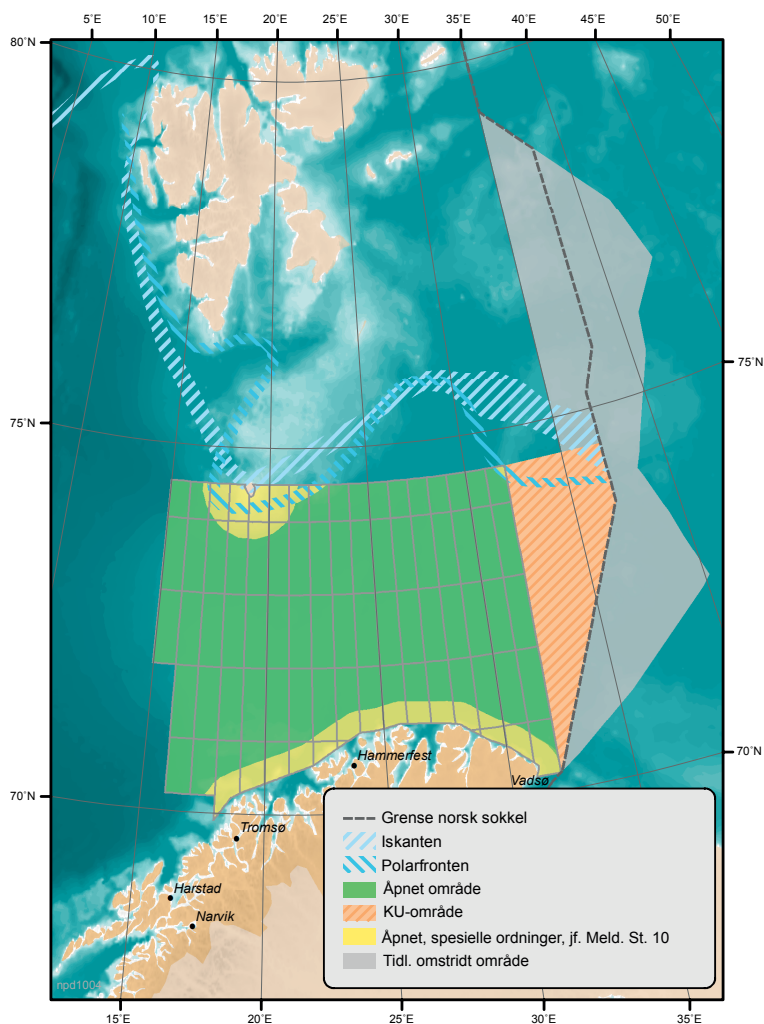
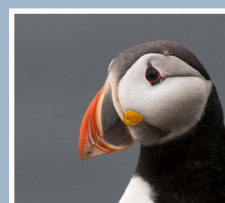
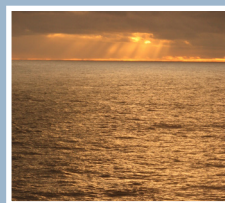




Oljedriftsmodellering og analyse av gassutblåsning i Barentshavet sørøst

Konsekvensutredning for Barentshavet sørøst
Utarbeidet på oppdrag fra Olje- og energidepartementet



Innledning ved Olje- og energidepartementet **Åpningsprosessen for Barentshavet sørøst**

Før et område kan åpnes for petroleumsvirksomhet må det gjennomføres en åpningsprosess. En åpningsprosess har som formål å utrede det faglige grunnlaget for Stortingets beslutning om åpning av et område.

En åpningsprosess består av to hovedelementer. Den ene delen er en vurdering av ressurspotensialet i området. Den andre delen er en vurdering av de næringsmessige, miljømessige og andre samfunnsmessige virkninger av petroleumsvirksomhet i området (konsekvensutredning).

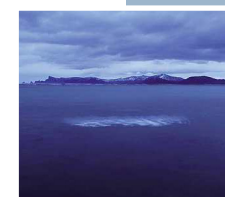
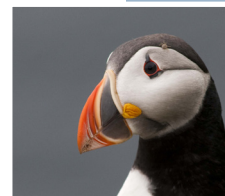
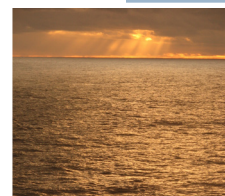
Konsekvensutredningen skal belyse spørsmål som fare for forurensning og økonomiske og samfunnsmessige virkninger petroleumsvirksomhet kan ha. En konsekvensutredning er en sentral del av en åpningsprosess og gjennomføres i regi av Olje- og energidepartementet.

Første del av konsekvensutredningsprosessen innebærer utarbeidelse av et utredningsprogram. Utredningsprogrammet angir temaene for konsekvensutredningen. For å belyse de ulike temaene utarbeides det ulike fagutredninger. Olje- og energidepartementet oppsummerer de ulike utredningene i en konsekvensutredningsrapport som sendes på offentlig høring.

Utredningene, høringsuttalelsene, vurderingen av ressurspotensialet og annen relevant informasjon som har framkommet i prosessen danner grunnlag for en melding til Stortinget. Stortinget tar stilling til åpning eller ikke åpning av hele eller deler av det aktuelle område, inklusive eventuelle vilkår.

Denne rapporten er en av flere faglige utredningsrapporter som inngår i en serie underlagsrapporter til Konsekvensutredning om virkninger av petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst. Utrederen står inne for det faglige innholdet i rapporten.

Utredningen er laget på oppdrag for Olje- og energidepartementet. Arbeidet vil inngå i en konsekvensutredningsrapport som er planlagt sendt på offentlig høring 4. kvartal 2012. Det er lagt opp til at regjeringens vurdering av spørsmålet om åpning av områder for petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst legges frem for Stortinget våren 2013.





DET NORSKE VERITAS

Rapport

Oljedriftsmodellering og analyse av gassutblåsning i Nordområdene - Barentshavet sørøst

Olje- og energidepartementet



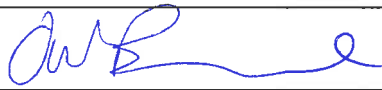
1864

Oljedriftsmodellering og analyse av gassutblåsning i Nordområdene - Barentshavet sørøst	DET NORSKE VERITAS AS P.O.Box 300 1322 Høvik, Norway Tlf: +47 67 57 99 00 Faks: +47 67 57 99 11 http://www.dnv.com Org. nr.:
Oppdragsgiver: Olje- og energidepartementet Postboks 8148 Dep 0033 OSLO Norway	
Oppdragsgivers referanse: Steinar Nesse	

Dato for første utgivelse:	2012-10-03	Prosjektnr.:	PP039868
Rapportnr.:	2012-1244	Organisasjonsenhet:	Environmental Risk Management
Revisjon nr.:	00	Emnegruppe:	Oljedrift

Sammendrag:

I forbindelse med at Olje- og energidepartementet (OED) skal utarbeide et beslutningsgrunnlag for spørsmålet om åpning for petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst har Det Norske Veritas (DNV) utført oljedriftsmodelleringer for definerte utslippsscenarioer med SINTEFs OSCAR modell. DNV har også gjennomført en faglig vurdering av hvordan en tenkt gassutblåsning vil oppføre seg og spres i vannsøylen, fra gassen kommer ut i vannet til den når overflaten. Det er gjennomført oljedriftsmodelleringer for 4 lokasjoner i Barentshavet sørøst med Kobbøljen. Det er modellert 18 utslippsscenarioer per lokasjon, 3 utslipprater og 3 varigheter for både overflate- og sjøbunnsutblåsning. Strømdata fra perioden 1998-2005 med 4x4 km oppløsning er anvendt i modelleringen sammen med historiske vind- og isutbredelsesdata.

Utarbeidet av:	<i>Navn og tittel</i> Anders Rudberg (Prosjektleder) Linn Marie Pickard Dana Medukhanova Odd Willy Brude	<i>Signatur</i> 
Verifisert av: <i>for</i>	<i>Navn og tittel</i> Harald Bjarne Tvedt Principal Consultant	<i>Signatur</i> 
Godkjent av:	<i>Navn og tittel</i> Odd Willy Brude Business Manager	<i>Signatur</i> 

<input checked="" type="checkbox"/>	Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet, men fri distribusjon innen DNV etter 3 år	Indekseringstermer	
<input type="checkbox"/>	Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet	Nøkkelord	Barentshavet, OSCAR, Kobbølje
<input type="checkbox"/>	Strengt konfidensiell	Service-område	
<input type="checkbox"/>	Fri distribusjon	Markeds-segment	

Revisjon nr. / Dato:	Årsak for utgivelse:	Utarbeidet av:	Godkjent av:	Verifisert av:

Innholdsfortegnelse

KONKLUDERENDE SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	4
2 SCENARIER OG INPUT FOR OLJEDRIFTSMODELLERING	7
2.1 Lokasjoner	7
2.2 Utblåsningsrater og – varigheter	7
2.2.1 Utledning av sannsynlighetsfordeling på ratene	8
2.3 Oljetype	9
2.4 Fysisk miljø	9
3 METODE FOR OLJEDRIFT	11
3.1 Oljedriftsmodellen OSCAR	11
4 RESULTATER SPREDNINGSBEREGNINGER	14
4.1 Enkeltsimuleringer	14
4.2 Strandingsstatistikk	20
4.3 Influensområder – havoverflate	28
4.3.1 Enkeltsimulering og influensområder.....	28
4.3.2 Influensområder – treffsannsynlighet for oljemengder over 1 tonn	32
4.3.3 Influensområder – treffsannsynlighet for ulike oljemengder	38
5 SPREDNING AV GASS FRA UNDERVANNSUTSLIPP	40
5.1 Beregning	41
5.2 Metode.....	43
6 REFERANSER	44
Vedlegg 1 USIKKERHETER OG BETYDNINGEN AV INNGANGSDATA I OSCAR- MODELLERINGER	

KONKLUDERENDE SAMMENDRAG

I forbindelse med at Olje- og energidepartementet (OED) skal utarbeide et beslutningsgrunnlag for spørsmålet om åpning for petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst har Det Norske Veritas (DNV) utført oljedriftsmodelleringer for definerte utslippsscenarioer med SINTEFs OSCAR modell. DNV har også gjennomført en faglig vurdering av hvordan en tenkt gassutblåsning vil oppføre seg og spres i vannsøylen, fra gassen kommer ut i vannet til den når overflaten. Det er gjennomført oljedriftsmodelleringer for 4 lokasjoner i Barentshavet sørøst med Kobbeoljen. Det er modellert 18 utslippsscenarioer per lokasjon, 3 utslippsrater og 3 varigheter for både overflate- og sjøbunnsutblåsning.

Strømdata fra perioden 1998-2005 med 4×4 km oppløsning er anvendt i modelleringen sammen med historiske vinddata. Den høye horisontale oppløsningen (sammenlignet med tidligere studier) på strømdataene gir en bedre beskrivelse av strømforholdene i dette havområdet.

På grunn av sesongmessige variasjoner i isutbredelse er resultatene fra oljedriften for de to nordligste lokasjonene B-L1 og B-O1 presentert sesongvis: vår, sommer, høst og vinter.

De statistiske resultatene for den nordligste lokasjonen B-L1 viser at influensområdene berører iskanten i nord om våren, sommeren og vinteren, mens for lokasjonen B-O1 berører influensområdene iskanten vår og sommer. Iskantutbredelsesdataene som hovedsakelig er anvendt er månedsmidlete data fra perioden 2001-2011. Det gjøres oppmerksom på at isutbredelsesdata fra to ulike perioder er anvendt for de ulike sesongene. Et (vektet) influensområde er i denne sammenhengen definert som sannsynlighet for treff av olje over 5 % basert på alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. For lokasjonen B-O2 treffer influensområdet hverken iskant eller land. For den sørligste lokasjonen B-L2 berører influensområdet kysten fra Nordkinnhalvøya i vest til 300 km av Russland i øst.

Resultatene fra oljedriftsstatistikken for olje til iskanten viser at for den nordligste lokasjonen B-L1 vil en forventet oljemengde være 1036 tonn olje om sommeren, mens om våren 299 tonn. Det forventes ingen olje om høsten og vinteren med de iskantutbredelsesdataene som er anvendt. Forventet ankomsttid til iskanten er 2,3 døgn om sommeren og 4,7 døgn om våren.

For lokasjon B-O1 forventes det ingen olje til iskanten for noen av sesongene.

Resultatene fra oljedriftsstatistikken for oljemengder til kyst- og strandsone viser at for lokasjon B-O2 forventes det ingen olje til kyst- og strandsone. For den sørligste lokasjonen B-L2, nærmest land, er forventet oljemengde 2 tonn og forventet ankomsttid er 8,3 døgn.



1 INNLEDNING

Regjeringen har besluttet å starte en åpningsprosess, Meld. St. 10 (2010-2011), for petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst, med sikte på tildeling av utvinningstillatelser. I tråd med Lov om petroleumsvirksomhet § 3-1, skal Olje- og energidepartementet utarbeide et beslutningsgrunnlag, herunder konsekvensutredning, for spørsmålet om åpning for petroleumsvirksomhet.

På bakgrunn av dette har OED inngått en avtale med Det Norske Veritas (DNV) om levering av oljedriftsmodelleringer i forbindelse med konsekvensutredningen i det sørøstlige Barentshavet.

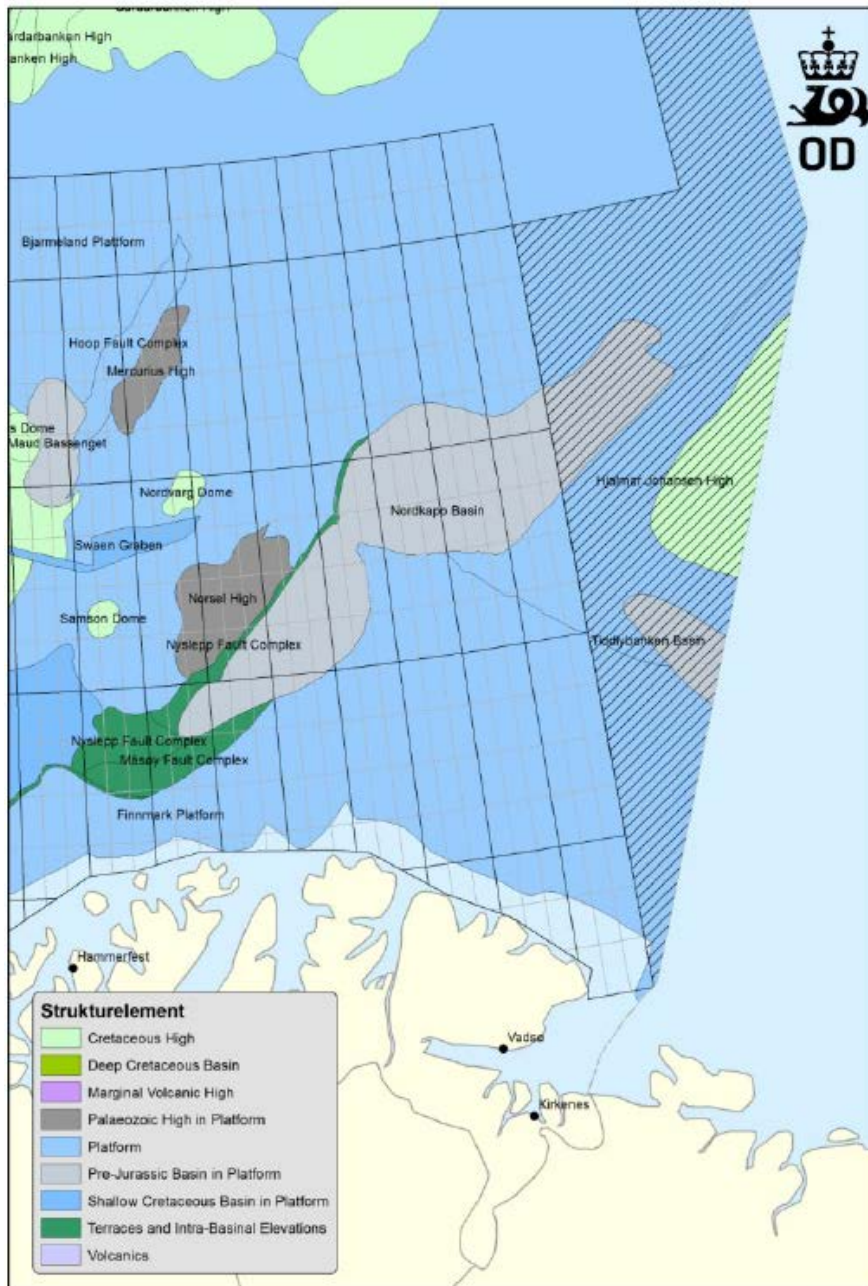
DNV har utført statistiske oljedriftsmodelleringer samt modellering av utvalgte enkeltsimuleringer for utslippsscenarioer definert i konsekvensutredningen. Et utslippsscenario er definert som et tenkt oljeutslipp fra én geografisk lokasjon, overflate- og sjøbunnsutslipp, én olje eller kondensattype for 3 utslippsrater og 3 utslippsvarigheter.

DNV har også gjennomført en faglig vurdering av hvordan en tenkt gassutblåsning vil oppføre seg og spres i vannsøylen, fra gassen kommer ut i vannet til den når overflaten.

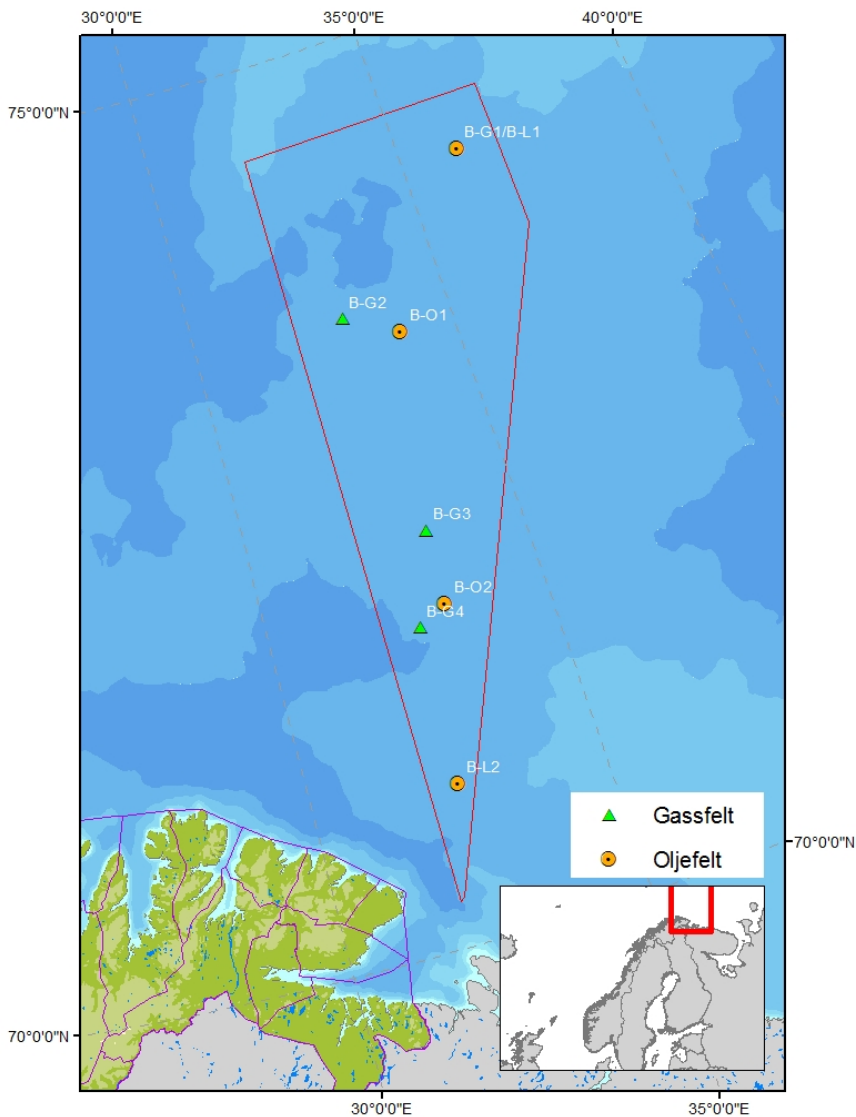
Et viktig tema i konsekvensutredningen (KU) er miljørisiko ved akuttutslipp både over og under havoverflaten. Resultatene av oljedriftstudien vil være viktig input til miljørisikoanalysen, DNV rapport 2012-1314, og oljevernberedskapsanalysen, DNV rapport 2012-1267.

Konsekvensutredningen dekker det tidligere omstridte området vest for avgrensningsslinjen mellom Norge og Russland i Barentshavet sørøst. Det er påvist petroleum både øst og vest for dette området. I Barentshavet sør er det gjort funn på Bjarmelandsplattformen, i Nordkappbassenget og på Finnmarksplattformen. Disse funnene er benyttet som modell for de nye områdene, grunnet et begrenset datagrunnlag i området. Basert på dagens kunnskap har Oljedirektoratet vurdert at sannsynligheten for gassfunn i området er større enn sannsynligheten for oljefunn (OD 2012).

Det er satt i gang innsamling av seismisk data i Barentshavet sør, hvor resultatene forventes å være klare våren 2013. Ny seismikk fra 2011 viser at den mest lovende geologiske strukturen er Nordvargdomen. Funn av olje forventes først og fremst i de sedimentære bassengområdene i Nordkappbassenget, Tiddlybassenget og på flankene til disse. En oversikt over strukturene er vist i Figur 1-1. Lokasjonene som inngår i foreliggende studie av mulige spredning av akuttutslipp av olje er vist i Figur 1-2.



Figur 1-1 Oversikt over geologiske strukturer i Barentshavet sørøst (OD 2012).



Figur 1-2 Lokalisering av utslippspunkter i Barentshavet sørøst. Inkluderte lokasjoner i foreliggende studie av oljeutslipp er markert med orange sirkler. Grønne trekanteder illustrerer lokasjon som ikke er modellert.

