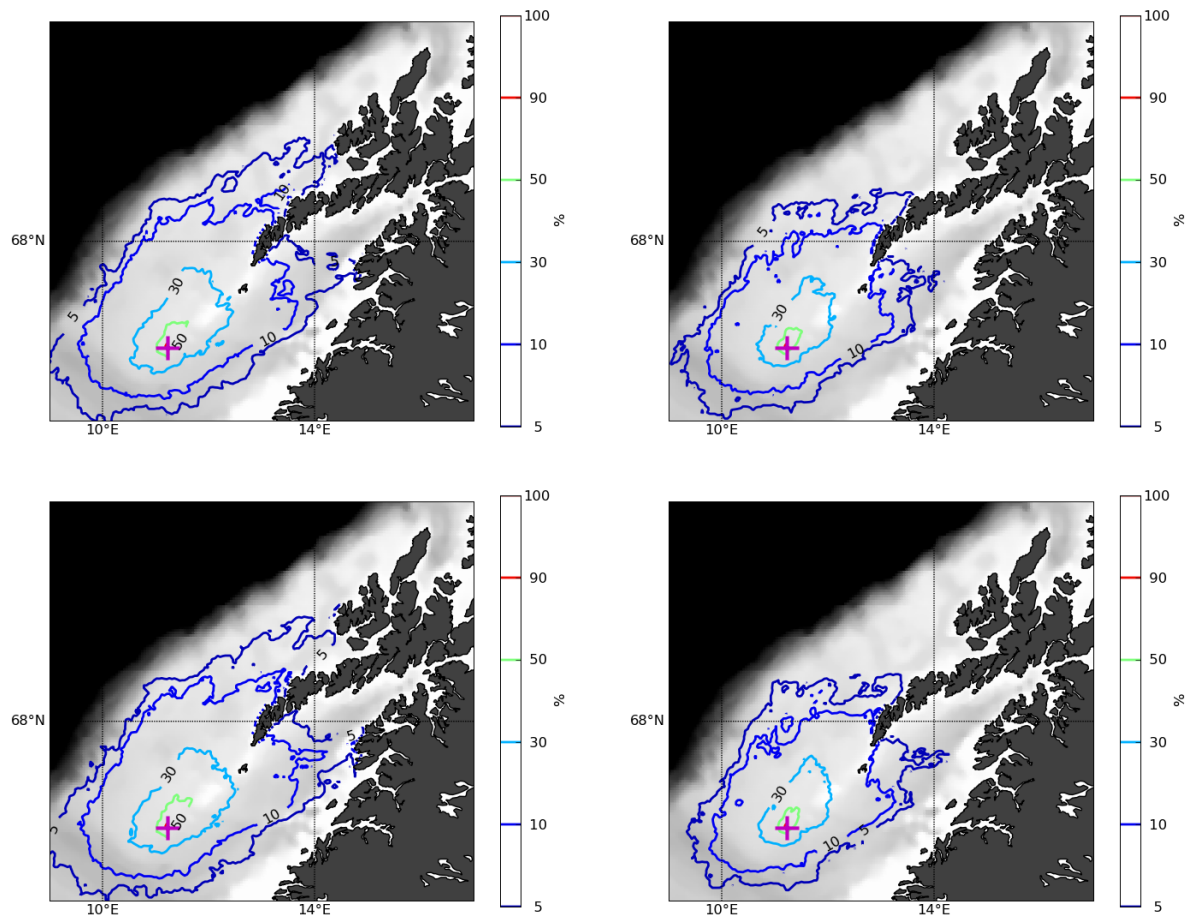
Dette eksempelet viser at vi kan forvente oss en utslippsrate som overskrider hastigheten oljen blir transportert ut av utslippsområdet i modellen. I simuleringene vil denne effekten kunne føre til en opphopning av oljen, og en økt filmtykkelse for oljen. Dette mener vi kan forklare den største grunnen til forskjellene mellom simuleringene med sjøbunnsutslipp og overflateutslipp. Det er viktig å påpeke at dette er en effekt som kun vil komme til syne med Eulersk koordinatbeskrivelse. Med Lagrangsk koordinatbeskrivelse vil en lokal opphopning føre til en økning i antall partikler i et område, men tykkelsen til partiklene vil være uendret. I en Eulersk modell vil den lokale opphopningen kompenseres med økt filmtykkelse.

Vi vil her påpeke at fremgangsmåten for sjøbunnsutslipp som har blitt brukt i denne rapporten nok har en del mangler, delvis grunnet effekten som ble beskrevet over, og resultatene for sjøbunnsutslipp bør vurderes med dette i mente.

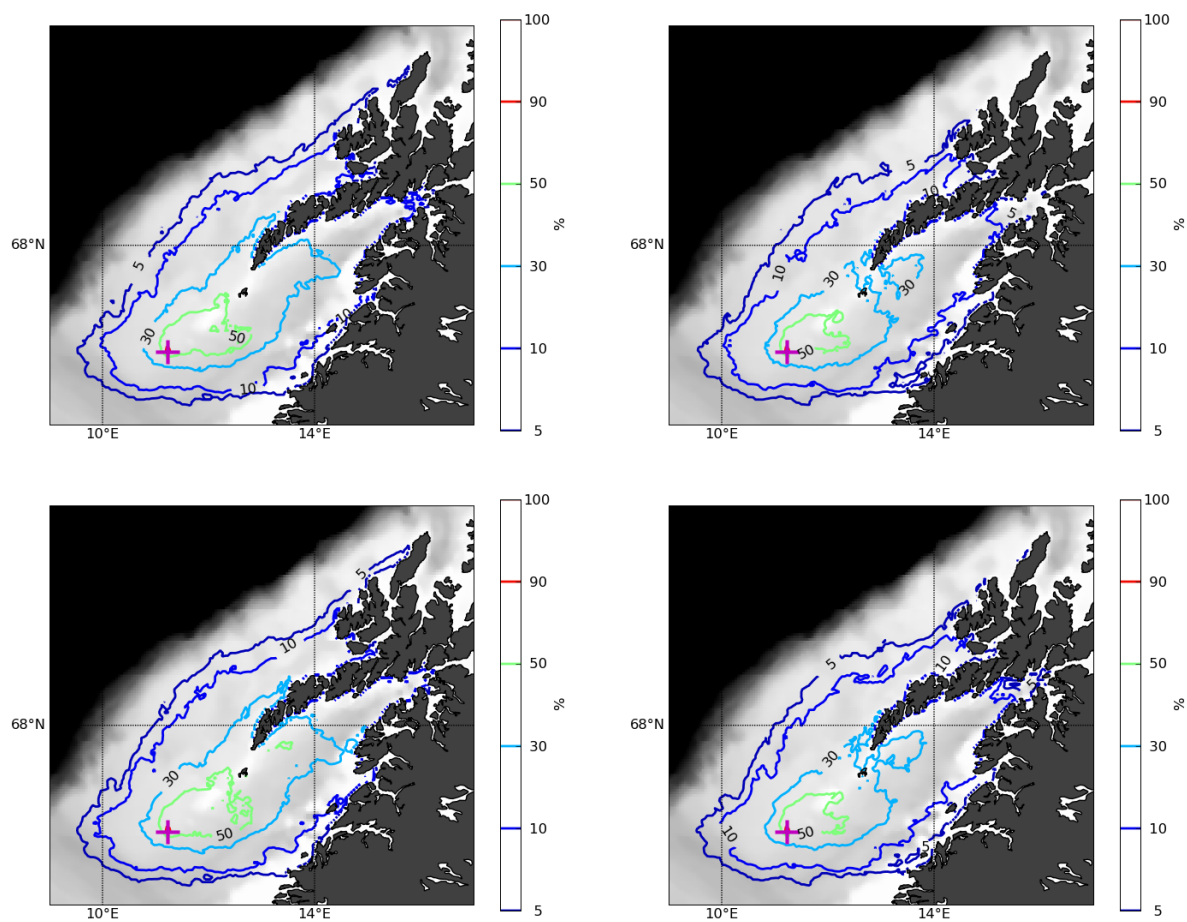




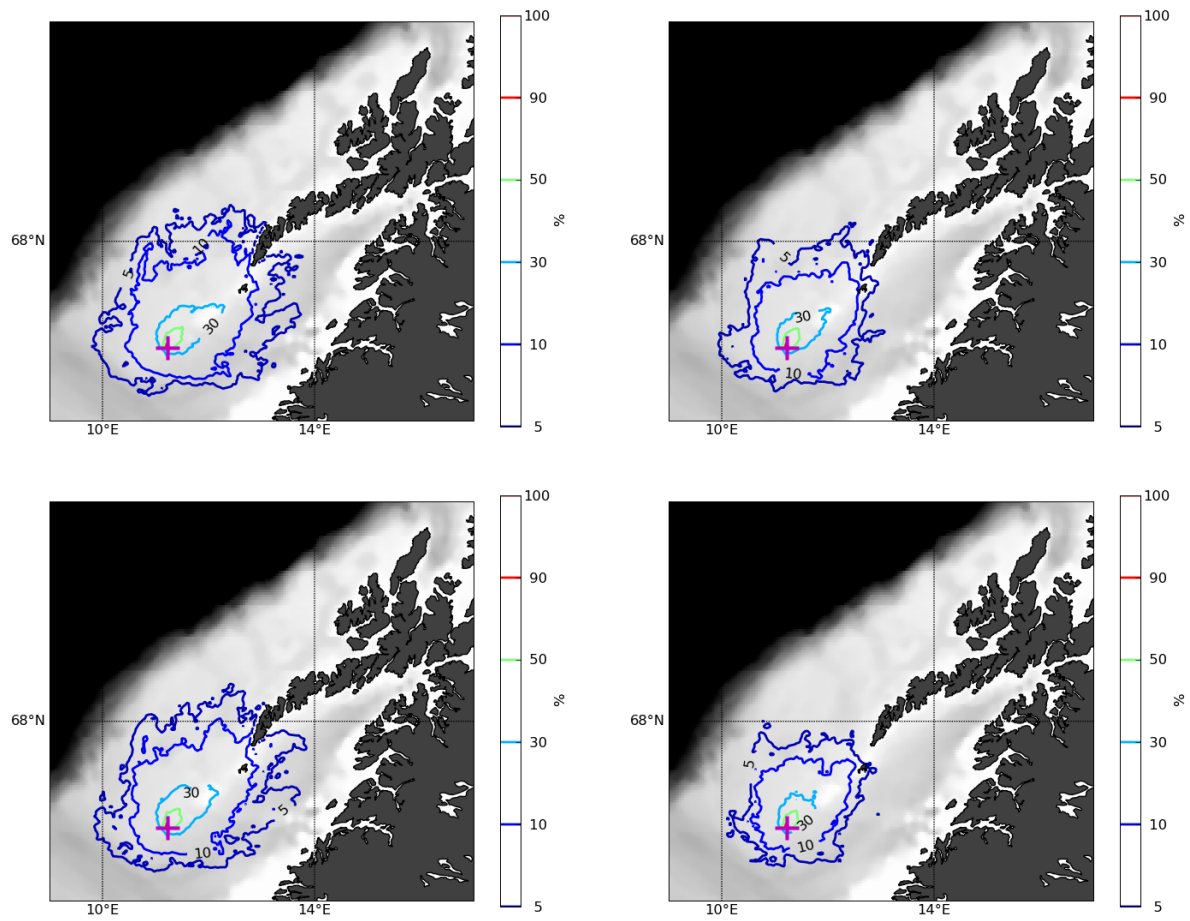
Figur 2: Influensområde for Januar-Februar-Mars, for overflateutslipp med 8500m<sup>3</sup>/d i to døgn (oppe til venstre), overflateutslipp med 4500m<sup>3</sup>/d i to døgn (oppe til høyre), bunnutslipp med 8500m<sup>3</sup>/d i to døgn (nede til venstre), bunnutslipp med 4500m<sup>3</sup>/d i to døgn (nede til høyre).



