SINTEF

OC2020 A-077 - Åpen

Rapport

Analyser av flammepunkt og helsefarlige forbindelser for oljeemulsjoner i kystnær beredskap

Forfatter(e)
Jørgen Skancke
Kristin Rist Sørheim, Konstantinos Kotzakoulakis, Ivar Singsaas, Per S. Daling



SINTEF Ocean AS

2020-08-27

SINTEF Ocean AS
Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Analyser av flammepunkt og helsefarlige forbindelser for oljeemulsjoner i kystnær beredskap

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
OC2020 A-077	302005705	4.0	2020-08-27

EMNEORD:
Oljevernberedskap
Flammepunkt
BTEX
Emulsjon
Fiskefartøy

FORFATTER(E)
Jørgen Skancke
Kristin Rist Sørheim, Konstantinos Kotzakoulakis, Ivar Singsaas, Per S. Daling

OPPDRAGSGIVER(E)
NOFO

OPPDRAGSGIVERS REF.
Ingrid C. Taban

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
28 + vedlegg

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Åpen	Åpen	978-82-7174-395-6

SAMMENDRAG
Flammepunkt og tilstedeværelse av helsefarlige forbindelser i headspace i tank har blitt vurdert for flere råoljer på norsk sokkel i kontekst av oppsamling av oljeemulsjon på fartøyer i kystnær beredskap. Flammepunkt har blitt vurdert opp mot en grense på 60 °C som skiller brannfarlige fra ikke-brannfarlige væsker. Vi har funnet at alle undersøkte relevante råoljer bortsett fra Pil vil ha nådd 60 °C flammepunkt når de når kysten gitt konservative betingelser som 2 m/s vind og en minste drivtid på 48 timer. For unntaket med Pil-oljen har vi gjort ekstra undersøkelser som sannsynliggjør at 60 °C flammepunkt likevel vil bli nådd innen emulsjonen driver kystnært på grunn av lang drivtid til land i lave vindhastigheter. For undersøkelser av BTEX og H2S finner vi at konsentrasjoner av benzen, toluen og H2S i headspace ikke vil utgjøre en risiko ut fra grensene som er satt for en 8-timers arbeidsdag av Arbeidstilsynet. For den samlede gruppen av xylener og etylbenzen viste beregningene at likevektskonsentrasjon i området til grenseverdiene kan oppnås. Dette er relevant for konsentrasjon i headspace over lang tid, men ikke for atmosfæren over oljen eller i arbeidsmiljøet på dekk. Beregningene samlet vurderes derfor som såpass konservative at det ikke forventes at disse verdiene oppnås i praksis.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATION
DNV·GL
ISO 9001 = ISO 14001
OHSAS 18001

UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
Jørgen Skancke	Per Johan Brandvik	Atle Kleven

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2020-06-23	Utkast til gjennomlesning for NOFO.
2.0	2020-07-08	Andre utkast med figurer for dynamisk beregning av konsentrasjoner i headspace.
3.0	2020-09-08	Endelig versjon.
4.0	2020-08-27	Endret til åpen rapport.

SINTEF

Innholdsfortegnelse

1 Bakgrunn 4

2 Valg av oljer 4

3 Flammepunkt ut fra drevet distanse 5

3.1 Drivtid for Pil-oljen til land i lave vindhastigheter 7

4 Konsentrasjoner av BTEX og H_2S 9

5 Diskusjon 11

6 Konklusjon 11

7 Referanser 12

Vedlegg A OWM prediksjoner: Avdampet mengde og flammepunkt 13

A.1 Skarv Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) 13

A.2 Skarv Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) 14

A.3 Norne Blend Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) 15

A.4 Norne Blend Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) 16

A.5 Skarfjell Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) 17

A.6 Skarfjell Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) 18

A.7 Draugen Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) 19

A.8 Draugen Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) 20

A.9 Fenja (aka Pil) Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) 21

A.10 Fenja (aka Pil) Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) 22

A.11 Fenja (aka Pil) Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) – 10 mm filmtykkelse 23

Fenja (aka Pil) Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) – 10 mm filmtykkelse 24

Vedlegg B. OWM prediksjoner: Endring i filmtykkelse 25

1 Bakgrunn

NOFO har kontaktet SINTEF for å gjøre en undersøkelse av flammepunkt og tilstedeværelse av helsefarlige forbindelser i oljeemulsjon som driver mot land. Ved et større utslipp av råolje fra installasjoner på norsk sokkel vil bølgeaktivitet føre til at vanndråper blir blandet inn i oljen slik at det dannes en vann-i-oljeemulsjon som ofte bare kalles en oljeemulsjon. I en eventuell ulykke offshore med store utslipp av råolje er oljevernberedskapen på norsk sokkel dimensjonert for å samle opp mest mulig emulsjon før den når kysten. Det er i tillegg et krav om en kystnær beredskap som skal kunne jobbe nærmere land for å samle opp eventuell emulsjon som når kysten. Den kystnære beredskapen forventes å måtte håndtere slike emulsjoner etter en drivtid som per dags dato er 2 dager eller lengre, ut fra drivbanesimuleringer gjort med oljedriftmodeller som OSCAR der det kjøres et stort antall simuleringer over en periode som ofte er 10 år for å dekke et stort spenn av strøm- og værforhold.

Risiko rundt håndtering og oppbevaring av oljeemulsjoner kan relateres til flammepunkt for eksplosjon- og brannfare, og til tilstedeværelse av flyktige forbindelser for skade ved innånding og fysisk eksponering. I tidligere arbeid har SINTEF vurdert brann- og eksplosjonsfare ut fra beregnet flammepunkt som en del av vurdering av hvilke operasjonelle kriterier som må ligge til grunn for at fiskefartøyer kan benyttes i kystnært oljevernberedskap (Mostue m. fl., 2009). I dette arbeidet ble flammepunkt beskrevet som en funksjon av vindhastighet og drivtid på sjø, slik at det det kan relateres til operasjonelle forhold (Mostue m. fl., 2009). Beregningen av endring av flammepunkt ble gjort med SINTEFs oljeforvitringsmodell (OWM) for 2 oljer fra Goliatfeltet, Realgrunnen og Kobbe, ettersom det var med utgangspunkt i Goliatfeltet at Eni Norge (nå en del av Vår Energi) ønsket å ta i bruk fiskefartøy til oppsamling av olje ved et eventuelt utslipp. Eni Norge og StatoilHydro (nå Equinor) ønsket senere å få en generell formalisering av regelverk for bruk av fiskebåter ved oljeutslipp for hele norske sokkel. Som en del av dette gjorde SINTEF videre undersøkelser av flammepunkt som funksjon av vindhastighet og drivtid for ytterlig fire oljer, Kristin, Statfjord, Troll og Grane (Johansen, 2009). Disse ble valgt da de spenner ut fordelingen av tettet av råoljer på norsk sokkel, og som en følge har stor variasjon i sammensetning og fysiske egenskaper.

I rapportene fra 2009 ble vindhastighet og drivtid undersøkt opp mot et flammepunkt på 55 °C (se Mostue m. fl. for detaljert beskrivelse) som var vurdert som en grense der emulsjonen kunne defineres som en brannfarlig væske. Etter dagens regelverk defineres brannfarlige væsker ut fra tre kategorier, der kategori 3 bestemmer grensen for hva som klassifiseres som brannfarlig ved et flammepunkt på 60 °C (DSB, 2020). Denne studien gjøres for å utvide de tidligere beregningene med nye aktuelle oljer fra norsk sokkel, samt utføre beregninger av tilstedeværelse av helsefarlige forbindelser i emulsjon som kan bli samlet opp av kystnær beredskap. Dette gjøres for å undersøke om emulsjon som når kysten etter et uhellsutslipp offshore kan vurderes som en brannfarlig væske eller ikke. Den samme konservative metoden som i tidligere rapporter er beholdt, der utslipp og drift av emulsjon vurderes for svak vind ved 2 m/s, vintertemperatur ved 5 °C, og en minste drivtid til land på 48 timer.

2 Valg av oljer

Valg av oljetyper er hovedsakelig basert på eksisterende fysikalsk-kjemiske egenskaper samt drivtid av oljer til land basert på drivbanesimuleringer. I tillegg var det ønskelig å velge noen oljer som var kommet i drift senere enn 2009, samt at oljefeltene skulle være relevante også for fremtidig produksjon. Eksempelvis ble Skarfjell-oljen fra Novafeltet valgt i stedet for olje fra Gjøa som er et nærliggende felt siden Nova er et nytt felt under utbygging, mens Gjøa er et nedadgående felt. Vi noterer at Nova-feltet tidligere het Skarfjell, men navnet Skarfjell brukes i denne rapporten da dette brukes for å identifisere oljen fra feltet i SINTEFs oljedatabase. Etter en total vurdering ble følgende 5 oljer fra SINTEFs oljedatabase valgt for dette studiet: Skarv kondensat, Norne Blend, Skarfjell, Draugen og Pil. Samtlige oljer bortsett fra Skarv-kondensatet har beregnet relative korte drivtider til land (varierer mellom 2,6 til 4,4 døgn). Skarv-kondensatet har vesentlig lengere drivtid til land på 17 døgn, men kondensatet ble inkludert i analysen pga. høyt innhold av de lettflyktige forbindelsene BTEX (Benzen, Toluen, Etylbenzen og Xylener) (148 g/kg) sammenlignet ned de andre oljetypene. BTEX-innholdet for de andre 4 oljene er noe lavere og varierer mellom 17-32 g/kg. Oversikt over fysikalsk-kjemiske egenskaper til oljene samt minste drivtid til land er vist i Tabell 1. Av disse oljene skiller Pil-oljen fra Fenja-feltet - som ikke ennå er i produksjon - seg ut fra mange andre råoljer på

norsk sokkel ved å ha et høyt stivnepunkt på 27 °C samt at oljen har høy viskositet. Dette fører til at den vil spre seg som en tykk emulsjon (Singsaas m. fl, 2020) som i et eventuelt utslipp som vil forsinke fordampingen og dermed endring i flammepunkt relativt til mange andre oljer. Pil-oljen, og andre oljer med høyt stivnepunkt, trenger ekstra grundige undersøkelser for å forstå deres skjebne etter utslipp og hvordan de best kan håndteres under en oljevernaksjon (Singsaas m. fl., 2020). For slike oljer vil den høye viskositeten og høye tykkelsen fra helt tidlig i utslippet som nevnt begrense fordamping relativt til mer lettflytende råoljer, men i hvor stor grad dette skjer er ikke er godt beskrevet i litteraturen for oljeutslipp. Det trenges derfor videre undersøkelser for å forbedre vår forståelse av skjebne og oppførsel til slike oljer ved et eventuelt uhellsutslipp.

Tabell 1. Fysikalsk-kjemiske egenskaper og minste drivtid mot land for de 5 uvalgte oljetypene.

Oljenavn	SINTEF Id	Tetthet (kg/m^3)	Stivne-punkt (°C)	Voks %	Asfalten %	Viskositet (mPa.s) 5°C*	Flamme-punkt °C, 150, 200, 250+ residue	BTEX g/kg	Minste drivtid til land (døgn)
Skarv kondensat	2013-0833	828	+6	2,2	0,01	14	32, 71, 109	148	17
Norne Blend	2009-0549	868	+12	11,7	0,06	795	58, 70, 110	32	3,8
Skarfjell**	2013-0595	824	-12	4,6	0,03	315	37, 69, 111	20	4,4
Draugen	2007-0427	823	-24	2,4	0,13	11	49, 96, 137	-	3,1
Pil **	2014-0094	848	+27	16,6	0,21	12520	32, 75, 123	17	2,6

*Voks og asfalten er oppgitt i vekt-prosent. *Målt ved skjær 10s^{-1}** Skarfjell-feltet har endret navn til Nova. Pil-oljen er fra Fenja-feltet. -: Ikke oppgitt. Minste drivtid til land er hentet fra oljevernplaner og er basert på drivbanesimuleringer med et stort antall scenarier (kilde: NOFO). Residue ved destillasjon til damptemperatur 150 °C, 200 °C, og 250+ °C tilsvarer forventet avdamping etter henholdsvis 0,5 – 1 timer, 0,5 – 1 dager, og 0,5 – 1 uker.*

3 Flammepunkt ut fra drevet distanse

Drivtiden som kreves for at oljene når sikkerhetsgrensen for flammepunkt på 60 °C ved ulike utslippsbetingelser og vindhastigheter er beregnet ved bruk av SINTEFs oljeforvitringsmodell (OWM) (Tabell 2). Det er utført prediksjoner med to ulike utslippsscenarioer som tilsvarer en overflateutblåsning (topside) på 5315 m^3 per døgn (221 m^3/t) og et større utslipp bøyelasteskip på 12 000 m^3 i løpet av 3 timer (4000 m^3/t). Utslippsbetingelsene er tilsvarende som ble brukt i de to tidligere studiene fra Mostue m.fl. 2009 og Johansen, 2009. Hvert sett med prediksjoner inneholder to figurer, den ene viser avdampet vektandel som funksjon av drivtid ved 2 m/s, 5 m/s, 10 m/s og 15 m/s vindhastigheter, mens den andre viser utvikling av flammepunkt som funksjon av drivtid ved de ulike vindhastighetene. Grensen for en brannfarlig væske ved 60 °C er angitt som lysegrå skraveringer i prediksjonene. De komplette resultatene fra OWM er gitt i Appendiks A. I tillegg til de nye oljene ble det uført en oppdatering av drivtider med flammepunktgrense på 60 °C for 5 av de 6 oljetypene fra de to tidligere studiene (Mostue m. fl. 2009 og Johansen, 2009) (Tabell 3). Grane-oljen fra tidligere arbeid er ikke tatt med da den kun må avdampe 0,3 % masse for å nå en flammepunktgrense på 60 °C (Johansen, 2009) og slik sett kan anses som ikke brannfarlig umiddelbart etter utslipp. Drivtidene angitt med den tidligere sikkerhetsgrensen for flammepunkt (55 °C) er oppgitt i parentes for sammenligning (Tabell 3). Dette gir en mindre økning i drivtid før grenseverdi er nådd.

Resultatene oppsummert i Tabell 2 og Tabell 3 viser at drivtiden fram til passering av grenseverdien for flammepunkt avtar med økende vindhastighet. Utslippene fra bøyelastskip med høyest utslippsrate gir lengere drivtider sammenlignet med topside-utblåsning på grunn av økt start-tykkelse på utslippet, noe som gjelder for alle oljetypene. Økt vind gir raskere fordampning som fører til at det går raskere å nå flammepunktgrensen på 60 °C. Endring i tykkelse over tid er vist for Draugen og Pil i Appendiks B. Verdiene i tabellen for alle oljer bortsett fra Pil er gitt ut fra en endelig tykkelse for spredning av emulsjon på sjøen på 1 mm. Dette er et erfaringstall for oljer på norsk sokkel som også var brukt i de forrige rapportene (Mostue m.fl. 2009 og Johansen, 2009). For Pil-oljen er det derimot gjort simuleringer for en endelig tykkelse på 10

mm basert på undersøkelser gjort i lab på denne oljen (Singsaas m. fl., 2020). Høy viskositet og høyt stivnepunkt gjør at denne oljen ikke sprer seg tynt på havoverflaten ved gravitasjonsspredning som er vanlig for mer lettflytende råoljer etter utslipp. Dette gir utslag i en del lenger drivtid for Pil sammenlignet med de andre oljene før grensen for flammepunkt er nådd (60 °C). Når endelig tykkelse er satt til 10 mm er det kun en liten forskjell i fordampet mengde for de to utslippsscenariene som ikke gir utslag i drivtid før grenseverdien for flammepunkt er nådd. Dette skjer fordi begge utslipp vil nå 10 mm tykkelse raskt uavhengig av start-tykkelse som vist i Appendiks B og derfor har like rater av fordamping.

Sett bort fra Pil og Skarv-kondensatet, som har 17 dager minste drivtid mot land og som ikke vil være mulig å samle opp mekanisk i særlig grad, er 24 timer den lengste tiden for å avdampe nok forbindelser til å nå 60 °C flammepunkt for Skarfjell-oljen. Dette er en økning fra 18 timer med tilsvarende metodikk fra tidligere arbeid med andre oljer og 55 °C grense (Tabell 3). Skarv-kondensatet er ikke relevant for oppsamling i kystnær beredskap, men Pil-oljen og dens drivtid til land undersøkes videre som beskrevet nedenfor.