2 SCENARIER OG INPUT FOR OLJEDRIFTSMODELLERING

2.1 Lokasjoner

Geografisk posisjon og avstand til land og iskant til de modellerte lokasjonene er angitt i Tabell 2-1 og Tabell 2-2 sammen med havdyp på lokasjonene og modellert fluid. Det er modellert for 2 mulige feltlokasjoner (O-), og 2 letelokasjoner (L-). Alle lokasjonene er modellert med olje som utslippsfluid.

Tabell 2-1 Modellerte lokasjoner med tilhørende havdyp. O= olje/gassfelt, L=letebrønn

Felt/letebrønn	Geografiske koordinater		Omtrentlig havdyp (m)	Oljetype
	N	E		
B-O1	73° 21'	33° 58'	-300	Goliat Kobbe
B-O2	71° 51'	33° 13'	-200	Goliat Kobbe
B-L1	74° 12'	36° 12'	-200	Goliat Kobbe
B-L2	70° 53'	32° 31'	-200	Goliat Kobbe

Tabell 2-2 Avstander (km) fra de ulike lokasjonene til kyst og iskant* (hvor det er aktuelt)

Felt/letebrønn	Kyst	Iskant vår	Iskant sommer	Iskant høst	Iskant vinter
B-O1	318	122	115	300	206
B-O2	169	-	-	-	-
B-L1	436	14	<2	175	110
B-L2	75	-	-	-	-

*Dette gjelder iskantene som er anvendt i modelleringene, se kapittel 3.1

2.2 Utblåsningsrater og – varigheter

Oljedirektoratet har utarbeidet et sett med forutsetninger for rater, oljetyper og gass/olje-forhold basert på dagens kunnskap om geologien i de enkelte områdene. Det er også gjort en sannsynlighetsvurdering av ratene (se avsnitt 2.2.1). Dette legges til grunn i oljedriftsmodelleringen som blant annet danner grunnlaget for konsekvens- og miljørisikoanalysen (DNV 2012). Rate- og varighetsmatrise for Barentshavet sørøst er angitt i Tabell 2-3. En forventet utslippsvarighet for både overflate- og sjøbunnsutblåsningen er ifølge tabellen under 5 dager og en forventet utslippsrate er 750 Sm³/d.

Tabell 2-3 Rate- og varighetsmatrise for Barentshavet sørøst benyttet til modellering av oljedrift

Utslippssted	Sannsynlighetsfordeling (%) overflate/sjøbunn	Rater (Sm ³ /døgn)	Varigheter (døgn) og sannsynlighetsfordeling (%)			Rate-sannsynlighet (%)
			5	15	50	
Overflate	70	250	77	16	7	20,5
		750				59,0
		1500				20,5
Sjøbunn	30	250	60	20	20	20,5
		750				59,0
		1500				20,5

2.2.1 Utleddning av sannsynlighetsfordeling på ratene

Basert på kunnskapen om geologien i de enkelte områder har Oljedirektoratet (OD) utarbeidet et sett med forutsetninger om rater, oljetype og gass-olje forhold. Grunnlaget for modellering vurderes således som den best oppdaterte i henhold til dagens geologikunnskap om områdene.

For ratene i Barentshavet sørøst foreslår OD følgende sannsynlighetsvurdering p95 – 250, p50 – 750 og p05 – 1500 Sm³/døgn. Det forventes således at ratene med 95 % sannsynlighet vil ligge på nivå 250 Sm³/døgn eller høyere, med 50 % sannsynlighet at ratene vil ligge på nivå 750 Sm³/døgn eller høyere, og kun med 5 % sannsynlighet vil ratene ligge på nivå 1500 Sm³/døgn eller høyere. DNV har valgt en normalfordelt tilnærming på bakgrunn av dette til å utlede en sannsynlighetsfordeling mellom ratene. Tilnærmingen er angitt i Tabell 2-4. Det antas således at laveste rate skal favne alle rater som ligger lavere enn denne, og opp til en eventuell rate på 500 Sm³/døgn. Tilsvarende antas det at midterste rate favner alle rater ned til 500 Sm³/døgn og opp til 1000 Sm³/døgn, mens høyeste rate favner alle rater fra 1000 Sm³/døgn. Laveste rate får således sannsynlighet 20,5 %, midterste rate får sannsynlighet på 59 %, mens høyeste rate får sannsynlighet 20,5 %. Denne sannsynlighetsfordelingen er benyttet for alle lokasjoner.

Tabell 2-4 Kumulativ fordeling av ratene (gitt at mulige rater er normalfordelt), med tilhørende sannsynlighetsfordeling.

Kumulativ fordeling	Rate (Sm ³ /døgn)	Sannsynlighet for modellert rate
5,0 %	250	20,5 %
20,5 %	500	
50,0 %	750	59,0 %
70,8 %	1000	
79,5 %	1125	20,5 %
95,0 %	1500	

2.3 Oljetype

Basert på kunnskapen om geologien i de enkelte områder har OD utarbeidet et sett med forutsetninger om rater, oljetype og gass-olje forhold. Grunnlaget for modellering vurderes således som den best oppdaterte i henhold til dagens geologikunnskap om områdene. For Barentshavet SØ vurderes en geologisk sammenheng med nedre reservoar på Goliat, og Goliat Kobbe olje legges til grunn. Forventningen i området er i hovedsak rettet mot gass, men med mulighet for funn av lettere oljetyper.

Goliat Kobbe er en parafinsk råolje med relativt lav tetthet (796 kg/m^3), samt et lavt innhold av asfaltener (0,03 vekt %) og et medium innhold av voks (3,4 vekt %) (SINTEF 2008). Oljen danner meget stabile vann-i-olje emulsjoner selv etter kort tid på sjø. I løpet av 12 timer vil oljen nå sitt maksimale vannopptak på 80 % ($250 \text{ }^\circ\text{C}+$ residuet). Tilførsel av Alcopol O 60 % emulsjonsbryter har meget god effekt og vil bryte vann-i-olje emulsjonen fullstendig. Grunnet forandringer i fysiske og kjemiske egenskaper har emulsjonsbrytere svært dårlig effekt på foto-oksiderte emulsjoner (SINTEF 2008). Sammenlignet med andre norske råoljer har Goliat Kobbe kort levetid på sjøoverflaten. Dette kommer av at råoljen fordamper hurtig (ca. 50 % etter 5 dager ved vinterforhold) samt vil en stor andel av oljen dispergere i vann. Etter 5 dager ved vinterforhold ($5 \text{ }^\circ\text{C}$) har omtrent all overflateolje forsvunnet. Fersk olje har ved vinterforhold et stivnepunkt på ca. $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, etter 5 dager med forvitring har denne økt til ca. $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (SINTEF 2008). Egenskapene til Goliat Kobbe er sammenstilt i Tabell 2-5.

Tabell 2-5 Sammenstilling av oljeparametere benyttet til spredningsberegning av en utblåsning for oljetype Goliat Kobbe (SINTEF 2008)

Parameter	Verdi
Tetthet	796 kg/m^3
Maksimalt vanninnhold	80 %
Voksinnhold	3,4 vekt %
Asfalteninnhold	0,03 vekt %
Viskositet	22 cP

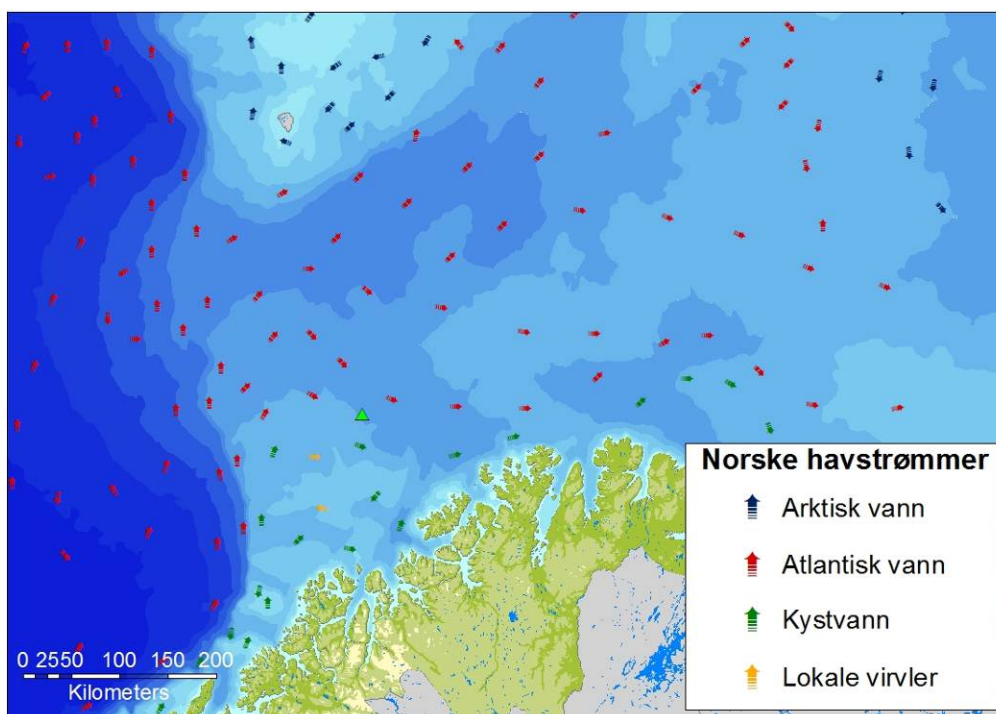
2.4 Fysisk miljø

Barentshavet er et grunt sokkelhav hvor den norske delen omfatter ca. 1,4 mill. km^2 og har et gjennomsnittlig dyp på omlag 230 m. Bunntopografien er dominert av store bankeområder (100-200 m, eksempelvis Sentralbanken, Spitsbergenbanken og Storbanken) og dype renner (300-400 m, eksempelvis Bjørnøyrenna) mellom disse. I vest følger Barentshavet den bratte kontinentalskråningen mot Norskehavet.

I Barentshavet er det tre hovedvannmasser; kystvann, atlantehavsvann og arktisk vann. Varmt atlantisk vann strømmer inn fra sydvest og kaldt, arktisk vann trenger inn fra nordøst. Kystvannet kommer inn i Barentshavet langs norskekysten og følger kysten videre østover. I møtet mellom det kalde arktiske vannet og det varme atlantehavsvannet dannes front- og virvelsystemer som gir opphav til betydelig primærproduksjon i vår- og sommerhalvåret (Føyn m.fl., 2002), den såkalte polarfronten. Tilsvarende oppblomstring opptrer om våren i en 20-50 km bred sone langs

iskanten, hvor ismeltingen danner forutsetninger for et stabilt overflatelag og frigjøring av næringsalter.

Den sesongvise smeltingen og frysingen av den ettårige vinterisen er sentral for dynamikken i økosystemet i Barentshavet. Inntil 90 % av det totale Barentshavet kan dekkes av is om vinteren, men isutbredelsen variere mye fra år til år og innen havområdet. Iskanten ved minimumsutbredelse kan ha en årlig variasjon på flere hunder kilometer (HI 2012). Områdene rundt åpningsområdet i Barentshavet er som regel isfrie året rundt på grunn av innstrømming av varmt atlantisk vann (HI 2012). Kun i enkelte år forekommer is, og avgrenset til få måneder disse årene.



Figur 2-1 Hovedtrekk av havstrømmer i Barentshavet (Sætre, 1999).

3 METODE FOR OLJEDRIFT

3.1 Oljedriftsmodellen OSCAR

Oljedriftsmodellen som er anvendt er SINTEFs OSCAR modell (Oil Spill Contingency And Response). Versjonen av modelleringsverktøyet som benyttes i foreliggende analyse er OSCAR versjon 6.2.

OSCAR er en 3-dimensjonal oljedriftsmodell som beregner oljemengde på sjøoverflaten, på strand og i sedimenter, samt konsentrasjoner i vannsøylen. Modellen tillater utslipp både fra havoverflate og sjøbunn. For sjøbunnsutslippene blir en egen modul i OSCAR anvendt; en nærsonemodell som beregner den første fasen av sjøbunnsutblåsningen. Den beskriver hvordan plumen (olje, gass og vannpakken) oppfører seg fra sjøbunn til overflate eller til et eventuelt innlagringsdyp. Nærsonemodellen beregner plumens fortykning og stigetid oppover i vannsøylen og tar hensyn til oppdriftseffekter av olje og gass, tetthetssjiktningen i det omkringliggende området samt sidestrøm. For sjøbunnsutslippene er vertikalprofil i vannmassene mht. temperatur og salinitet (Levitus, 1994) lagt inn i modellkjøringene.

Output fra OSCAR er beregnet i tre fysiske dimensjoner og tid. Modellen inneholder databaser for ulike oljetyper, vanddyb, sedimenttype, økologiske habitater og strandtyper.

Oljedriftssimuleringene er kjørt i et 3 × 3 km grid med en svært detaljert kystlinje (1:50 000). I etterkant er oljedriftsresultatene eksportert til 10 × 10 km grid til bruk i miljæriskanalyse (DNV 2012). Influensområdene i denne rapporten er også presentert i 10 × 10 km grid.

For å bestemme oljens drift og skjebne på overflaten beregner modellen overflatespredning, transport av flak, nedblanding av olje i vannmassene, fordampning, emulsjon og stranding. I vannkolonnen blir det simulert horisontal og vertikal transport, oppløsning av oljekomponenter, adsorpsjon, avsetninger i sedimenter samt nedbryting.

Usikkerheter og betydningen av inngangsdata i OSCAR er diskutert i Vedlegg 1.

I forkant av dette prosjektet er det gjort et betydelig arbeid for å skaffe til veie et høyoppløselig datasett for strøm i norske farvann. Det er generert historiske dagsmidlele strømdata fra perioden 1998-2005 med 4 × 4 km oppløsning. Datasettet er opparbeidet av Havforskningsinstituttet (HI) og behandlet videre av SINTEF. Datasettet inneholder både overflatestrøm og strøm nedover i vannsøylen. Den høyere horisontale oppløsningen (sammenlignet med tidligere studier) på strømdataene gir en bedre beskrivelse av strømforholdene i dette havområdet og spesielt innover i kystsonen og fjorder. Den Norske Kyststrømmen vil løses bedre opp med flere strømpunkter, noe som vil føre til en kraftigere opplevelse av kyststrømmen, noe som igjen vil gi en større spredning av olje, spesielt i nordlig retning sammenlignet med tidligere studier. En begrensning ved å benytte dagsmidlele strømdata er at man mister effekten av tidevannsstrømmer.

Dette er kombinert med historiske vinddata fra Meteorologisk institutt med 75 × 75 km oppløsning fra perioden 1980-2007 med tidsintervall 3 timer.

DNV har mottatt historiske isutbredelsesdata fra Meteorologisk Institutt (MI), månedsmidlele iskantdata for perioden 2001-2011. Her er iskanten definert som området med større iskonsentrasjon enn 40-60 %. Iskonsentrasjon er forholdet mellom den delen av et havområde som er dekket av is og størrelsen på området. I oljedriftsmodellen er iskanten lagt inn som land og blir definert med en strandtype tilsvarende sandstrand. Denne vurderingen er gjort i samråd med MI. Én del av oljen vil da kunne akkumuleres i iskantsonen, mens resten av oljen vil vaskes ut igjen på sjøen. For lokasjonene hvor iskanten inngår, dvs. for B-L1 og B-O1 vil det modelleres sesongmessig. For hver sesong, vår (mars-mai), sommer (juni-august), høst (september-



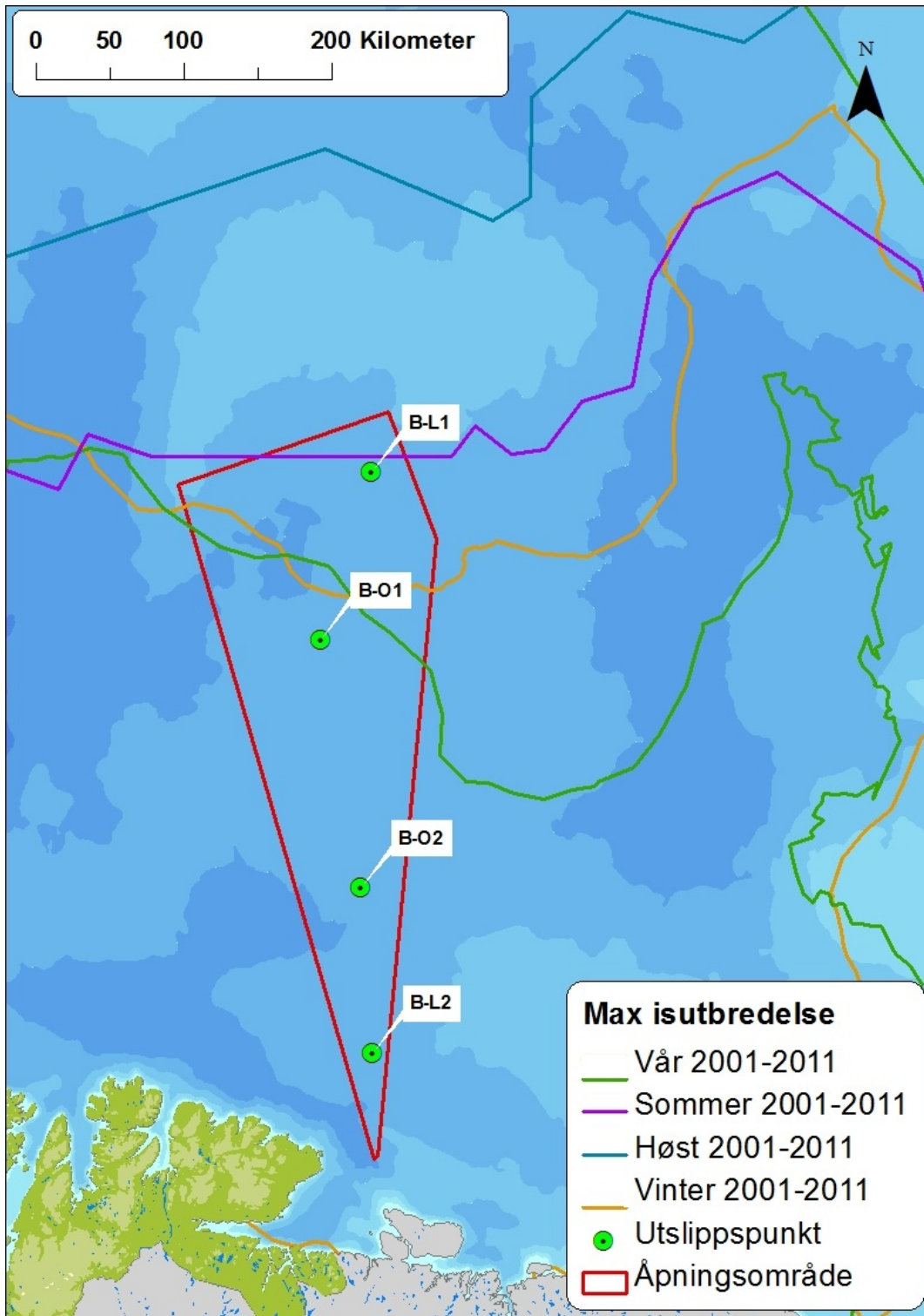
november) og vinter (desember-februar) er den måneden innenfor hver sesong med størst iskantutbredelse benyttet i modelleringene, hhv. april, juni, november og januar, se Figur 3-1. På grunn av at utslippspunktet for B-L1 havnet inni isen for vår og vinter, ble det avtalt med OED at iskantdatasettet heller kunne baseres på perioden 2009-2011 for denne lokasjonen og de aktuelle sesongene. Dette for å muliggjøre modellering. Grunnet tidsmessige hensyn ble også lokasjonen B-O1 modellert med disse dataene for vår og vinter.

Både enkeltsimuleringer (bestemte vindperioder) og stokastiske simuleringer ved ulike starttidspunkter er modellert. De stokastiske modelleringene er for et bestemt antall simuleringer utført etter hverandre i én kjøring. Antall simuleringer for de ulike scenariene avhenger av utslippsvarigheten, og målet er å ha tilstrekkelig antall simuleringer slik at perioden det modelleres for (årstid eller hele året) er dekket av historisk variabilitet i strøm og vind.

Følgetiden til hver oljepartikkel som slippes ut er 15 døgn. Antall simuleringer per år for 5, 15 og 50 døgn varighetene er henholdsvis 40, 17 og 12. Det totale antall simuleringer for ett scenario (en kombinasjon av én varighet og én rate) er beregnet ved å multiplisere antall simuleringer per år med antall år med vind- og strømdata, dvs. 8 år (1998-2005).

Influensområdene som er presentert i denne rapporten er basert på alle simuleringer, alle rater og varigheter, så det totale antall simuleringer som ligger til grunn for disse er 1536 simuleringer.

For å kunne beregne statistiske resultater er oljedriftsparametere akkumulert for hver simulering i hver berørte gridrute. Disse resultatene er igjen brukt for bl.a. å beregne treffsannsynligheter i en gitt rute. Treffsannsynlighet er her definert som antall simuleringer (av totalt antall simuleringer) hvor et oljeflak/partikkel på sjøoverflaten har truffet en 10 × 10 km rute, uavhengig av hvor lenge det har vært olje i ruta.



Figur 3-1 Iskantutbredelse presentert som månedsmidlete maksimale iskonsentrasjoner større enn 40-60 % innenfor hver sesong: vår, sommer, høst og vinter, basert på perioden 2001-2011.

4 RESULTATER SPREDNINGSBEREGNINGER

Resultatene fra spredningsberegningene er presentert både som enkeltsimuleringer og som statistikk, begge for ulike utslippsrater og utslippsvarigheter. Én enkeltsimulering viser hvordan oljen spres for én bestemt vind- og strømperiode hentet fra et historisk dataarkiv. De statistiske resultatene er generert av mange slike enkeltsimuleringer. En vanlig misforståelse er at det statistisk genererte influensområdet blir tolket som resultatet av ett enkelt utslipp. Slik er det ikke. Fra statistikken kan det i etterkant velges ut enkelte simuleringer etter spesielle kriterier.

