

2022:01008 - Åpen

# Rapport

## Testing av dispergeringsmidler (subsea og overflate) på oljer fra Wistingfeltet

En supplerende studie til tidligere forvitningsstudier og testing av dispergeringsmidlers effektivitet

### Forfatter(e)

P. J. Brandvik

K.R. Sørheim, K.C. Hellstrøm, P.S. Daling and F. Leirvik



Testing av mekanisk undervannsdispergering (SSMD)

SINTEF Ocean AS

Postadresse:  
Postboks 4762 Torgarden  
7465 Trondheim

Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:  
NO 937 357 370 MVA

# Rapport

## Testing av dispergeringsmidler (subsea og overflate) på oljer fra Wistingfeltet

En supplerende studie til tidligere forvitningsstudier og testing av dispergeringsmidlers effektivitet

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2022:01008	302007079	Final	2022-10-07

**EMNEORD:**

Olje  
Forvitring  
Dispergering  
Effektivitetstesting  
Undervannsutslipp  
Mekanisk dispergering

**FORFATTER(E)**

P. J. Brandvik  
K.R. Sørheim, K.C. Hellstrøm, P.S. Daling and F. Leirvik

**OPPDRAGSGIVER(E)**

Equinor Energy AS

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Karina Heitnes Hofstad og Endre Aas

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

29

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

**ISBN**

978-82-14-07911-1

**SAMMENDRAG**

Det er relativt små forskjeller mellom oljene fra Wisting-feltet (Hanssen, Central og Blend (20:80)) i forhold til variasjonen i sammensetting og egenskaper blant oljene totalt på norsk sokkel. En sammenligning basert på de tre tidligere forvitningsstudiene fra 2015, 2017 og 2018 konkluderte med at Wisting Hanssen dannet mer viskøse og stabile emulsjoner enn de andre to oljene. Det ble også konkludert med at Wisting Hanssen ikke var dispergerbar. Dispergeringstesting som ble utført på Wisting Hanssen i 2015 omfattet imidlertid bare testing med en lav-energi test (IFP) som simulerer lav sjøtilstand (ikke-brytende bølger). Forvitningsstudiene for de to andre Wisting oljene (Central og Blend) utført i 2017 og 2018 inkluderte også høy-energi testing (MNS) som simulerer brytende bølger. Begge disse oljene viste god effektivitet når de ble testet med MNS-metoden.

Supplerende testing med MNS-metoden viser at Wisting Hanssen er like dispergerbar som de to øvrige Wisting oljene med et operativt tidsvindu for påføring av dispergeringsmidler på 20 timer.

Testing av undervannsinjeksjon av dispergeringsmidler og subsea mekanisk dispergering i laboratoriet gir også en høy effektivitet for alle tre Wisting oljene.

**UTARBEIDET AV**

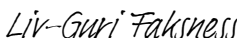
Per Johan Brandvik



Per Johan Brandvik (Oct 6, 2022 23:18 GMT+2)

**KONTROLLERT AV**

Liv-Guri Faksness



Liv-Guri Faksness (Oct 6, 2022 23:38 GMT+2)

**GODKJENT AV**

Atle Kleven



Atle Kleven (Oct 7, 2022 08:25 GMT+2)

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
Draft 1	2022-09-02	Første utgave for presentasjon og diskusjon med oppdragsgiver
Draft 2	2022-09-15	Oppdatert versjon sendt til Equinor
Final	2022-10-07	Endelig utgave etter godkjenning/siste kommentarer mottatt 2022-10-03

---

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Oppsummering av tidligere forvitningsstudier og anbefalinger for supplerende arbeid på oljene fra Wisting feltet .....</b>	<b>4</b>
1.1	Oppsummering av tidligere forvitningsstudier.....	4
1.2	Forvitringsegenskaper.....	5
1.3	Testing av kjemisk dispergerbarhet .....	9
1.4	Anbefaling for supplerende dispergeringstesting av oljer fra Wisting feltet .....	10
<b>2</b>	<b>Mottak og vurdering av oljeprøver.....</b>	<b>11</b>
2.1	Vurdering av mottatte prøver.....	13
<b>3</b>	<b>Tillaging og karakterisering av forvitrede prøver for dispergeringstesting.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Effektivitet av påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på overflaten.....</b>	<b>17</b>
4.1	Doseringstesting .....	17
4.2	Effektivitet av dispergeringsmiddel som funksjon av forvitring .....	17
<b>5</b>	<b>Effektivitet av subsea injeksjon av dispergeringsmidler .....</b>	<b>19</b>
5.1	Eksperimentelt.....	19
5.2	Resultater.....	21
<b>6</b>	<b>Effektivitet av subsea mekanisk dispergering .....</b>	<b>24</b>
6.1	Eksperimentelt.....	24
6.2	Resultater.....	24
<b>7</b>	<b>Konklusjoner .....</b>	<b>27</b>
7.1	Oppsummering av tidligere forvitningsstudier og anbefalinger for supplerende arbeid på oljene fra Wisting feltet .....	27
7.2	Effektivitet av påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på overflaten.....	27
7.3	Effektivitet av subsea injeksjon av dispergeringsmidler (SSDI) .....	27
7.4	Effektivitet av subsea mekanisk dispergering (SSMD).....	27
<b>8</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>29</b>

## BILAG/VEDLEGG

Ingen bilag/vedlegg

## 1 Oppsummering av tidligere forvitningsstudier og anbefalinger for supplerende arbeid på oljene fra Wisting feltet

I forbindelse med behandling av konsekvensutredningen for Wisting-feltet har Equinor henvendt seg til SINTEF Ocean for å få en samlet vurdering av tidligere forvitningsstudier og vurderinger av effektiviteten til dispergeringsmidler for oljene på Wisting-feltet. Under er det gitt en oppsummering av disse forvitningsstudiene og den testing av dispergeringsmiddel som er foretatt.

### 1.1 Oppsummering av tidligere forvitningsstudier

#### 1.1.1 Wisting Hanssen

Akvaplan-niva gjennomførte i 2015 en forvitningsstudie og dispergerbarhetstesting på Wisting Hanssen oljen fra Wisting-feltet (Torske og Wasbotten, 2015) på oppdrag av OMV Norge, som da hadde operatøransvaret på Wisting-feltet. Denne oljen identifiseres hos SINTEF med ID 2018-170 og kalles videre i denne rapporten for Wisting Hanssen eller bare Hanssen-oljen.

Det ble gjennomført en full forvitningsstudie på Hanssen-oljen med tillaging av kunstig forvitrede prøver (avdamping/emulgering) og måling av fysikalsk-kjemiske egenskaper på disse. Disse prøvene med varierende forvitningsgrad ble brukt til testing av emulsjonsbryter og dispergeringsmidler. På grunn av lav effektivitet av dispergeringsmidler på IFP-testen (simulerer lav sjøtilstand, ikke-brytende bølger) ble det ikke gjort testing med MNS metoden (simulerer høy sjøtilstand, brytende bølger). Basert på resultater fra denne laborietesting ble det foretatt modellering av forvitningsprosesser for marine oljesøl. Disse ble brukt til å vurdere effektiviteten av og gi anbefalinger for beredskapstiltak, hovedsakelig mekanisk oppsamling og bruk av dispergeringsmidler.