Tabell 2. Drivtid i timer til passering av sikkerhetsgrensen for flammepunkt (60 °C) avhengig av oljetype, utslippsrate, og vindhastighet. Drivtider er avlest fra OWM prediksjoner vist i Appendiks A.

Oljetype	**Scenario**	**Utslippsrate**	**Vindhastighet (m/s)**			
			2	**5**	**10**	**15**
Skarv kondensat	Topside	5315 m^3 per døgn	16	6	2	1,2
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	28	14	6	3
Norne Blend	Topside	5315 m^3 per døgn	3	1,3	0,5	0,25
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	7	3	1,2	0,7
Skarfjell**	Topside	5315 m^3 per døgn	14	5	2	1
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	24	12	5,5	3
Draugen	Topside	5315 m^3 per døgn	10	4	1,4	0,8
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	22	9	4	2
Pil *, **	Topside	5315 m^3 per døgn	90	36	12	6
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	90	36	12	6

** Tall for Pil viser resultater for 10 mm endelig tykkelse. Andre oljer er simulert med 1 mm endelig tykkelse. ** Skarfjell-feltet har endret navn til Nova. Pil-oljen er fra Fenja-feltet.*

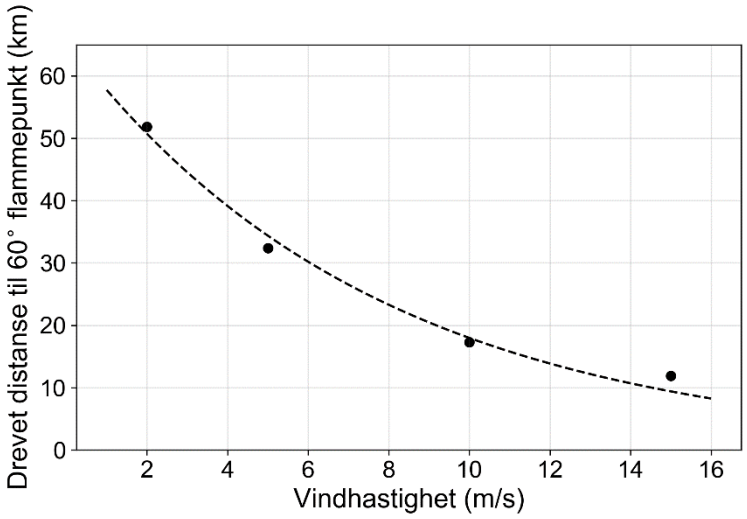
Tabell 3. Oppdaterte drivtider i timer til passering av sikkerhetsgrensen for flammepunkt 60 °C. Drivtider er avlest fra OWM prediksjoner fra Mostue et al. 2009 og Johansen, 2009. Tall i parentes er drivtid med den tidligere grensen for flammepunkt (55 °C).

Oljetype	**Scenario**	**Utslippsrate**	**Vindhastighet, m/s**			
			2	**5**	**10**	**15**
Realgrunnen	Topside	5315 m^3 per døgn	9 (6)	3 (2)	1,1 (0,8)	0,7 (0,5)
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	17 (12)	8 (5)	3 (2,3)	1,8 (1,3)
Kobbe	Topside	5315 m^3 per døgn	12 (9)	5 (3)	1,5 (1,2)	0.9 (0,7)
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	23 (18)	10 (7)	4,5 (3)	2,2 (1,8)
Troll	Topside	5315 m^3 per døgn	9 (7)	4 (3)	1,3 (1)	0,7 (0,5)
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	18 (12)	8 (6)	3 (2,5)	1,8 (1,3)
Statfjord	Topside	5315 m^3 per døgn	12 (8)	5 (3)	1,5 (1,2)	0,8 (0,6)
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	21 (15)	10 (7,5)	4,5 (3)	2 (1,5)
Kristin kondensat	Topside	5315 m^3 per døgn	11 (9)	5 (3,5)	1,5 (1,2)	0,8 (0,6)
	Bøyelastskip	12 000 m^3 i 3 timer	23 (18)	10 (8)	4,5 (3,5)	2 (1,8)

3.1 Drivtid for Pil-oljen til land i lave vindhastigheter

Med 90 timer, tilsvarende 3,8 dager, tar det lengre tid med 2 m/s vind å nå 60 °C flammepunkt for Pil-emulsjonen enn de 2,6 dagene som er rapportert som korteste drivtid mot land (Tabell 1). For 5 m/s vindhastighet er det derimot beregnet at dette flammepunktet er nådd før oljen kommer til land (36 timer, som tilsvarer 2,5 dager). For å vurdere om emulsjon dannet fra utslipp av Pil kan forventes å være en brannfarlig væske når den nærmer seg land er det derfor ikke nok å alene bruke den konservative framgangsmåten med å sammenligne tiden for tilstrekkelig avdamping ved 2 m/s vind og minste drivtid mot land. Som nevnt i tidligere arbeid er det en klar sammenheng mellom vindhastighet og hvor langt en emulsjon vil drive (Johansen, 2009). Kort drivtid mot land vil være assosiert med sterk vind som blåser mot land, der emulsjonens transport vil være preget av den vind-drevne strømmen i det øvre vannlag. I lav vindhastighet vil emulsjonens transport være dominert av bakgrunnsstrømmen i det aktuelle havområdet. For transport av olje regnes det ofte med et bidrag fra vinden på rundt 3 % av vindens hastighet. Hvis man antar en gjennomsnittlig bakgrunnsstrøm på 10 cm/s vil drevet distanse før emulsjonen når en flammepunktsgrense på 60 °C ved 2 m/s vind være omtrent 52 km, som gitt som i Figur 1. For et mer nøyaktig estimat av hvilken drivtid man kan forvente i lav vind må det gjøres oljedriftsimuleringer som bruker modellerte vind og strømdata. For å finne tidsrom for å simulere drift av oljeemulsjon fra Fenja-feltet under forhold med lav vind analyserte vi 5 år med vinddata fra ERA5-modellen[1] for Fenja-feltet fra 2010 til 2014. I denne perioden var det 5 to-dager perioder med vindstyrke under 2 m/s (Tabell 4). For å få et større tallgrunnlag gjennomførte vi OSCAR-simuleringer med utslipp fra Fenja (Pil-oljen) for alle perioder med vind under 2,5 m/s, i alt tretten tidsperioder (Tabell 4). Simuleringene ble kjørt med utslipp av 5315 m^3/dag i de to dagene vinden var under 2,5 m/s i gjennomsnitt, og utslippet ble fulgt i 8 dager til for å undersøke om emulsjonen drev i land på denne tiden, som gir 10 dager total simuleringstid. Strømdata for simuleringene er fra SINMOD-havmodellen kjørt med 1,3 km horisontal oppløsning. Ingen av simuleringene førte til olje på land i løpet av simuleringsperioden. I løpet av to dager var lengste drivtid 60 km, og drivretningen var generelt ikke rett mot land, men heller langs kyststrømmen (Figur 2). Til sammenligning er korteste avstand fra Fenja-feltet til land omtrent 80 km. Overslagsberegningen (Figur 1) og de utvalgte OSCAR-simuleringene med modellert strøm og vind (Figur 2) tilsier derfor at det er lite sannsynlig at et utslipp fra Pil-oljen vil nå land før 90 timer har passert ved 2 m/s vind, som var den estimerte tiden for å oppnå 60 °C flammepunkt (Tabell 2).

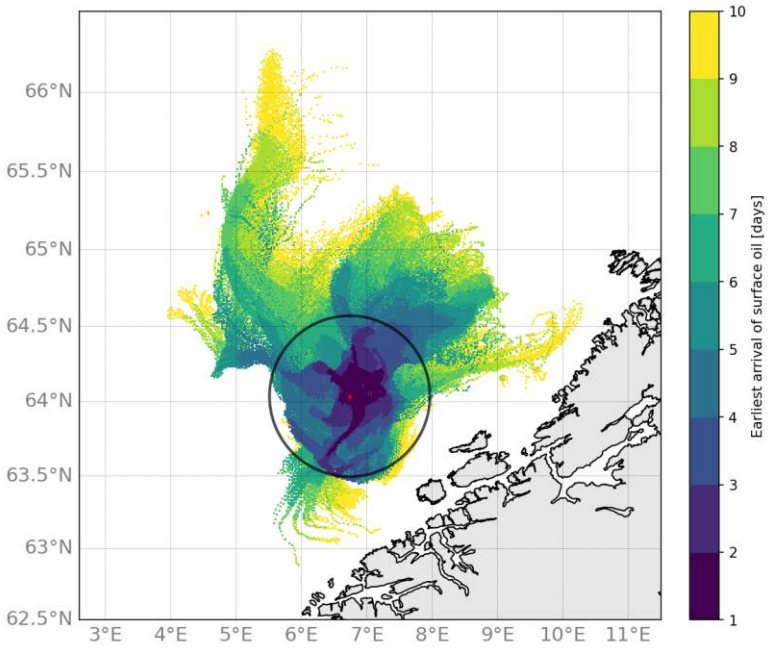
[1] https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5



Figur 1. Drevet distanse til flammepunktgrense for Pil basert på en konstant bakgrunnsstrøm og vind-dreven transport som en prosent av vindhastigheten. Bakgrunnsstrøm er 10 cm/s og vindens bidrag til transporten er 3 % av vindhastigheten.

Tabell 4. Gjennomsnittlig vind ved Fenja-feltet for to-dager perioder som starter på angitt dato basert på 5 år med vinddata fra ERA5-modellen for Fenja-feltet i perioden 2010 til 2014.

Dato	**Gjennomsnittlig vindstytrke (m/s)**
27.08.2010	1,7
02.09.2010	1,8
04.09.2010	2,2
27.07.2011	1,9
14.08.2012	2,3
21.01.2013	2,0
24.07.2013	2,5
08.05.2014	2,2
17.07.2014	2,4
21.07.2014	2,1
12.08.2014	2,4
30.08.2014	2,5
18.11.2014	1,4



Figur 2. Korteste drivtid for 13 simuleringer av oljeutslipp fra Fenja-feltet, med utslipp over 2 døgn der vindhastigheten var under 2,5 m/s. Total simuleringstid var 10 dager. Utslippspunktet er markert med en rød markør. Den svarte heltrukne linjen indikerer en avstand på 60 km som dekker korteste drivtid opp til 2 dager, og er nært opp til korteste drivtid opp til 3 dager.

4 Konsentrasjoner av BTEX og H_2S

Når sikkerhet i oljevern skal vurderes ut fra helsefarlige forbindelser ses det ofte på BTEX-gruppen. Denne består av benzen, toluen, etylbenzen og xylener. I OSCAR modellen inngår disse forbindelsene som en del av oljens sammensetning, der skjebnen til benzen og toluen regnes separat mens etylbenzen og de tre xylen-isomerene (m-xylen, p-xylen, o-xylen) er samlet i en gruppe. Hurtigheten på fordampningen av forbindelser - eller grupper av forbindelser - i OSCAR bestemmes av forbindelsens damptrykk og molekylvekt, samt oljens eller emulsjonens tykkelse og temperatur samt vindens hastighet. Vi kjørte OSCAR-simuleringer for å undersøke konsentrasjonen av BTEX for de to oljene som antas mest konservative for denne undersøkelsen, nemlig Skarv med høyt start-innhold av BTEX og Pil som har høy tykkelse som vil forsinke avdamping. Simuleringene ble kjørt med 2 m/s vind og 5 °C sjøtemperatur. Konsentrasjonen av BTEX etter 48 timer ble brukt til å regne en likevektskonsentrasjon i headspace på en tank ved 5 °C (Tabell 5) og ved 13 °C (Tabell 6). Konsentrasjonen av benzen og toluen var i alle tilfeller neglisjerbar, mens den totale konsentrasjonen av xylener og etylbenzen holdt seg relativt høy (Tabell 5 og Tabell 6). Grenseverdiene for disse i løpet av en 8-timers arbeidsdag er 1 ppm for benzen, 25 ppm for toluen, og 25 ppm for hver av de tre xylen-isomerene og 5 ppm for etylbenzen (Arbeidstilsynet, 2020). Under 12-timer skrift i petroleumssektoren skal disse verdiene ganges med 0,6 (Petroleumstilsynet). Siden xylen-isomerene og etylbenzen er samlet i en gruppe er det uvisst om grenseverdien for en av disse kunne blitt oversteget for de to bøyelasteskip-scenariene. Samtidig er likevektskonsentrasjon en konservativ regnemåte, da en slik likevekt vil nås sakte og over lang tid. I tillegg viste oljedriftsimuleringer at landpåslag etter to dager ikke er sannsynlig, slik at inngangskonsentrasjonene til disse beregningene, og dermed likevekten, ville vært lavere dersom mer realistisk drivtid til land hadde blitt brukt.

Tabell 5. Likevektskonsentrasjon i headspace (ppm*) etter 48 timer drift for en temperatur på 5 °C.

	Skarv bøyelasteskip	**Skarv topside**	**Pil bøyelasteskip**	**Pil topside**
Benzen i olje/emulsjon	$1{,}4 \cdot 10^{-10}$	0	$4{,}6 \cdot 10^{-7}$	$1{,}8 \cdot 10^{-11}$
Benzen i headspace	$7{,}0 \cdot 10^{-11}$	0	$2{,}3 \cdot 10^{-7}$	$8{,}8 \cdot 10^{-12}$
Toluen i olje/emulsjon	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$	0	$4{,}4 \cdot 10^{-1}$	$6{,}1 \cdot 10^{-3}$
Toluen i headspace	$2{,}8 \cdot 10^{-6}$	0	$5{,}5 \cdot 10^{-2}$	$7{,}6 \cdot 10^{-4}$
Xylener og etylbenzen i olje/emulsjon	661	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	767	238
Xylener og etylbenzen i headspace	21	$8{,}9 \cdot 10^{-5}$	24	7

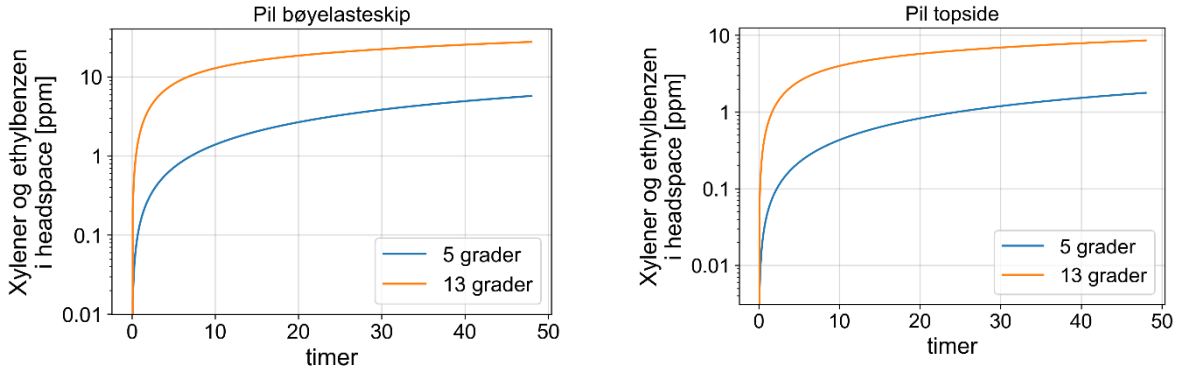
**ppm=parts per million*

Tabell 6. Likevektskonsentrasjon i headspace (ppm*) etter 48 timer drift for en temperatur på 13 °C.