Dette kapittelet er bygd opp slik at det først presenteres utvalgte enkeltsimuleringer, deretter strandingsstatistikk, hvor alle simuleringer (for alle rater og varigheter) er sortert fra størst til minst emulsjonsmengde inn til kyst og strandsone (eller iskant der hvor det er aktuelt) og i tillegg sortert alle simuleringer fra kortest til lengst ankomsttid. Ankomsttid er definert som oljens drivtid til kyst og strandsone (eller iskant) siden starten av utslippet.

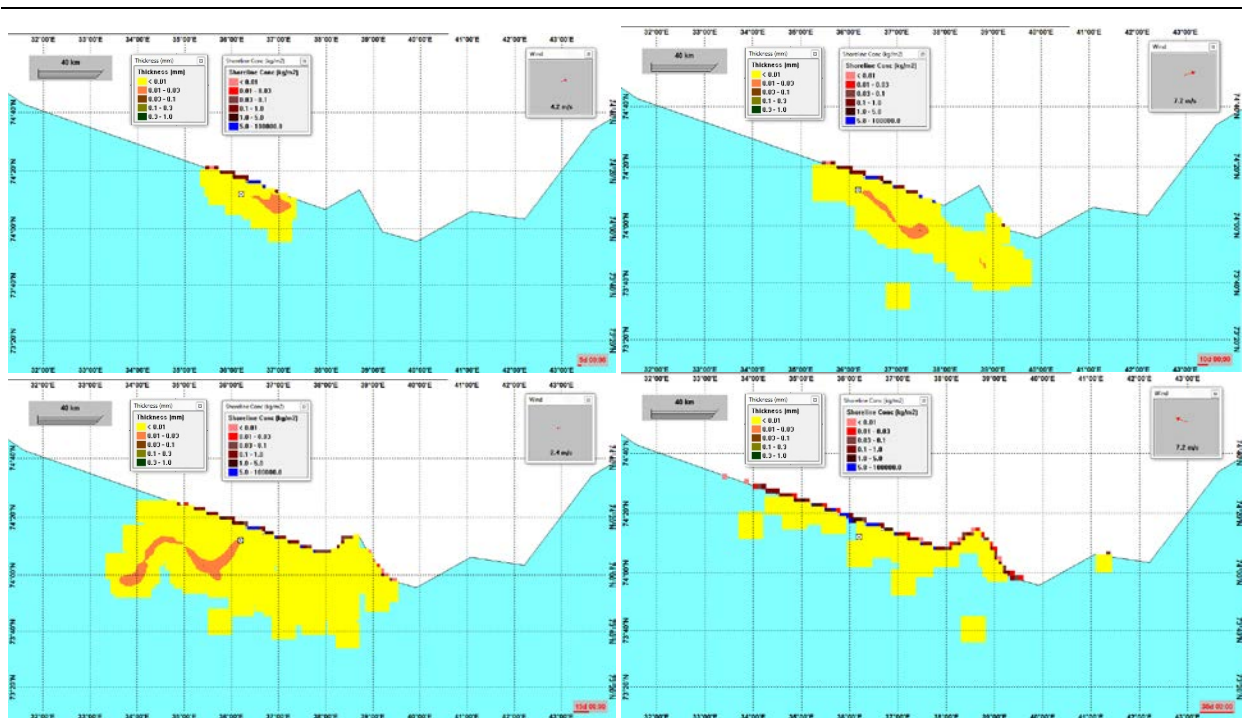
Kapittelet avsluttes med å presentere de statistiske resultatene, som her vil være influensområder av olje på overflaten. Influensområdene representerer treffsannsynlighet av olje på overflaten. Treffsannsynlighet er her definert som antall simuleringer (av totalt antall simuleringer) hvor et oljeflak/partikkel på sjøoverflaten har truffet en 10×10 km rute, uavhengig av hvor lenge det har vært olje i ruta.

4.1 Enkeltsimuleringer

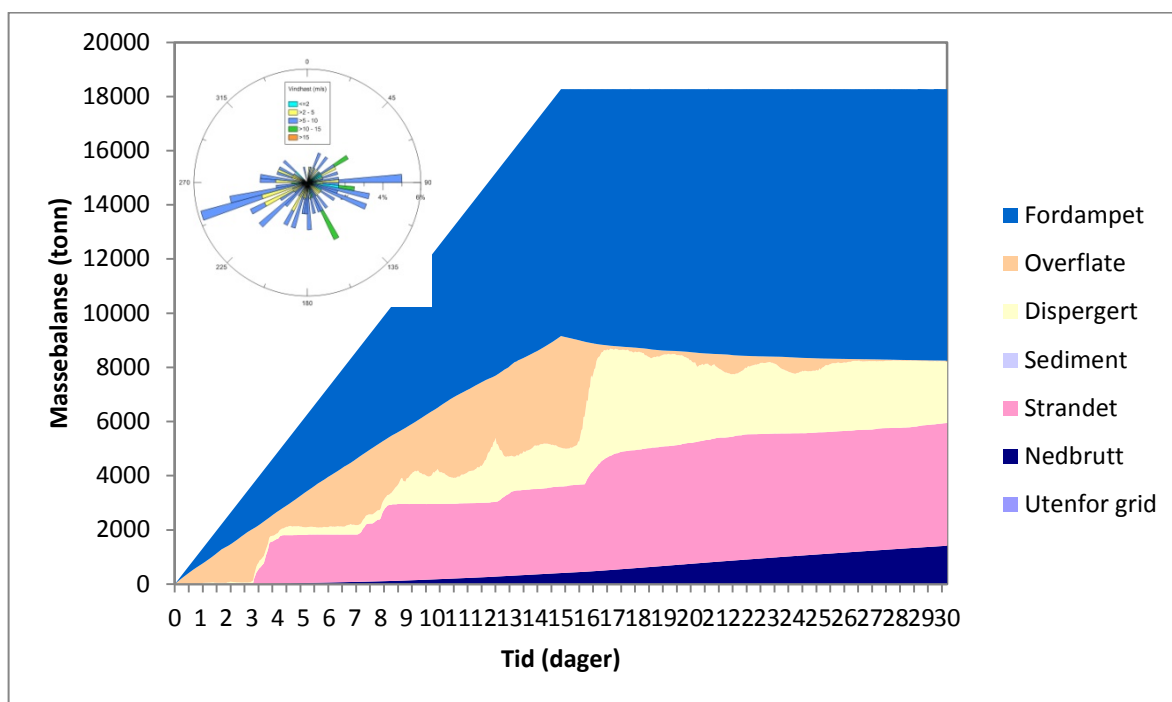
Det er utført én enkeltsimulering for hvert utslippspunkt for mer i detalj å kunne studere tidsutviklingen av oljen på havoverflaten og massebalansen i spesielle (vind og strøm)perioder. Utvelgelsen av de enkelte simuleringene er gjort fra strandingsstatistikken, se kapittel 4.2. Statistikken baserer seg på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle simuleringene, alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Alle simuleringene er på den ene siden sortert fra størst til minst strandet oljemengde og på den andre siden sortert fra kortest til lengst ankomsttid til land. 100 persentilen representerer hhv. største strandet (akkumulert) oljemengde og korteste ankomsttid til land av alle modellerte scenarier. En 50 persentil kan anses som en forventet situasjon gitt en hendelse som definert i forutsetningene for modelleringen. En 95 persentil betyr at de 5 % største oljemengdene og korteste ankomsttidene er utelatt, det vil si en hendelse der 95 % av alle mulige utfall har mindre strandet oljemengde og lengre ankomsttid.

For lokasjonene B-L1 og B-O1 treffer oljen isen for enkelte simuleringer. Siden iskantens utbredelse varierer fra sesong til sesong er oljedriften kjørt for de ulike sesonger. I utvelgelsen av enkeltsimuleringene for B-L1 og B-O1 er sesongen med størst oljemengde på iskanten valgt. For B-L1 er det valgt én simulering som ligger rundt 50 persentilen for ankomsttid til iskanten samt 95 persentilen for «stranding» av olje i isen. For lokasjonene B-O1 (is) og B-L2 (land) er det valgt én simulering som ligger rundt 95 persentilen for ankomsttid til is/land samt 95 persentilen for stranding av olje, grunnet at 50 persentilen for ankomsttid viser ingen stranding. For lokasjonen B-O2 er det ingen stranding for 95 persentilen.

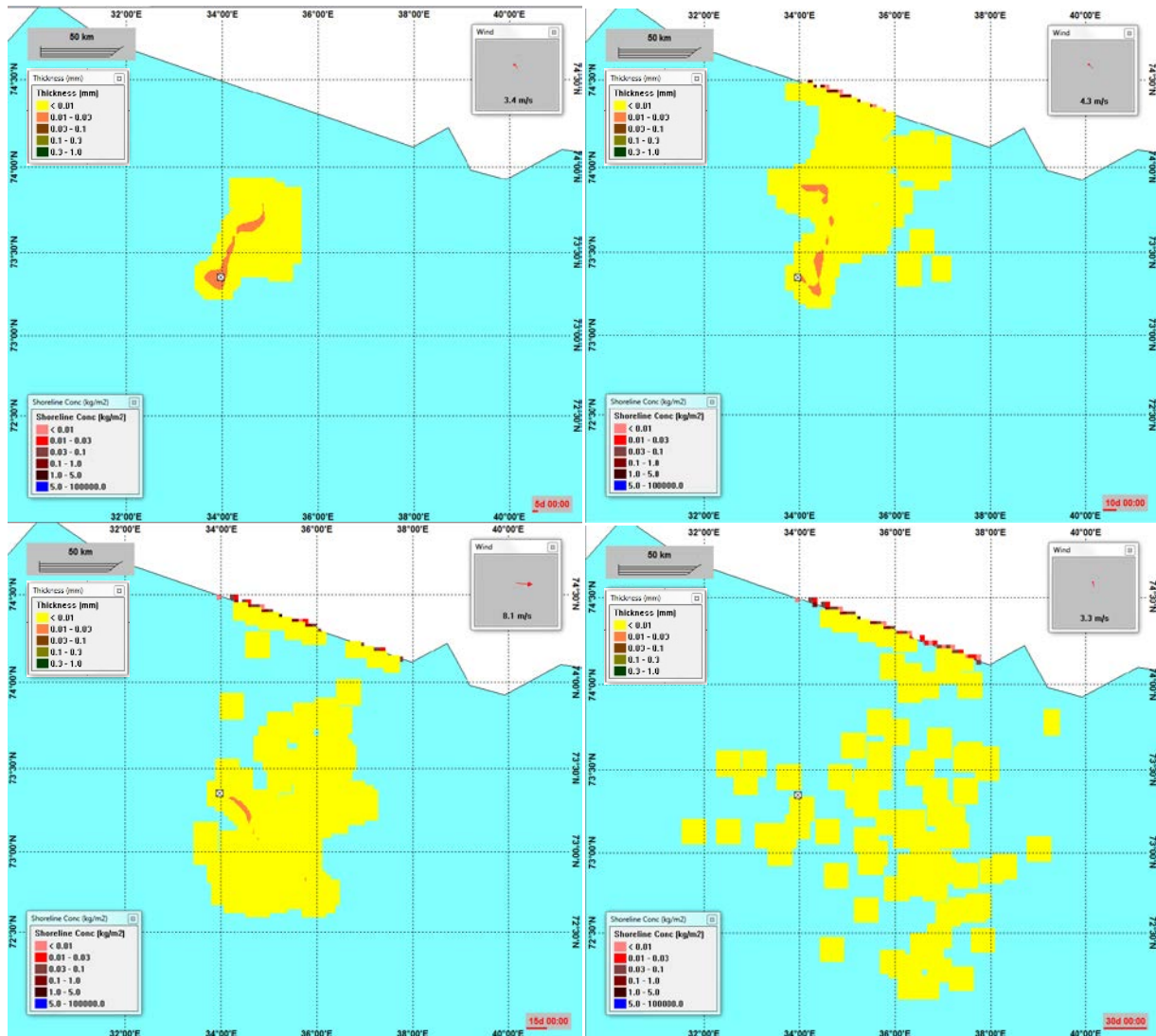
I figurene under er oljens tilstedeværelse på overflaten 5, 10, 15 og 30 dager etter utslippets start presentert for de ulike enkeltsimuleringene. Det er vist som tykkelse av olje på overflaten og strandet oljemengde i 3×3 km ruter sammen med den aktuelle vindretning og vindstyrke. For hver enkeltsimulering er det også en figur som viser tidsutviklingen av massebalansen (i tonn), blant annet hvor mye olje som er på overflaten, hvor mye olje som har fordampet, dispergert og har strandet. En vindrose for den aktuelle vindperioden er også vist i massebalansefigurene.



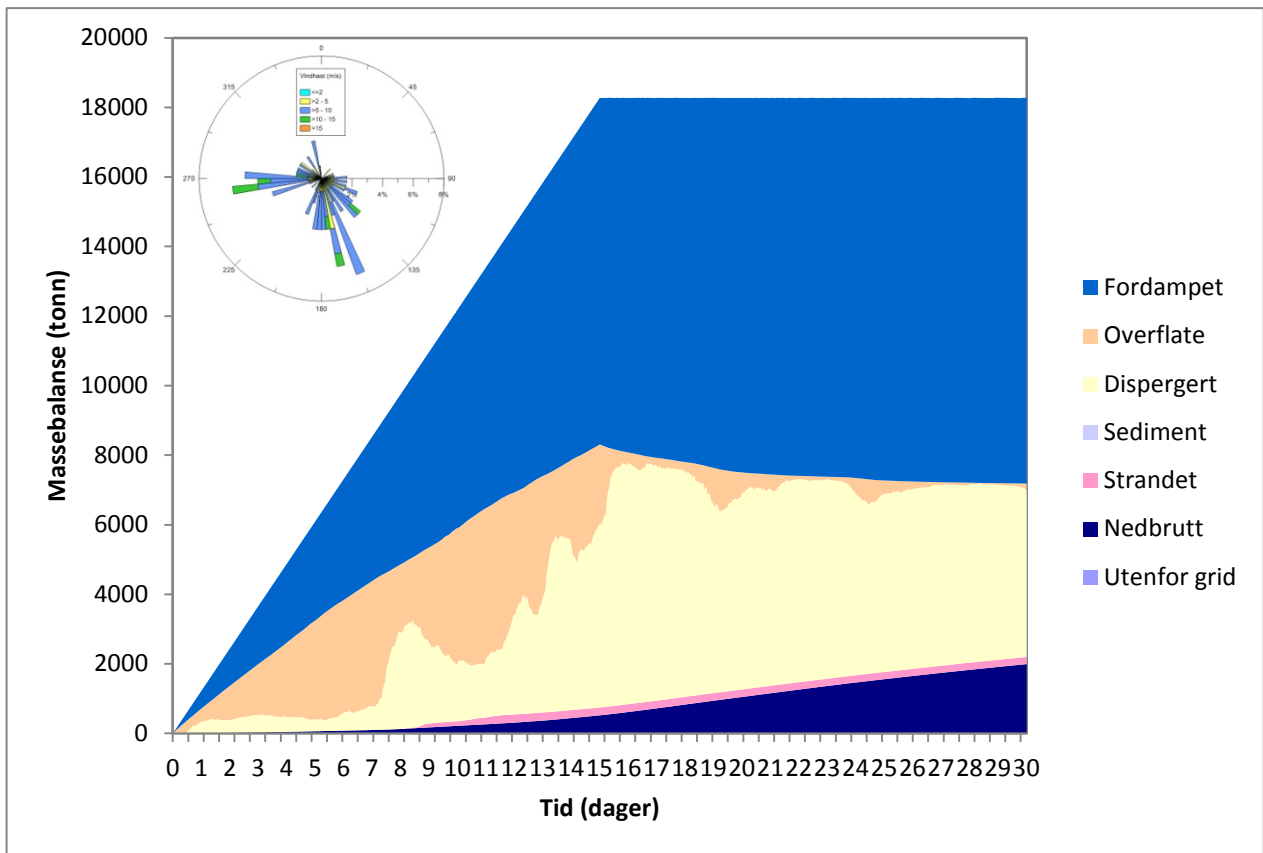
Figur 4-1 Enkeltsimulering for B-L1 sommer - tidsutviklingen av olje på overflaten presentert som tykkelse av olje og strandet oljemengde. Utslippet varer i 15 dager med 15 dager følgetid. Utslippsrate 1500 Sm³/døgn.



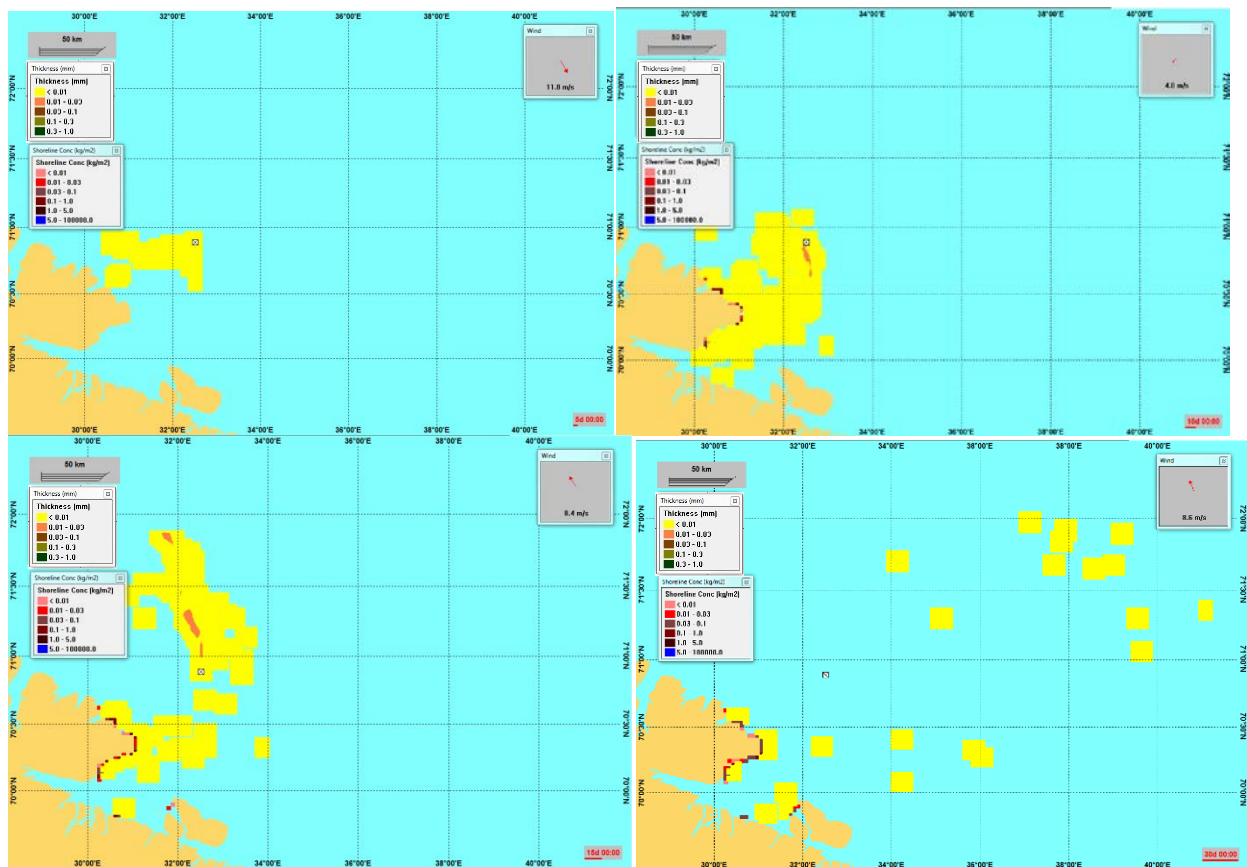
Figur 4-2 Enkeltsimulering for B-L1 sommer. Massebalansen i tonn, dager etter utslippets start. Øverst til venstre vises en vindrose som angir prosentvis representasjon av vindstyrke og vindretning basert på data hver 6. time gjennom utslippsperioden og følgetid 15 døgn. 0° betyr vind fra nord.



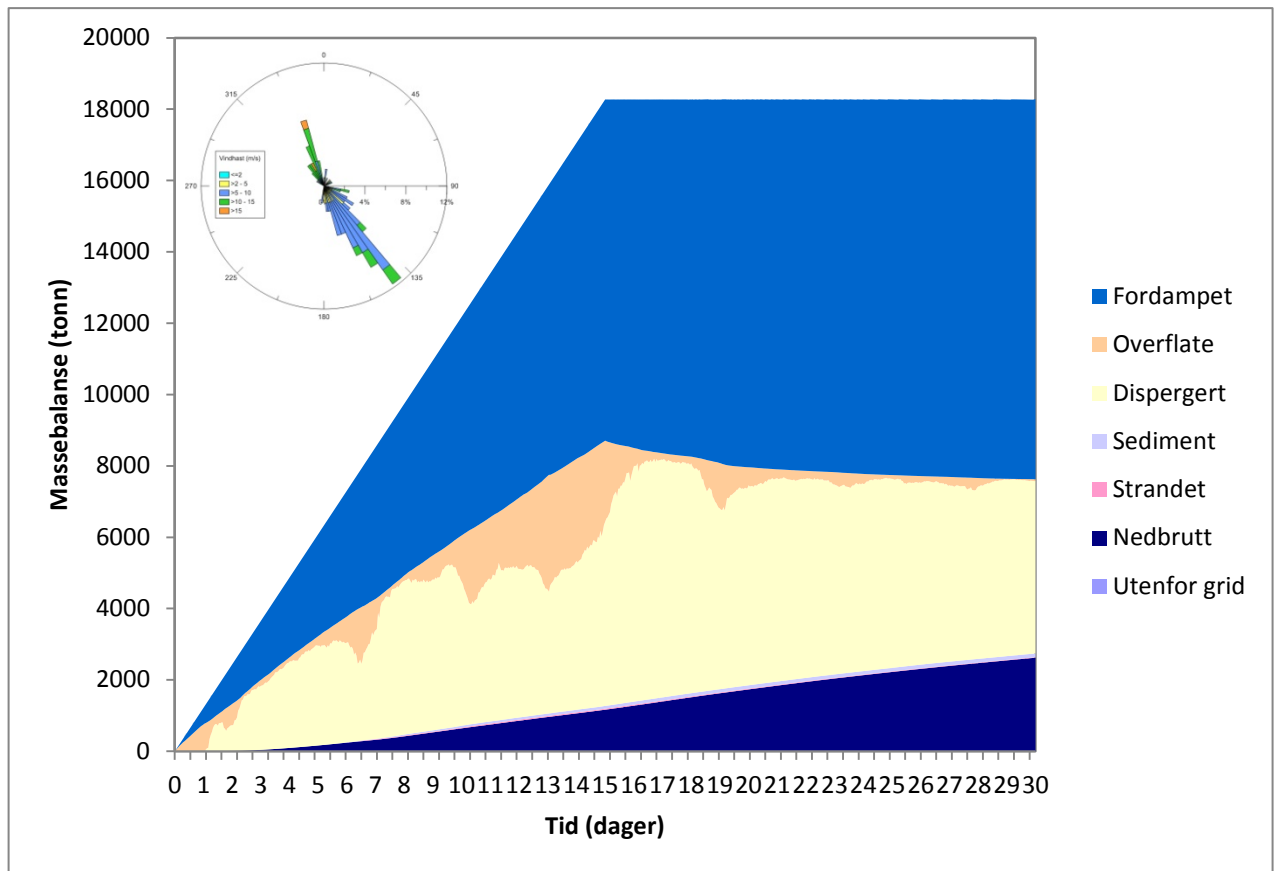
Figur 4-3 Enkeltsimulering for B-O1 sommer - tidsutviklingen av olje på overflaten presentert som tykkelse av olje og strandet oljemengde. Utslippet varer i 15 dager med 15 dager følgetid. Utslippsrate 1500 Sm³/døgn.