De fysiske og kjemiske analysene ble utført av Unilab Analyse/Akvaplan-niva, testing av dispergeringsmidler ble utført av Cedre i Frankrike og modelleringen av forvitringsegenskapene av RPS ASA i USA. Resultatene ble sammenstilt og rapportert av Unilab Analyse/Akvaplan-niva.

#### 1.1.2 Wisting Central

SINTEF Ocean gjennomførte våren 2017 en forvitningsstudie og dispergerbarhetstesting på Wisting Central-oljen (Sørheim og Bakken, 2017) på oppdrag fra OMV Norge. Denne oljen kalles videre i dette notatet for Central-oljen (ID: 2016-320). Det ble gjennomført en full forvitningsstudie som beskrevet ovenfor, men både IFP og MNS testen ble benyttet for å teste effekten av dispergeringsmidler. Alle analyser, modellering, sammenstilling og rapportering ble utført av SINTEF.

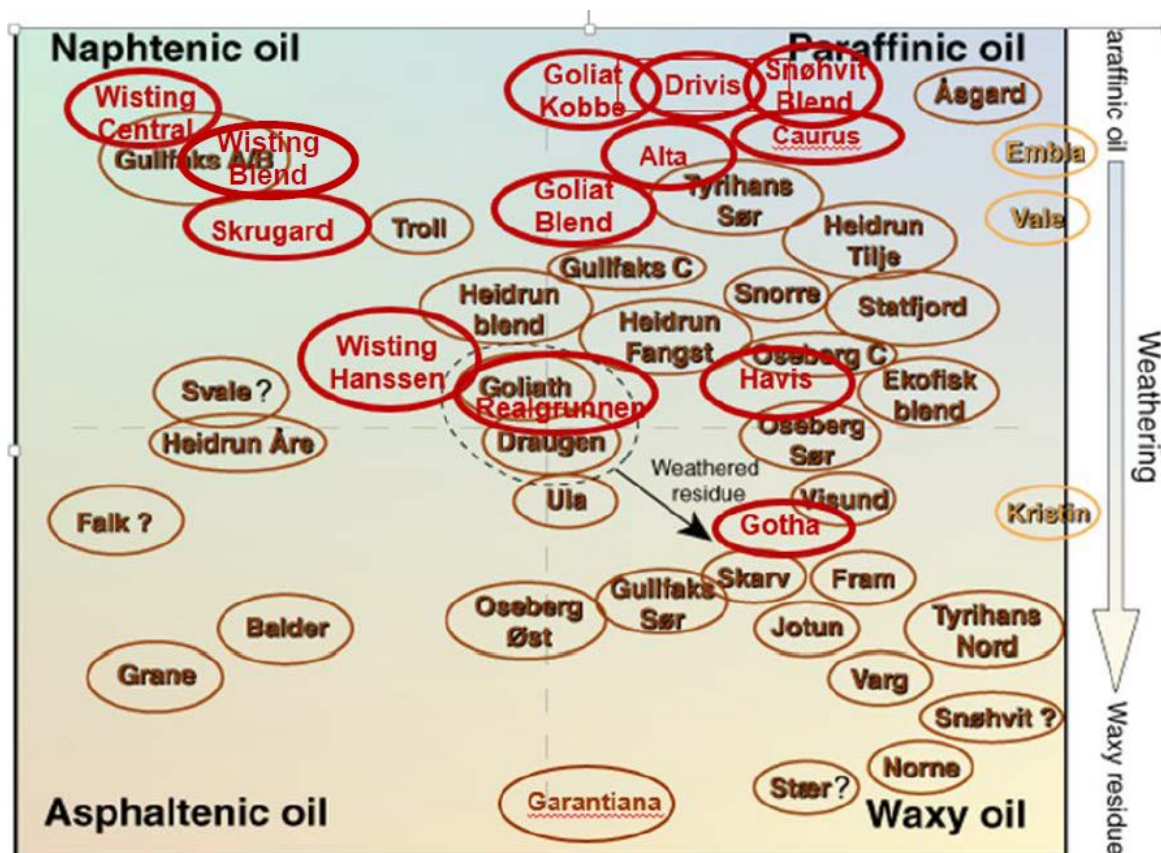
#### 1.1.3 Wisting Blend (80:20)

SINTEF Ocean gjennomførte en oppfølgingsstudie på en blanding (80:20) av Central og Hanssen i 2018 (Sørheim og Bakken, 2018), dette også på oppdrag fra OMV Norge. Denne oljen kalles videre i dette notatet for Blend (ID: 2018-519). Det ble gjennomført en forvitningsstudie og dispergerbarhetstesting som beskrevet ovenfor for Wisting Central. Alle analyser, modellering, sammenstilling og rapportering ble utført av SINTEF.

## 1.2 Forvitringsegenskaper

Flere av oljene som er funnet i Barentshavet er biodegraderte i større eller mindre grad, f.eks. Realgrunnen på Goliat-feltet og Skrugard på Johan Castberg-feltet, samt Central og Hanssen fra Wisting-feltet, se Figur 1.1. Dette betyr at mikroorganismer har påvirket den kjemiske sammensettingen av oljen ved at de selektivt har degradert grupper av komponenter i oljen. Dette kan skje både i kildebergarten, under migrasjon eller i selve reservoaret. Slike mikroorganismer har en høyere affinitet for rettkjedete hydrokarboner (n-alkaner) og biodegraderte oljer kan derfor bli dominert av forgrenede, sykliske og aromatiske forbindelser. Vi kaller ofte slike oljer for naftenske i motsetning til parafinske/voksrike oljer som ofte domineres av rettkjedede n-alkaner.