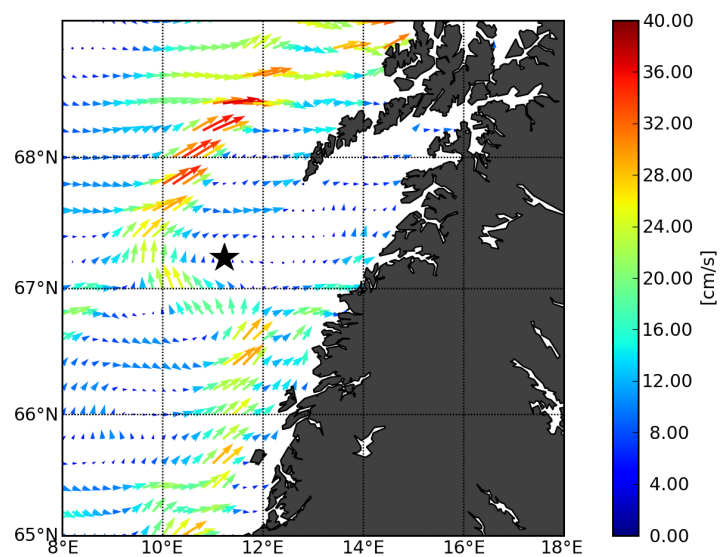
Figur 3: Som i Figur 2, men for April-Mai-Juni.



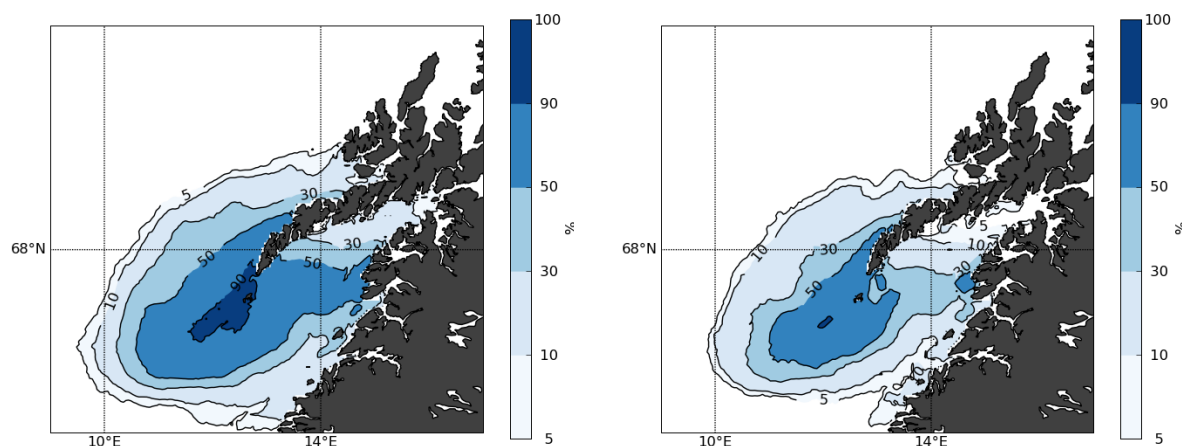
Figur 4: Som i Figur 2, men for Juli-August-September.



Figur 5: Som i Figur 2, men for Oktober-November-Desember.



Figur 6: Midlere strøm i modellområdet, over tidsperioden 1989–1995.



Figur 7: Sannsynlighetskart for at oljekonsentrasjon i vannsøylen overstiger  $1 \text{ mg/m}^3$  (venstre) og  $10 \text{ mg/m}^3$  (høyre) fra 10-50 meters dybde. Plottene er for scenariet med overflateutslipp på  $8500 \text{ m}^3$

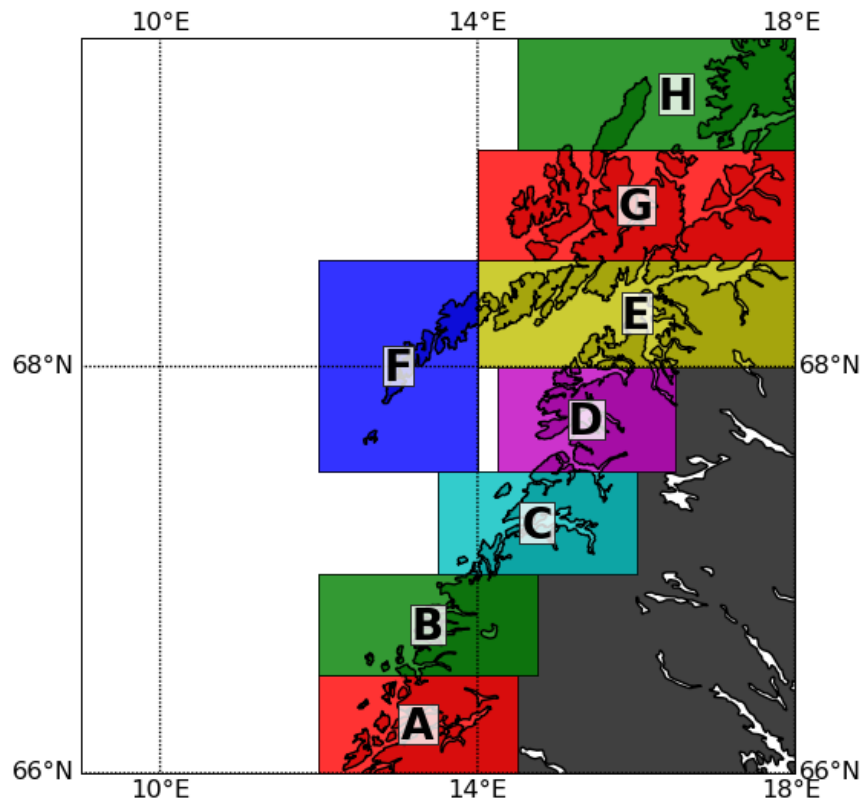
## 3.2 Olje i vannsøylen

Oljen som blir blandet fra overflatelaget og ned i vannsøylen vil over tid bli mikset både i horisontal- og vertikalretningen. Dette fører til en større spredning over tid, og også lavere konsentrasjon over tid. Den nedblandede oljen vil følge havstrømmene, og dens spredning kan derfor være annerledes enn overflateoljen.

Tilsvarende som for overflateolje har vi valgt å illustrere oljekonsentrasjonen i StormDrift ved hjelp av sannsynlighetskart - her uttrykt ved sannsynligheten for at oljekonsentrasjonen i vannsøylen overskrider  $10 \text{ mg/m}^3$ . Et slikt sannsynlighetskart er vist for tilfellet med overflateutslipp på  $8500 \text{ m}^3$  per døgn i Figur 7. Figuren viser sannsynlighetskartet for oljekonsentrasjonen i 10-50 meters dybde, der statistikken er beregnet for hele året.

De største oljekonsentrasjonene inntreffer generelt rett under overflateoljen, og av den grunn bærer figurene noen likhetstrekk med kartene over influensområdene, siden oljen totalt sett har en tendens til å drive nordøstover.

Simuleringene som er gjort avsluttes 30 dager etter at overflateutslippet er avsluttet, dette kan føre til at kartet i Figur 7 underestimerer yttergrensene noe. Men konsentrasjonen av olje vil minke med tid på grunn av naturlige blandingsprosesser, så vi tror ikke det er avgjørende for figur 7.

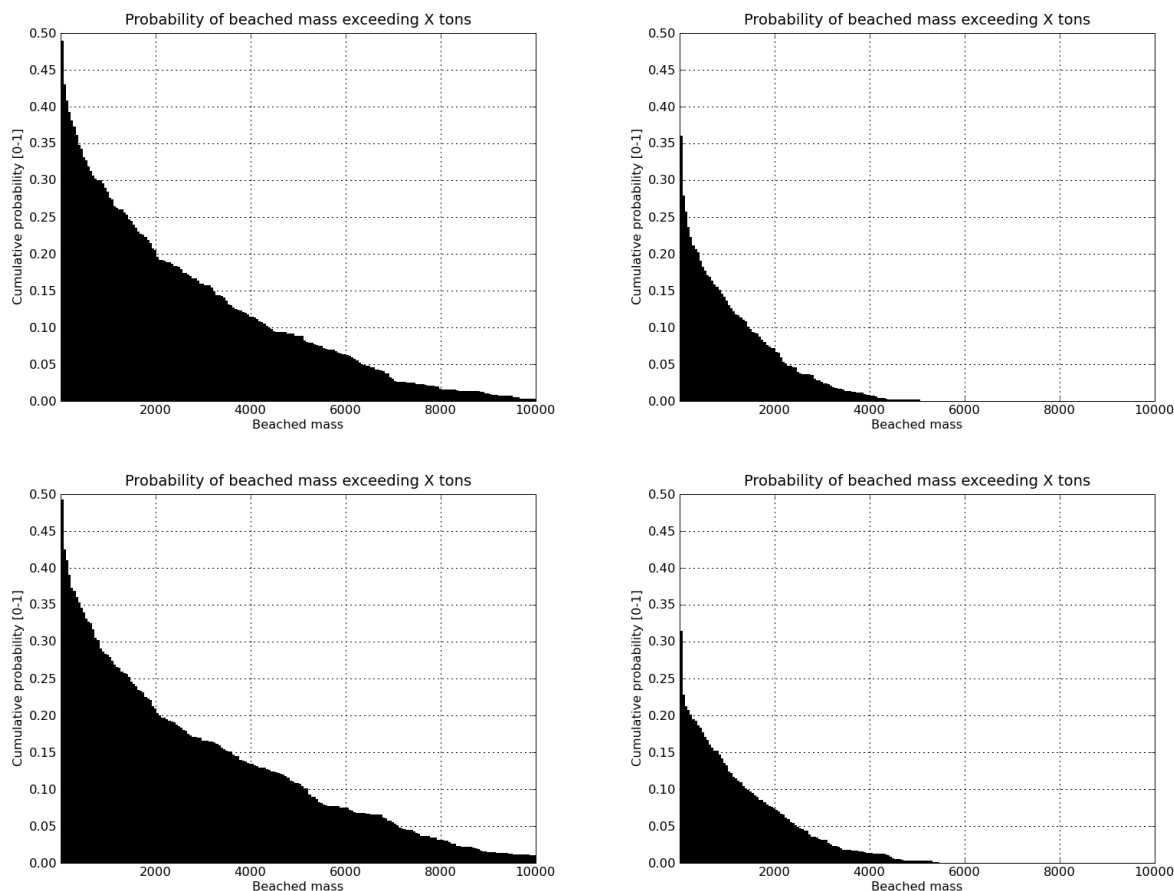


Figur 8: Soneoppdeling brukt i statistikken for strandet olje

### 3.3 Strandet olje

Alvorlighetsgraden av et oljeutslipp blir ofte målt ved påvirkningen det har på kystområder. Det er derfor av interesse å se hvor oljen treffer land, hvor mye av oljen som treffer land, og tidspunktet for når oljen treffer land. Nyttig statistikk i så henseende er derfor fordelinger for tiden oljen bruker på å nå land og hvor mye av oljen som treffer land i forskjellige underområder langs kysten. Denne delen av rapporten presenterer statistikk for disse fordelingene.