Figur 4-4 Enkeltsimulering for B-O1 sommer. Massebalansen i tonn, dager etter utslippets start. Øverst til venstre vises en vindrose som angir prosentvis representasjon av vindstyrke og vindretning basert på data hver 6. time gjennom utslippsperioden og følgetid 15 døgn. 0° betyr vind fra nord.



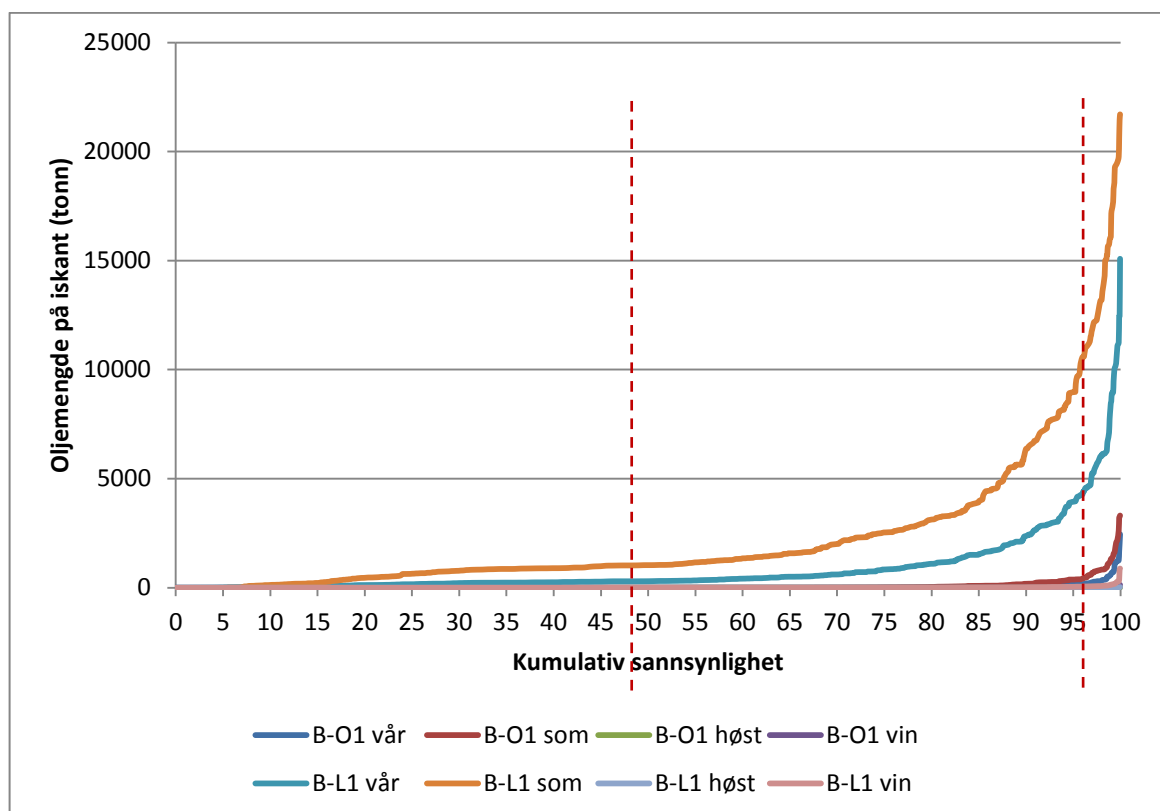
Figur 4-5 Enkeltsimulering for B-L2 sommer - tidsutviklingen av olje på overflaten presentert som tykkelse av olje og strandet oljemengde. Utslippet varer i 15 dager med 15 dager følgetid. Utslippsrate 1500 Sm³/døgn.



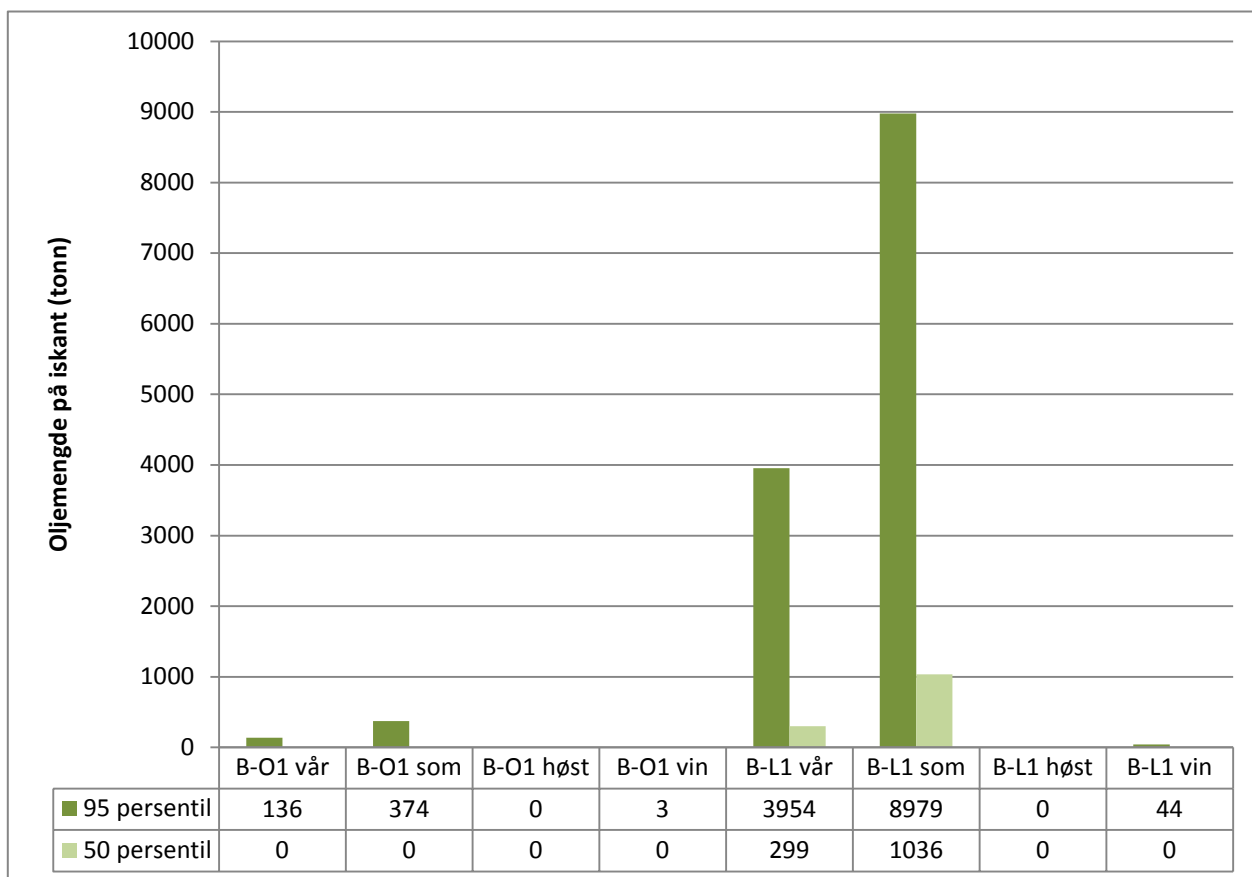
Figur 4-6 Enkeltsimulering for B-L2 sommer. Massebalansen i tonn, dager etter utslippets start. Øverst til venstre vises en vindrose som angir prosentvis representasjon av vindstyrke og vindretning basert på data hver 6. time gjennom utslippperioden og følgetid 15 døgn. 0° betyr vind fra nord.

4.2 Strandingsstatistikk

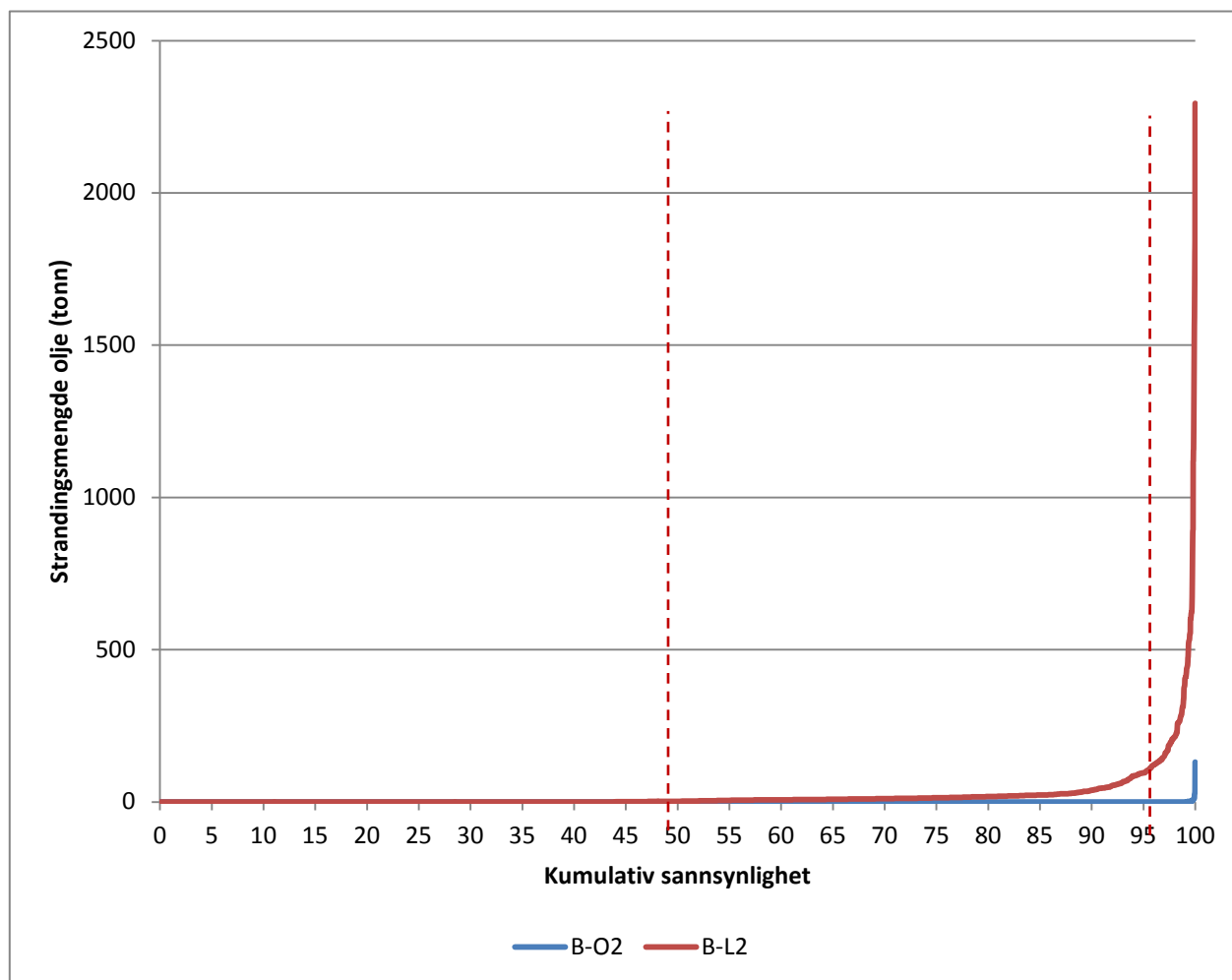
I Figur 4-7 til Figur 4-14 er det presentert strandingsstatistikk både for strandet oljemengde på land (gjelder B-O2 og B-L2) og oljemengder på iskant (gjelder B-L1 og B-O1) samt ankomsttid til land/iskant, definert som tiden siden utslippets start før oljen treffer land/iskant. Statistikken baserer seg på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle simuleringene, alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Alle simuleringene er på den ene siden sortert fra størst til minst strandet oljemengde og på den andre siden sortert fra kortest til lengst ankomsttid til land. 100 persentilen representerer hhv. største strandet (akkumulert) oljemengde og korteste ankomsttid til land av alle modellerte scenarier. En 50 persentil kan anses som en forventet situasjon gitt en hendelse som definert i forutsetningene (oljeutblåsning med definert utslippssted (overflate/sjøbunn), oljetype, rate- og varighetsfordeling). En 95 persentil betyr at de 5 % største oljemengdene og 5 % korteste ankomsttidene er utelatt, det vil si en hendelse der 95 % av alle mulige utfall har hhv. mindre strandet oljemengde og lengre ankomsttid.



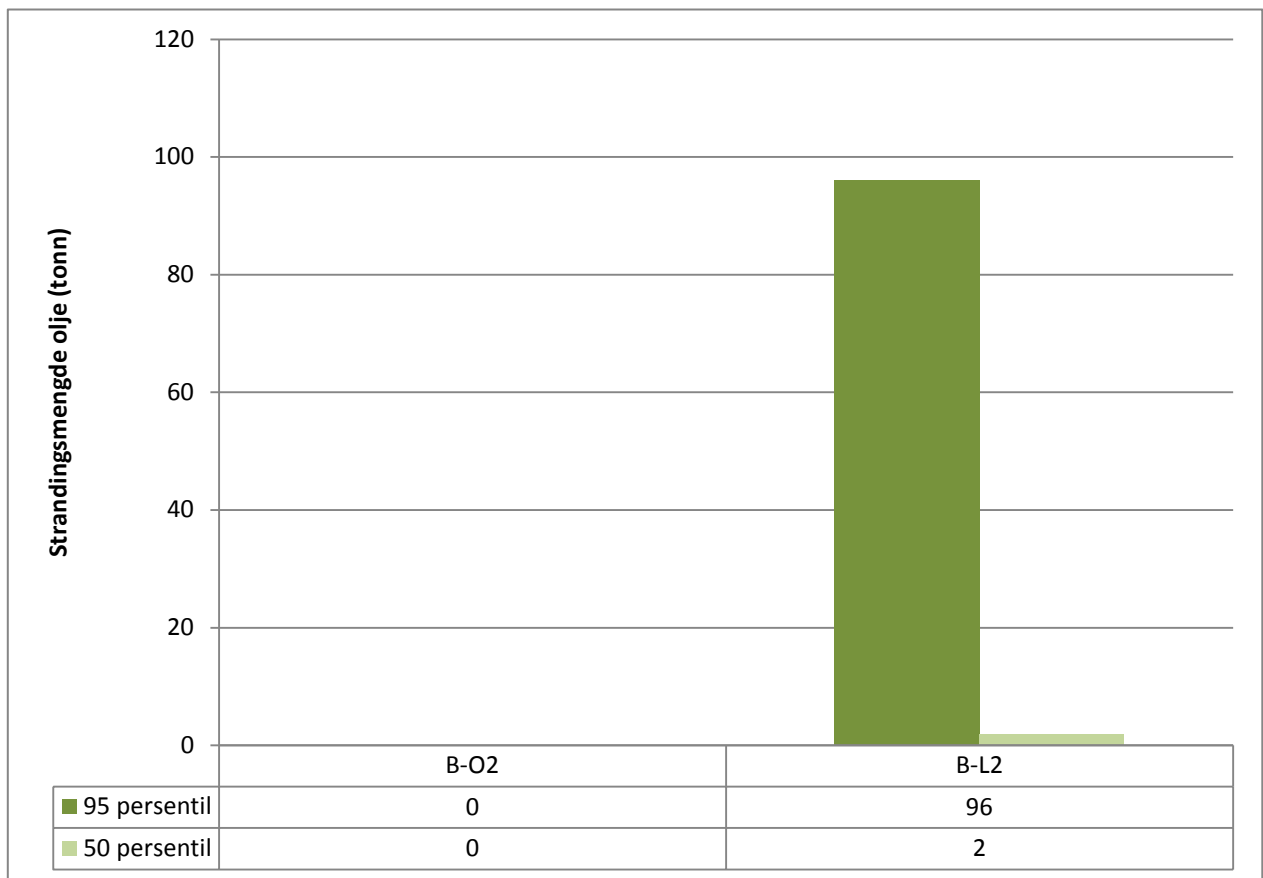
Figur 4-7 Sannsynlighet (sesongmessig) for oljemengder på iskanten for lokasjonene B-L1 og B-O1 i Barentshavet sørøst basert på akkumulerte oljemengder i 10 x 10 km landruter. Statistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. En 50 persentil kan anses som en forventet situasjon gitt en hendelse som definert i forutsetningene for modelleringen. En 95 persentil betyr at de 5 % største oljemengdene er utelatt, det vil si en hendelse der 95 % av alle mulige utfall har mindre strandet oljemengde.



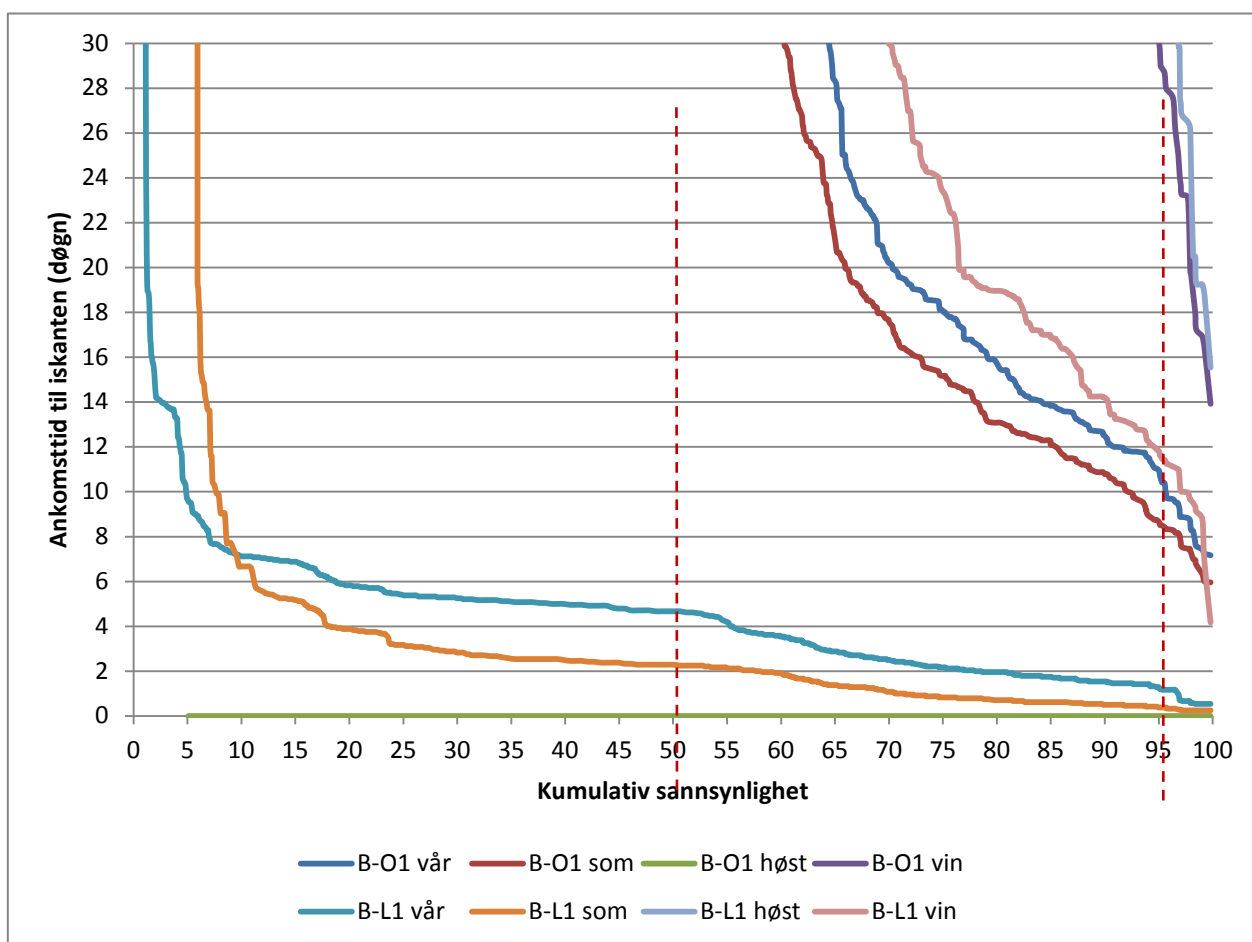
Figur 4-8 Oljemengder (sesongmessig) på *iskanten* for 50 og 95 persentilene for lokasjonene B-L1 og B-O1 i Barentshavet sørøst basert på akkumulerte oljemengder i 10 x 10 km landruter. Statistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter.