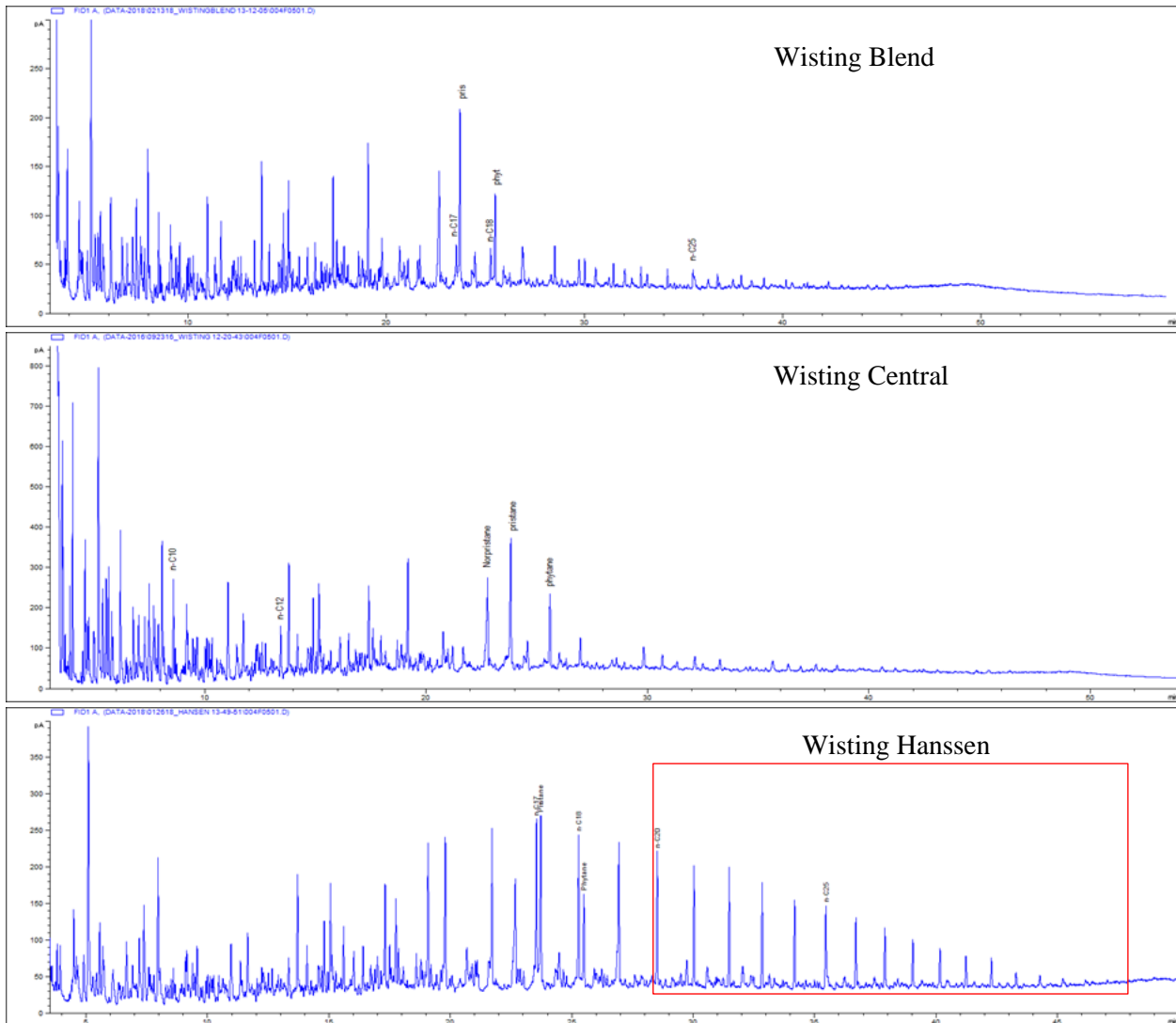
Dette kapittelet sammenligner de kjemiske og fysiske egenskapene til Wisting-oljene og diskuterer hvordan de påvirker deres forvitringsegenskaper ved et oljesøl på sjøen.



Figur 1.1: Karakterisering av utvalgte norske råoljer etter et system med fire kategorier; Naftensk, parafinsk, asphaltensk og voksrik. Oljer fra Barentshavet er markert med rød ring, fra Sørheim og Bakken, 2018.

### 1.2.1 Kjemisk sammensetting – Oljetyper

Figur 1.2 viser gasskromatogram med bruk av gasskromatografi med flammeionisasjonsdetektor (GC/FID) for de tre Wisting-oljene. Disse gir en oversikt over relativ sammensettingen for komponentene i oljen som funksjon av kokepunkt opp til ca. 500 °C (tilsvarende C<sub>35</sub>-C<sub>40</sub>).



Figur 1.2: GC/FID kromatogrammer for ferske versjoner av Wisting Blend og Central (fra SINTEF rapporter) and Hanssen (fra Akvaplan-niva rapport) NB! Litt forskjellig skala på x-aksene. Området markert med rødt markerer området som defineres som voks (alkaner over C<sub>20</sub>).

Vi observerer at forgrenede komponenter som pristan og fytan er dominerende i forhold til deres rettkjedede homologer (n-C<sub>17</sub> og n-C<sub>18</sub>). I Hanssen ser vi imidlertid en repeterende kjede av alkaner over n-C<sub>16</sub>. Dette viser at for Hanssen er det de lavere alkanene som er mest påvirket av biodegradering. Dette påvirker den kjemiske sammensetningen av Hanssen-oljen i forhold til Wisting Central og kan tydeligst sees på voksinnholdet i tabellen under. Dette er som forventet siden voks defineres som alkaner > C<sub>20</sub>.

Tabell 1.1: Fysikalske og kjemiske egenskaper ved Wisting-oljene

Oil type	Residue	Asph. "hard" (wt. %)	Wax (wt. %)	Evap. (vol. %)	Density (g/mL)	Pour point (°C)	Visc. (mPa.s) 5 °C (10 s <sup>-1</sup> )
<b>Wisting Blend (2018)</b>	Fresh	0.05	1.3	0	0.841	<-36	11
	150°C+	0.06	1.6	17	0.859	<-36	31
	200°C+	0.07	1.8	28	0.870	<-36	64
	250°C+	0.08	2.2	41	0.881	-30	188
<b>Wisting Central (2017)</b>	Fresh	0.05	0.71	0	0.838	<-36	10
	150°C+	0.06	0.84	17	0.859	<-36	25
	200°C+	0.07	0.97	29	0.871	<-36	62
	250°C+	0.08	1.2	42	0.883	<-36	206
<b>Wisting Hanssen (2015)</b>	Fresh	0.03	3.3	0	0.845	<-33	28* (97)
	150°C+	0.03	3.7	10	0.857	-12	54* (74)
	200°C+	0.03	4.1	18	0.862	-3	104* (167)
	250°C+	0.04	4.6	28	0.869	3	251* (320)

\* Oppdatert med viskositetsdata fra dette prosjektet. Tidligere data (2015) i parentes.

De tre Wisting-oljene er alle medium-lette råoljer, med en naftensk karakter på grunn av biodegradering som har fjernet mye av de rettkjedete alkanene som er viktige komponenter for parafinske og voksrike oljer. Hanssen har imidlertid et høyere innhold av n-alkaner (>C<sub>16</sub>) og har derfor, som før nevnt, et noe høyere voksinnhold. Dette gir også Hanssen et noe høyere stivnepunkt (<-33 til 3 °C) enn de andre to oljene (< -30 °C). Viskositeten for fersk olje av Hanssen er også 2-3 ganger høyere enn Central og Blend. Alle oljene har meget lavt innhold av asfaltener (< 0.05%). Det noe høyere voksinnholdet og tilhørende stivnepunkt i Hanssen-oljen påvirker også oljens oppførsel på sjøen, se Figur 1.3 til Figur 1.5 i neste kapittel.