Den strandete oljen kan beregnes fra oljedriftssimuleringene. For å få en romlig oversikt over hvor oljen havner, så er modellområdet delt opp i underområder, illustrert i Figur 8. For hvert av underområdene kan man beregne drivtid til land og hvor mye olje som havner i strandsonen. Hver sone indikert i Figur 8 har en assosiert områdekode, som vil bli referert til i de følgende figurene og tabellene.

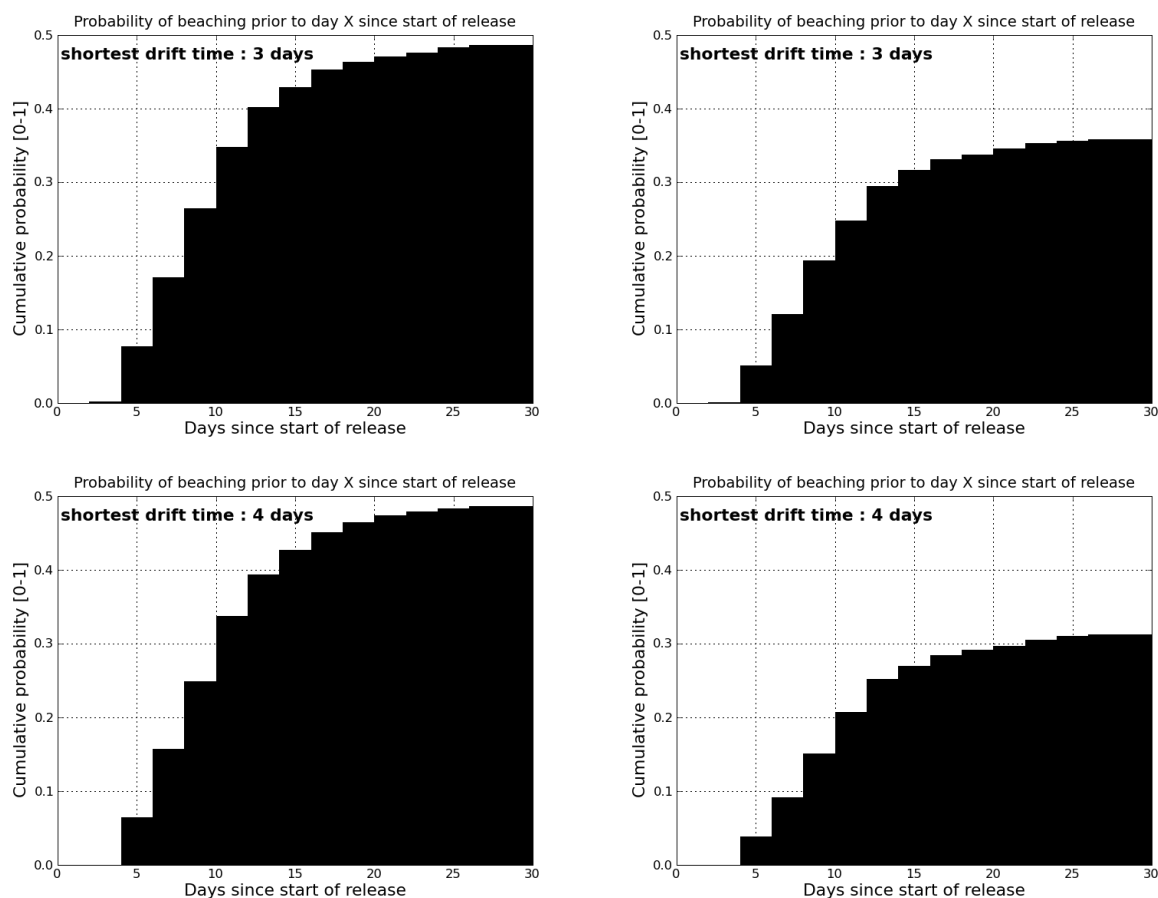


Figur 9: Total strandet oljemasse for de forskjellige scenariene; overflateutslipp med  $8500\text{m}^3/\text{døgn}$  i to døgn (oppe til venstre), overflateutslipp med  $4500\text{m}^3/\text{døgn}$  i to døgn (oppe til høyre), bunnutslipp med  $8500\text{m}^3/\text{døgn}$  i to døgn (nede til venstre), bunnutslipp med  $4500\text{m}^3/\text{døgn}$  i to døgn (nede til høyre).

Til å begynne med ser vi på den totale oljemengden som strander i de forskjellige utslippsscenarioene, denne er gjengitt i Figur 9. Denne figuren kan brukes for å lese av statistikk for strandet masse i simuleringene, ved å se på y-aksen, og finne krysningspunktet for kurven. Verdien på y-aksen vil da gi sannsynligheten for at strandet masse *overskrider* verdien på x-aksen. Tolkningen av histogrammene for drivtid og strandet masse er også illustrert i Appendiks A.

Figuren viser, som i tilfellet med influensområdene, at simuleringene gir liten forskjell mellom sjøbunn og overflateutslipp. Utslippene der raten er  $8500\text{m}^3/\text{døgn}$  gir naturligvis de største mengdene med strandet olje, med strandingsmengder opp mot  $10000\text{m}^3$ , som tilsvarer ca 60% av den totale utslippsmengden. Av plottene ser vi også at risikoen for





Figur 10: Fordeling av drivtid til land for de forskjellige scenariene; overflateutslipp med  $8500\text{m}^3$  i to døgn (oppe til venstre), overflateutslipp med  $4500\text{m}^3$  i to døgn (oppe til høyre), bunnutslipp med  $8500\text{m}^3$  i to døgn (nede til venstre), bunnutslipp med  $4500\text{m}^3$  i to døgn (nede til høyre).

stranding av mer enn ett tonn olje-emulsjon er på rundt 45 % for scenariene med rater på  $8500\text{m}^3/\text{døgn}$ , og rundt 30% for scenariene med rater på  $4500\text{m}^3/\text{døgn}$ .

Fordelingen av drivtid til land kan beregnes fra de forskjellige simuleringene, og er gjengitt i Figur 10. Denne figuren kan igjen brukes for å lese av statistikk for strandet masse i simuleringene, ved å se på y-aksen, og finne krysningspunktet for kurven. Verdien på y-aksen vil da gi sannsynligheten for at drivtid til land er *mindre* enn verdien på x-aksen. Tolkingen av histogrammene for drivtid og strandet masse er også illustrert i Appendiks A.

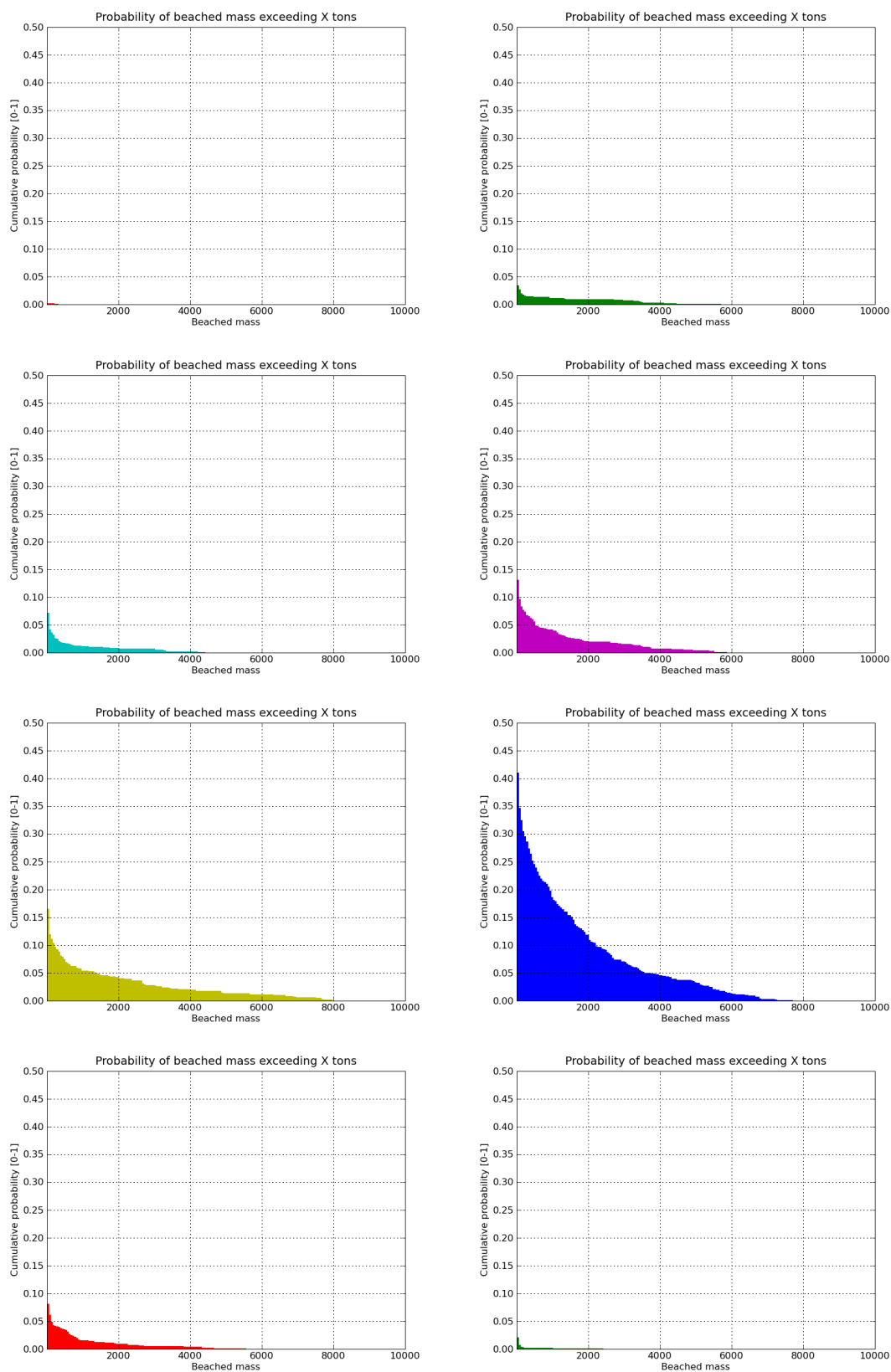
Korteste drivtid er tre dager, som oppstår i tilfellene med overflateutslipp. Fordelingen viser videre at de aller fleste strandingene inntreffer innen 20 dager etter utslippets start,

selv om man i noen tilfeller også ser stranding etter 25 dager.