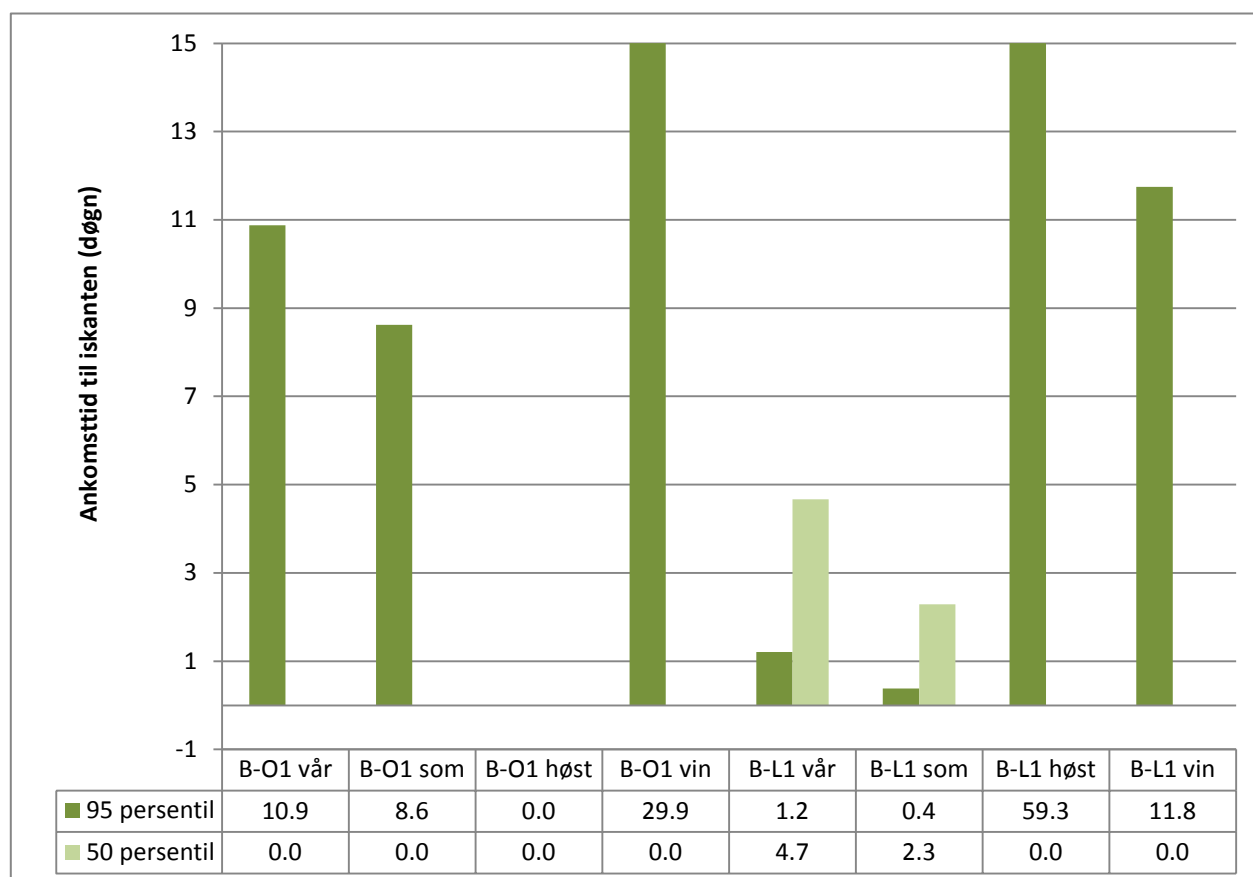
Figur 4-9 Sannsynlighet (helårlig) for oljemengder til **kyst og strandsoner** av for lokasjonene B-L2 og B-O2 i Barentshavet sørøst basert på akkumulerte oljemengder i 10 x 10 km landruter. Strandingsstatistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. En 50 persentil kan anses som en forventet situasjon gitt en hendelse som definert i forutsetningene for modelleringen. En 95 persentil betyr at de 5 % største oljemengdene er utelatt, det vil si en hendelse der 95 % av alle mulige utfall har mindre strandet oljemengde.



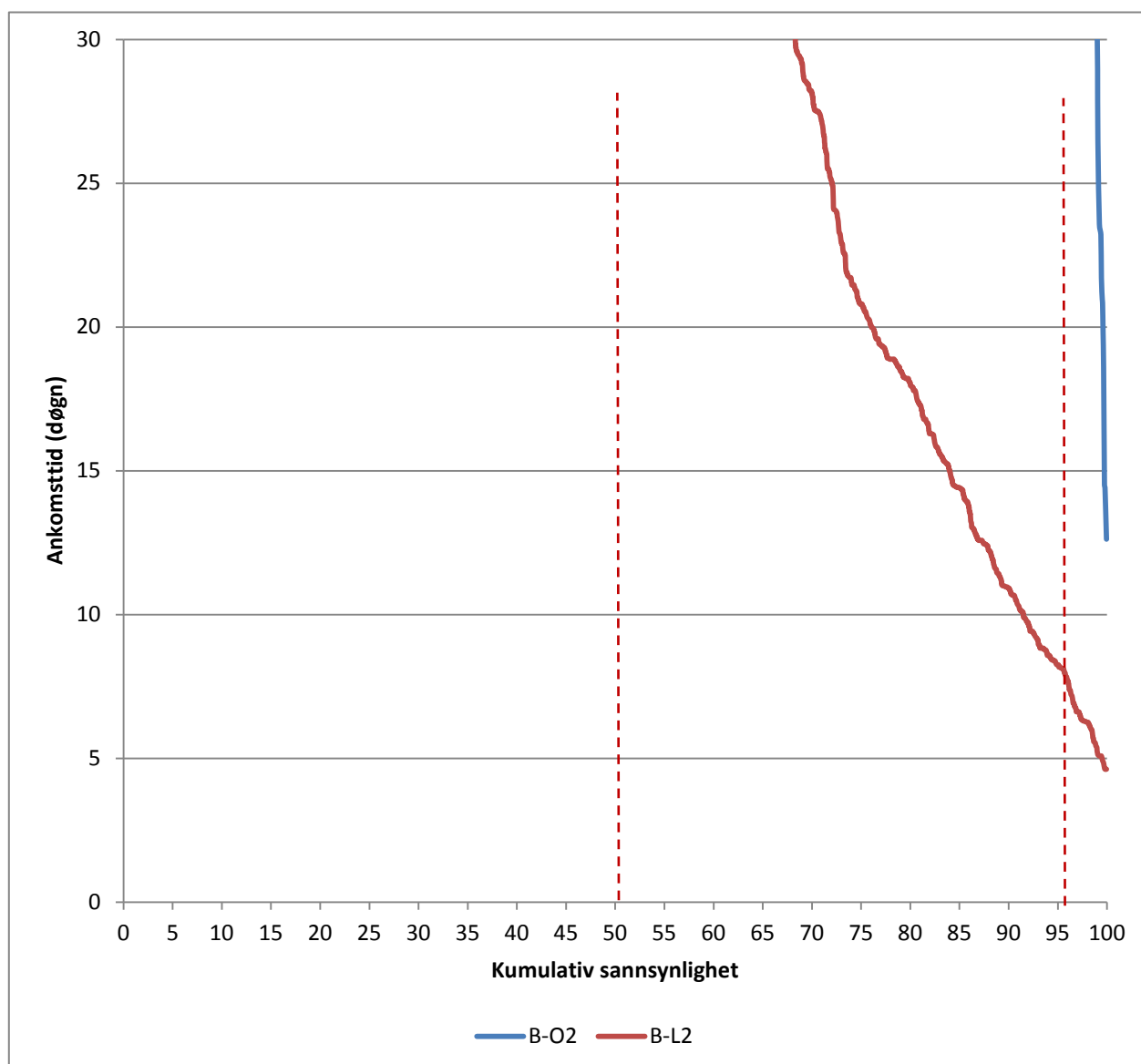
Figur 4-10 Strandingsmengder til *kyst- og strandsoner* (helårlig) av olje for 50 og 95 persentilene for lokasjonene B-L2 og B-O2 i Barentshavet sørøst basert på akkumulerte oljemengder i 10 x 10 km landruter. Strandingsstatistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter.



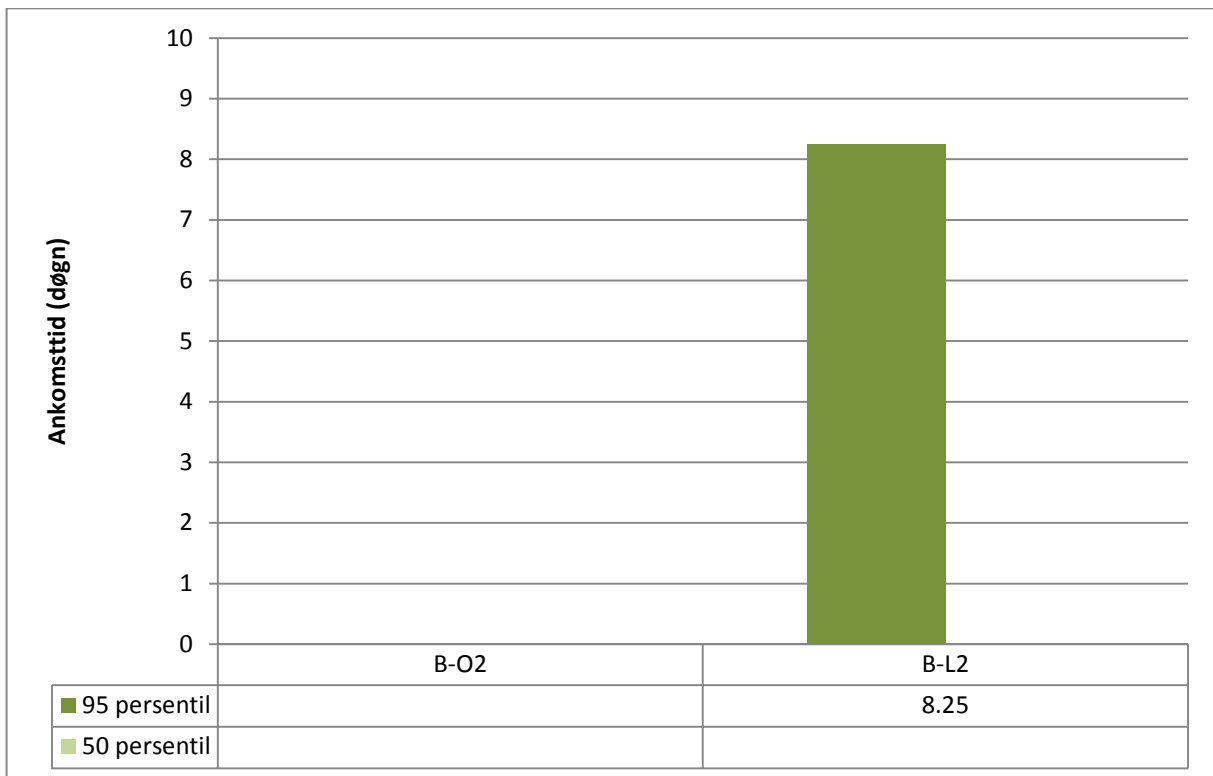
Figur 4-11 Sannsynlighet for ankomsttider (tid fra start av oljesølet) (sesongmessig) av olje til iskanten i lokasjonene B-L1 og B-O1 i Barentshavet sørøst. Statistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. En 50 persentil kan anses som en forventet situasjon gitt en hendelse som definert i forutsetningene for modelleringen. En 95 persentil betyr at de 5 % korteste ankomsttidene er utelatt, det vil si en hendelse der 95 % av alle mulige utfall har lengre ankomsttid.



Figur 4-12 Ankomsttider (tid fra start av oljesølet) (sesongmessig) av olje til *iskanten* for 50 og 95 persentilene i lokasjonene B-L1 og B-O1 i Barentshavet sørøst. Statistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter.



Figur 4-13 Sannsynlighet for ankomsttider (tid fra start av oljesølet) (sesongmessig) av olje til kyst og strandsoner i lokasjonene B-O2 og B-L2 i Barentshavet sørøst. Strandingsstatistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. En 50 persentil kan anses som en forventet situasjon gitt en hendelse som definert i forutsetningene for modelleringen. En 95 persentil betyr at de 5 % korteste ankomsttidene er utelatt, det vil si en hendelse der 95 % av alle mulige utfall har lengre ankomsttid.



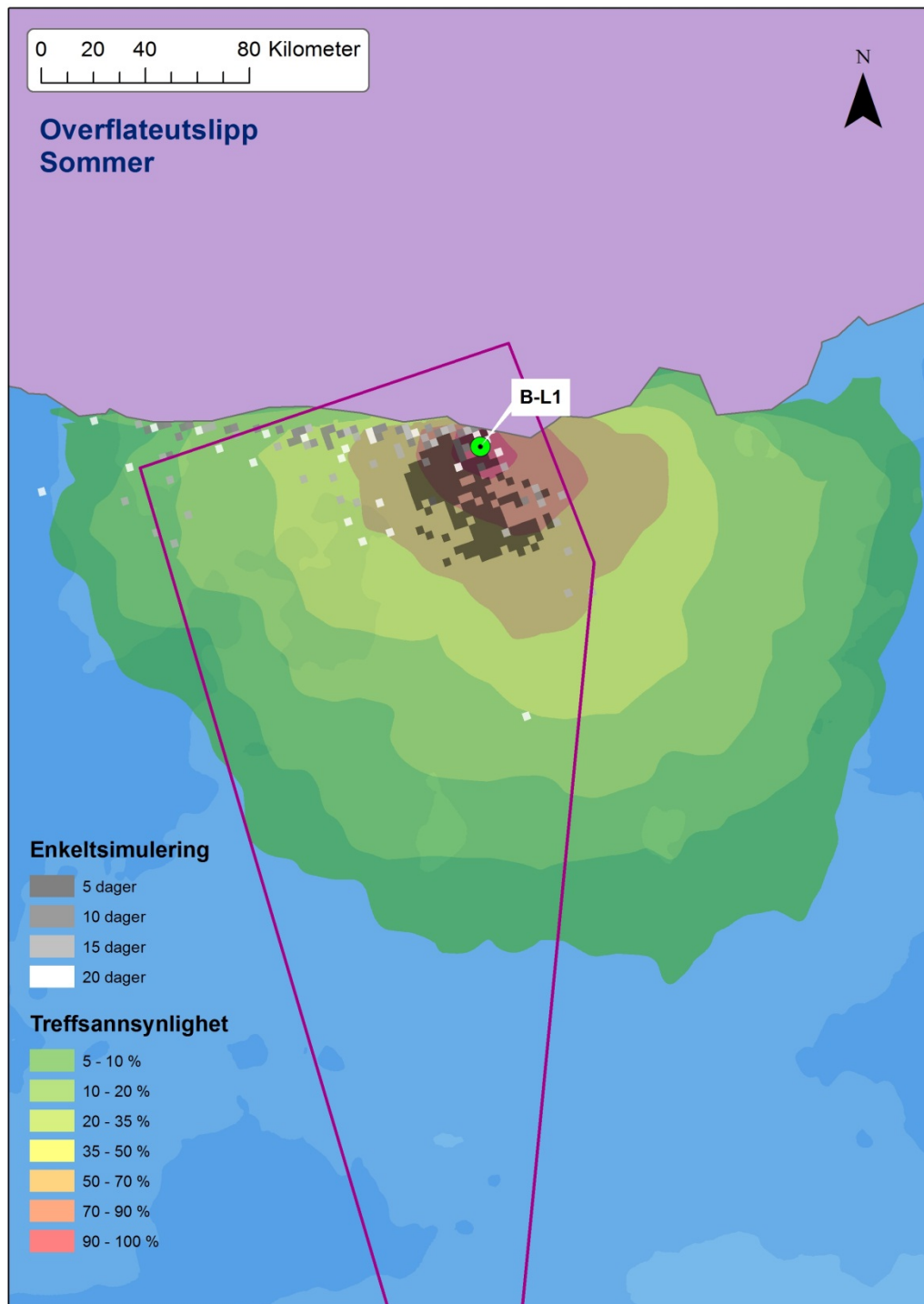
Figur 4-14 Ankomsttider (tid fra start av oljesølet) (sesongmessig) av olje for 50 og 95 persentilene til **kyst og strandsoner** i lokasjonene B-L2 og B-O2 i Barentshavet sørøst. Strandingsstatistikken er basert på både overflate- og sjøbunnsutblåsningene for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter.

4.3 Influensområder – havoverflate

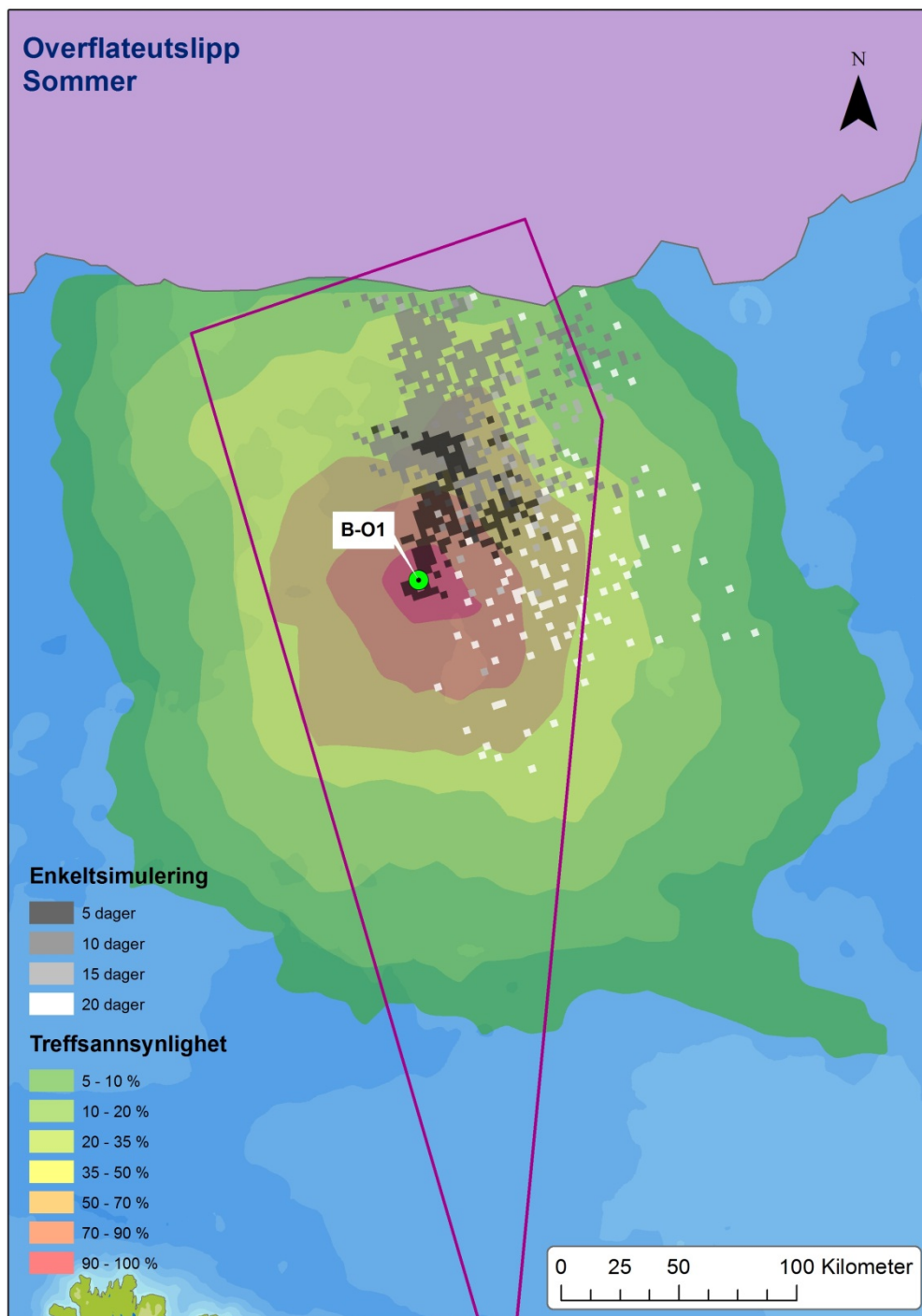
I figurene under vises statistiske resultater fra oljedriftsberegningene, presentert som influensområder på overflaten. Et influensområde viser her området med $\geq 5\%$ sannsynlighet for treff av over 1 tonn olje per 10×10 km gridrute på havoverflaten, uavhengig av hvor lenge det har vært olje i ruta, basert på 4 sesonger (B-L1 og B-O1) og hele året (B-L2 og B-O2) for alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter, se Tabell 2-3. Grunnen til å vise oljemengder over 1 tonn olje er relatert til den laveste av oljemengdekategoriene (1-100 tonn) som anvendes i miljørisikoen (DNV 2012).