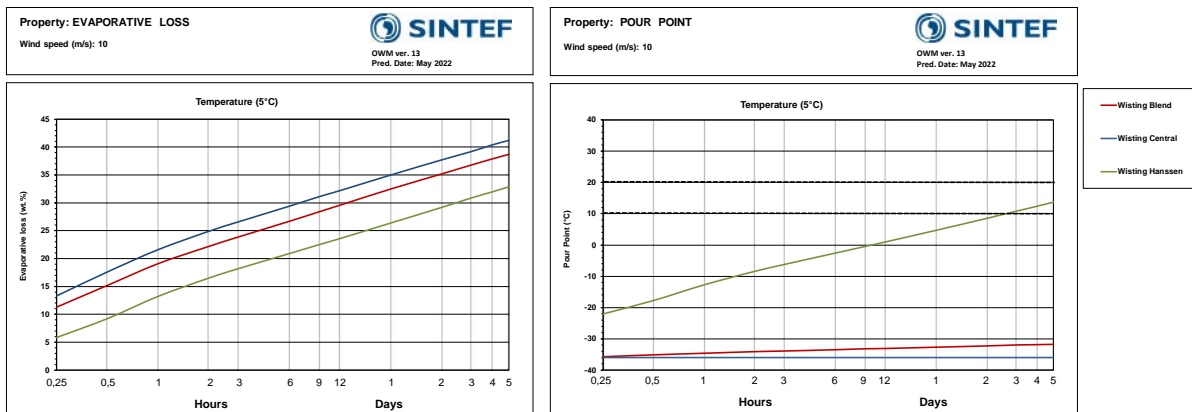
### 1.2.2 Prediksjoner fra SINTEF Olje forvittrings modell (OWM)

For å illustrere hvordan forskjellene i kjemisk sammensetting, hovedsakelig voksinnholdet, påvirker de tre Wisting-oljenes oppførsel ved et utslipp på sjøen er de mest sentrale forvittringsprosessene gitt som egne figurer i dette avsnittet. Det er tatt utgangspunkt i et scenario med et punktutslipp på overflaten (100 m<sup>3</sup>/15 min), vanntemperatur på 5 grader og med fullt utviklede bølger som tilsvarer 10 m/s vind.

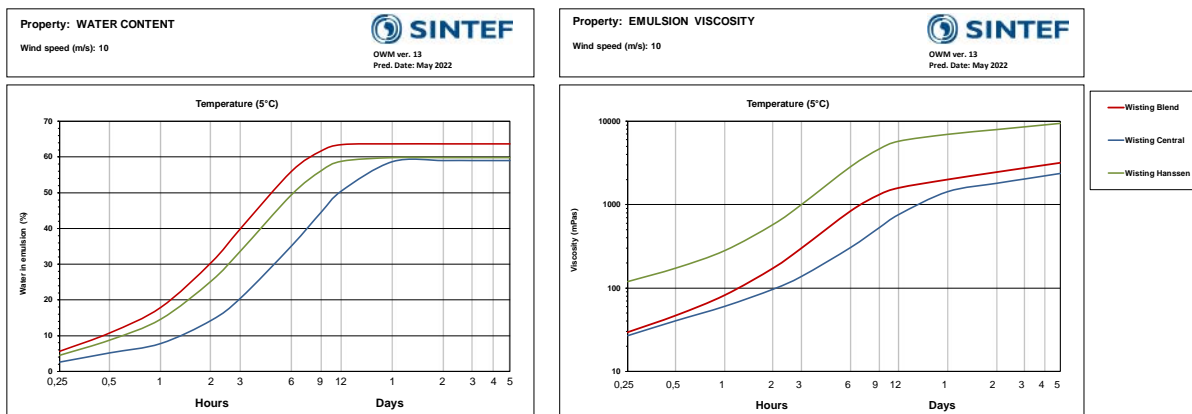
Fra kromatogrammene i Figur 1.2 ser vi at Wisting Central har mer/flere komponenter i det lette området (< C<sub>15</sub>) enn Hanssen, noe som gir både lavere tetthet og større fordamping. Forskjellen i avdamping ser vi i Figur 1.3a der Central har større avdamping enn Hanssen med henholdsvis 32% og 25% etter 24 timer og 34% og 29% etter fem dager på sjøen. Det noe høyere stivnepunktet hos Hanssen øker som funksjon av fordamping siden de lette komponentene fungerer som et løsningsmiddel for voksen. Når disse fordampes øker den relative voks konsentrasjonen og det felles ut voksstrukturer som immobiliserer bulkfasen av oljen og gjør at denne stivner (økt stivnepunkt), som illustrert i Figur 1.3b.

Økt voks i Hanssen gir et raskere vannopptak og økt viskositet til emulsjonene som dannes. Den økte viskositeten (og stabiliteten) på henholdsvis 6 950 mPa·s (5 °C, 10s<sup>-1</sup>) hos Hanssen sammenlignet med 1450 mPa·s (5 °C, 10s<sup>-1</sup>), hos Central etter 24 timer (se Figur 1.4) har stor betydning for prosesser som raten av naturlig dispergering og levetiden for oljen på sjøen. Dette gjør at Central dispergeres lettere naturlig og har en kortere levetid på sjøen enn Hanssen som danner mer stabile emulsjoner og har lengre levetid på sjøen, se Figur 1.5ab.

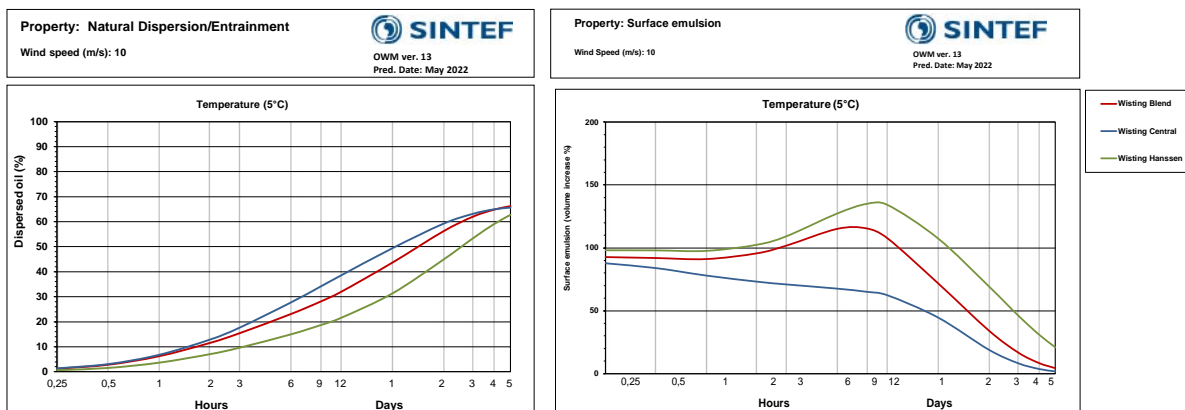




Figur 1.3: Fordampning og stivnepunkt for vannfri olje som funksjon av tid (5 dager) for de tre Wisting-oljene; Blend (80:20), Central og Hanssen.