	Skarv bøyelasteskip	**Skarv topside**	**Pil bøyelasteskip**	**Pil topside**
Benzen i olje/emulsjon	$1.4 \cdot 10^{-10}$	0	$4.6 \cdot 10^{-7}$	$1.8 \cdot 10^{-11}$
Benzen i headspace	$1.1 \cdot 10^{-10}$	0	$3.5 \cdot 10^{-7}$	$1.3 \cdot 10^{-11}$
Toluen i olje/emulsjon	$2.2 \cdot 10^{-5}$	0	$4.4 \cdot 10^{-1}$	$6.1 \cdot 10^{-3}$
Toluen i headspace	$4.5 \cdot 10^{-6}$	0	$8.8 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
Xylener og etylbenzen i olje/emulsjon	661	$2.9 \cdot 10^{-3}$	767	238
Xylener og etylbenzen i headspace	35	$1.5 \cdot 10^{-4}$	41	13

**ppm=parts per million*

For å undersøke hvor hurtig likevekt vil nås i en tank med oppsamlet emulsjon gjorde vi en beregning av masseoverføring ved diffusjon i emulsjonen og fordamping i grenseflaten mellom emulsjonen og headspace. Det ble antatt en tank på 10 m x 5 m x 3 m (300 m^3) som er 85 % full. Systemet ble løst gjennom en endimensjonal diffusjonsprosess uten adveksjon (ingen blanding) der diffusiviteten til forbindelsene ble estimert gjennom Wilke-Chang-relasjonen (Wilke og Chang, 1955). Headspace antas godt blandet slik at forbindelser som fordamper blir umiddelbart fordelt over hele volumet i headspace, og det tas ikke hensyn til metning av headspace i fordampningsraten. Beregninger ble kun gjort for gruppen av xylener og etylbenzen, og kun for Pil-oljen da Skarv som kondensat ikke vil bli samlet opp som emulsjon. Denne beregningen viser at disse nærmer seg likevektskonsentrasjonen etter omtrent to dager på tank (Figur 3). Beregningen ble gjort med en viskositet for emulsjonen på 21000 mPa.s ved 13 °C og 1500 mPa.s ved 5 °C (Hellstrøm m. fl., 2015). Dette anslås også som en relativt konservativ beregning da fordampningen ikke er begrenset av metning, som gir en hurtigere avdamping enn det som vil forekomme hvis dette var tatt hensyn til.



Figur 3. Dynamisk beregning av konsentrasjon av xylener og etylbenzen i headspace for emulsjon fra Pil-oljen. I de første timene fordamper forbindelsene i det øverste laget av emulsjonen/oljen hurtig, mens videre fordamping bremses av diffusjon fra lavere lag opp til det øverste laget.

Hydrogensulfid (H_2S) er en lettflyktig og giftig gass som kan være til stede i høye konsentrasjoner i såkalte sure råoljer. Slike oljer er ikke vanlig på norsk kontinentalsokkel og det fins ikke lett tilgjengelig informasjon om lavere nivåer av H_2S som eventuelt fins i råoljer som er i produksjon eller som vil komme i produksjon. Vi har derfor valgt en konservativ metode ved å anta 300 ppm H_2S i en råolje. Dette er et høyt anslag da metningen av H_2S i dekan som en representativ forbindelse i råolje er 100 ppm. OSCAR-simuleringer under de samme betingelser som for BTEX viser at konsentrasjonen av H_2S vil være null etter 48 timer. Det gjøres derfor ikke beregning av konsentrasjon i headspace etter 48 timer for H_2S da denne også vil bli null. Dette tilsier at konsentrasjonen av H_2S forventes å være svært lav etter to døgn slik at den ikke vil bygges opp til konsentrasjon i headspace som er forbundet med risiko.

5 Diskusjon

I denne rapporten har vi undersøkt sammenheng mellom drivtid og flammepunkt for utvalgte oljer fra norsk sokkel som en utvidelse av tidligere arbeid (Mostue m. fl., 2009 og Johansen, 2009), samt at det er i tillegg gjort en vurdering av tilstedeværelse i headspace av BTEX og H_2S fra emulsjoner som samles opp i tank. Vi har gjentatt enkelte av beregningene fra tidligere rapporter med økt grense for flammepunkt fra 55 °C til 60 °C (Tabell 3). I store trekk er konklusjonene fra tidligere arbeid de samme, der emulsjoner generelt fra utslipp på norsk sokkel vil ha nådd en 60 °C flammepunktgrense innen de når land (Tabell 2 og Tabell 3). Pil-oljen er blitt aktuell siden 2009 og ble undersøkt ut fra kort drivtid til land fra Fenja-feltet samt sine fysikalsk-kjemiske egenskaper. Ved bruk av samme metodikk som i tidligere arbeid gir Pil en drivtid til 60 °C som overstiger sin oppgitte minste drivtid til land (Tabell 2), og den har et innhold av xylener og etylbenzen etter 2 dager på sjøen som er på grensen for å overstige konsentrasjoner som er vurdert helsefarlige gjennom en arbeidsdag etter oppnådd likevekt i en tank (Tabell 5). Disse beregningene er gjort under konservative antagelser, og utvidede analyser viser at drivtid til land med den valgte metodikken med 2 m/s vind høyst sannsynlig vil være langt høyere enn de 2,6 dagene som er rapportert fra stokastiske oljedriftsimuleringer (Figur 1 og Figur 2), og at likevekt av forbindelsene mellom emulsjon og headspace i tank vil bygges opp over tid slik at grenseverdiene sannsynligvis ikke vil nås i praksis (Seksjon 4).

Angående valg av metodikk i dette og det forrige arbeidet er det noen momenter som bør nevnes. Flammepunkt beregnes basert på forsøk i lab som tidligere beskrevet (Johansen, 2009). Disse forsøkene gjøres med vann-fri olje, men resultatene blir anvendt på oljer som har tatt opp vann. Dette gjør beregningene av flammepunkt konservative da en eventuell oppvarming også må varme opp vannet i oljen. I metoden for å beregne flammepunkt (Johansen, 2009) er oljen i en lukket beholder med et lite headspace, der det antas at en likevekt eller nær-likevekt får bygget seg opp før en varmekilde tilføres. Bruk av lukket beholder gjør at metoden er anvendelig for å vurdere flammepunkt for oppbevaring i tank, og likevekt av avdampede forbindelser sikrer at en eventuell oppvarming av tanken ikke vil påvirke flammepunktet.

6 Konklusjon

Arbeidet i dette rapporten viser at alle undersøkte relevante råoljer bortsett fra Pil vil ha nådd 60 °C flammepunkt når de når kysten gitt konservative betingelser som 2 m/s vind og en minste drivtid på 48 timer. For unntaket med Pil-oljen har vi gjort ekstra undersøkelser som sannsynliggjør at 60 °C flammepunkt likevel vil bli nådd innen emulsjonen driver kystnært. For undersøkelser av BTEX og H_2S finner vi at konsentrasjoner av benzen, toluen og H_2S i headspace ikke vil utgjøre en risiko ut fra grensene som er satt for en 8-timers arbeidsdag. For den samlede gruppen av xylener og etylbenzen viste beregningene at likevektskonsentrasjon i området til grenseverdiene kan oppnås. Dette er relevant for konsentrasjon i headspace over lang tid, men ikke for atmosfæren over oljen eller i arbeidsmiljøet på dekk. Beregningene samlet vurderes derfor som såpass konservative at det ikke forventes at disse verdiene oppnås i praksis.

7 Referanser

Arbeidstilsynet, Forskrift om tiltaks- og grenseverdier, 2020, NO 1358.

Bodil Aamnes Mostue, Solfrid Håbrekke, Ingrid Utne, Øistein Johansen, Halvard Aasjord og Kristen Opstad, Brann- og eksplosjonsfare ved å benytte fiskefartøyer i oljevernaksjoner i kystnære områder, 2009. SINTEF-Rapport F11400.

CR Wilke and Pin Chang, 1955. Correlation of diffusion coefficients in dilute solutions. AIChE Journal, 1(2):264–270

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, DSB, Temaveiledning om tilvirking og behandling av farlig stoff, 2020

Kaja Hellstrøm, Thor-Arne Pettersen, Marius Johnsen, 2015, Pil crude oil – properties and behavior at sea, SINTEF-Rapport F26628.

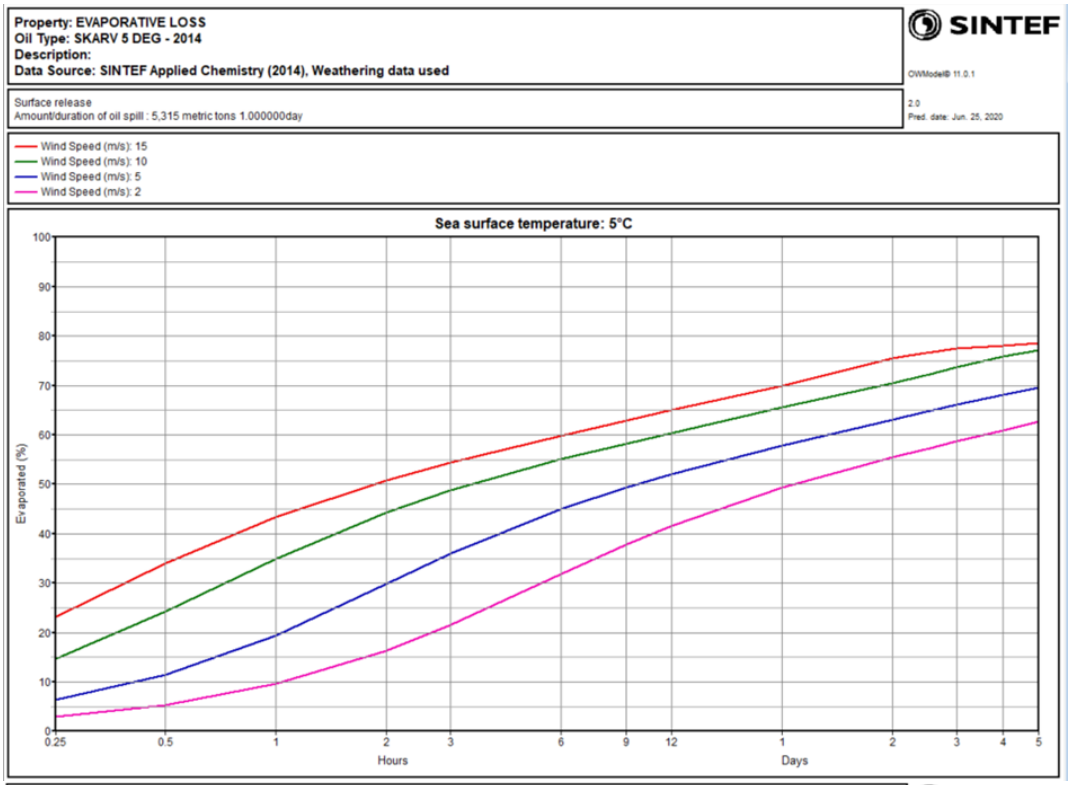
Ivar Singsaas, Frode Leirvik, Oddveig Merete Bakken, Jørgen Skancke, Svein Ramstad, Near-shore mechanical recovery of Pil oil drifting from the Fenja field, 2020. Åpen SINTEF-Rapport OC2020 A-057.

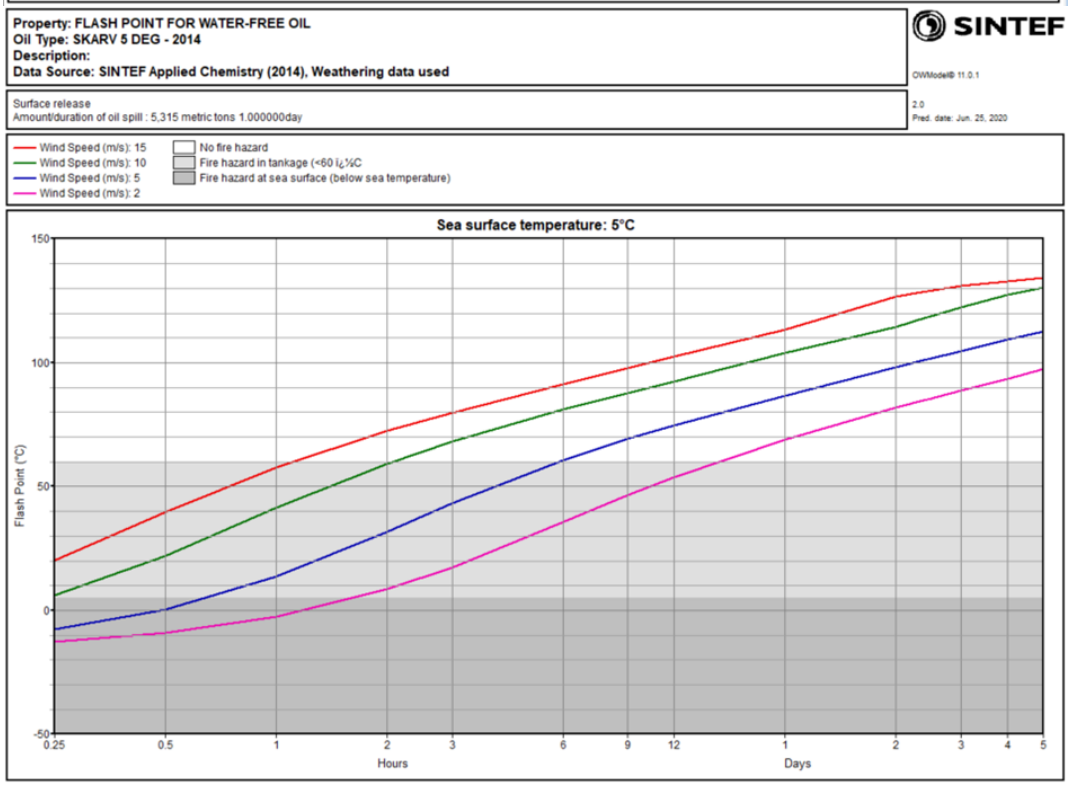
Petroleumstilsynet, Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg, § 36 Kjemisk helsefare.

Øistein Johansen, Bruk av fiskefartøy i kystnært oljevern – Flammepunkt og drevet distanse, 2009. Åpen SINTEF-rapport OC2020 A-058.

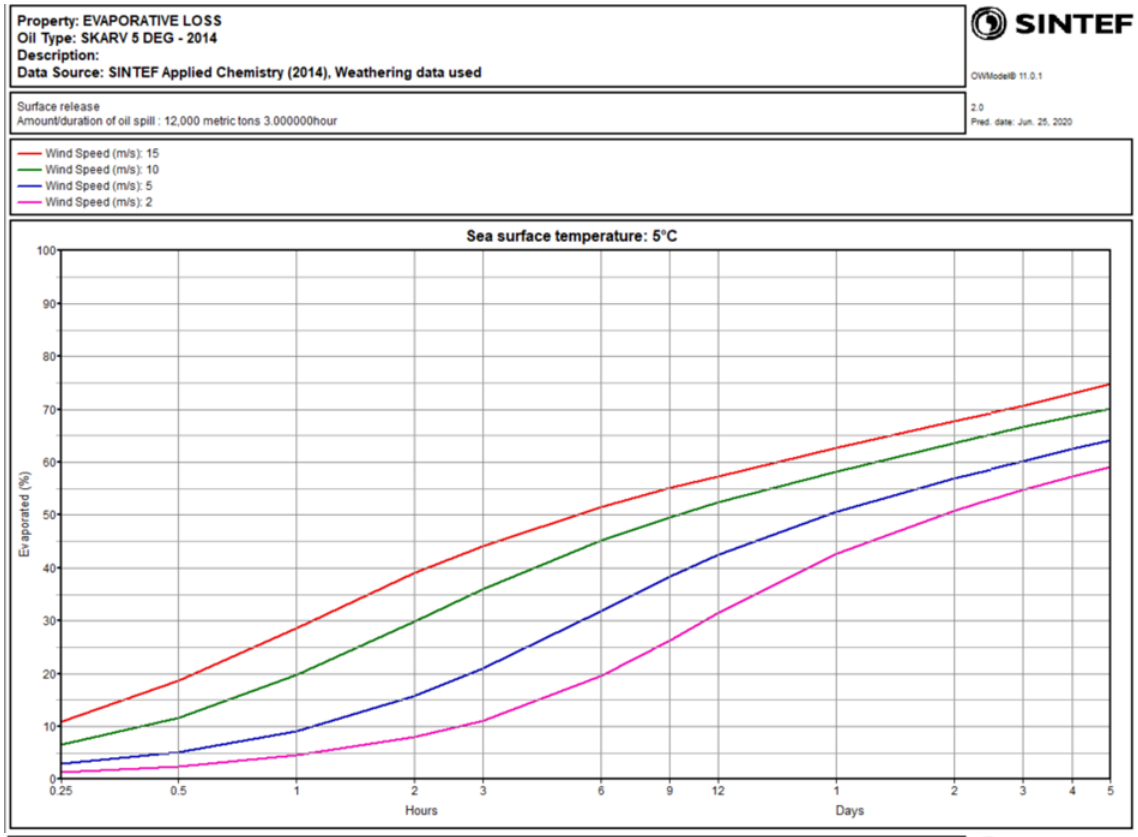
Vedlegg A OWM prediksjoner: Avdampet mengde og flammepunkt