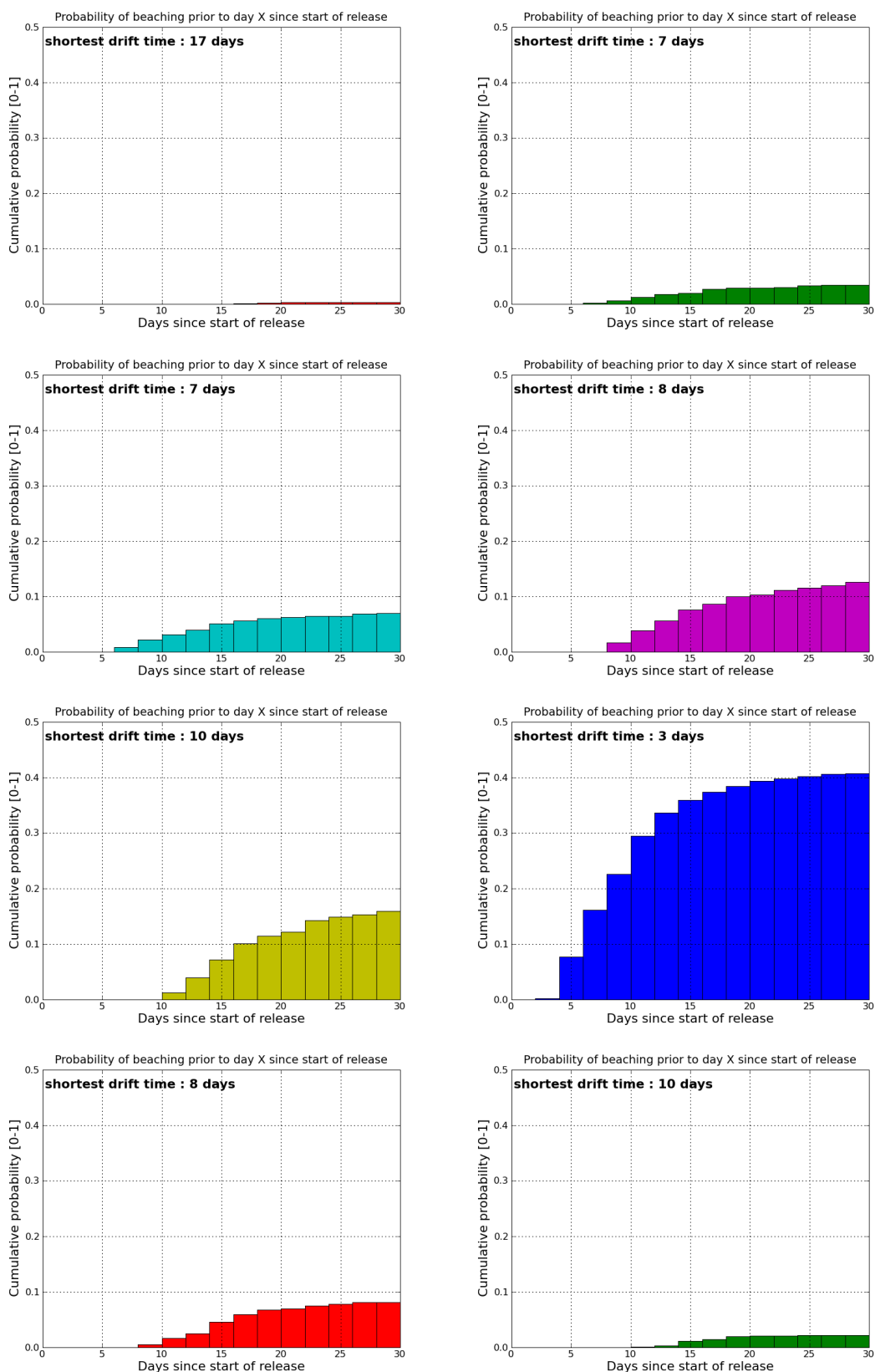
Den regionale oppdelingen i Figur 8 har blitt brukt til å beregne lignende statistikk som i Figur 10 og Figur 9, men nå for hver region. Her gjengir vi bare resultatene for scenariet med overflateutslipp og utslippsrate på  $8500\text{m}^3/\text{døgn}$ . Strandingsmengde-fordeling og drivtidsfordeling for dette scenariet er vist i Figurene 11 og 12.

Av figurene 11 og 12 ser vi at oljen som strander fortrinnsvis gjør dette i område F, som inbefatter Lofoten, herunder øyene Værøy og Røst. Dette området gir også de korteste drivtidene i drivtidsfordelingen. Områdene B, C og D, som dekker deler av Salten, Ofoten og sørlige deler av Vesterålen vil også kunne få signifikante mengder olje i strandssonen, men med noe lenger drivtid enn Lofoten-området. Område G, som dekker deler av Vesterålen vil også kunne se noe strandet olje. For områdene nord for område G, er det beskjedne oljemengder som vil drive i land. Tabell 5 oppsummerer oljedriftsstatistikken for scenariet med  $8500\text{m}^3/\text{dgn}$  utslippsrate på overflaten.

For de resterende scenariene har vi lagt ved tilsvarende plott og tabeller i Appendix B.



Figur 11: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med overflateutslipp og utslippsrate på  $8500\text{m}^3/\text{dgn}$ . Figurene viser massefordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.



Figur 12: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med overflateutslipp og utslippsrate på  $8500\text{m}^3/\text{dgn}$ . Figurene viser drivtidfordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.

Region	median	95th persentil	maks
FULL	0	6397	11049
A	0	0	1284
B	0	0	6223
C	0	27	4952
D	0	521	7412
E	0	1423	10226
F	0	3833	8299
G	0	123	6536
H	0	0	4244

Tabell 2: Statistikk for massen strandet olje i de forskjellige regionene definert i Figur 8. Alle verdier er i tonn.

Region	median	95 persentil	minste drivtid
FULL	–	5	3
A	–	–	17
B	–	–	7
C	–	15	7
D	–	12	8
E	–	14	10
F	–	5	3
G	–	16	8
H	–	–	10

Tabell 3: Drivtid for olje til de forskjellige områdene definert i Figur 8. Total oljemengde må overgå ett tonn i et område for at drivtiden skal være definert, om ikke så er drivtiden indikert med “–”.

### 3.4 Eksempel fra enkeltscenarier

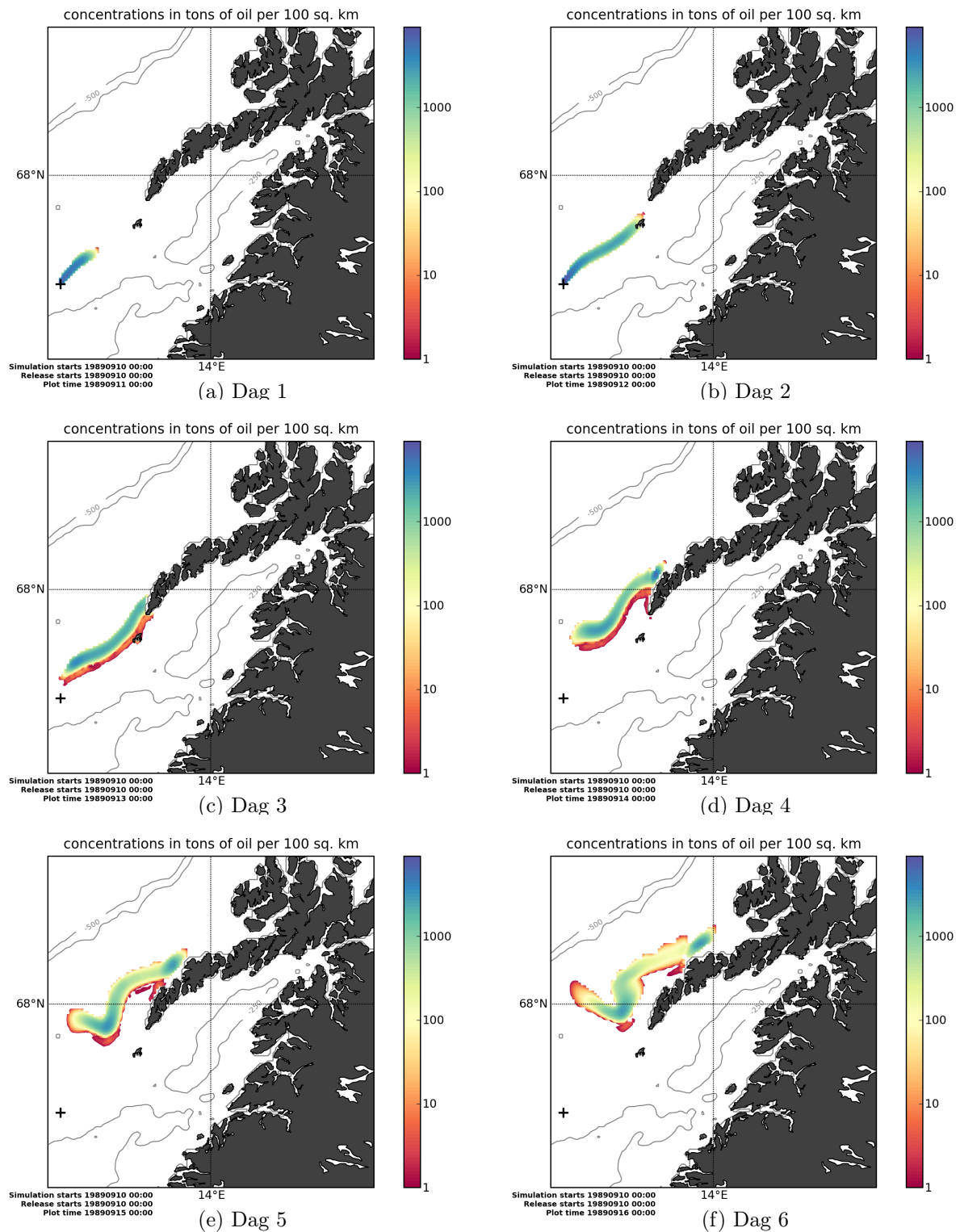
For å illustrere noe av dynamikken i enkeltsimuleringene har vi valgt å vise resultat fra to simuleringer, begge fra scenariet med overflateutslipp, og med utslippsrate på  $8500 \text{ m}^3/\text{døgn}$ . De to simuleringene er fra 95 persentil-scenariene for kortest drivtid til land, og mest strandet masse, hhv. i Figur 13 og 14.

Konsentrasjonen av olje på overflaten er oppgitt i tonn per  $100 \text{ km}^2$ . Igjen vil vi presisere at dette kun er en konsentrasjon og ikke reflekterer oppløsningen i plottene, 1 tonn per  $100 \text{ km}^2$  tilsvarer feks  $10 \text{ kg per km}^2$ , alle plottene bruker modelldata på dens oppløsning, som er 2 km.