Figur 1.4: Vannopptak (emulgering) og emulsjonens viskositet som funksjon av tid (5 dager) for de tre Wisting-oljene; Blend (80:20), Central og Hanssen.



Figur 1.5: Naturlig dispergering og volum av emulsjon på overflaten som funksjon av tid (5 dager) for de tre Wisting-oljene; Blend (80:20), Central og Hanssen.

### 1.2.3 Oppsummering

Det er relativt små forskjeller mellom disse tre oljene fra Wisting-feltet i forhold til variasjonen i sammensetting og egenskaper blant oljene totalt på norsk sokkel. Hovedforskjellen mellom Wisting-oljene er ulik grad av biodegradering som gir et økt voksinnholdet i Hanssen som igjen gir økt viskositet spesielt for fersk olje (2-3 ganger høyere). Dette øker stabilitet og levetid for marine utslipp av denne oljen, men utgjør ingen vesentlig økt utfordring for operativ oljevernberedskap.

## 1.3 Testing av kjemisk dispergerbarhet

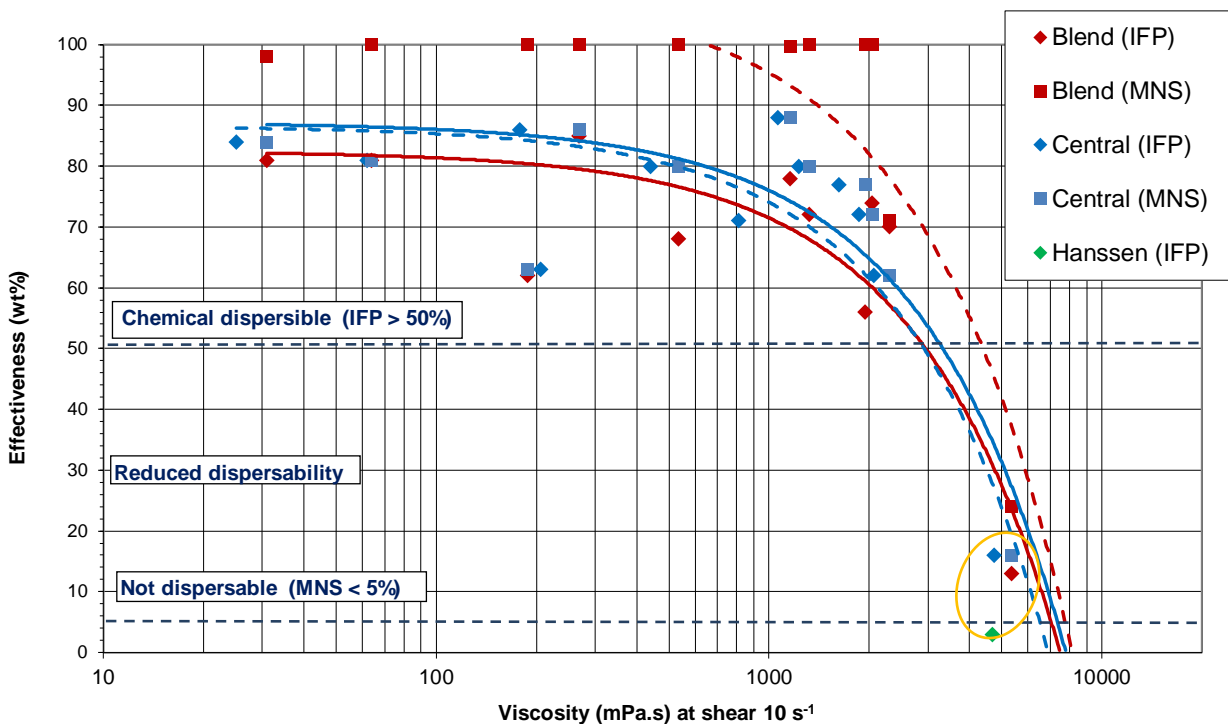
### 1.3.1 Screening av dispergeringsmiddel og doseringstesting

Screeningen utføres vanligvis med IFP-testen (simulerer en lav sjøtilstand, ikke-brytende bølger) på 4-5 forskjellige dispergeringsmidler. Dette gjøres for å identifisere gode dispergeringsmidler og ikke minst utelukke eventuelle dispergeringsmidler med lav effektivitet. SINTEF gjør denne screeningen på 13 °C for å kunne sammenligne resultatene med andre oljer. Vanligvis brukes en 200°C+/50% emulsjon, som tilsvarer omtrent et døgn forvitring på sjøen, til denne testingen. Det er vanligvis Dasic NS som velges for den utvidede testingen siden denne gir god effektivitet (screening/dosering) og er tilgjengelig på de fleste av NOFOs fartøyer.

For Wisting Central og Blend er screeningen utført ved 13 °C på en emulsjon med 300 – 550 mPa·s (målt ved skjær 10 s<sup>-1</sup>) med høy effektivitet med IFP (72-80%). De tilsvarende effektivitetene for Hanssen er vanskeligere å sammenligne fordi de er utført på en tilsvarende emulsjon (200°C+/50%), men ved 5 °C (4700 mPa·s, 10s<sup>-1</sup>) noe som gir meget lave effektiviteter med IFP (1-3%).

### 1.3.2 Utvidet testing (IFP/MNS) for å estimere grenser for bruk av dispergeringsmidler

For den utvidede testingen med IFP- (lav sjøtilstand) og MNS-metodene (høy sjøtilstand) der effektivitet studeres som funksjon av forvitring har vi hovedsakelig effektivitetsdata fra Central og Blend, siden testingen ble avsluttet etter screeningen på grunn av lav effektivitet for Hanssen, se Figur 1.6 under.



Figur 1.6: En oppsummering av effektivitetstesting (Dasic NS) for IFP (lav sjøtilstand) og MNS (høy sjøtilstand) for de tre Wisting-oljene; Blend (80:20), Central og Hanssen. For Hanssen er det bare utført IFP-testing. Grensene (IFP 50% og MNS 5%) brukes for å estimere tidsvinduet for bruk av dispergeringsmiddel for henholdsvis god dispergerbarhet (IFP > 50%) og redusert dispergerbarhet (MNS >5%). Den gule sirkelen indikerer lav effektivitet (3 – 17%) for IFP testing av viskøse emulsjoner (rundt 5 000 mPa·s) for alle tre oljene.