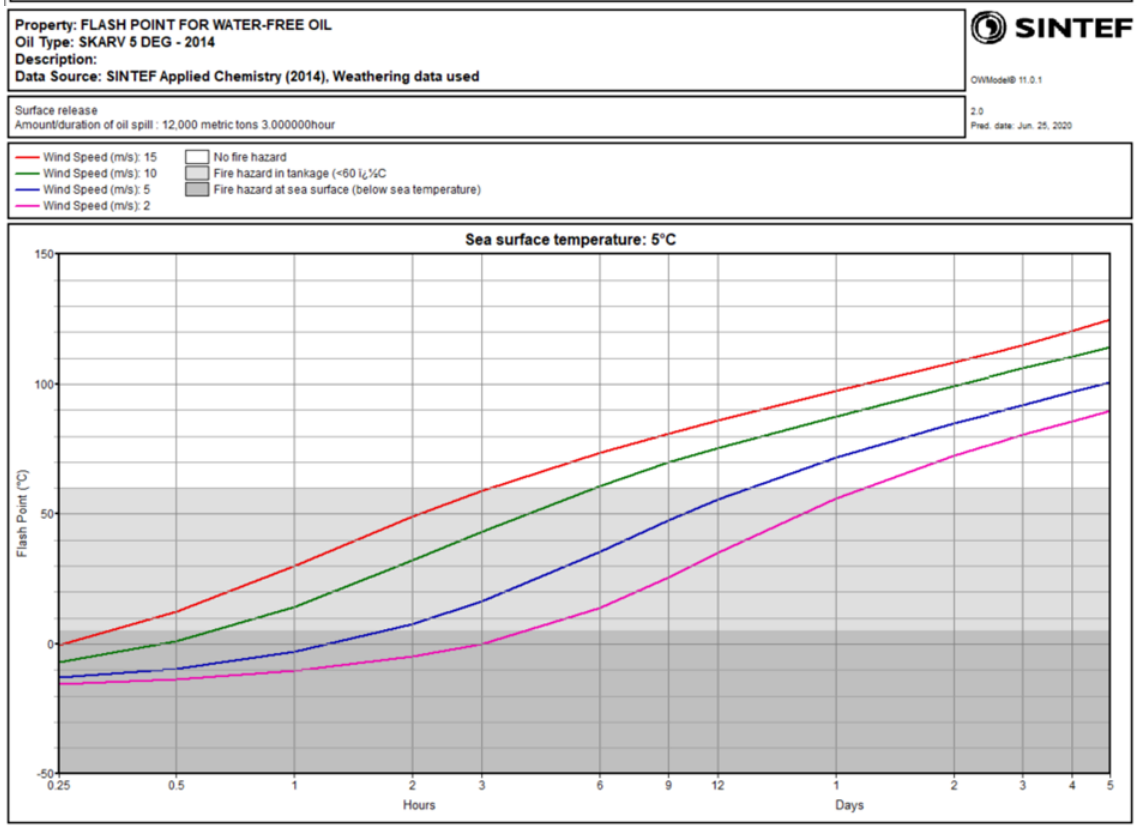
A.1 Skarv Topside utblåsning (5315 m^3/døgn)



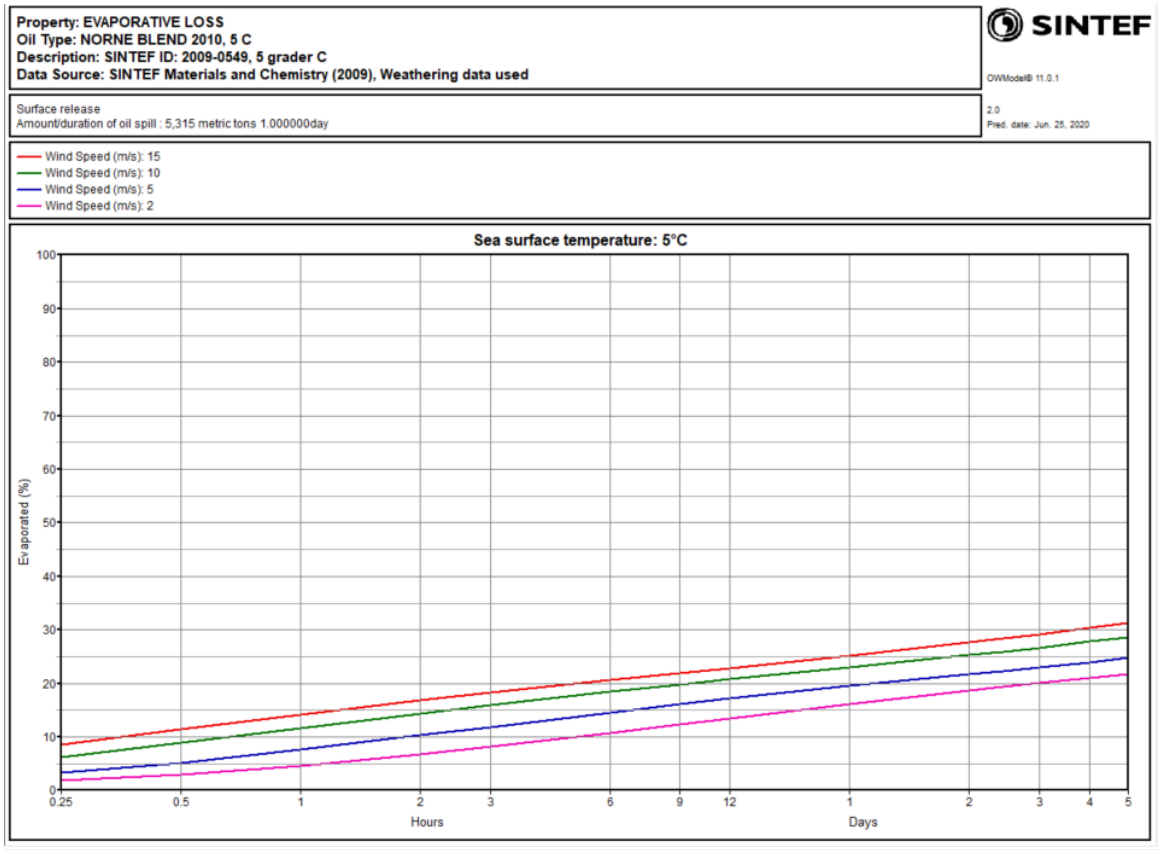


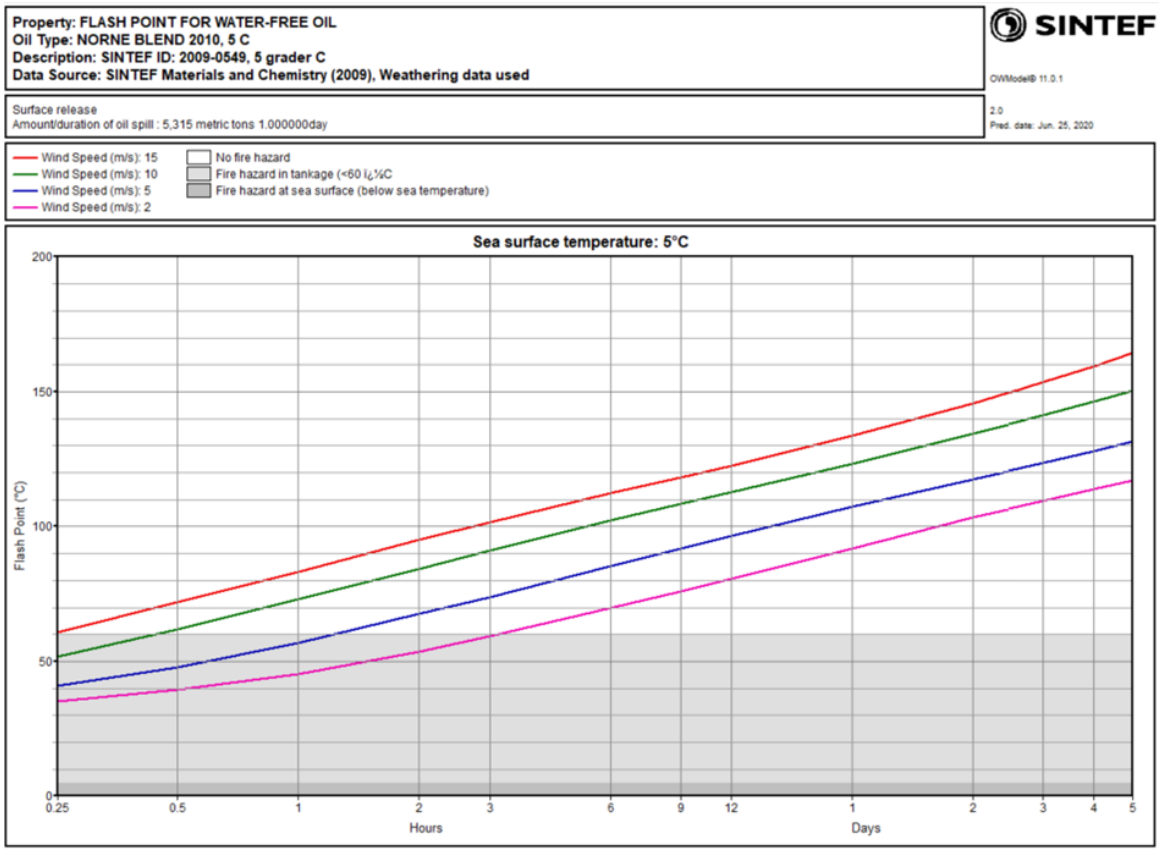
A.2 Skarv Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer)



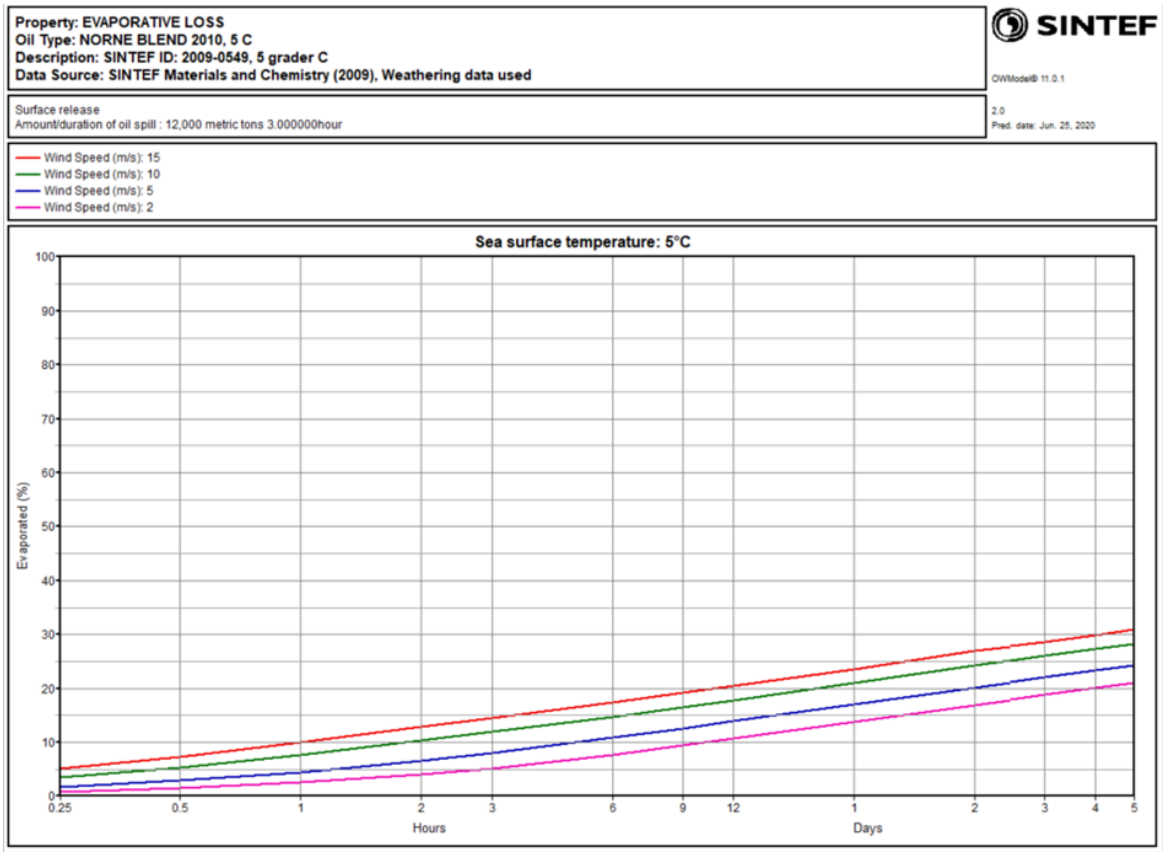


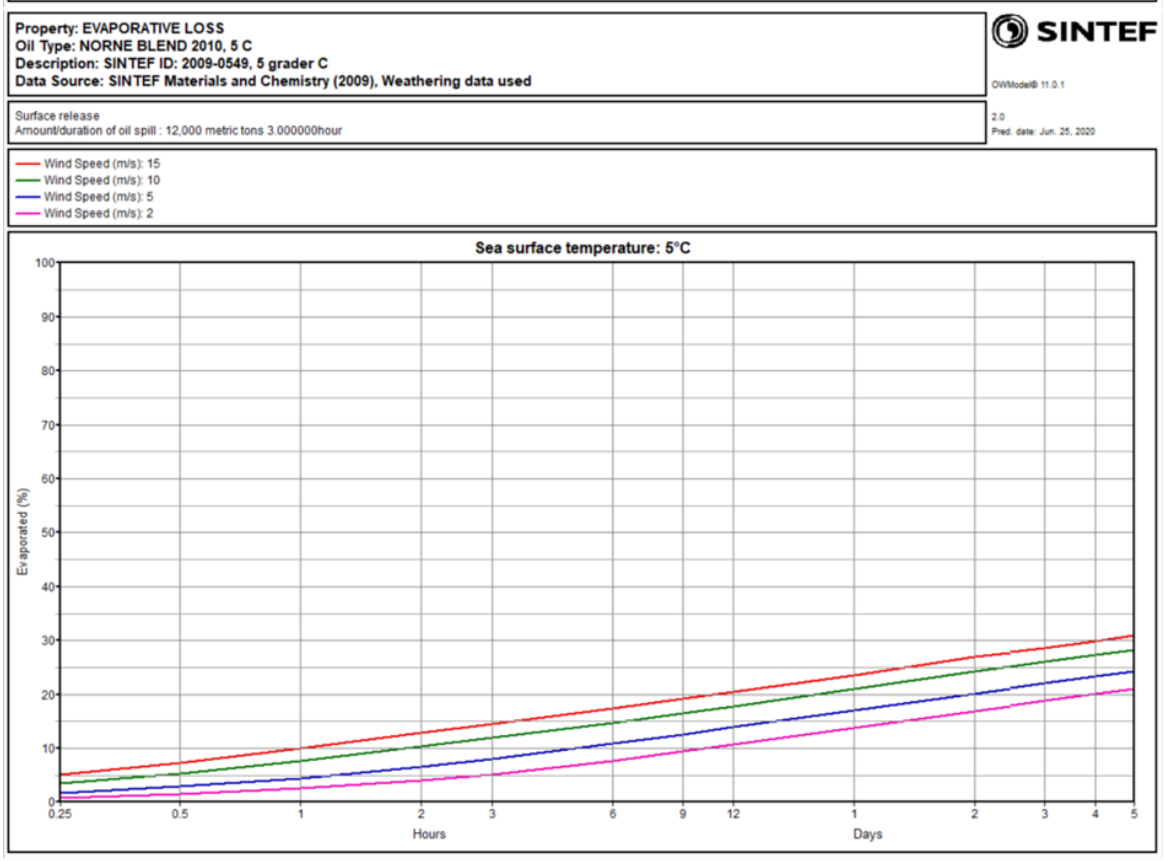
A.3 Norne Blend Topside utblåsning (5315 m^3/døgn)