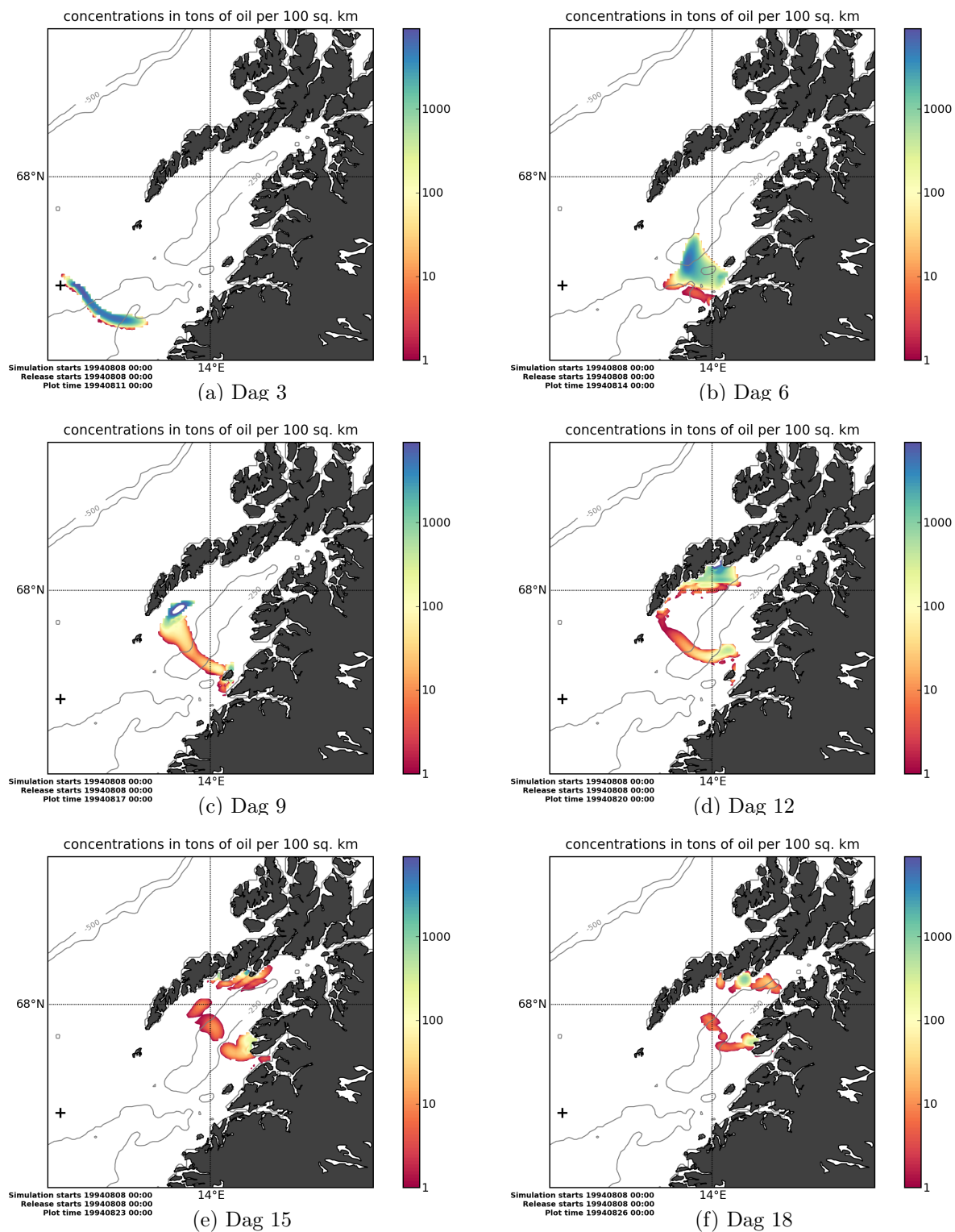
Scenariet med 95 persentil simuleringen for kortest drivtid til land er vist i Figur 13. Dette scenariet starter den 7. Juli i 1989. Plottet viser hvordan en drift mot nordøst driver oljen mot Røst, og strandingen av oljen inntreffer primært på Røst og i Lofoten. Dette området ligger nærmest utslippspunktet, så det er ikke overraskende at mange av scenariene med kortest drivtid treffer her. Scenariet illustrerer også hvordan oljeflaket blir deformert underveis, som en følge av lokale strømforhold i området. Dette tydeliggjør viktigheten av gode strømdata i spredningen og transporten av oljeutslippene.

Scenariet ved 95 persentilen for strandet masse er vist i Figur 13. Dette scenariet viser en østlig drift av oljen før den treffer kystområder utenfor Bodø på dag 6. Den største strandingen av olje inntreffer i dette området, men noe av oljen driver etter hvert nordover mot Lofoten, og etter hvert nordøstover.

Både 95 persentil scenariet for mest strandet masse, og for kortest drivtid til land inntreffer i sommerhalvåret. Dette er ikke overraskende, når man tar i betraktning influensområdene som ble vist i del 3.1.



Figur 13: Tidsevolusjonen til overflateoljen. Bildene er fra 95 persentilkjøringen av de simuleringene som gir kortest drivtid til land, i scenariet med overflateutslipp på  $8500 \text{ km}^3$  per døgn. De forskjellige bildene illustrerer situasjonen på forskjellige tidspunkt etter at utslippet starter. Starttid for denne modellsimuleringen er 7. Juli 1989.



Figur 14: Tidsevolusjonen til overflateoljen. Bildene er fra 95 persentil simuleringen av de som gir mest strandet oljemasse, i scenariet med overflateutslipp på  $8500 \text{ km}^3$  per døgn. De forskjellige bildene illustrerer situasjonen på forskjellige tidspunkt etter at utslippet starter. Starttid for denne modellsimuleringen er 5. Juli 1993.



## 4 Oppsummering

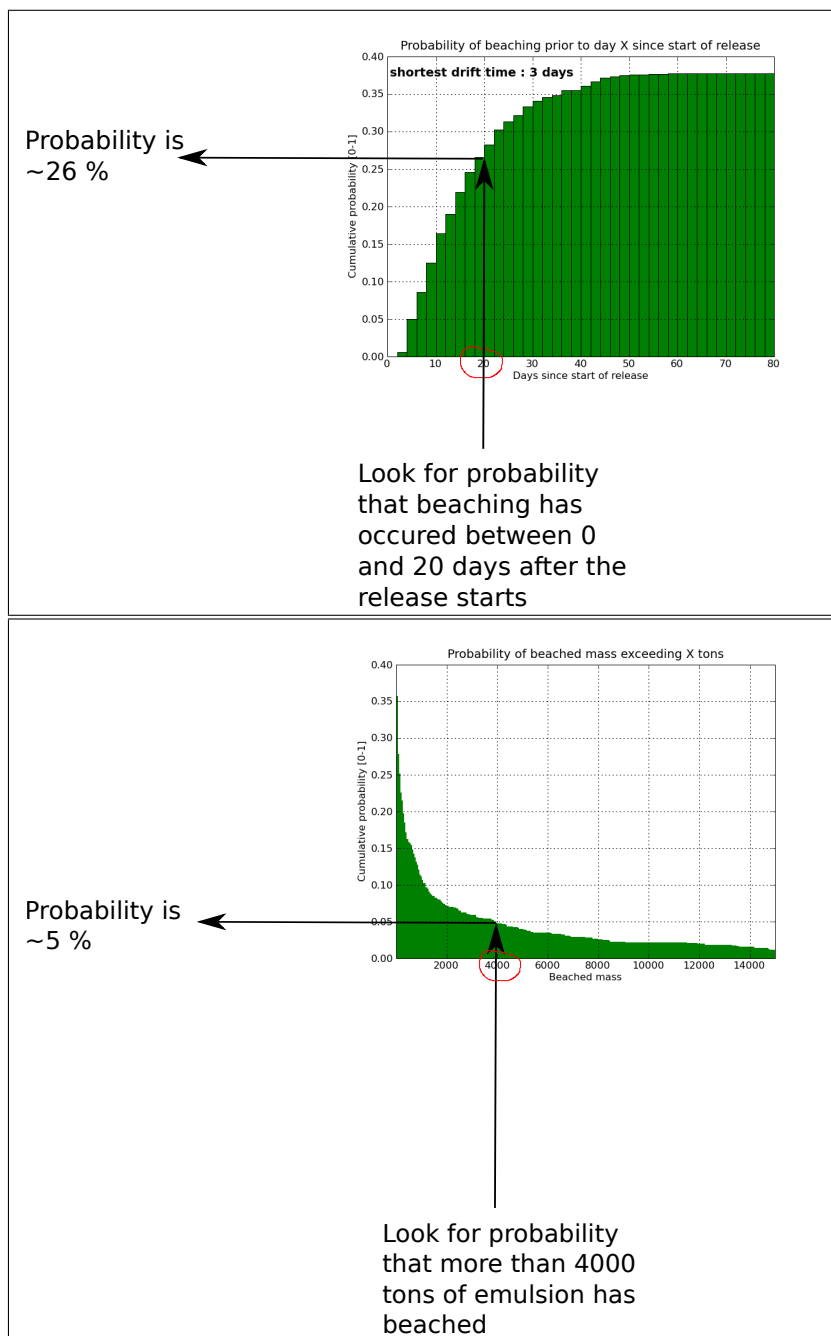
Oljedriftssimuleringer har blitt utført for brønnlokasjon  $11^{\circ}13'50''\text{E}$ ,  $67^{\circ}14'20''\text{N}$ . Totalt fire scenarier har blitt simulert, med forskjellige utslippsrater ( $8500\text{ m}^3/\text{døgn}$  og  $4500\text{ m}^3/\text{døgn}$ ) og forskjellige typer utslipp (overflate og sjøbunn). Felles for alle simuleringene er at utslippene varer i to døgn.

Simuleringene bruker oljeparametre basert på Balder-oljen, og viser at store oljemengder vil kunne nå kysten i Lofoten, Ofoten og Vesterålen. Simuleringene viser videre at der er stor sesongvariasjon når det gjelder utbredelsen av utslippene. I høst og vintersesongen vil grov sjø sørge for at mye av overflateoljen blir brutt ned og mikset i vannsøylen før den når land.

Under arbeidet med rapporten har det blitt oppdaget at metodikken som ble brukt for sjøbunnsutslipp ikke kan anvendes direkte på en Eulersk modell, som StormDrift er. Dette kunne spesielt sees på influensområdene som var veldig like for sjøbunns og overflateutslipp med lik utslippsrate. Resultatene må derfor sees med det i mente. En bedre beskrivelse av sjøbunnsutslipp er planlagt implementert i StormDrift.

## A Tolking av masse og drivtid-histogram

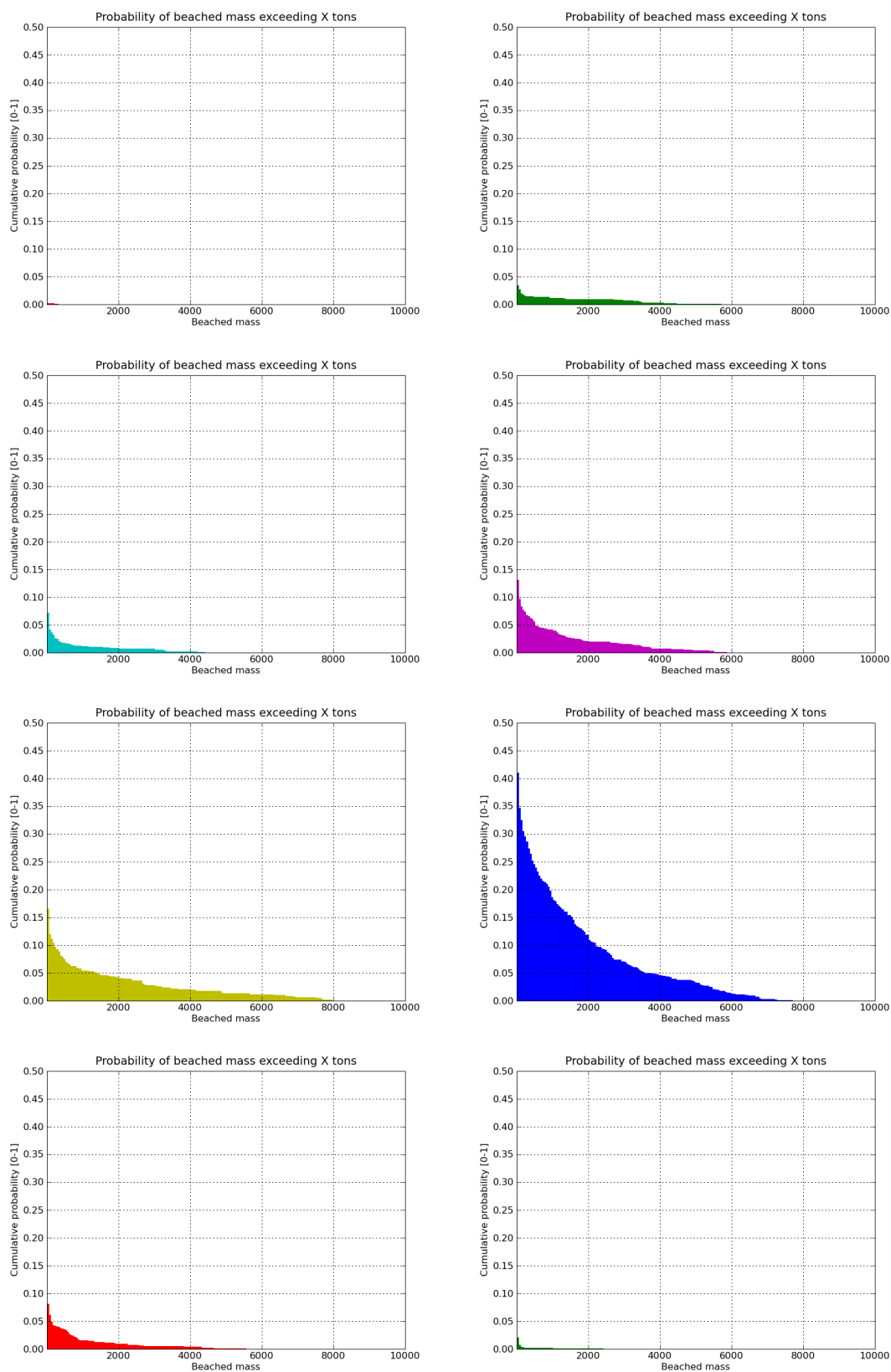
Tolkingen av drivtid og strandet masse - histogrammene er illustrert Figur 15.