Figuren over illustrerer en trend ofte observert når effektiviteten av dispergeringsmidler studeres som funksjon av forvitring (emulsjon/oljens viskositet). De har innledningsvis en generell høy effektivitet, helt til en viss forvitningsgrad (viskositet) der effektiviteten avtar relativt raskt. Denne viskositeten brukes for å

sette en øvre grense for bruk av dispergeringsmidler. For Central og Blend er denne viskositeten høy (7-8000 mPa·s) noe som gir disse oljene et tidsvindu for bruk av dispergeringsmidler som er større enn 5 dager.

For Hanssen mangler denne informasjonen siden testingen ble avsluttet etter screeningforsøkene. Her kan det hentes inn ytterligere informasjon ved å teste med MNS-metoden som simulerer en høyere sjøtilstand med brytende bølger. En sterk indikasjon på dette er resultatene markert med gul ring i Figur 1.6. Dette viser lave IFP-verdier for alle tre oljene i dette viskositetsområdet. Dette indikerer at Hanssen også kan gi høyere effektivitet med MNS-testen på samme måte som de to øvrige oljene.

### 1.3.3 Oppsummering

Wisting-oljene Central og Blend vurderes å ha et høyt potensial for bruk av dispergeringsmiddel med et langt tidsvindu for påføring (> 5 dager). Hanssen vurderes å ha et lavere potensiale og kortere tidsvindu siden oljen har en høyere viskositet og danner mere viskøse og stabile emulsjoner.

Hanssen kan likevel ha et tidsvindu av operativ betydning, men vi mangler detaljert informasjon om dette siden testingen ble avsluttet etter screeningen.

## 1.4 Anbefaling for supplerende dispergeringstesting av oljer fra Wisting feltet

Basert på vurderingene av tidligere forvitningsstudier på Wisting oljene beskrives det i dette avsnittet supplerende dispergeringstesting.

### 1.4.1 Effektivitet av påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på overflaten

Potensialet for bruk av dispergeringsmidler anslås som høyt for Wisting Central og Blend, men vi mangler testresultater for å estimere dette for Hanssen. Vi foreslår derfor å foreta en utvidet dispergeringstesting med MNS-testen på denne oljen. For at dette skal være mulig må det også gjennomføres en småskala topping/emulgering for å lage utvalget av forvitrede prøver som trengs for denne testingen. Dette arbeidet er beskrevet i kapittel 4.

### 1.4.2 Effektivitet av subsea injeksjon av dispergeringsmidler

Det er ikke tidligere utført noen testing med subsea injeksjon på oljene fra Wisting-feltet. Vi foreslår derfor en testing på alle tre oljene med to dispergeringsmidler (Dasic NS og Corexit C9500) og fem forskjellige doseringer (2, 1, 0,5, 0,2 og 0% (referanse)). Testingen utføres i SINTEFs MiniTårn. Dette arbeidet er beskrevet i kapittel 5.

### 1.4.3 Effektivitet av subsea mekanisk dispergering

Mekanisk dispergering (SSMD) medfører at vi bruker en mekanisk basert teknologi (i dette tilfellet en vannstråle) for å knuse og finfordele oljedråpene fra et undervannsutslipp. Dette har også den fordel av oljen behandles mens den kommer fra et konsentrert punktutslipp og har lav viskositet på grunn av temperatur og ofte høy gassmetning (0,5 – 1 mPa·s), se Brandvik et al., 2021. Testingen utføres i SINTEFs MiniTårn. Dette arbeidet er beskrevet i kapittel 6.

### 1.4.4 Modellering av subsea utslipp på Wisting og effektivitet av injeksjon av dispergeringsmiddel.

Det er tidligere som en del av konsekvensutredningen gjort simuleringer av subsea utslipp på Wisting-feltet og effektiviteten av subsea injeksjon av dispergeringsmidler. Disse har imidlertid tatt utgangspunkt i et standard "worst case scenario" med størst mulig utslippsdiameter (0,47 m). Dette gir meget lave hastigheter og turbulens og redusert effektivitet av dispergeringsmiddelinjeksjon. Vi anbefaler derfor å utføre:

- Supplerende modellering for å simulere andre utslippsscenarioer, for eksempel med en delvis stengt blow-out-preventer, noe som kan gi et mere turbulent utslipp.
- Det er også en mulighet for å simulere bruk av undervanns mekanisk dispergering.

Disse simuleringene vil bli beskrevet i et eget memo/rapport.

## 2 Mottak og vurdering av oljeprøver

SINTEF Ocean mottok 24. mai, 2022 to oljeprøver fra Equinor, (via Stratum Reservoir), med følgende merking:

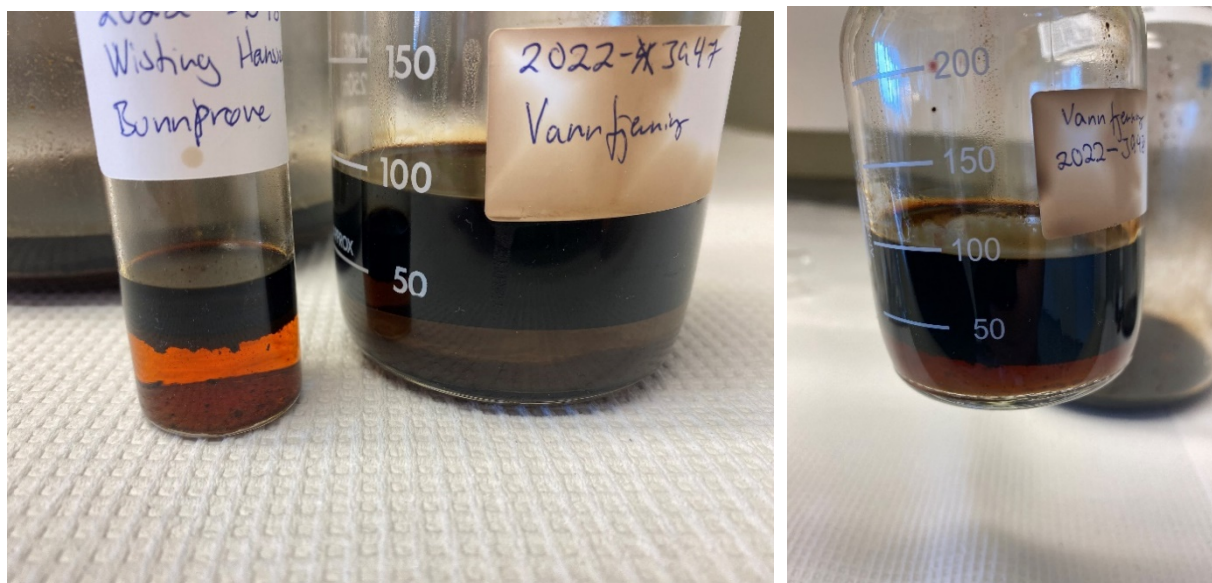
1. "Well 7324/7-2, sample no: 1.17, Depth: 714,77m Sample date 26.05.2014-21:30".  
En 5 liter plastkanne.
2. "Well 7324/7-2, sample no: 1.15, Depth: 714,77m Sample date 26.05.2014-20:45".  
En 25 liter IATA beholder.