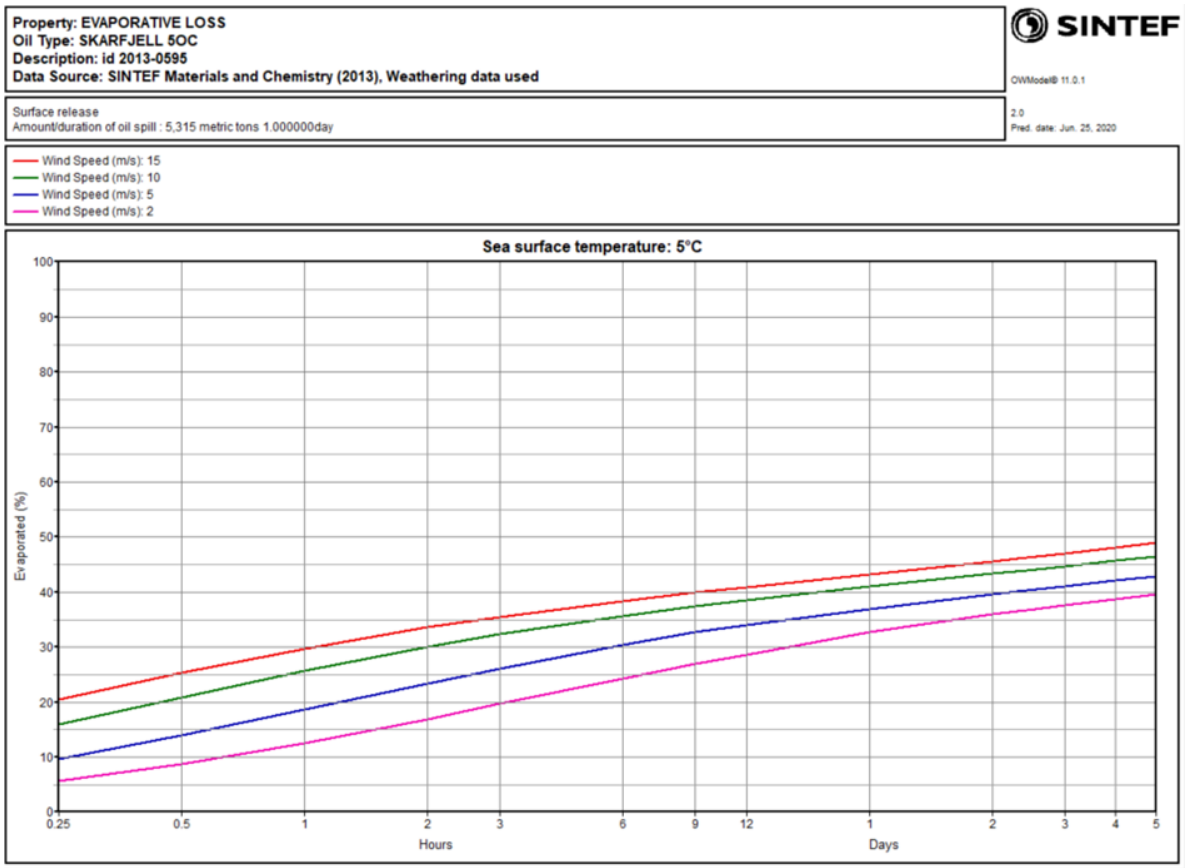


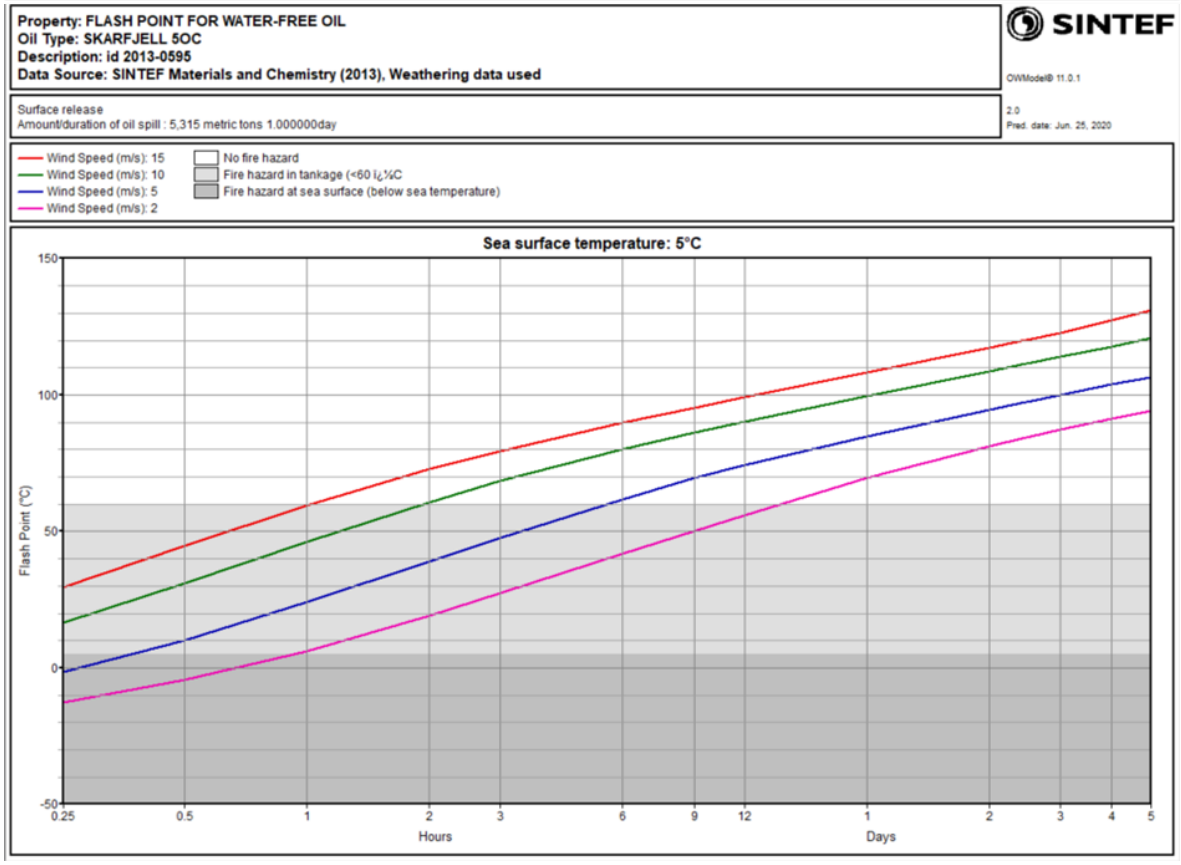
A.4 Norne Blend Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer)



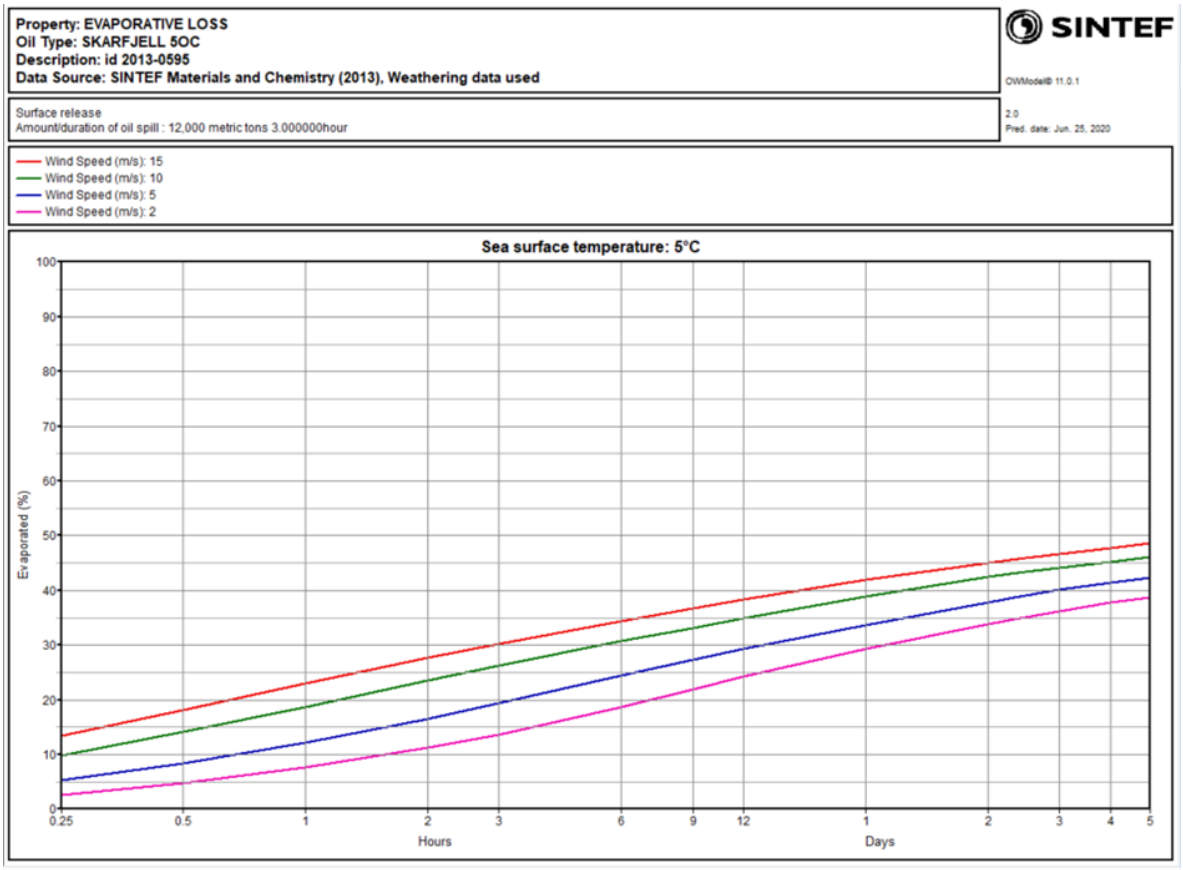


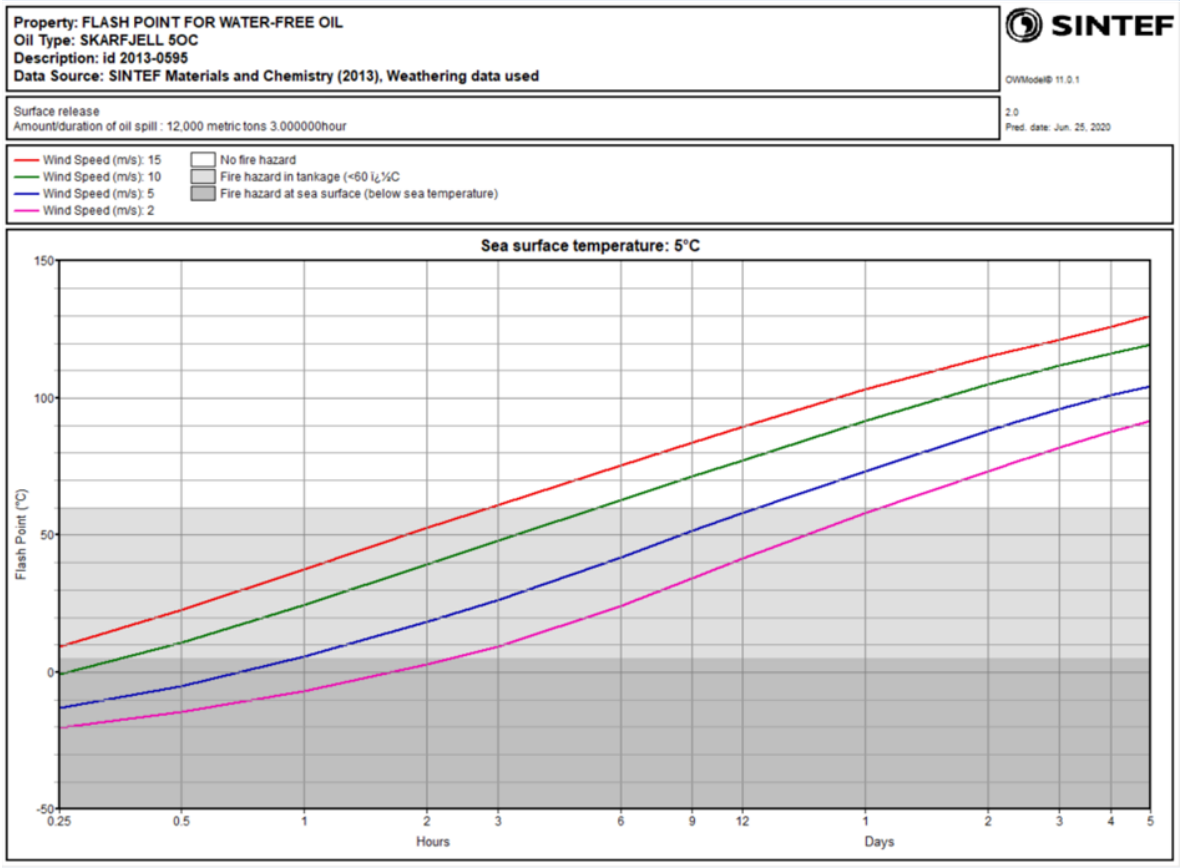
A.5 Skarfjell Topside utblåsning (5315 m^3/døgn)