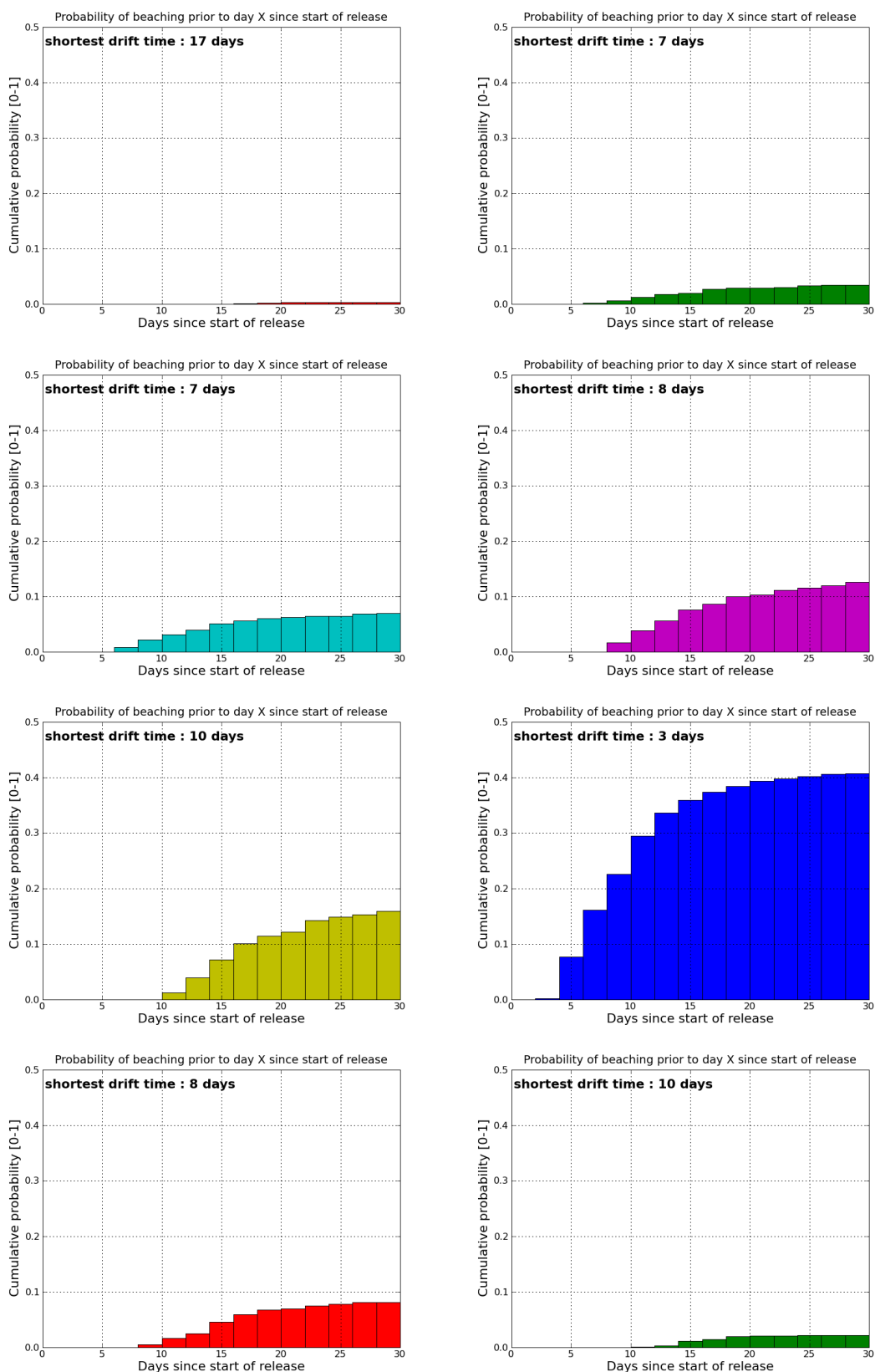
Figur 15: Tolking av drivtids-histogram(topp) og histogram for strandet masse (bunn).

## B Strandingsstatistikk fra alle scenariene

### B.1 Overflateutslipp, utslippsrate på $8500\text{m}^3/\text{dgn}$



Figur 16: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med overflateutslipp og utslippsrate på  $8500\text{m}^3/\text{dgn}$ . Figurene viser massefordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.



Figur 17: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med overflateutslipp og utslippsrate på 8500m<sup>3</sup>/dgn. Figurene viser drivtidfordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.

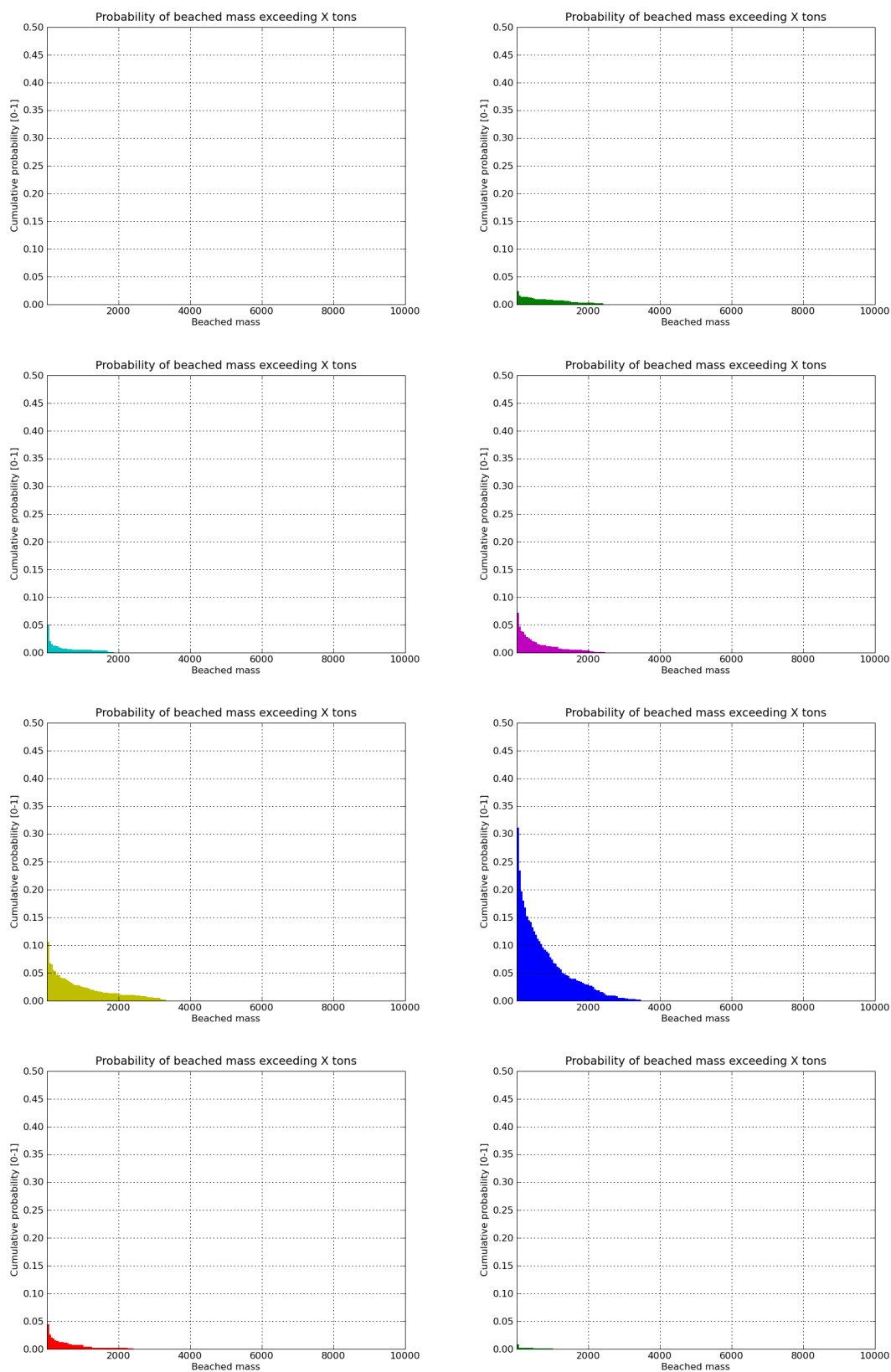
Region	median	95th persentil	maks
FULL	0	6397	11049
A	0	0	1284
B	0	0	6223
C	0	27	4952
D	0	521	7412
E	0	1423	10226
F	0	3833	8299
G	0	123	6536
H	0	0	4244

Tabell 4: Statistikk for massen strandet olje i de forskjellige regionene definert i Figur 8. Alle verdier er i tonn.

Region	median	95 persentil	minste drivtid
FULL	–	5	3
A	–	–	17
B	–	–	7
C	–	15	7
D	–	12	8
E	–	14	10
F	–	5	3
G	–	16	8
H	–	–	10