Begge beholderne ble ansått å inneholde 2-3 liter olje og ble gitt følgende ID hos SINTEF:

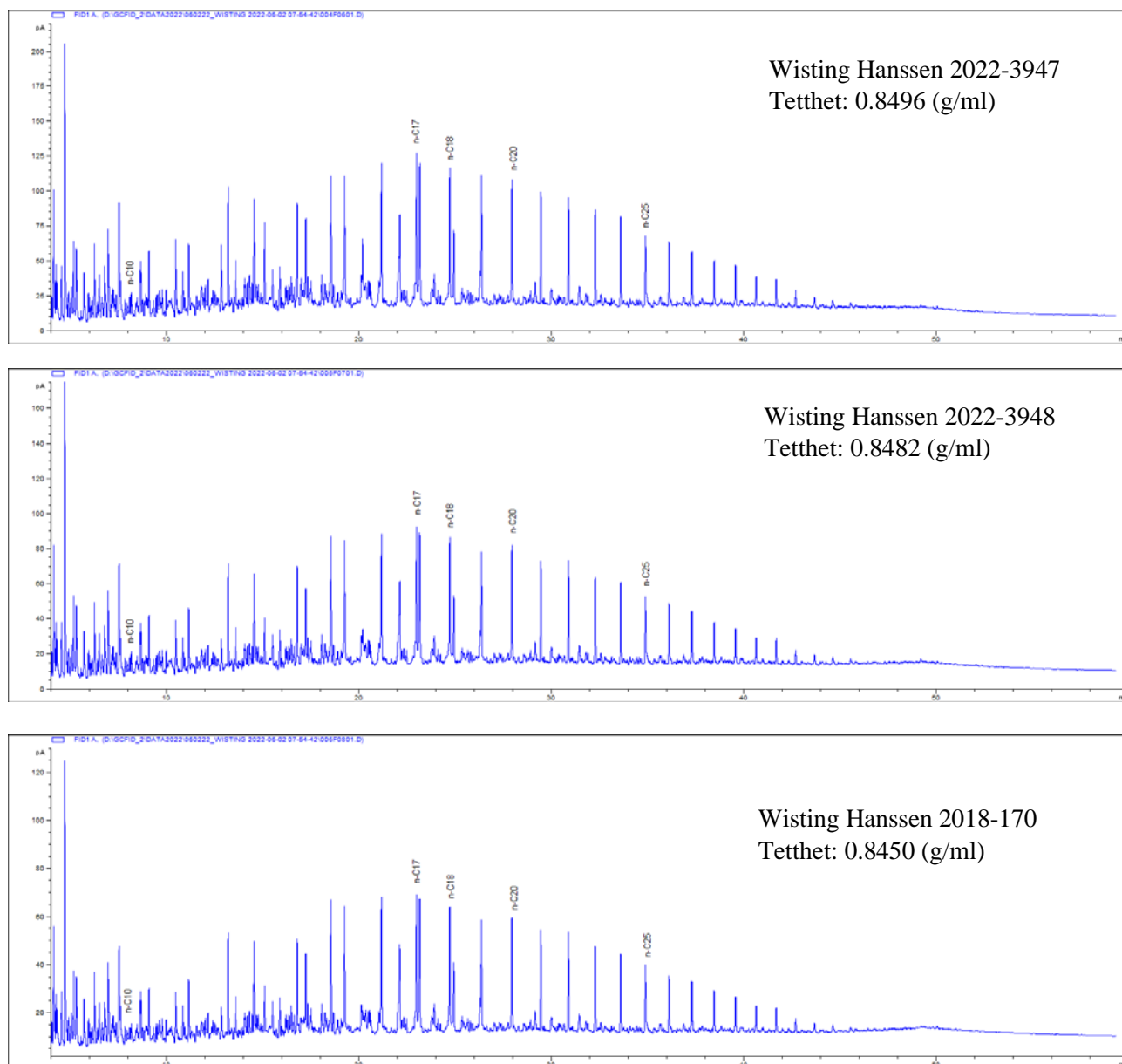
1: 2022-3947 og 2: 2022-3948.

Basert på opplysninger fra Equinor og merking på plastkannen (2022-3947) antok vi at denne prøven tidligere har vært brukt til flerfase-testing hos SINTEF. Det vil si at oljen har vært blandet med naturgass og simulert reservoarvann og satt under trykk. Det er i utgangspunktet ikke noen grunn til å anta at at en slik forhistorie gjør at denne prøven ikke kan brukes til våre supplerende analyser.

Visuel inspeksjon av oljeprøvene viste at de begge inneholdt noe vann og 2022-3947 noe plastmateriale. Etter filtrering for å fjerne plast og deantering for å fjerne vann (se Figur 2.1) ble prøver av begge oljene analysert på GC-FID (se Figur 2.2).



Figur 2.1: Nærbilder av bunnfall (vann) i begge prøvene etter at mesteparten av den antatt vannfrie oljen er dekantert av.



Figur 2.2: GC-FID for de to nye prøvene av Wisting Hanssen (2022-3947 og 2022-3948) etter fjerning av vann og plastmateriale sammen med en reanalyse av Hanssen fra Wisting-blend studien som SINTEF utførte i 2018 (SINTEF har en referanseprøve (100 ml) fra dette studiet i vårt oljelager).

Kromatogrammene i figuren over viser nært identiske prøver, men en liten forskjell i tetthet (de nye prøvene er litt tyngre) indikerer at noen av de letteste komponentene kan være tapt ved håndtering, lagring og tidligere bruk av prøvene. Dette er imidlertid meget små forskjeller som antas å ha liten innflytelse på dispergeringstestene utført av SINTEF siden det meste av dette utføres på forvitrede prøver der de letteste fraksjonen uansett er toppet av.

Begge de nye prøvene inneholdt lite vann etter homogenisering (0.2%) og ble derfor slått sammen og gitt ID 2022-3947-C1. Grenseflatespenning i den sammenslåtte prøven ble målt til 22,1 mN/m som er sammenlignbart med tidligere målinger på Wisting Hanssen i 2015 og Central i 2016. Dette indikerer at det ikke er rester av kjemikalier fra prøveproduksjonen eller fra tidligere bruk av oljen som påvirker grenseflatespenningen.