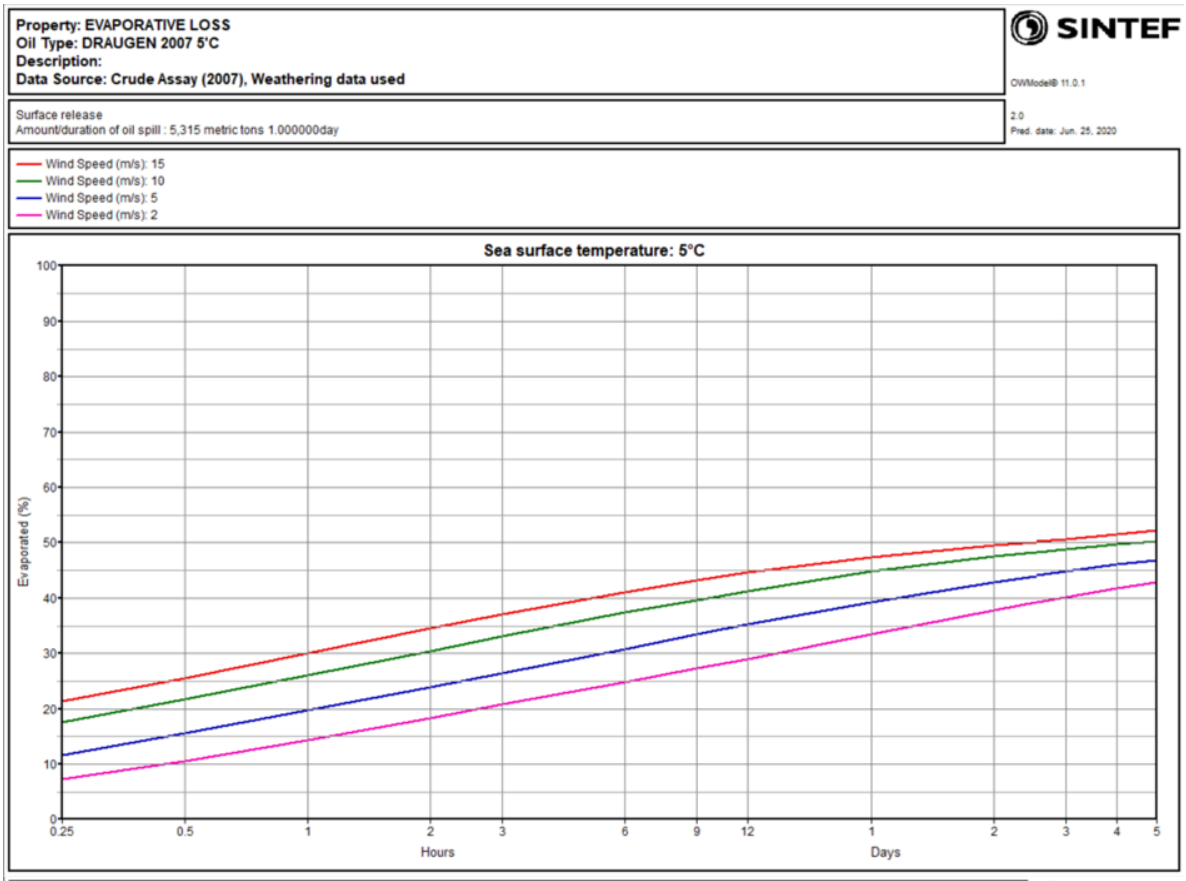


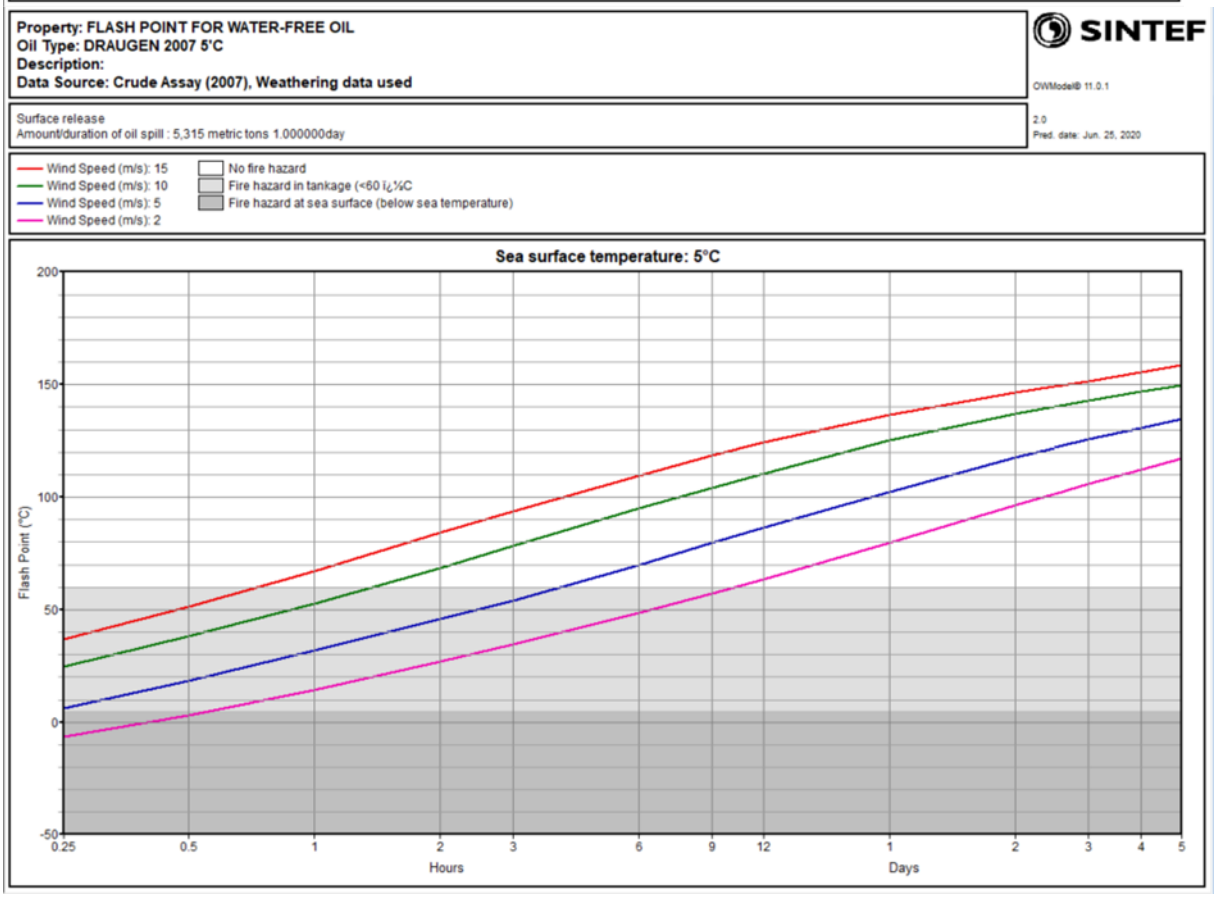
A.6 Skarfjell Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer)



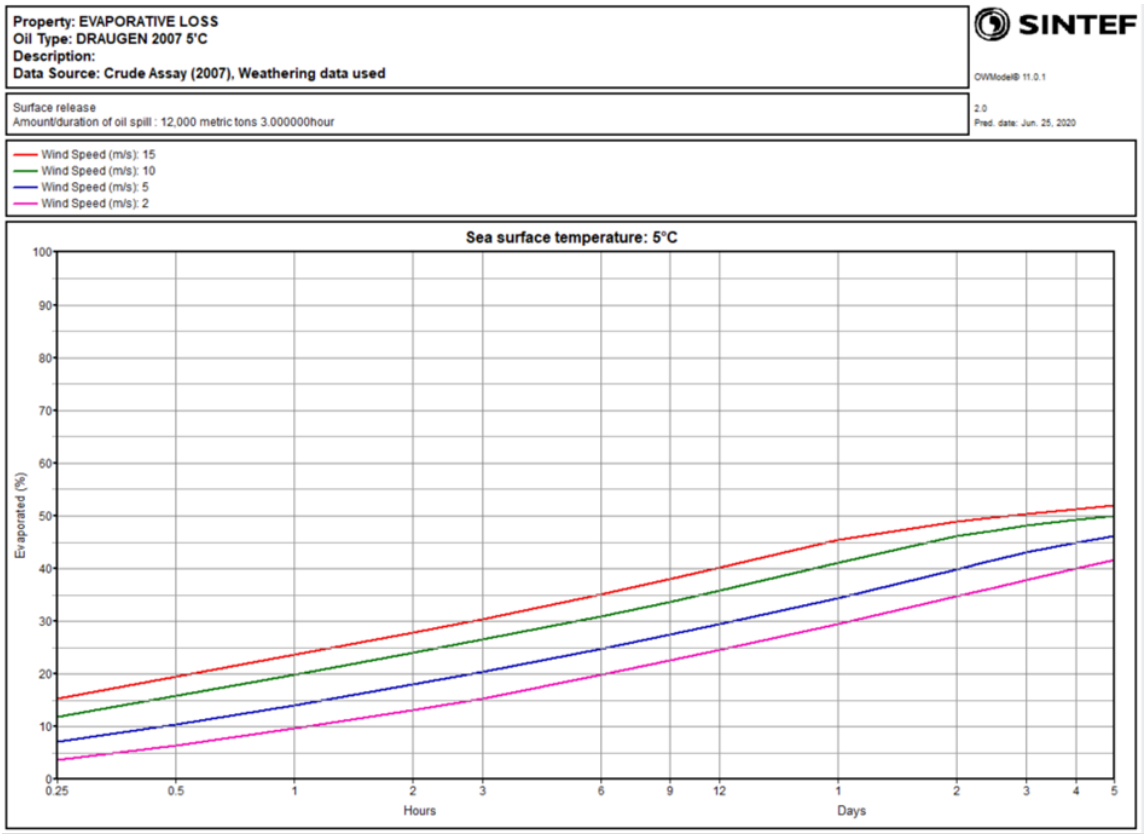


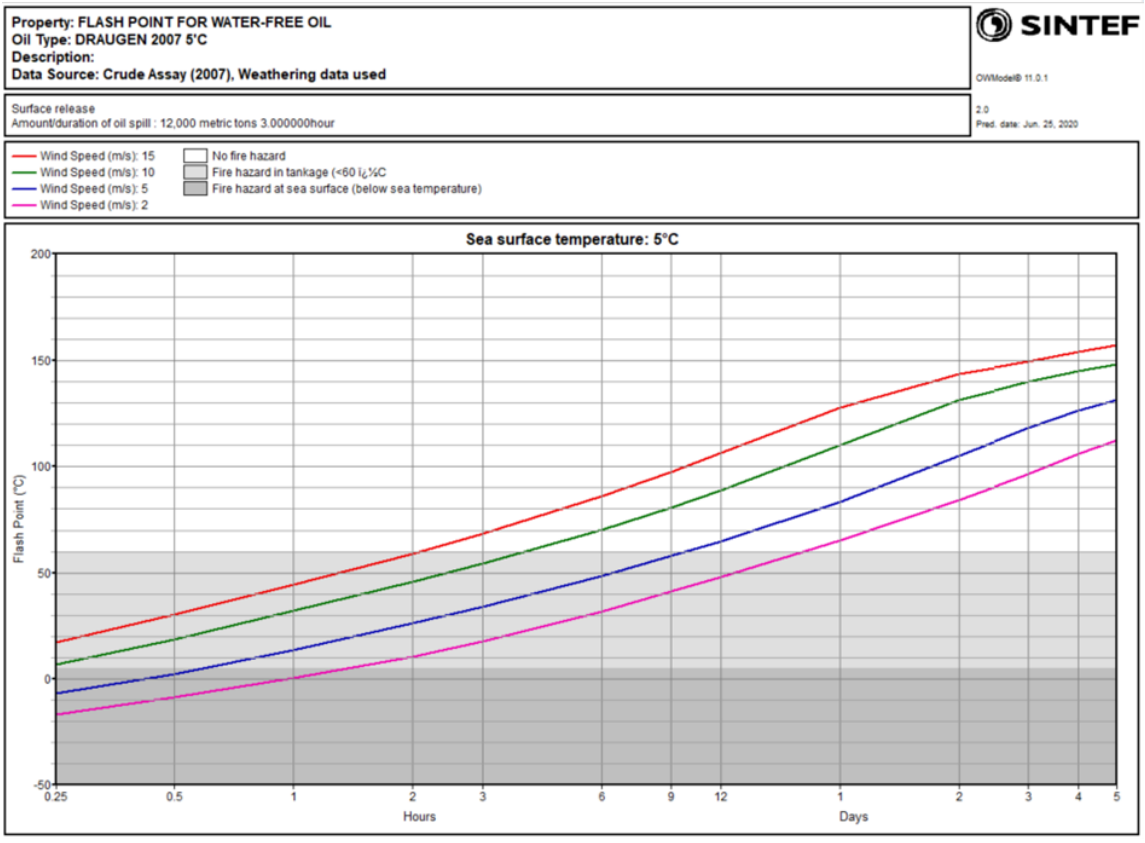
A.7 Draugen Topside utblåsning (5315 m^3/døgn)



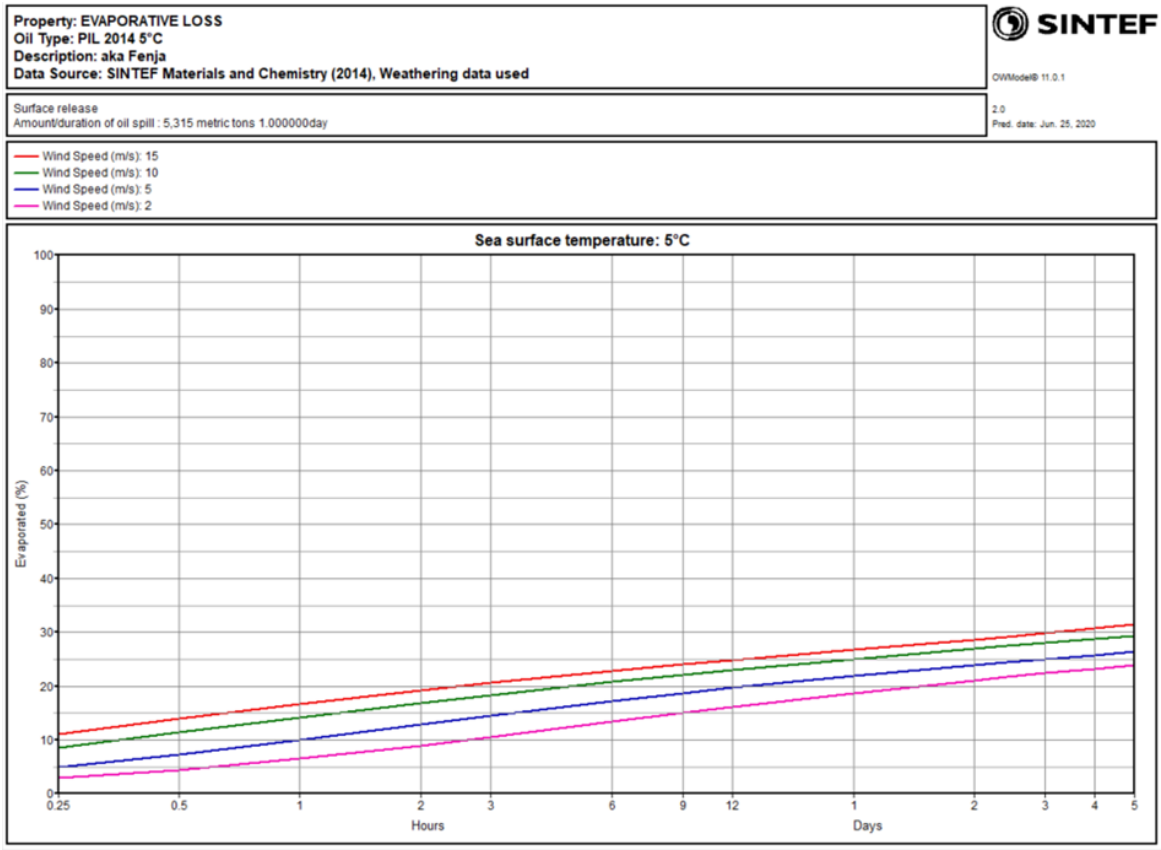


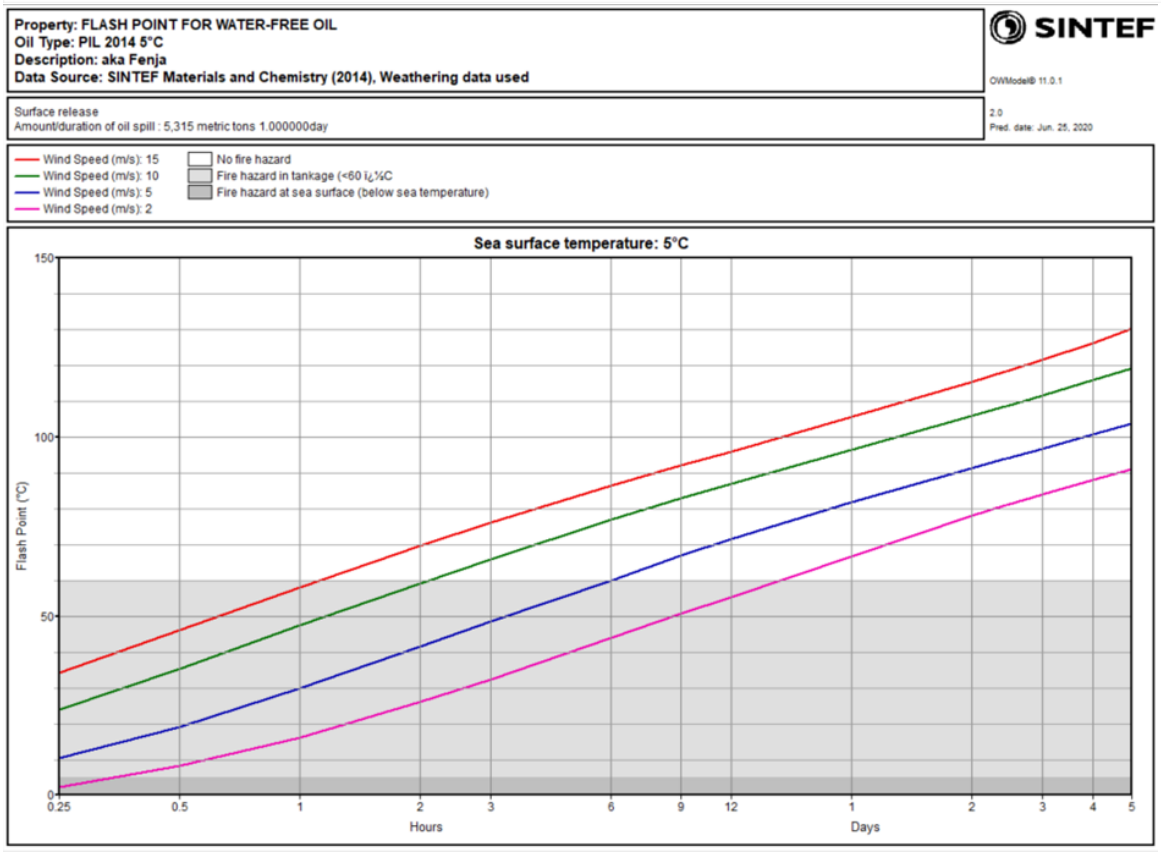
A.8 Draugen Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer)