4.3.1 Enkeltsimulering og influensområder

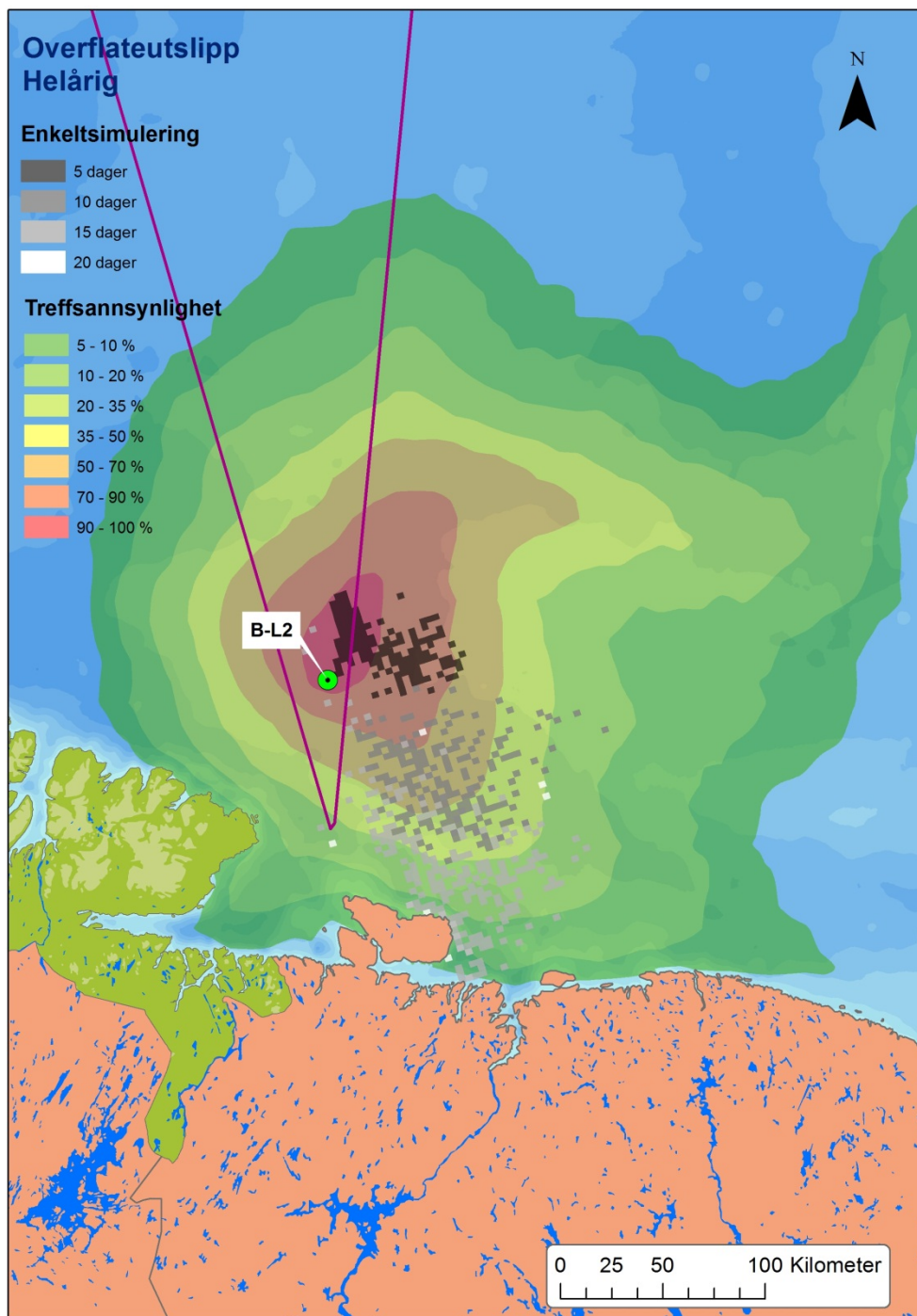
Som en illustrasjon vises det innledningsvis tre figurer (Figur 4-15 til Figur 4-17) hvor det er presentert en modellert spredning av ett enkelt utslipp (én enkeltsimulering) og hvordan dette utslippet spres over tid. Utslippet er illustrert med gråtoner, hvor lysere farge angir gradvis endret utbredelse av utslippet etter henholdsvis 5, 10, 15 og 20 dager siden utslippet start. Samtidig er det i figurene lagt som bakgrunn det statistiske influensområdet for oljeutslipp fra lokaliteten. Dette representerer en sannsynlighetsfordeling for treff av olje i et område basert på summen av 1536 enkeltmodelleringer. Figurene viser at hvert enkelt utslipp (én enkeltsimulering) vil dekke en andel av det totale influensområdet, og hvor ulike vind- og strømforhold påvirker i hvilke retninger utslippet driver. Utslipp med lang varighet vil normalt ha det største influensområdet. Det enkelte utslippet er valgt ut i fra alle simuleringer som den simuleringen som gir forventet strandet oljemengde (eller oljemengde til iskanten), gitt at det strander (eller treffer iskanten). Det enkelte utslippet som er vist i figurene er kjørt med forventet utslippsvarighet 5 dager og med forventet utslippsrate på $750 \text{ Sm}^3/\text{d}$, se Tabell 2-3.



Figur 4-15 Modellert spredning av ett enkelt utslipp (én enkeltsimulering) fra B-L1 med startdato 1. august 2001 med forventet utslippsvarighet 5 dager (og følgetid 15 dager) og forventet utslippsrate $750 \text{ Sm}^3/\text{d}$. Utslippet er illustrert med gråtoner, hvor lysere farge angir gradvis endret utbredelse av utslippet etter henholdsvis 5, 10, 15 og 20 dager etter utslippets start. I bakgrunnen er det vist et statistisk influensområde som er basert på summen av 1536 enkeltsimuleringer og alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter, se Tabell 2-3.



Figur 4-16 Modellert spredning av ett enkelt utslipp (én enkeltsimulering) fra B-01 med startdato 12. juli 2000 med forventet utslippsvarighet 5 dager (og følgetid 15 dager) og forventet utslippsrate $750 \text{ Sm}^3/\text{d}$. Utslippet er illustrert med gråtoner, hvor lysere farge angir gradvis endret utbredelse av utslippet etter henholdsvis 5, 10, 15 og 20 dager etter utslippets start. I bakgrunnen er det vist et statistisk influensområde som er basert på summen av 1536 enkeltsimuleringer og alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter, se Tabell 2-3.



Figur 4-17 Modellert spredning av ett enkelt utslipp (én enkeltsimulering) fra B-L2 med startdato 28. april 2001 med forventet utslippsvarighet 5 dager (og følgetid 15 dager) og forventet utslippsrate $750 \text{ Sm}^3/\text{d}$. Utslippet er illustrert med gråtoner, hvor lysere farge angir gradvis endret utbredelse av utslippet etter henholdsvis 5, 10, 15 og 20 dager etter utslippets start. I bakgrunnen er det vist et statistisk influensområde som er basert på summen av 1536 enkeltsimuleringer og alle rater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter, se Tabell 2-3.

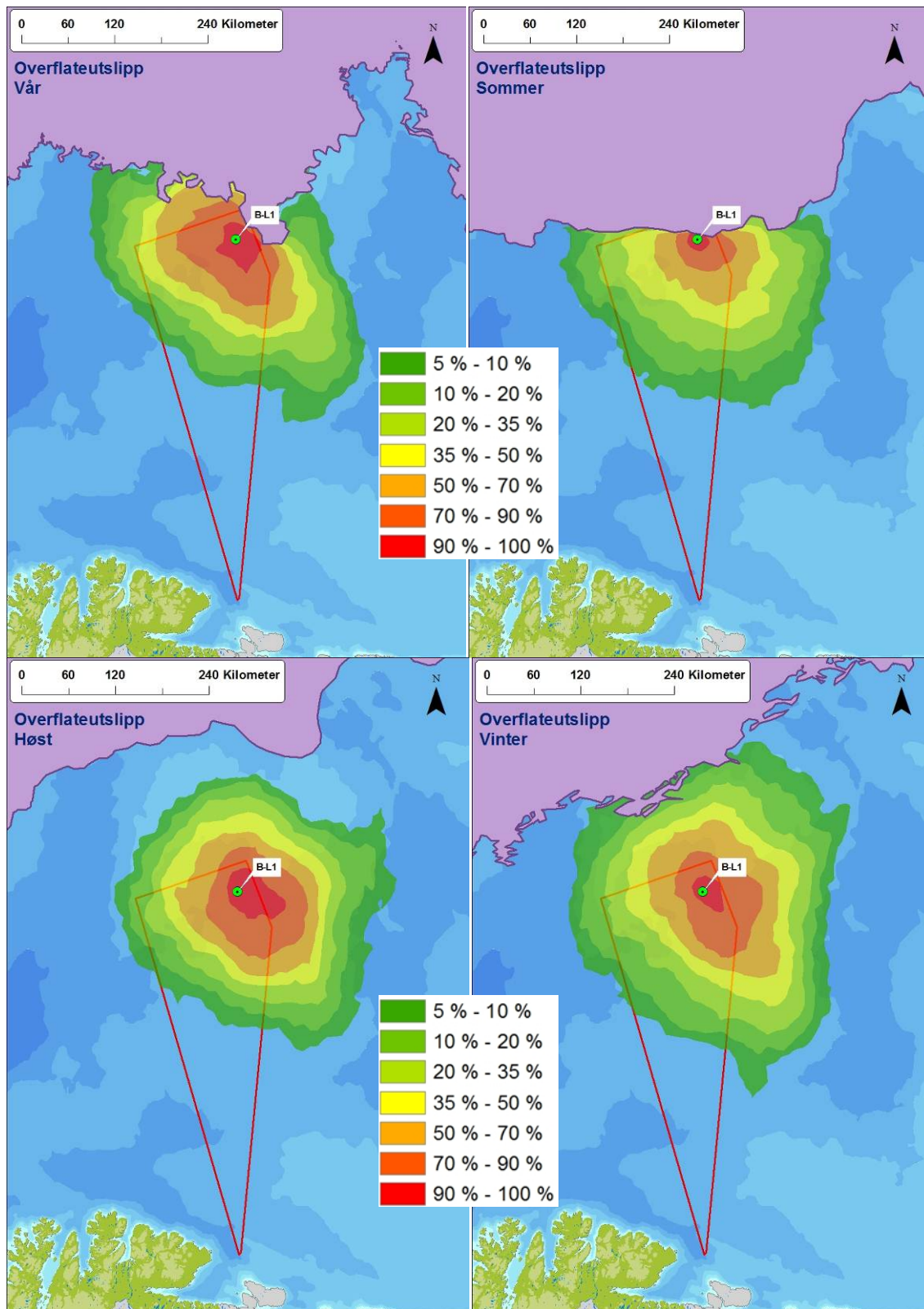
4.3.2 Influensområder – treffsannsynlighet for oljemengder over 1 tonn

Generelt viser influensområdene fra sjøbunnsutblåsningene en tilsvarende utbredelse som for overflateutblåsningene. Dette skyldes at vektningen av lengste varighet (50 døgn) er 20 % for en sjøbunnsutblåsning, mens det for overflateutblåsningen er 7 %. Influensområdene sier ingenting om hvor store oljemengder det er i hver gridrute, bare at det har vært olje i ruta.

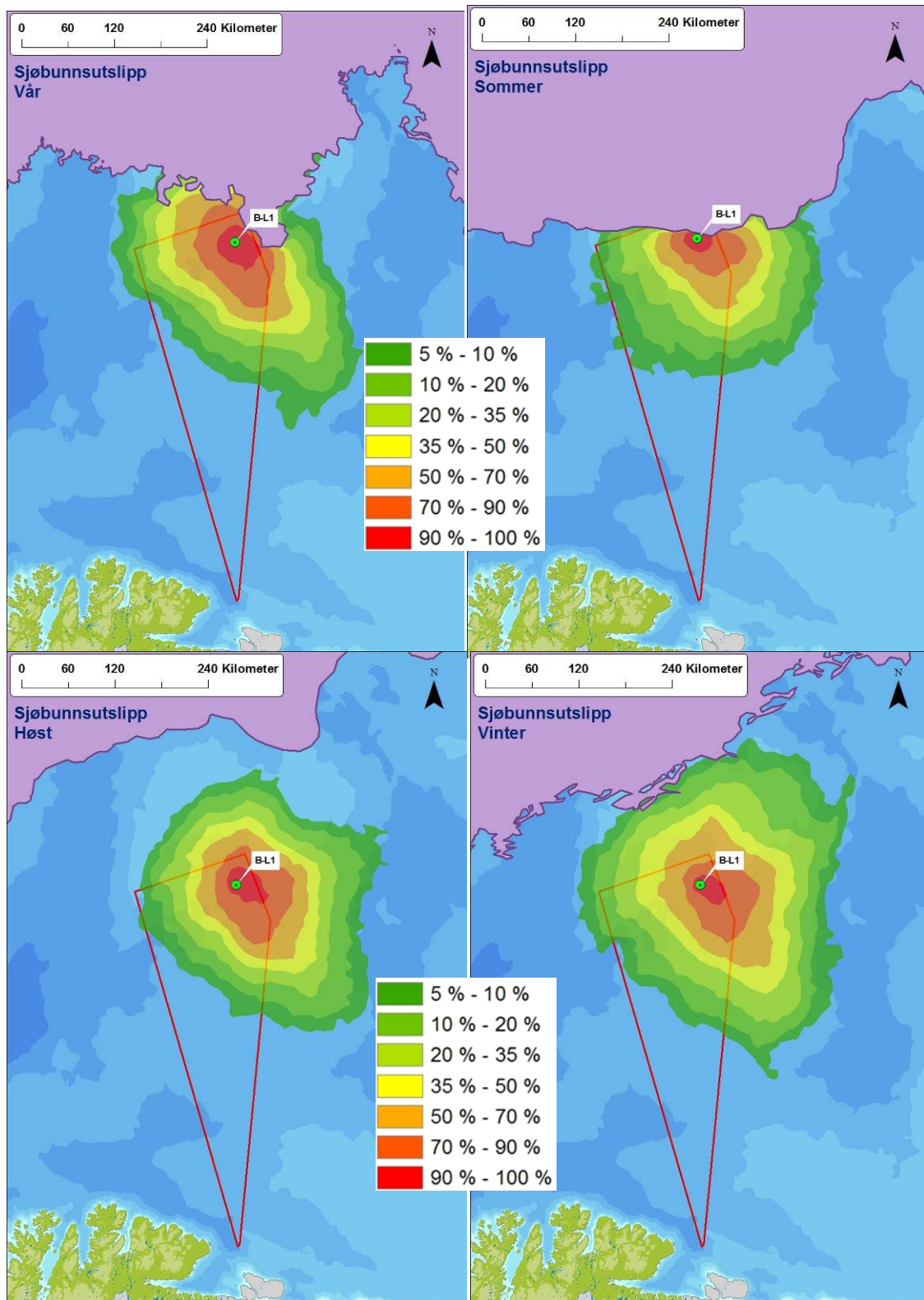
De statistiske resultatene for den nordligste lokasjonen B-L1 viser at influensområdene berører iskanten i nord om våren, sommeren og vinteren, mens for lokasjonen B-O1 berører influensområdene iskanten vår og sommer. Det gjøres oppmerksom på at isutbredelsen i figurene for lokasjonene B-L1 og B-O1, vår og vinter viser iskonsentrasjoner fra perioden 2009-2011 og ikke 2001-2011, som de andre sesongene og lokasjonene. Isutbredelsen for vår og vinter basert på 2009-2011 dataene er betydelig mindre enn med 2001-2011 dataene, se Figur 3-1. Dette er gjort for å muliggjøre modellering. I de fleste år vil iskanten være vesentlig lengre nord enn hva maksimale isgrense angir (MI 2012).

For lokasjonen B-O2 treffer influensområdet hverken iskant eller land. For den sørligste lokasjonen B-L2 berører influensområdet kysten fra Nordkinnhalvøya i vest til 300 km av Russland i øst.

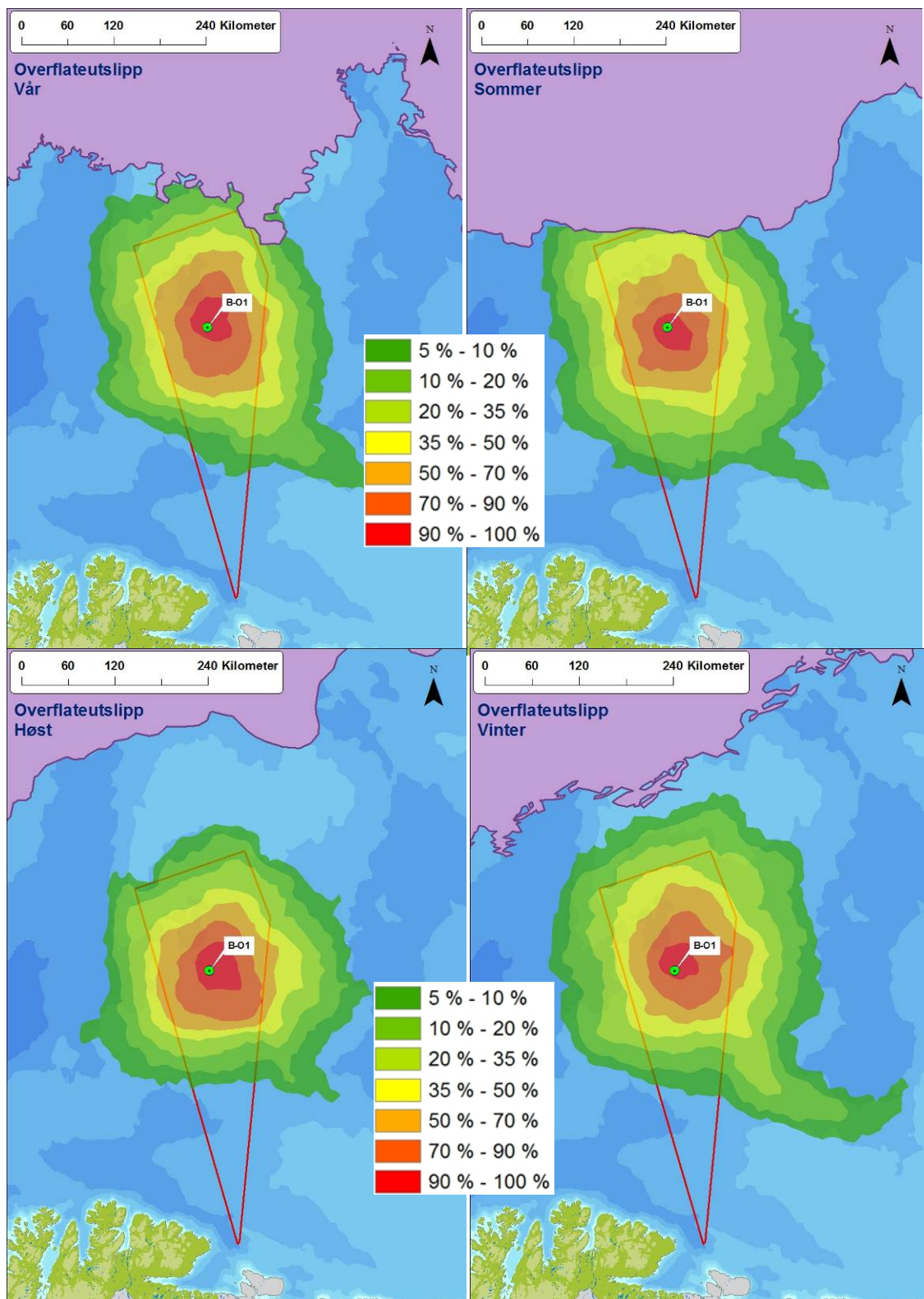
Merk at influensområdene ikke viser omfanget av et enkelt oljeutslipp, men er et statistisk område, dvs. det området som berøres med mer enn 5 % treffsannsynlighet.



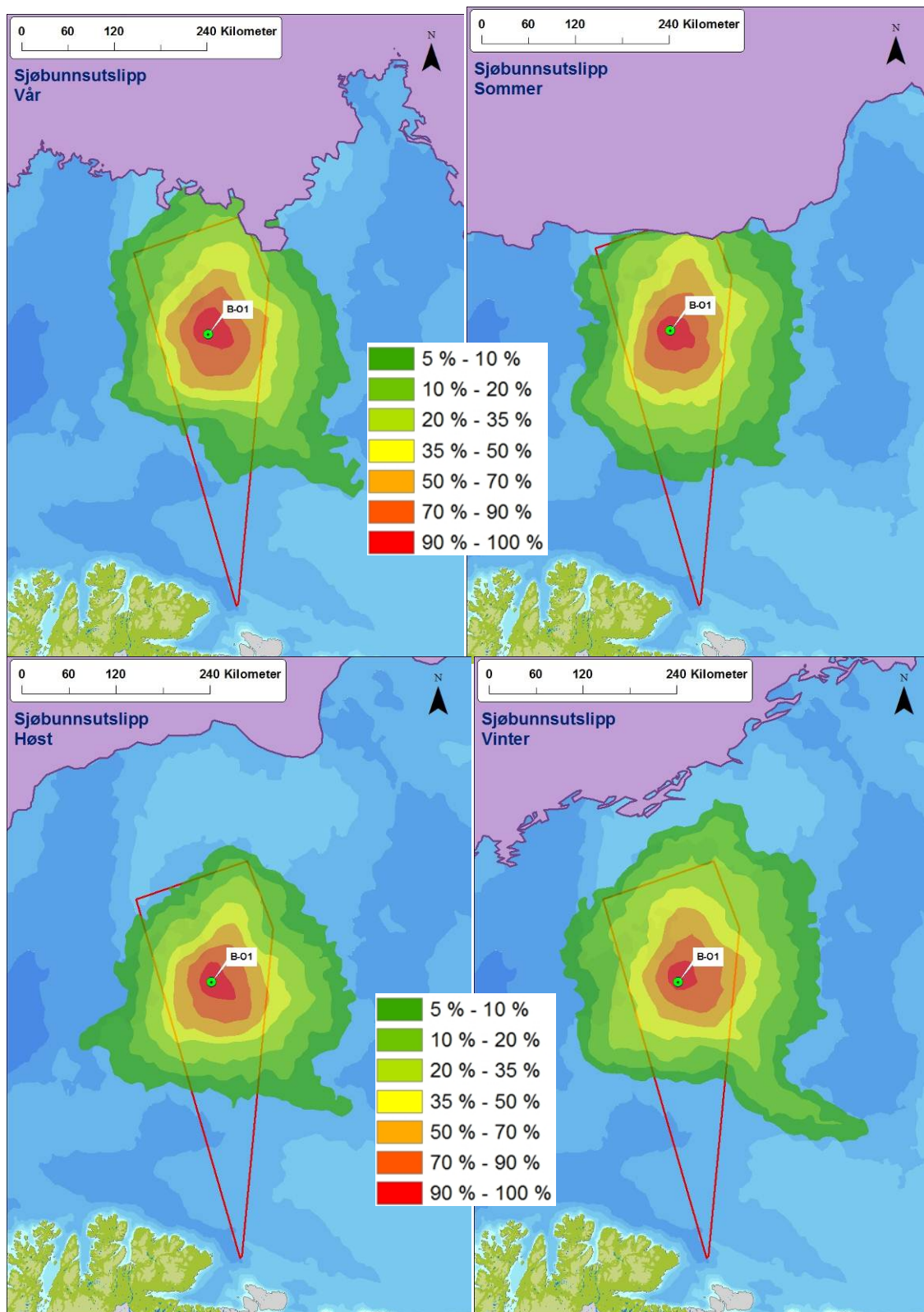
Figur 4-18 Sannsynligheten for treff av over 1 tonn olje i 10 × 10 km ruter gitt en **overflateutblåsning** fra B-L1 (sesongmessig). Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Isutbredelse vist i rosa farge.