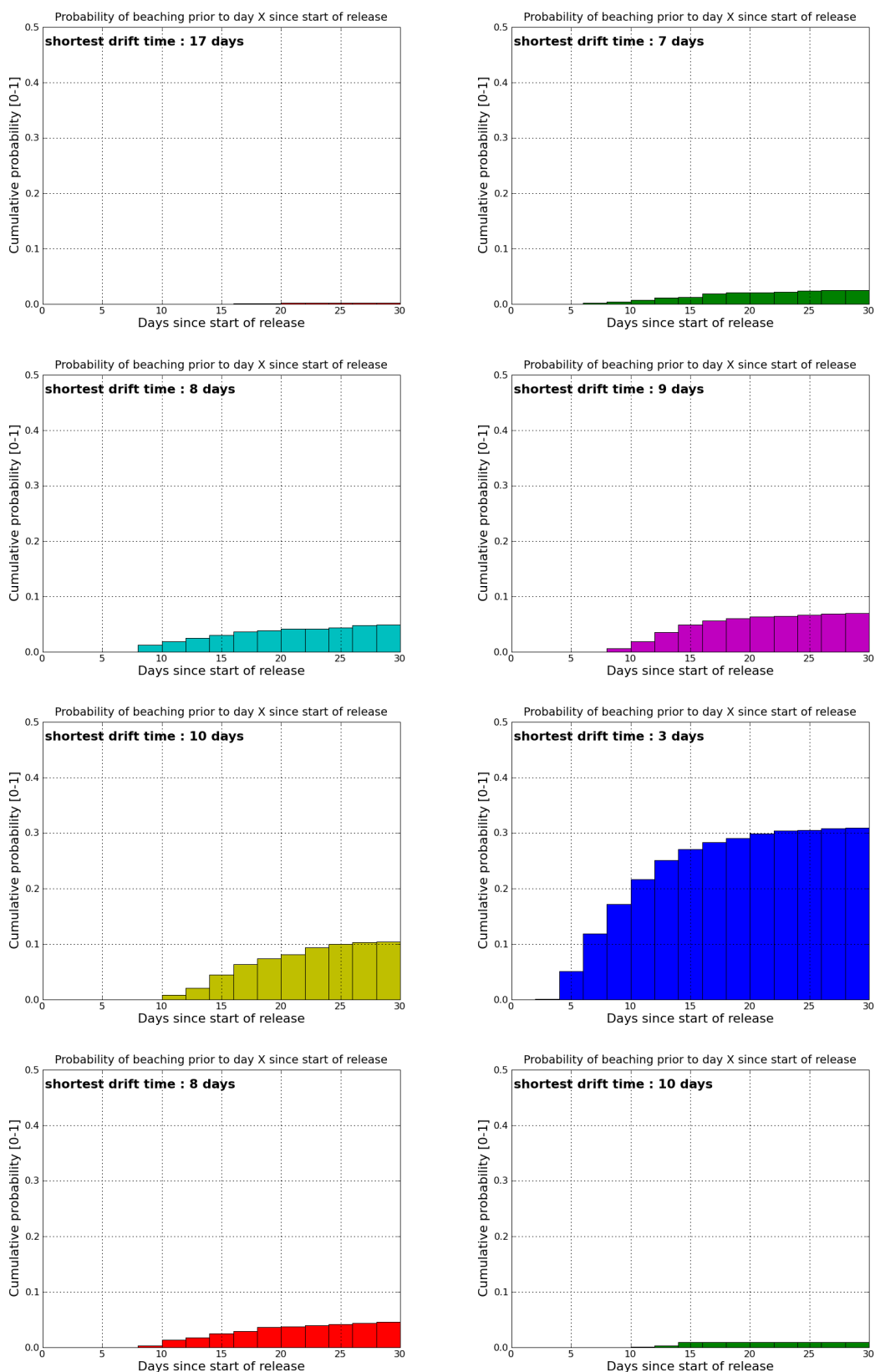
Tabell 5: Drivtid for olje til de forskjellige områdene definert i Figur 8. Total oljemengde må overgå ett tonn i et område for at drivtiden skal være definert, om ikke så er drivtiden indikert med “–”.

## B.2 Overflateutslipp, utslippsrate på 4500m<sup>3</sup>/dgn



Figur 18: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med overflateutslipp og utslippsrate på  $4500\text{m}^3/\text{dgn}$ . Figurene viser massefordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.





Figur 19: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med overflateutslipp og utslippsrate på 4500m<sup>3</sup>/dgn. Figurene viser drivtidfordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.

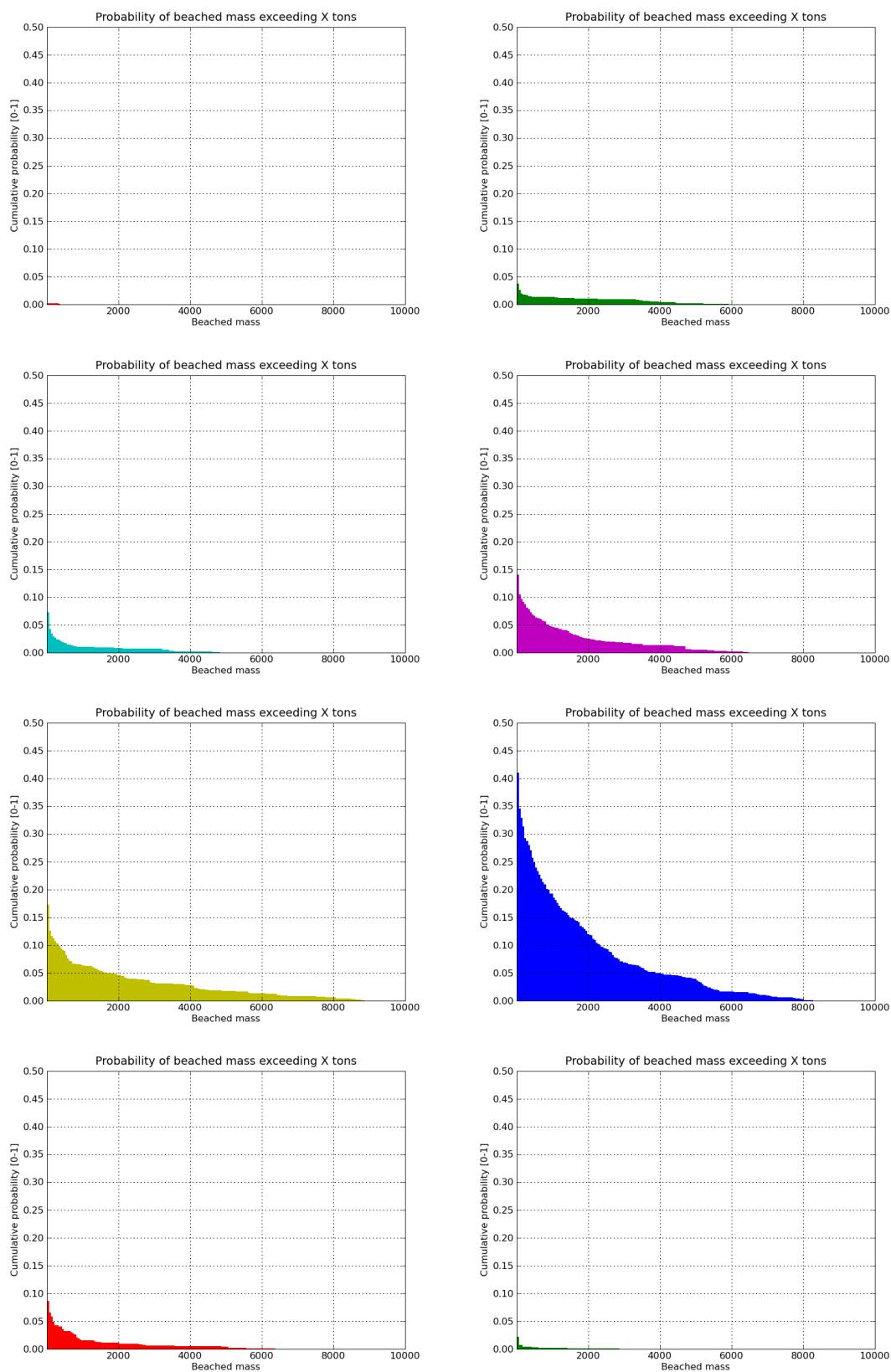
Region	median	95th persentil	maks
FULL	0	2238	5470
A	0	0	25
B	0	0	2818
C	0	1	1964
D	0	48	3280
E	0	248	5087
F	0	1281	3843
G	0	0	2767
H	0	0	2040

Tabell 6: Statistikk for massen strandet olje i de forskjellige regionene definert i Figur 8. Alle verdier er i tonn.

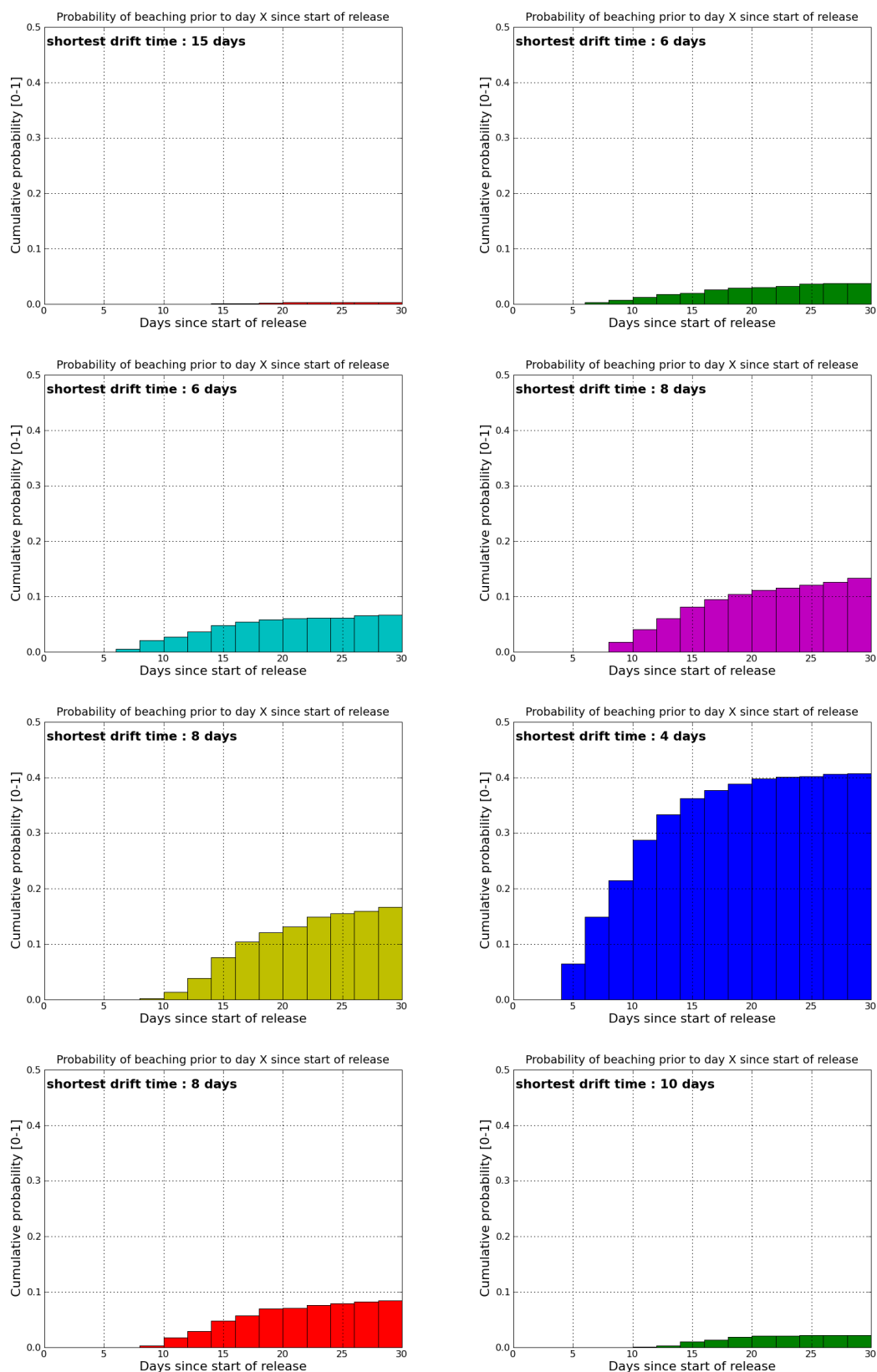
Region	median	95 persentil	minste drivtid
FULL	–	5	3
A	–	–	17
B	–	–	7
C	–	30	8
D	–	16	9
E	–	16	10
F	–	5	3
G	–	–	8
H	–	–	10

Tabell 7: Drivtid for olje til de forskjellige områdene definert i Figur 8. Total oljemengde må overgå ett tonn i et område for at drivtiden skal være definert, om ikke så er drivtiden indikert med “–”.

### **B.3 Sjøbunnutslipp, utslippsrate på 8500m<sup>3</sup>/dgn**



Figur 20: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med sjøbunntslipp og utslippsrate på  $8500\text{m}^3/\text{dgn}$ . Figurene viser massefordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.



Figur 21: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med sjøbunntslipp og utslippsrate på 8500m<sup>3</sup>/dgn. Figurene viser drivtidfordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.