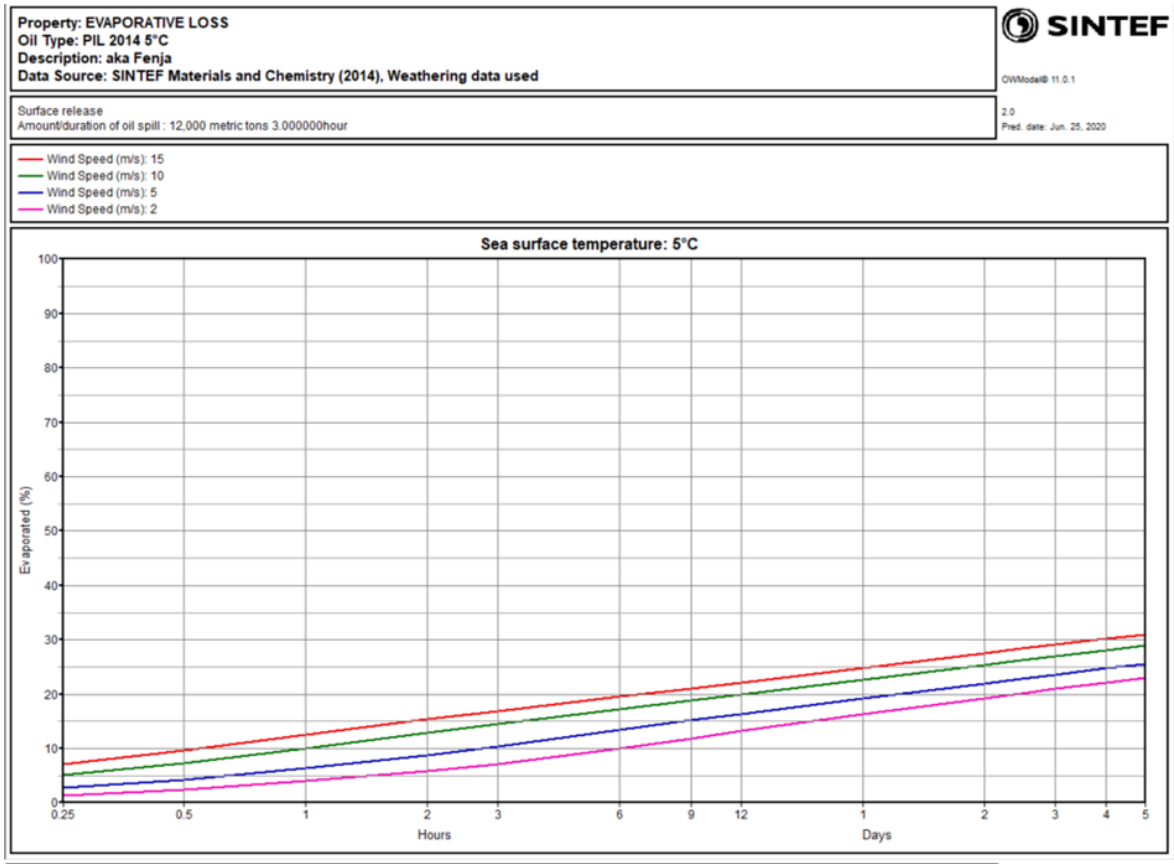


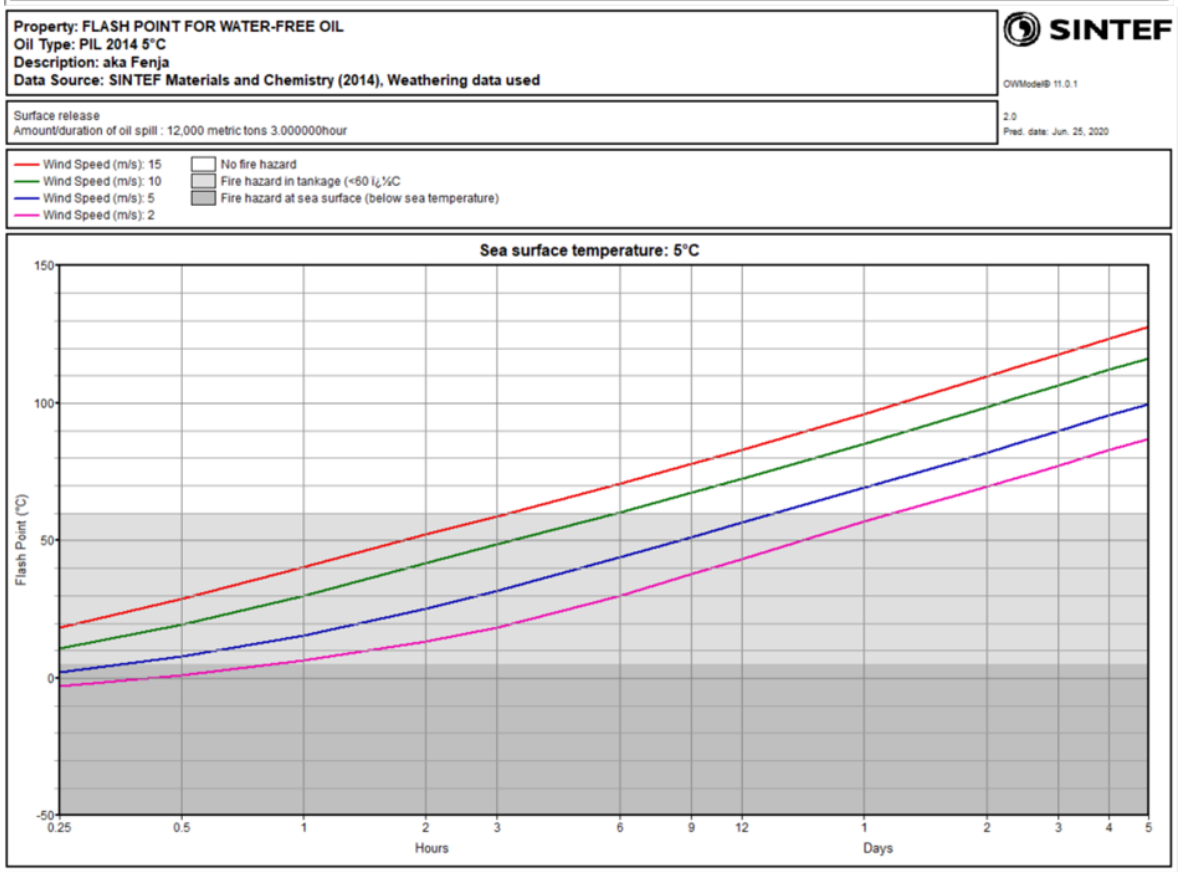
A.9 Fenja (aka Pil) Topside utblåsning (5315 m^3/døgn)



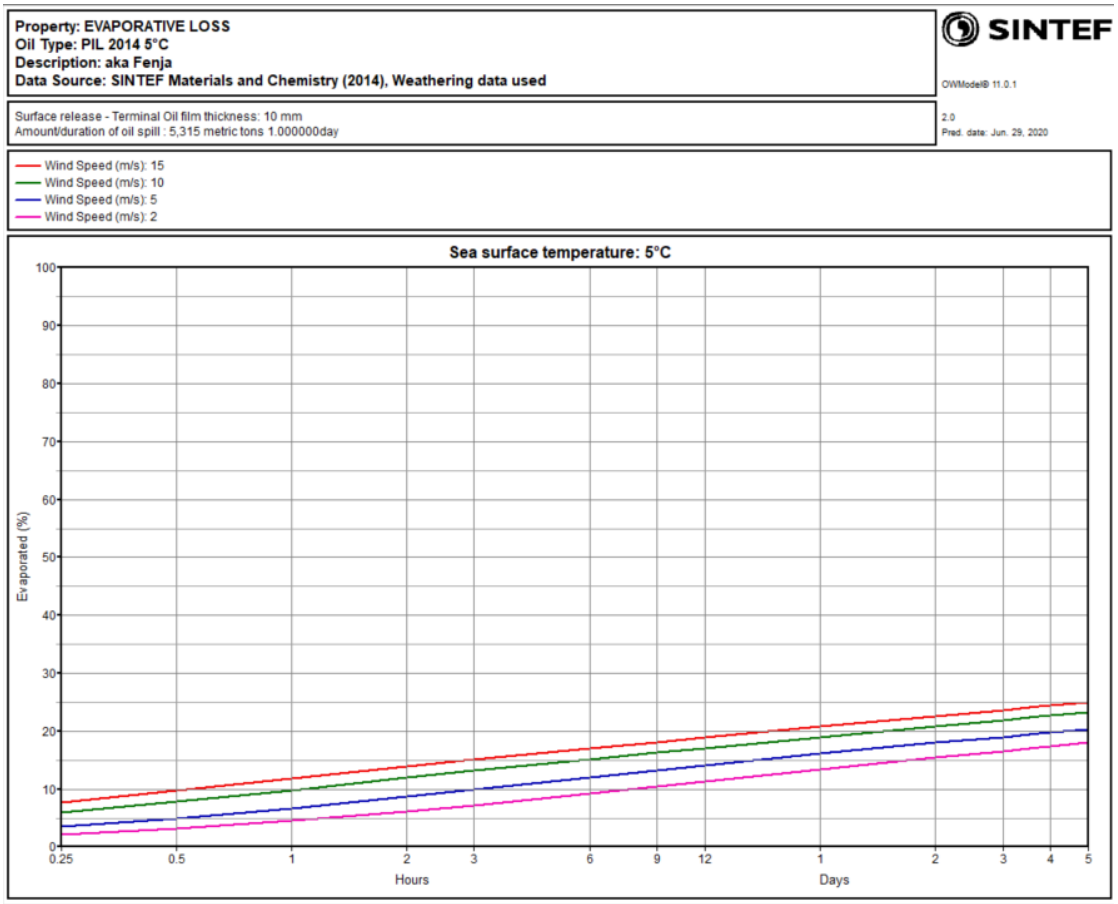


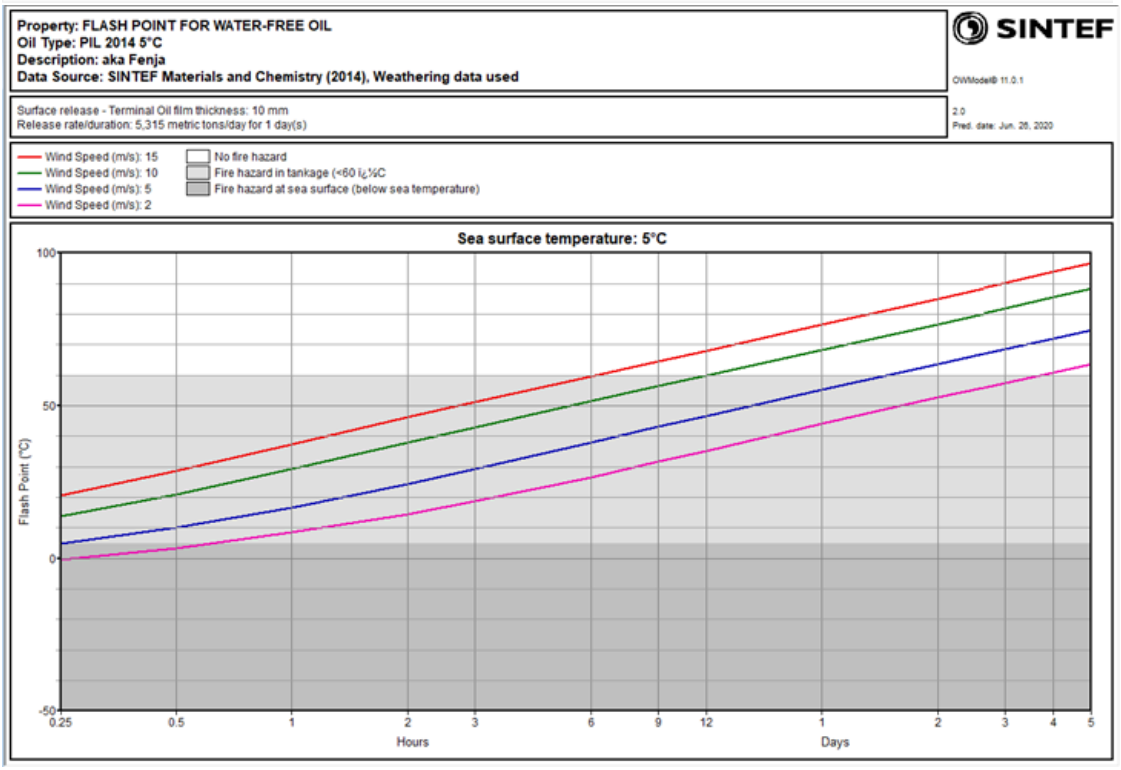
A.10 Fenja (aka Pil) Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer)



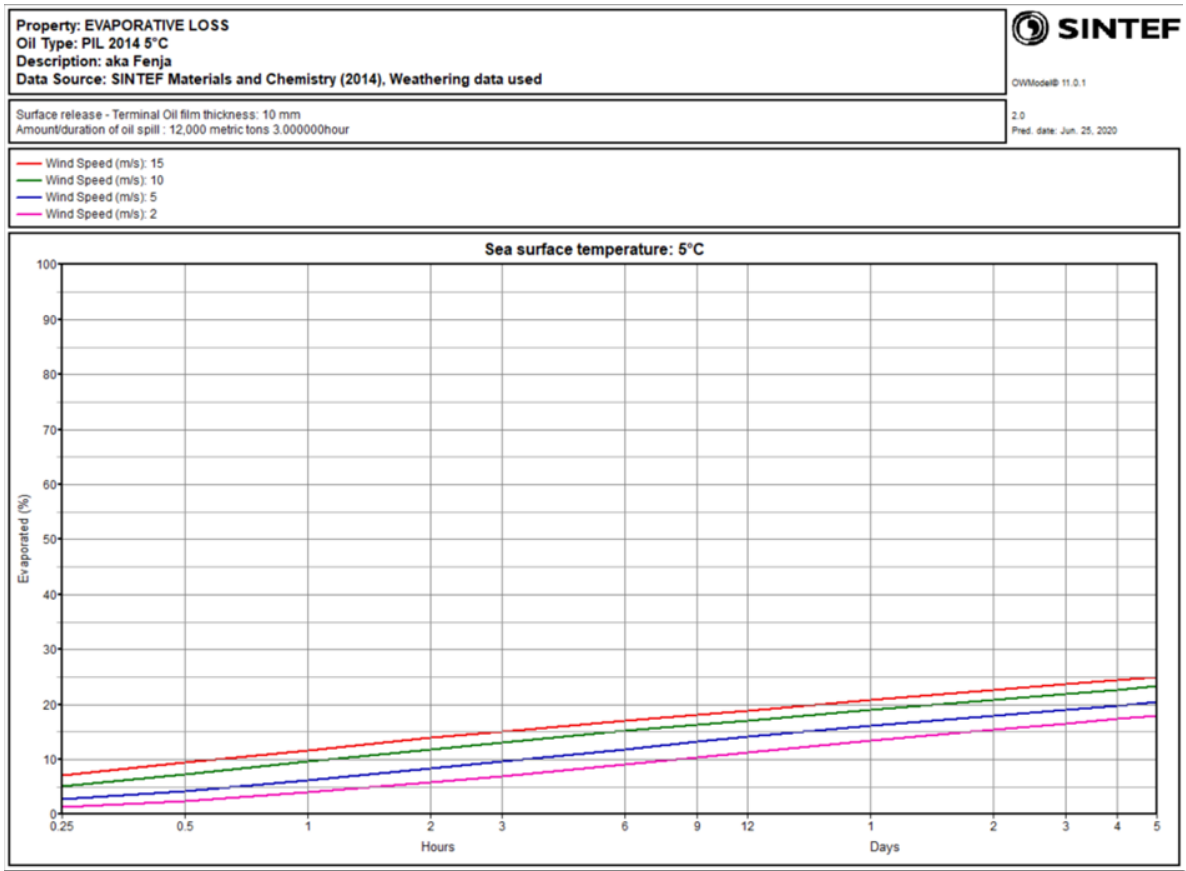


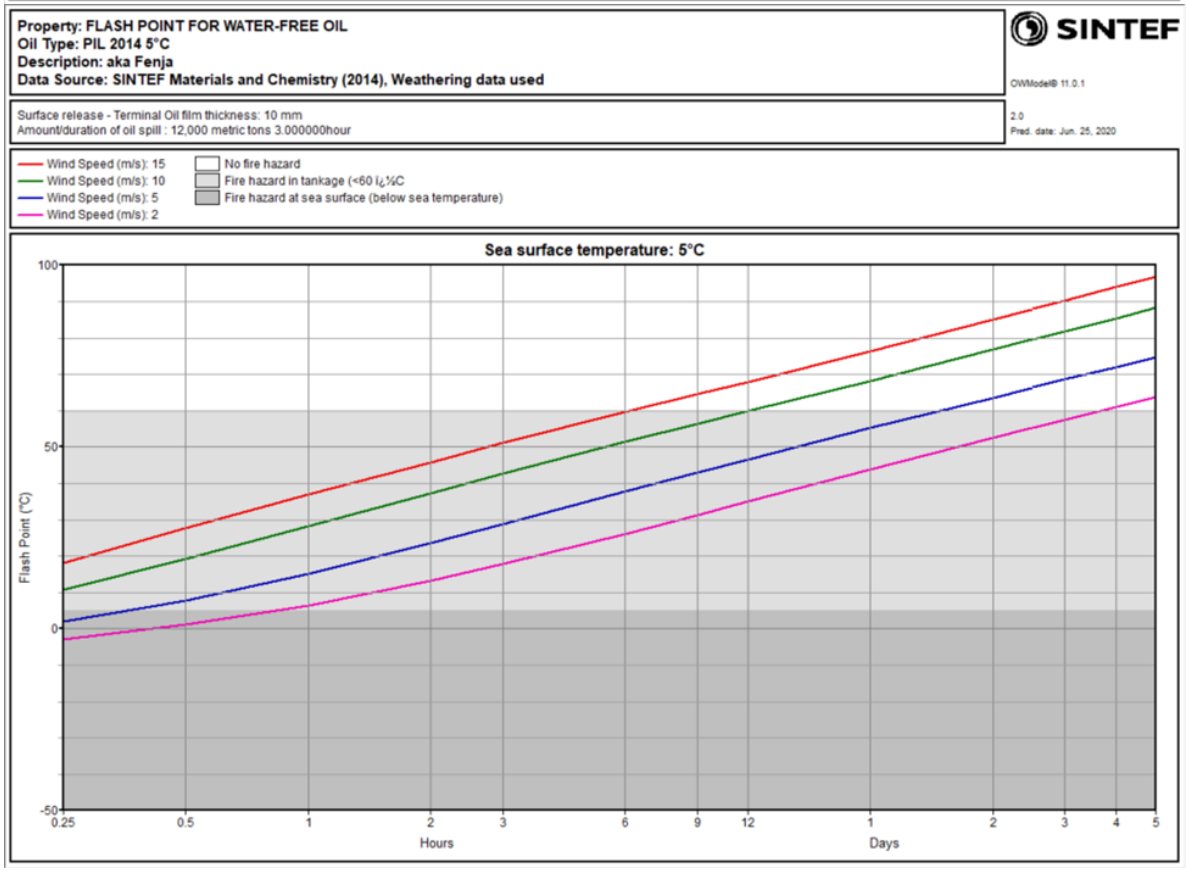
A.11 Fenja (aka Pil) Topside utblåsning (5315 m^3/døgn) – 10 mm filmtykkelse