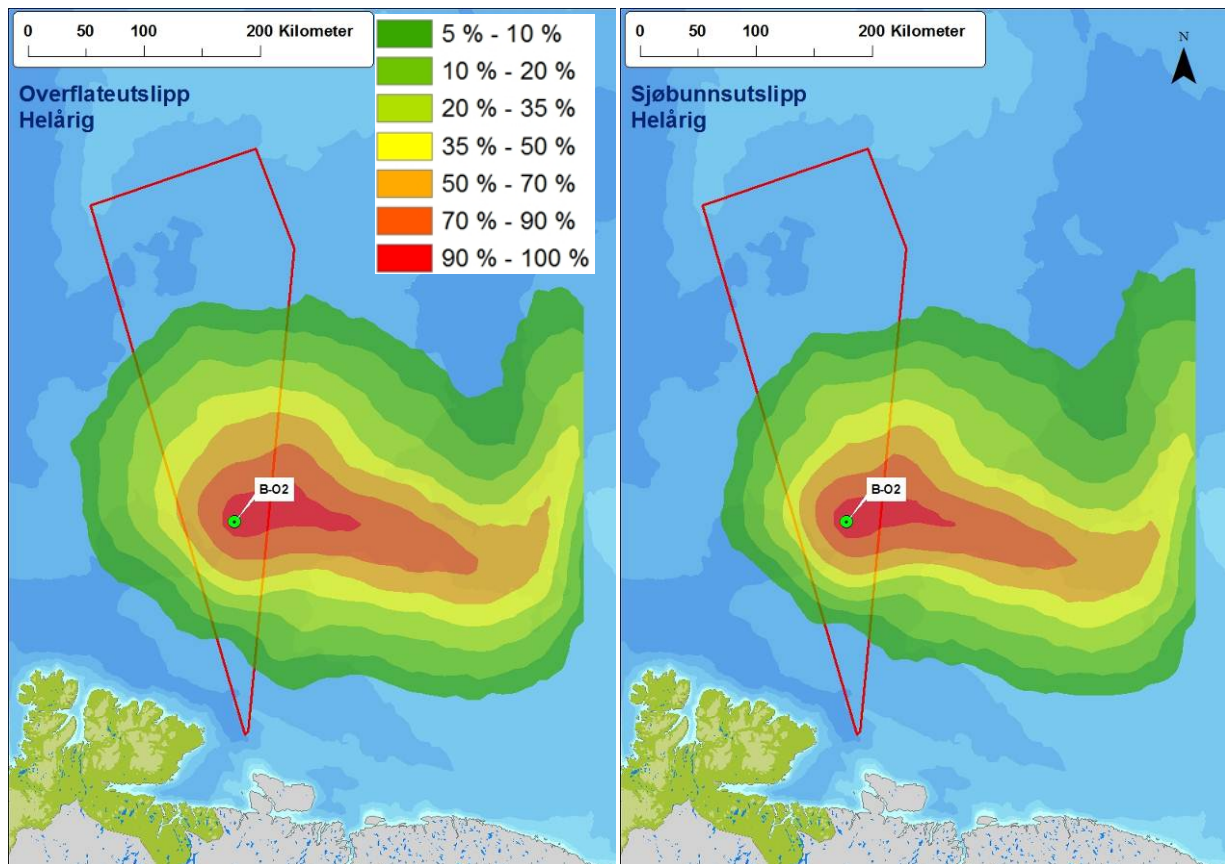
Figur 4-19 Sannsynligheten for treff av over 1 tonn olje i 10×10 km ruter gitt en sjøbunnsutblåsning fra B-L1 (sesongmessig). Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Isutbredelse vist i rosa farge.



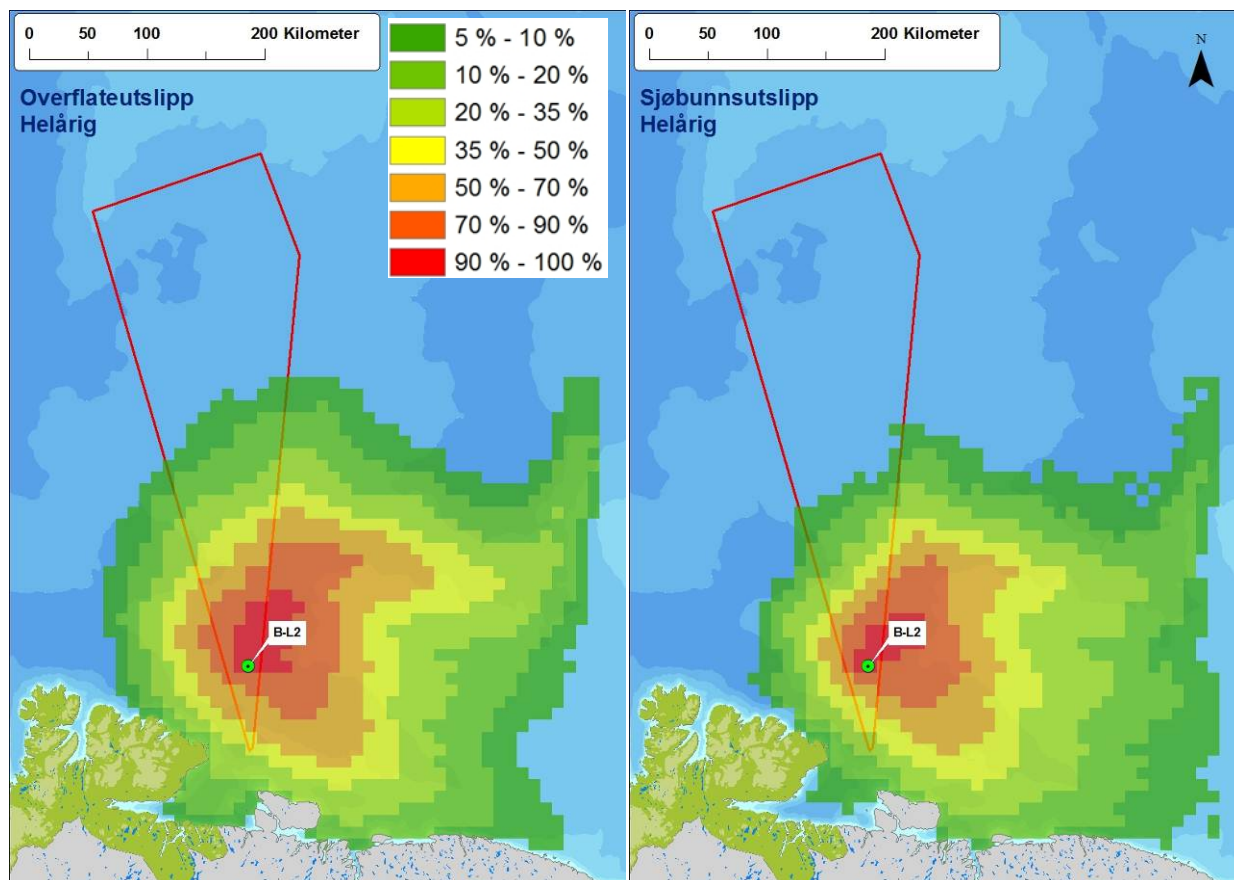
Figur 4-20 Sannsynligheten for treff av over 1 tonn olje i 10 × 10 km ruter gitt en overflateutblåsning fra B-01 (sesongmessig). Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Isutbredelse vist i rosa farge.



Figur 4-21 Sannsynligheten for treff av over 1 tonn olje i 10 × 10 km ruter gitt en sjøbunnsutblåsning fra B-01 (sesongmessig). Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Isutbredelse vist i rosa farge.



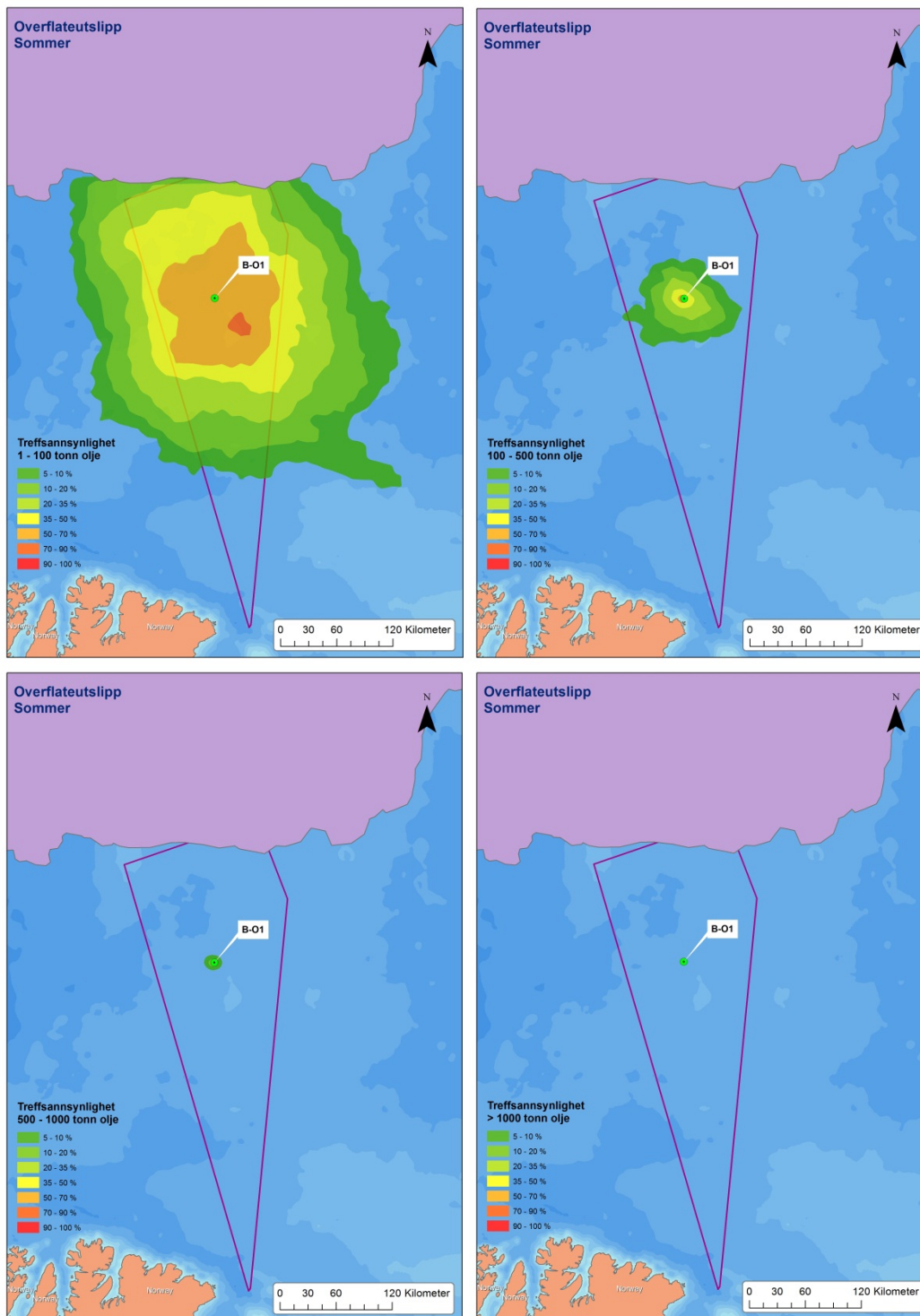
Figur 4-22 Sannsynligheten for treff av over 1 tonn olje i 10×10 km ruter gitt en **overflateutblåsning** (venstre) og **sjøbunnsutblåsning** (høyre) for B-O2 (siden influensområdet ikke treffer iskanten er figurene presentert helårlig). Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter.



Figur 4-23 Sannsynligheten for treff av over 1 tonn olje i 10×10 km ruter gitt en *overflateutblåsning* (venstre) og *sjøbunnsutblåsning* (høyre) for B-L2 (siden influensområdet ikke treffer iskanten er figurene presentert helårlig). Grunnet tekniske utfordringer er disse influensområdene vist som gridruter, og er ikke glattet ut som i de andre tilsvarende figurene. Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter.

4.3.3 Influensområder – treffsannsynlighet for ulike oljemengder

Som en illustrasjon vises det for lokasjon B-O1 (sommersesongen) i Figur 4-24 influensområder presentert som treffsannsynlighet for ulike oljemengder. Det er kategoriene 1-100 tonn olje, 100-500 tonn olje, 500-1000 tonn olje og > 1000 tonn olje i 10×10 km gridruter på havoverflaten. Dette er de samme oljemengdekategoriene som anvendes i Miljøriskostudien (DNV, 2012). Disse figurene kan sees i sammenheng med influensområdet for sommersesongen i Figur 4-20 hvor treffsannsynligheten over 1 tonn olje i 10×10 km gridruter på havoverflaten er presentert.



Figur 4-24 Sannsynligheten for treff av olje i ulike oljemengdekategorier, 1-100 tonn, 100-500 tonn, 500-1000 tonn og > 1000 tonn i 10 × 10 km ruter gitt en **overflateutblåsning** fra B-O1 (sommersesongen). Influensområdet er basert på alle utslippsrater og varigheter og deres individuelle sannsynligheter. Isutbredelse vist i rosa farge.

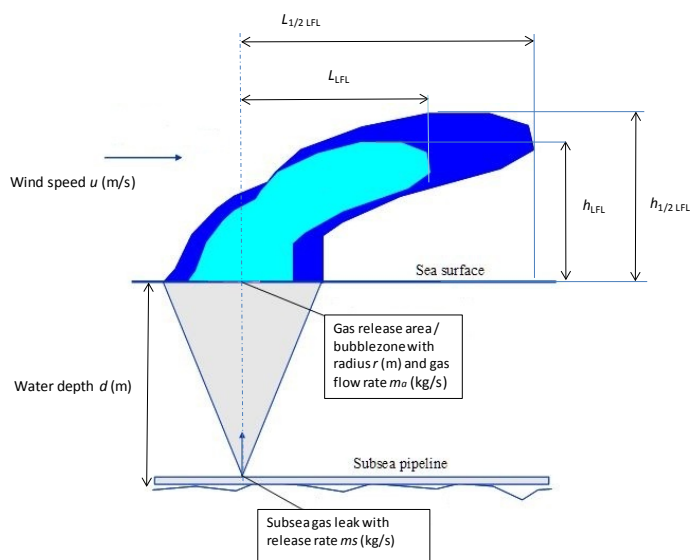
5 SPREDNING AV GASS FRA UNDERVANNSUTSLIPP

I forbindelse med oljedriftsmodellering er det også etterspurt en beskrivelse av hva som skjer med gass fra undervannsutslipp. Dette kapitlet omhandler generelt hvordan gass spres i vann og luft etter et utslipp under vann. Det er ikke gjort spesifikke beregninger for hver lokasjon, men beregninger foretatt her kan benyttes på alle lokasjoner.

Modellene som er benyttet for beregningene av gassspredning er utviklet først og fremst med hensyn på brann- og eksplosjonssikkerhet for fartøy og installasjoner på overflaten. Miljøaspekter er dermed ikke behandlet i foreliggende rapport, men drøftes i miljørisiko- og konsekvensvurderingene (DNV 2012).

Gass fra et undervannsutslipp vil bevege seg betydelig raskere oppover enn oljen pga. større oppdrift. I sekundene etter at utslippet starter kan det bygges opp en større mengde gass under vann som bryter overflaten etter 1 - 5 minutter (avhengig av mengde gass og vanddybde) og fortsetter i luft som en «puff». Dersom lekkasjen er vedvarende, vil det etableres en stabil «steady state» bobleplume over utslippsstedet i vannsøylen. Denne danner en sirkulær boblesone på overflaten. Figur 5-1 illustrerer hele forløpet. Radius til boblesonen er bestemt av utslippsrate og havdybde. På vei oppover vil gass løses opp i vannet, og strømningsrate av gass som kommer opp på overflaten er mindre enn utslippsrate på havbunn. Havstrømmer i vannsøylen vil gjøre at bobleplumen bøyes av i retning av disse. Hastigheten til boblene er betydelig høyere enn vanlig havstrøm, og avbøyningen til bobleplumen er derfor relativt liten.

På overflaten vil gassen fortsette å spre seg i luft. Etter den initielle puffen vil det kunne etableres en stabil «steady state» gassplume. Siden naturgass er noe lettere enn luft vil den stige ved lave vindhastigheter. Ved normale og høye vindhastigheter vil plumen legge seg langs vannet. Lengder og høyder på en slik brennbar plume er gitt av beregningene under.



Figur 5-1 Skjematiske illustrasjoner av lekkasje, bobleplume under vann og gassplume over vann. Lekkasjen kan komme fra en brønn eller en rørledning. Dimensjoner på plumen er definert i denne figuren.

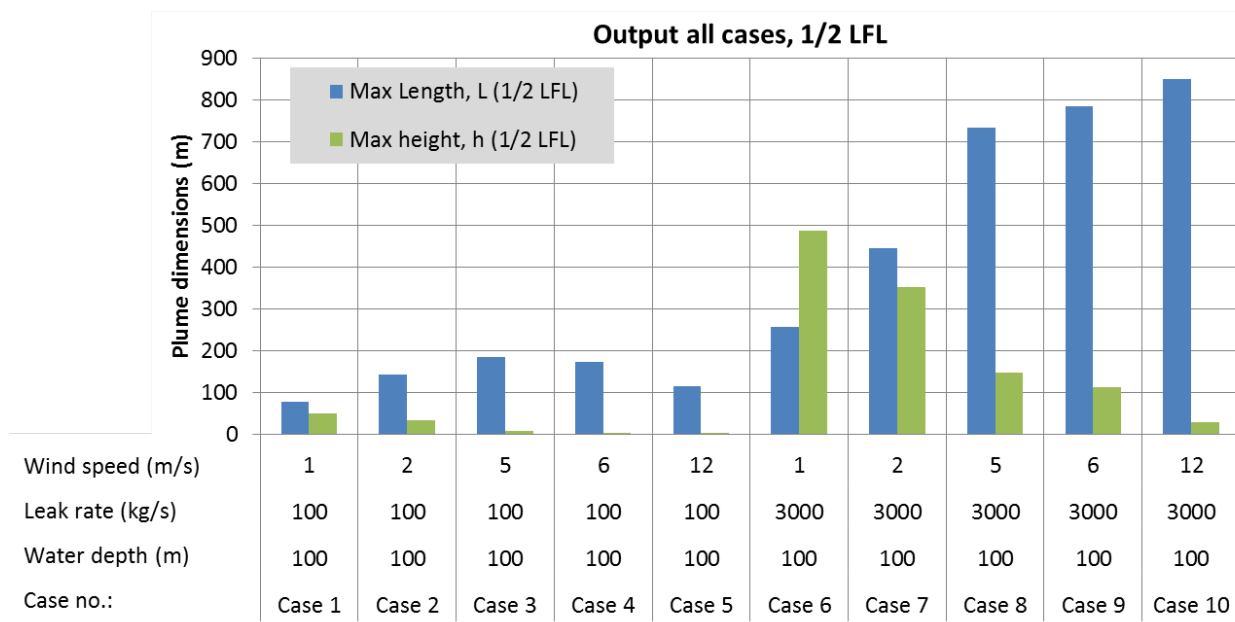
5.1 Beregning

Beregninger av gassplumer fra undervannslekkasjer er foretatt med programmet PlumePro. Et sett med inngangsdata er brukt med forskjellige havdyp og lekkasjerater samt vindhastigheter. Resultater fra beregningene gir radius på boblesone i overflaten, strømningsraten gass som kommer opp og lengden og høyden på gassky over vann (se Figur 5-1).

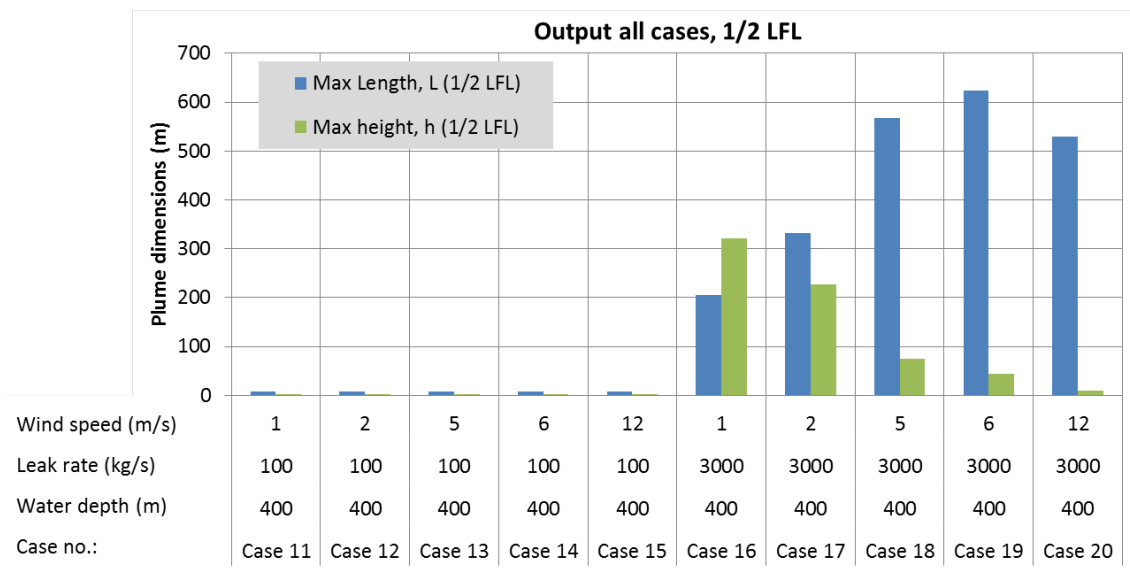
Dybdene 100 og 400 m havdyp er benyttet som eksempler og resultatene er vist i Figur 5-2 og Figur 5-3 for hhv. case 1 til 10 og 11 til 20. Lengden til 1/2 LFL er opp mot 1000 m for de største gassutslippene. Høyden er opp mot 500 m for de lave vindhastighetene. Grensen på 1/2 LFL er ofte benyttet som sikkerhetssone for å unngå eksplosjon og brann. LFL står for «Lower Flamability Limit» og tilsvarer den konsentrasjonen som må til for at naturgass skal kunne brenne. 1/2 LFL er benyttet for å inkludere usikkerhet i modellene samt de naturlige variasjonene man kan se i en gassky som sprer seg i luft.