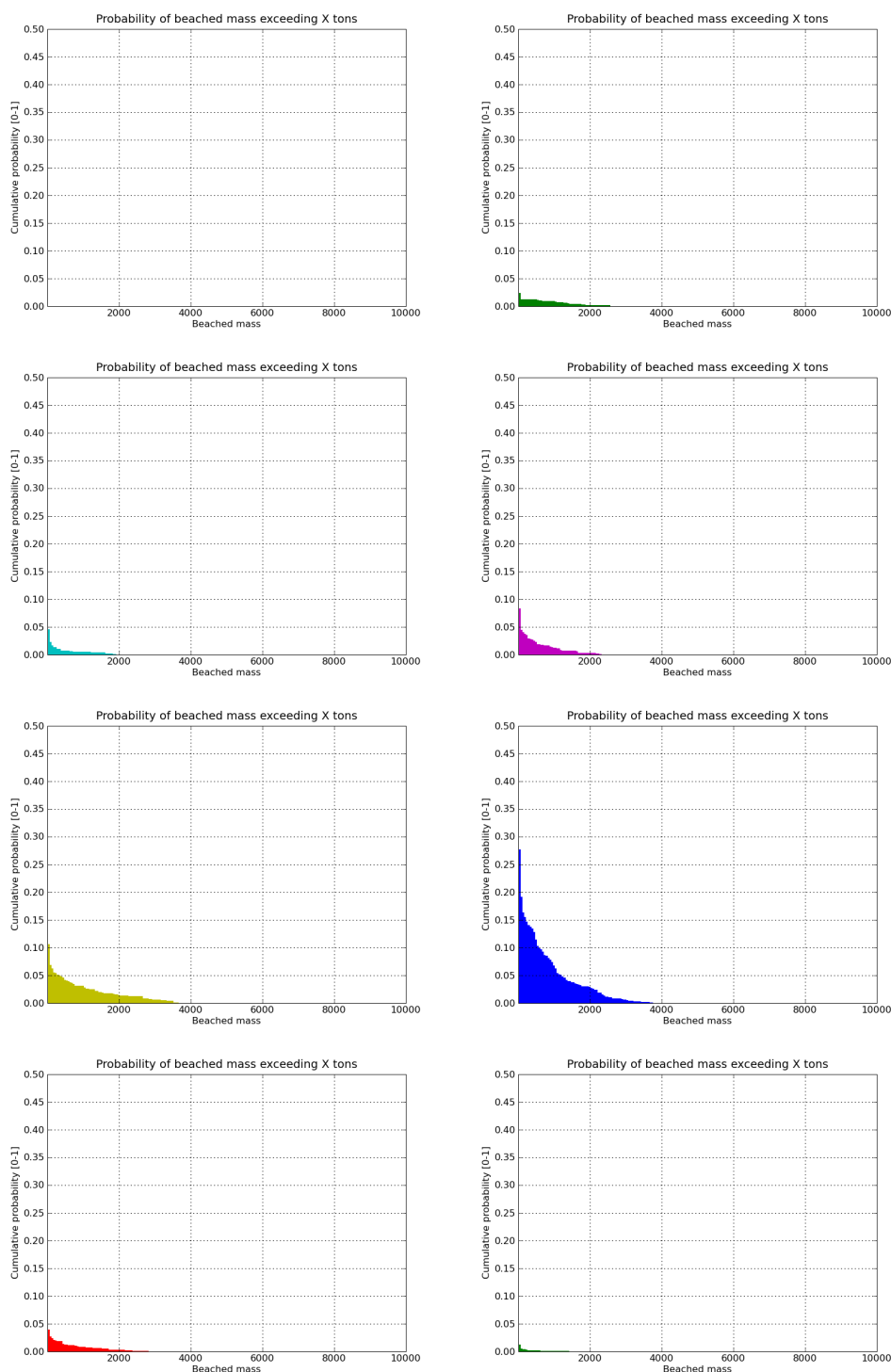
Region	median	95th persentil	maks
FULL	0	7097	11744
A	0	0	1467
B	0	0	6565
C	0	38	4940
D	0	870	6551
E	0	1899	10345
F	0	4032	8538
G	0	159	7659
H	0	0	4449

Tabell 8: Statistikk for massen strandet olje i de forskjellige regionene definert i Figur 8. Alle verdier er i tonn.

Region	median	95 persentil	minste drivtid
FULL	–	5	4
A	–	–	15
B	–	–	6
C	–	16	6
D	–	12	8
E	–	14	8
F	–	5	4
G	–	16	8
H	–	–	10

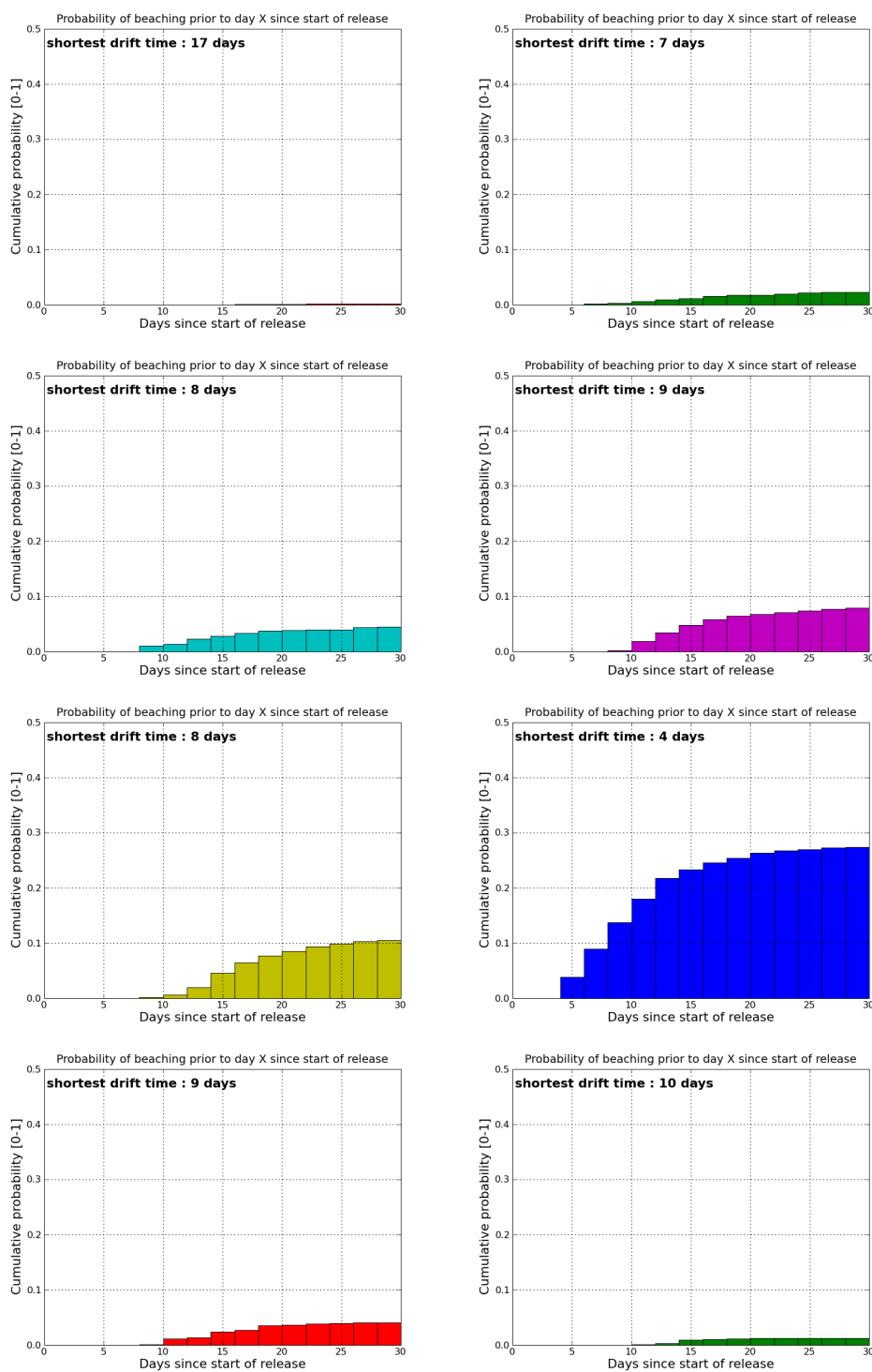
Tabell 9: Drivtid for olje til de forskjellige områdene definert i Figur 8. Total oljemengde må overgå ett tonn i et område for at drivtiden skal være definert, om ikke så er drivtiden indikert med “–”.

## **B.4 Sjøbunnutslipp, utslippsrate på 4500m<sup>3</sup>/dgn**



Figur 22: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med sjøbunnutslipp og utslippsrate på  $4500\text{m}^3/\text{dgn}$ . Figurene viser massefordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.





Figur 23: Fordeling av strandet oljemengde for scenarioet med sjøbunntslipp og utslippsrate på 4500m<sup>3</sup>/dgn. Figurene viser drivtidfordeling i enkeltregionene i Figur 8. I øverste rekke, region A og B, neste rekke; region C og D, neste rekke; region E og F, og nederste rekke, region G og H.

Region	median	95th persentil	maks
FULL	0	2452	5562
A	0	0	15
B	0	0	2792
C	0	0	2008
D	0	23	2469
E	0	339	5011
F	0	1185	3963
G	0	0	3178
H	0	0	2146

Tabell 10: Statistikk for massen strandet olje i de forskjellige regionene definert i Figur 8. Alle verdier er i tonn.

Region	median	95 persentil	minste drivtid
FULL	–	6	4
A	–	–	17
B	–	–	7
C	–	–	8
D	–	16	9
E	–	16	8
F	–	6	4
G	–	–	9
H	–	–	10

Tabell 11: Drivtid for olje til de forskjellige områdene definert i Figur 8. Total oljemengde må overgå ett tonn i et område for at drivtiden skal være definert, om ikke så er drivtiden indikert med “–”.

## Bibliografi

- Amante, C., and B. W. Eakins, Etopo1 1 arc-minute global relief model: Procedures, data sources and analysis., *Tech. Rep. Technical Memorandum NESDIS NGDC-24*, NOAA, 2009, 19 pp.
- Lewis, A., M. Reed, O. M. Aamo, and K. Downing, Weathering behaviour of balder crude oil and oil spill response strategies, *Tech. Rep. 41.5163.00/01/96*, SINTEF Petroleum Research, 1996.
- Lisæter, K. A., and N. G. Winther, Recent improvements to the StormDrift oil spill model, *Tech. Rep. Storm Report Series X(XX)*, Storm Weather Center, 2009, Draft version.
- Røed, L. P., J. Albretsen, and Y. Gausdal, Strømstatistikk for Lofoten-området, *Tech. Rep. Note No. 13*, Norsk Meteorologisk Institutt, 2009.
- Rudberg, A., Oljedriftsmodellering i lofoten og barentshavet; spredning av olje ved akutte utslipp til sjø. ulb delutredning 7-a, *Tech. Rep. 2003-0385*, Det Norske Veritas, 2003.
- Tkalich, P., M. Huda, and K. Gin, A multiphase oil spill model, *J. Hydraulics Res.*, 41, 115–125, 2003.
- Uppala, S. M., D. Dee, S. Kobayashi, P. Berrisford, and A. J. Simmons, Towards a climate data assimilation system: Status update of ERA-Interim., *ECMWF Newsletter* 115, 2008.
- Winther, N. G., and K. A. Lisæter, StormDrift - Development of an oil drift model by Storm Weather Center, *Tech. Rep. Storm Report Series 7(8)*, Storm Weather Center, 2009.