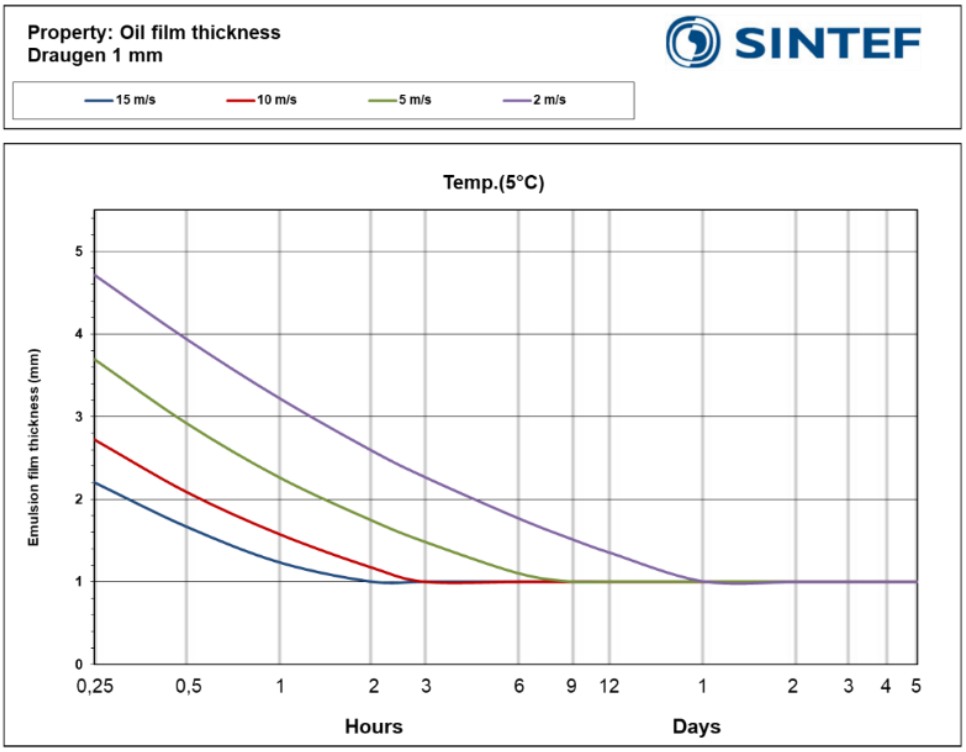
Fenja (aka Pil) Bøyelasting (12 000 m^3 i 3 timer) – 10 mm filmtykkelse

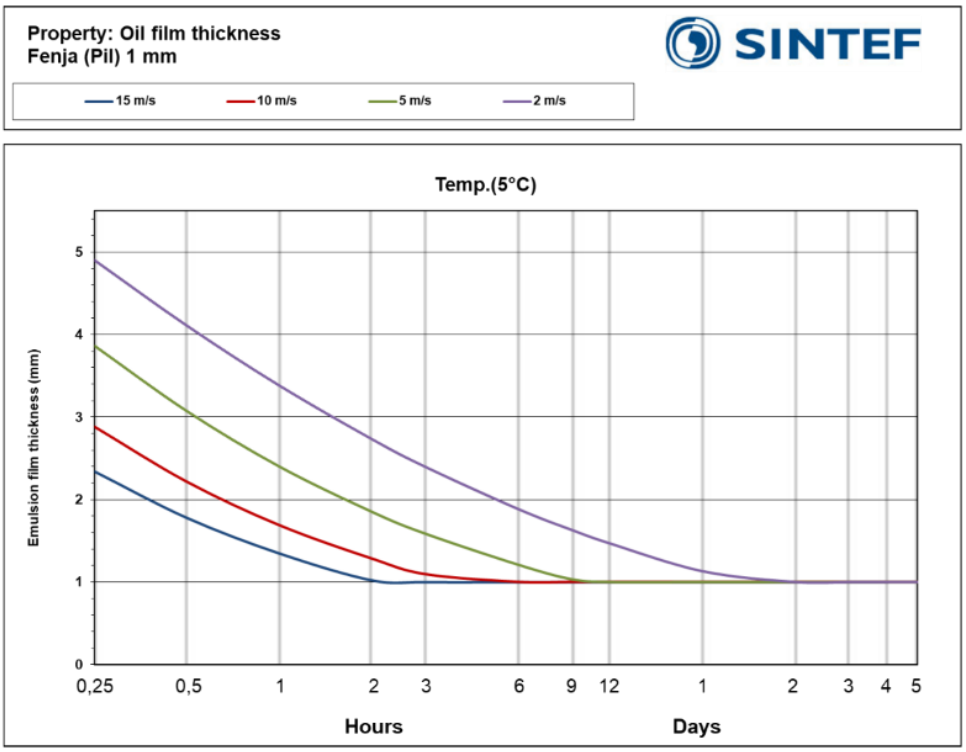




Vedlegg B. OWM prediksjoner: Endring i filmtykkelse

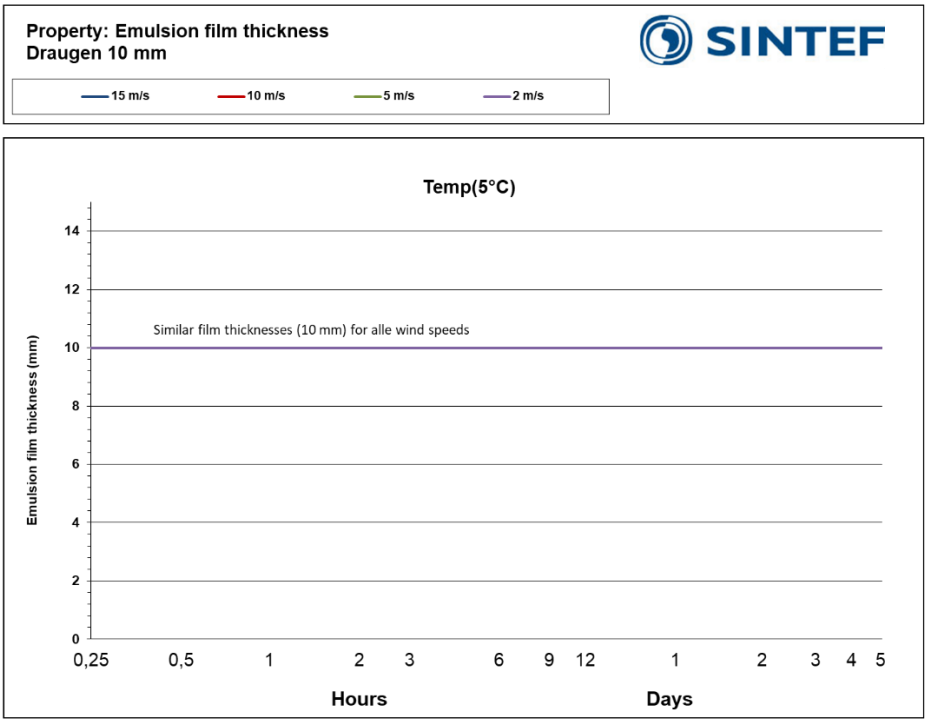
Oljefilmtykkelse Draugen og Pil 5513 m^3 per døgn (1 mm)

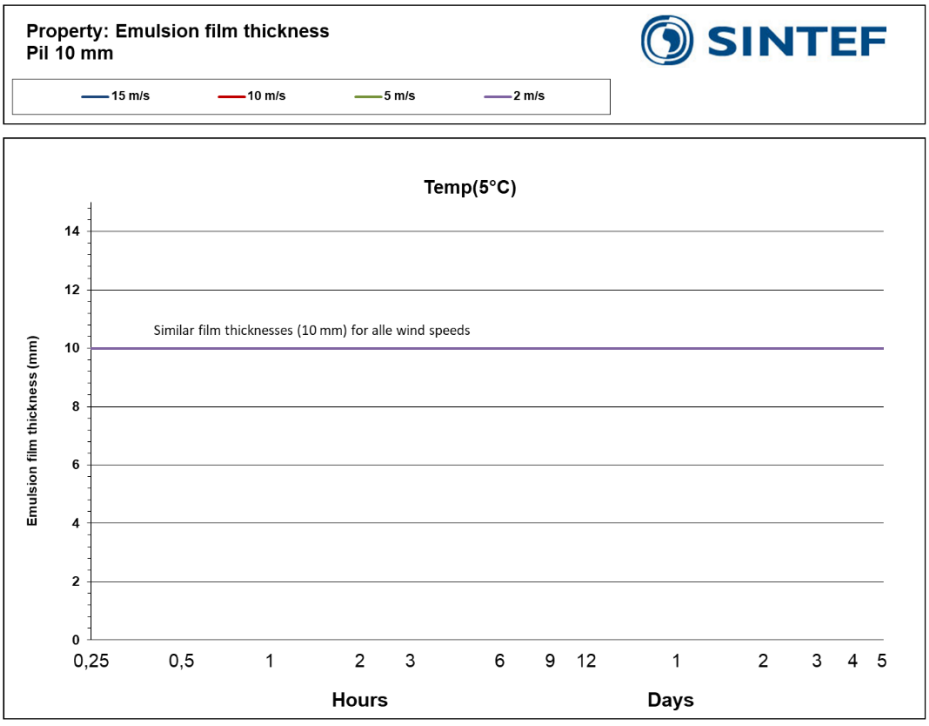




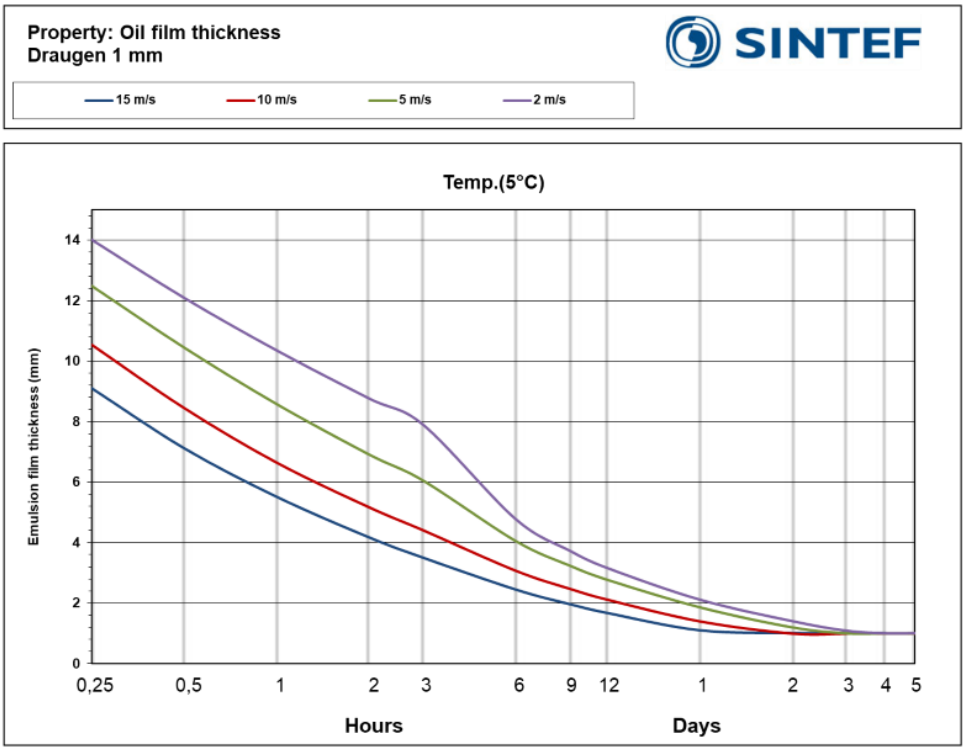
Oljefilmtykkelse 5513 m^3 per døgn (10 mm)

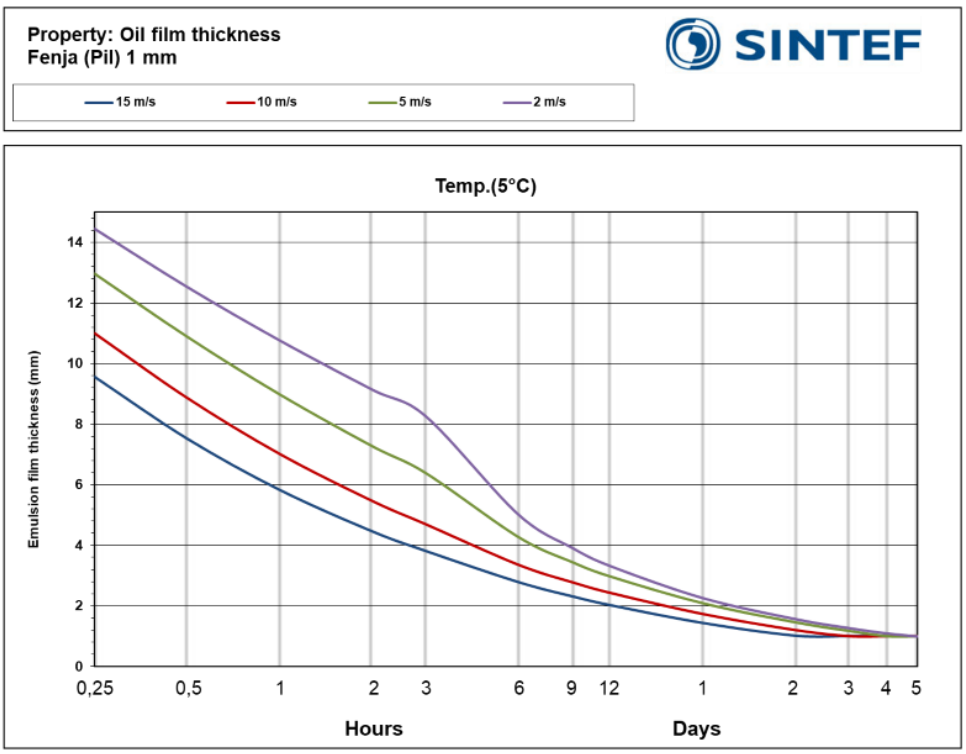
Alle prediksjoner er 10 mm over fra 0,25-5 dager for Draugen og Pil for alle vindhastigheter (2, 5, 10 og 15 m/s)





Oljefilmtykkelse 12000 m^3 i 3 timer (1 mm)





Oljefilmtykkelse 12000 m^3 i 3 timer (10 mm)