Boblesone radius er 157 m for lekkasje på 3000 kg/s fra 400 m dyp. Dette er den største radius i disse beregningene. For lekkasjen med utslippsrate 100 kg/s og havdyp 400 m er boblesone radius 73 m.

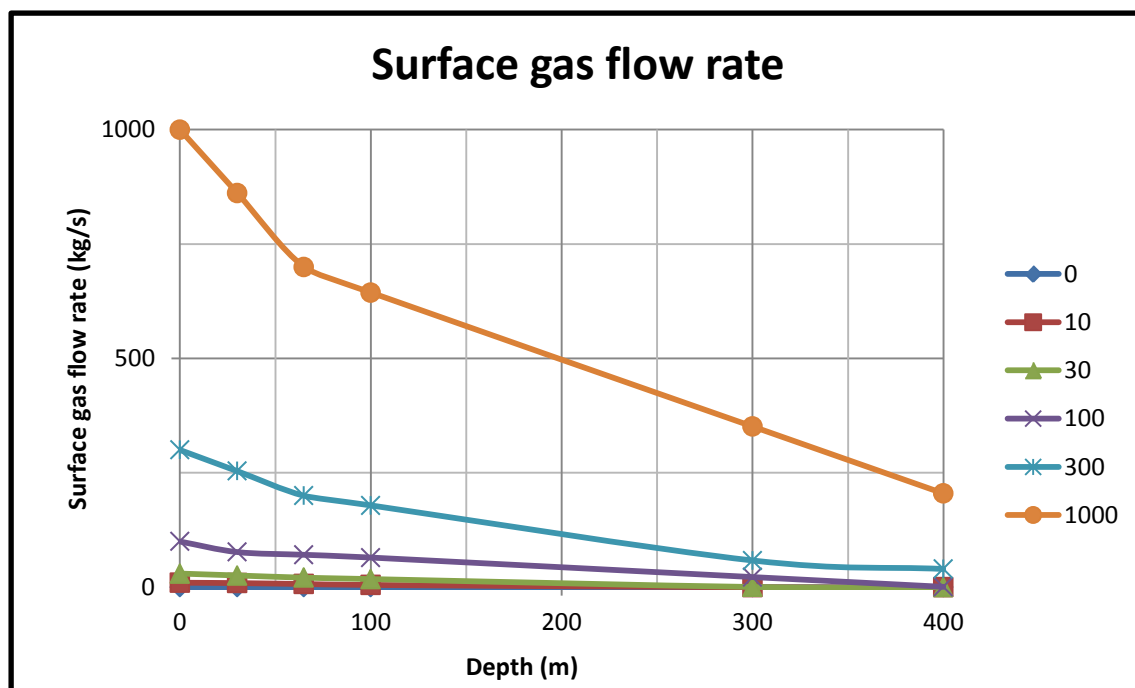
Ved større havdyp vil mer av gassen løses opp i vannet og dette gir kortere skyer over vann. Beregninger er kun foretatt for havdyp ned til 400 m. Ved denne dybden vil kun 22 % av gassen komme opp til overflaten. Resten løses opp i vannet. Ved større dyp vil mer av gassen løses opp i vannet. Det er usikkert ved hvilken dybde gass ikke kommer opp til overflaten, og dette vil også variere med størrelsen på utslippet. Som et eksempel vises mengden gass på overflaten som funksjon av dybden i figur 4 under. Figuren viser at mengden gass avtar med dybden. Den avtar mest ved overflaten.



Figur 5-2 Maksimale lengder og høyder på brennbar plume for 100 m havdyp



Figur 5-3 Maksimale lengder og høyder på brennbar plume for 400 m havdyp.



Figur 5-4 Strømningsrate (kg/s) av gass som kommer opp i overflaten som funksjon av havdyp. De forskjellige kurvene gir strømningsrater fra utslippet under vann (kg/s)



5.2 Metode

PlumePro er et program for beregning av stabile «steady state» gassplume lengder og høyder fra undervannsutslipp. Programmet er basert på «look-up» tabeller hvor utvalgte scenarier er tabulert. Resultatene i look-up tabellene er generert fra Computational Fluid Dynamics (CFD) beregninger med to forskjellige modeller, én CFD modell fra Sintef for undervannsplumen, og én CFD modell fra DNV for gassplumen over vann (DNV 2011). CFD modellene er 3D modeller hvor massebevarelse og bevegelseslikningene (Navier-Stokes likning) er løst sammen med transportlikninger for turbulens (k-epsilon modellen). Gridoppløsningen er ned til 0,1 m i alle tre retninger og beregningsdomenet er definert kun der hvor gassen er og i tilstrekkelig avstand fra gassen. Disse CFD modellene har blitt validert mot forsøk gjort med mindre utslipp under vann og skorsteinsutslipp over vann. Beregningene benyttes som en indikasjon på gassplume størrelsen, der nøyaktigheten er best for mindre utslipp. For større gassutslipp er modellen ikke validert. Det er ønskelig å foreta storskalaforsøk for å styrke modellen ytterligere.



6 REFERANSER

DNV 2011: Dispersion above sea from subsea releases, Phase 5, DNV Report No 2011-1434/

DNV 2012: Oljedriftsmodellering og analyse av gassutblåsning i Nordområdene - Barentshavet sørøst. DNV rapport nr. 2012-1314:

DNV 2012: Oljedriftsmodellering og analyse av gassutblåsning i Nordområdene - Barentshavet sørøst. DNV rapport nr. 2012-1267

Føyn m.fl. 2002: Miljø- og resursbeskrivelse av området Lofoten – Barentshavet. Føyn, L; von Quillfeldt; C.H.; Olsen, E; Fisker og havet; nr. 6 – 2002

Havforskningsinstituttet (HI) 2012: Kunnskap om marine ressurser I Barentshavet sørøst. Nr. 21-2012

Levitus 1994: Hydrografi-atlas utlagt på internettadresse:

<http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS94/MONTHLY/.temp>
<http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS94/MONTHLY/.sal>

Meteorologisk Institutt (MI), 2012: Vær, is og andre fysiske utfordringer ved Barentshavet sørøst

Oljedirektoratet 2012: Notat. Scenarier for petroleumsvirksomhet i Barentshavet sørøst. (18.06.2012)

Scandpower 2012: Blowout and well release frequencies based on SINTEF offshore blowout database 2011.

SINTEF 80171800, Table 1: Boundary conditions for atmospheric dispersion

SINTEF 2008: Weathering properties of the Goliat Kobbe and two Goliat Blend of Kobbe and Realgrunnen crude oils. SINTEF F3959

Sætre 1999: Strømforhold i øvre vannlag utenfor Norge. Havforskningsinstituttet. Rapport: FO 8306. 34 s.



VEDLEGG

1

USIKKERHETER OG BETYDNINGEN AV INNGANGSDATA I OSCAR- MODELLERINGER

Dette kapittelet oppsummerer de viktigste prosessene og antakelsene i OSCAR samt generelle betraktninger rundt effekten av inngangsdata.

Enhver modell vil nødvendigvis være en forenkling av virkeligheten. Dette medfører at det vil være et visst avvik mellom modellens prediksjoner og virkeligheten, men kan samtidig gjøre det enklere å avdekke og forstå generelle trender og fenomener i prosessene man studerer. I dette kapittelet påpekes noen av de viktigste kjente forenklingene og antakelsene i OSCAR, og det gjøres rede for usikkerheter som følge av modellens oppbygning så vel som oppsettet av simulasjonene og inngangsdataene som er i bruk.

Hensikten med å synliggjøre antakelser og usikkerheter i beregningene er å gjøre leseren bedre i stand til å forstå hva som ligger til bak modellkjøringene, og på den måten være bedre rustet til å tolke og analysere resultatene.

For å kunne forklare de forskjellige kildene til usikkerhet i modellen kreves det at leseren får en viss forståelse for hvordan modellen er bygd opp. I de påfølgende avsnittene vil et minimum av tekniske detaljer bli presentert, med fokus på hvordan dette påvirker modellens mulighet til å etterligne virkeligheten. For en mer generell utgreiing om modellens oppbygning henvises leseren til tidligere publiserte rapporter.

Modelleringen av prosesser som fjerner forurensningen fra det modellerte systemet er spesielt interessant da denne har stor effekt på omfanget av eventuelle skadevirkninger i kjølvannet av et utslipp. Olje i OSCAR fjernes fra miljøet gjennom fordampning, degradering og eventuelt mekanisk oppsamling. Videre kan olje til en viss grad immobiliseres på strand og i sedimenter. Av effektivitetshensyn følges ikke sedimentert olje i stokastiske simulasjoner. Olje på strand degraderer både i virkeligheten og i modellen, men dette skjer saktere enn for olje i vannkolonnen. Olje kan transporteres ut av det modellerte området, men modellberegningene settes normalt opp på en sann måte at dette i verste fall bare gjelder en liten andel av det totale utslippet. I tillegg til degradering vil fortykning av oljen i vannkolonnen være en viktig kilde til at effekten av et utslipp reduseres over tid.

Kilder til usikkerheter i OSCAR-modellen

OSCAR er en partikkelbasert modell, hvor olje og kjemikalier i modellen representeres som et sett med partikler. Hver partikkel har en rekke egenskaper som forandrer seg i løpet av en simulasjon. Dette inkluderer generelle egenskaper som posisjon, masse og fysisk utstrekning, så vel som egenskaper knyttet spesielt til oljedriftsmodellering: viskositet, vanninnhold, kjemisk sammensetning, vannløselighet, og så videre.

I OSCAR finnes det tre hovedtyper av partikler. Disse representerer henholdsvis kjemikalier som er løst i vannet, dråpeskyer i vannkolonnen som følge av kjemisk eller naturlig dispergering (*droplet clouds*) og olje på havoverflaten (*spillets*).

En simulasjon består av en rekke tidsskritt hvor partiklenes egenskaper forandres:

- partiklenes posisjon endres som følge av pådrag fra vind og strøm
- massen og den kjemiske sammensetningen endres som følge av blant annet fordampning biodegradering og utløsning fra dråpeskyer og overflateflak til løste komponenter
- vannopptak og viskositet endres som del av en kompleks forvitningsprosess

I tillegg kan partikler gå fra å representere dråpeskyer til å representere overflateflak og motsatt. Dråpeskyer kan stige til overflaten som følge av oljens oppdrift, og overflateflak kan blandes ned i vannkolonnen som følge av vindinduserte bølger og turbulens.

Som med enhver annen diskretisering av en kompleks kontinuerlig prosess, vil en partikkelbasert modell være følsom for hvilken oppløsning som velges. Desto flere partikler som brukes i beregningene, desto større potensial har man for å oppnå realistiske simulasjoner, gitt strøm-, vind-, dybde- og kystdata. Flere partikler betyr imidlertid også mer ressurskrevende beregninger, og det endelige valg av oppløsning blir en avveining mellom tilgjengelige regneressurser og nytten av å øke oppløsningen ytterligere.

Prosesser på havoverflaten

Nøkkelprosesser på havoverflaten som er inkludert i modellen er

- Spredning
- Fordampning
- Emulgering
- Dispergering
- Stranding.

Disse er stort sett godt etablert, spesielt for oljer med standardiserte forvitningsdata fra laboratorie- og/eller feltforsøk. Vi vet at beregninger for emulgering og naturlig dispergering er mye mer usikre for oljen uten forvitningsdata tilgjengelig.

Prosesser i vannkolonnen

I vannkolonnen modelleres en lang rekke komplekse prosesser knyttet til blant annet transport, spredning, utlekking fra dråper til løste komponenter og degradering. I dette avsnittet vil vi ta for oss kjente usikkerheter knyttet til modelleringen av fortykning og degradering.

Fortyning skjer i OSCAR normalt gjennom diffusiv spredning pluss spredning på grunn av strømskjær horisontalt og i mellom vertikale lag. Utlekking er en funksjon av dråpestørrelse, løselighet av hver oljekomponent, og forskjeller i hastighet mellom dråpen og vannet rundt (stigehastigheten).

OSCAR beregner biologisk degradering fra løste kjemikalier, dråper som følge av naturlig og kjemisk dispergering, og sedimentert olje (sedimentert olje følges ikke i stokastiske kjøring). Olje representeres i OSCAR som bestående av 25 pseudokomponenter. Hver pseudokomponent representerer en gruppe kjemikalier med lignende fysiske og kjemiske egenskaper. For hver av disse pseudokomponentene beregnes degradering på grunnlag av separate degraderingsrater for dråper, løste kjemikalier og sedimentert olje. Denne degraderingsraten representerer imidlertid det første stadiet av degraderingen (biotransformasjon), ikke full mineralisering (til hovedsakelig CO₂ og vann). Dette betyr at oljekomponenter som indikeres som ”degradert” i modellen fortsatt kan eksistere en periode i miljøet i form av degraderingsprodukter. Sammenhengen mellom degraderingsprosessen og den biologiske effekten av disse er ikke fullt ut forstått, og i et tidsvindu mellom biotransformasjon og mineralisering er det muligheter for at effekter fortsatt kan forekomme. Pågående forskningsprosjekter kan komme til å endre både modellens beregning av degradering og den kjemiske representasjonen av oljen.

God oppløsning i vannkolonnen krever for øvrig et relativt høyere antall partikler enn på overflaten. Dette kommer av at oljen i vannkolonnen skal modelleres i tre dimensjoner, mens oljen på overflaten i praksis bare modelleres i et plan. Det har spesielt betydning for dråpeskyer som stiger til overflaten, noe vi kommer tilbake til i et senere avsnitt.

Undervannsutblåsninger

En undervannsutblåsning tilfører modelleringen ytterligere kompleksitet. I OSCAR modelleres dynamikken i en utblåsning av en egen nærsonemodell (*Plume3D*). Denne modellen har blitt validert mot både feltforsøk og faktiske hendelser, og modellens prediksjoner har vist seg å stemme svært godt med observasjonene. Mye forskning og utvikling gjenstår imidlertid før undervannsutblåsninger er fullt ut forstått og kan modelleres med høy presisjon.

Ved en undervannsutblåsning vil det dannes en såkalt *plume*, bestående av olje (primært i dråpeform), gass og vann. Plumen drives oppover i vannkolonnen av trykket fra utslippspunktet, gassens ekspansjon og tetthetsforskjellen mellom olje og vann, og eventuell tetthetsforskjell mellom vannet i og utenfor plumen. Etter hvert som plumen stiger i vannkolonnen, suges stadig mer vann inn fra omgivelsene, slik at plumen etter hvert består av langt mer vann enn olje og gass. Vannet som suges inn på dypet vil være kaldt og saltholdig, og følgelig ha høyere tetthet enn vannet i omgivelsene av plumen. Dette vil da motvirke plumens oppdrift. Ved utblåsninger på store dyp vil disse motvirkende kreftene etter hvert utligne hverandre slik at plumen innlagres i vannmassene.

Både dråper og gass vil med en viss sannsynlighet forlate plumen og bevege seg videre i vannmassene uavhengig av plumens dynamikk. Dette representeres i OSCAR ved at dråpeskyene flyttes over fra nærsonemodellen til å behandles som skyer av enkle dråper. Dråpenes videre skjebne avhenger da i stor grad av dråpestørrelsesfordelingen, siden denne påvirker både stighastighet og degraderings- og utløsningsrater. Dette betyr i praksis at oljen ved innlagring vil bringes til overflaten av OSCAR, mens i tilfeller hvor plumen når overflaten er det nærsonemodellen som beregner den initielle tykkelsen til oljen på overflaten. De to modellene kan gi noe avvikende resultater, spesielt grunnet at partikler på overflaten i OSCAR er uavhengige av hverandre. Innlagring på store dyp vil gi dråpeskyene lang stighetid og tilhørende stor advektiv og diffusiv spredning. Dette gjør at resultatet av en undervannsutblåsning på store dyp, både i OSCAR og i virkeligheten, typisk medfører tynn olje over store områder på overflaten. Denne situasjonen forsterker betydningen av antallet partikler for emulsjonsdannelse og fordampning.

På moderate vanddyb kan modellen beregne at innlagring skjer nært overflaten. Ved denne typen beregninger vil det knytte seg relativt store usikkerheter til beregningen av oljens initielle tykkelse og utbredelse på overflaten. Dette kommer først og fremst av at både gassens ekspansjonshastighet og vannkolonnens tetthetsprofil endres svært raskt nær overflaten, slik at sannsynligheten for unøyaktigheter i beregningen øker betraktelig. Videre representeres en plume i *Plume3D* som en rekke koniske elementer. Dette er en tilnærming som er tilfredsstillende ved innlagring i dypet, men som ikke er nøyaktig nok til å representere en plume like under overflaten.

Spesielle hensyn ved statistiske beregninger

Metodikken som benyttes i de statistiske beregningene i OSCAR tar ikke hensyn til eksponeringstid når olje på overflaten registreres. Dette betyr at overflateolje over en gitt tykkelse kan vises på samme måte i de statistiske risikoberegningene uavhengig av om den befinner seg kort eller lang tid i en gitt gridcelle. Motivasjonen for å beregne risiko på overflaten på denne måten er at tilgrising av sjøfugl og sjøpattedyr skjer idet eksponeringen finner sted. Dette i motsetning til eksponering av fisk, egg og larver i vannkolonnen, hvor den toksiske effekten er avhengig av eksponeringstiden.

Metodikken er imidlertid til en viss grad følsom for små svingninger i OSCAR-modellingene. Partikler i OSCAR kan representere enten olje på overflaten eller dråpeskyer, men ikke begge deler samtidig. En partikkel som representerer en dråpesky som stiger mot overflaten vil derfor brått gå over til å representere et flak på overflaten idet den treffer vannskorpa. Dette betyr det krever et svært høyt antall partikler for å kunne representere i modellen den "svettingen" til overflaten som i realiteten vil bli observert rundt et oljeutslipp. Ved et moderat eller lavt antall partikler, som ofte er tilfellet i stokastiske kjøring for å begrense regnetid, vil derimot dråpeskyer som treffer vannskorpa kunne føre til overflatepartikler med kunstig høy tykkelse, som igjen kan rekke å bli registret i risikoberegningene før de fordamper eller blandes ned igjen i vannmassene.

Prosesser som ikke modelleres

Olje på havet gir opphav til en rekke ekstremt komplekse prosesser. Til tross for at OSCAR er en svært sofistikert modell, er det fortsatt en rekke prosesser som ikke er inkludert. Under normale omstendigheter vil mange av disse bare ha marginal effekt på resultatene, men i enkelte tilfeller kan de ha en viss betydning. Dette gjelder for eksempel under simulering av langvarige og svært store utslipp, eller under spesielle værforhold. Blant de prosessene som ikke er modellert men som er under utvikling eller utredning finner vi Langmuir-strømmer på overflaten, detaljert modellering av bølgedrevet turbulens, og interaksjon med organiske og uorganiske partikler i vannkolonnen. Foto-oksidering som kan ha stor betydning for stabiliteten til emulsjoner, er heller ikke tatt med eksplisitt i OSCAR, men er ivaretatt når solarlamper er brukt under forvitningsstudier i mesoskalalaboratoriet.

Scenariospesifikke inngangsdata

I tillegg til de antakelser og forenklinger som ligger til grunn for selve modellen, er resultatene av oljedriftsimulasjoner selvfølgelig helt avhengige av inngangsdataene som brukes for å sette opp de forskjellige utslippsscenarioene. De primære drivkreftene er strøm og vind. Oljens sammensetning og forvitringsegenskaper er avgjørende for hvordan den oppfører seg på havet, i virkeligheten så vel som i OSCAR. Tetthetssjiktninger i vannkolonnen som følge av endring i temperatur og saltholdighet påvirker plumens dynamikk og eventuell innlagring. Det samme gjelder utslippsparemetre som utblåsningsrate, diameter og olje-gassforholdet (*GOR*). Spesielt vil andelen gass i utslippet være avgjørende for hvorvidt plumen innlagres eller ikke, da gassens ekspansjon er en viktig drivkraft i en stigende plume.

- o0o -

Det Norske Veritas:

Det Norske Veritas (DNV) er en ledende, uavhengig leverandør av tjenester for risikostyring, med global virksomhet gjennom et nettverk av 300 kontorer i 100 ulike land. DNVs formål er å arbeide for sikring av liv, verdier og miljø.

DNV bistår sine kunder med risikostyring gjennom tre typer tjenester: klassifisering, sertifisering og konsulentvirksomhet. Siden etableringen som en uavhengig stiftelse i 1864 har DNV blitt en internasjonalt anerkjent leverandør av ledelsestjenester og tekniske konsulent- og rådgivningstjenester, og er et av verdens ledende klassifiseringselskaper. Dette innebærer kontinuerlig utvikling av ny tilnærming til helse-, miljø- og sikkerhetsledelse, slik at bedrifter kan fungere effektivt under alle forhold.

Global impact for a safe and sustainable future:

Besøk vår internettside for mer informasjon: www.dnv.com