## 2.1 Vurdering av mottatte prøver

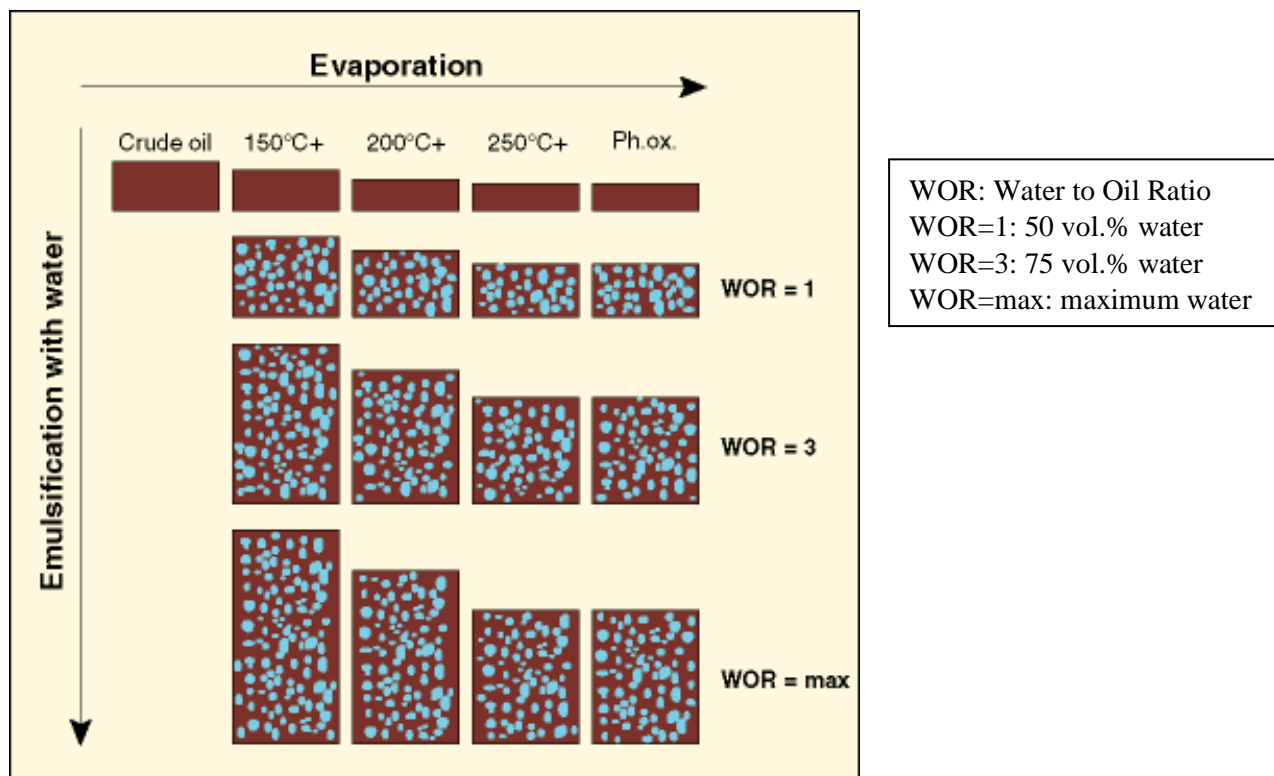
Basert på mottatt informasjon og egne målinger/observasjoner:

1. Informasjon om prøvene fra Equinor,
2. Likheten i sammensetting (GC-FID) mellom mottatte prøver og referanseprøven på Wisting Hanssen fra SINTEFs oljelager (2018),
3. Ingen store forskjeller i tetthet
4. Høy grenseflatespenning

anser SINTEF de mottatte prøvene som representative for Wisting Hanssen oljen. Vi har derfor brukt den sammenslåtte prøven (6 liter) for de videre supplerende studiene som er beskrevet i de neste kapitlene i denne rapporten.

### 3 Tillaging og karakterisering av forvitrede prøver for dispergeringstesting

For å gjennomføre en utvidet dispergeringstesting med MNS-testen må det gjennomføres en småskala topping/emulgering for å lage et utvalg av forvitrede prøver. Disse prøvene skal representere forvitring av oljen (fordamping/emulgering) og økning i viskositet for de første dagene på sjøen, se Figur 3.1. Denne eksperimentelle tilnærmingen er nærmere beskrevet i tidligere forvitningsstudier for eksempel for Wisting Central, Sørheim og Bakken, 2017, og av Daling et al., 2003.

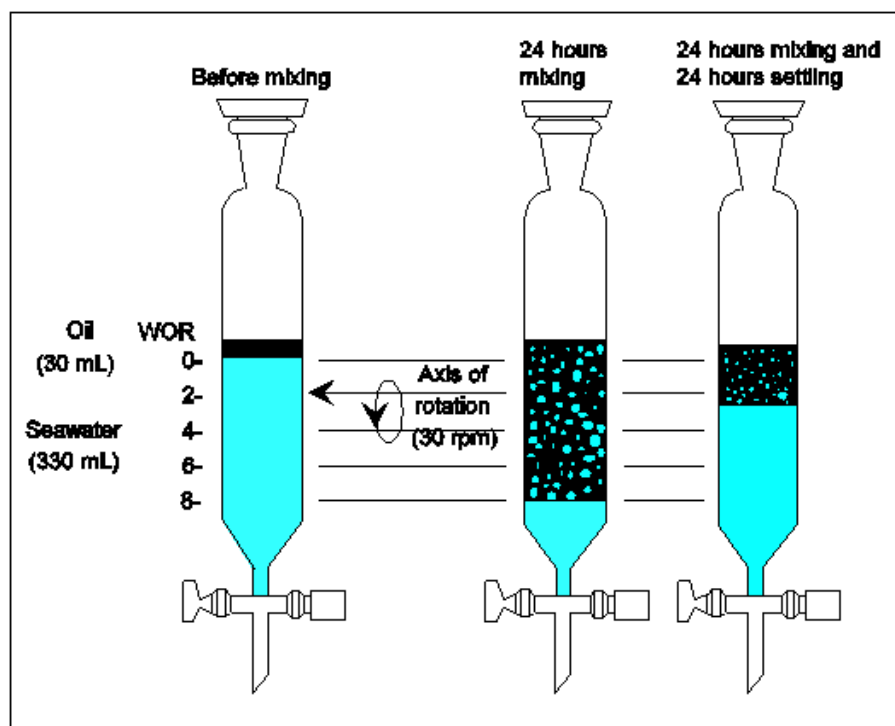


Figur 3.1: Flytskjema og oversikt over småskala forvitring i laboratoriet for å produsere prøver til måling av fysikalsk/kjemiske egenskaper og testing av dispergeringsmiddel.

Vanligvis brukes utstyr tilpasset et oljevolum på 2 liter for topping i en forvitningsstudie. I dette tilfellet brukes 1 L utstyr og topevolum på ca. 0,5 liter. Dette gir flere fraksjoner eller forvitningsgrader (se Figur 3.1) av den begrensede oljemengden vi har til rådighet.

Basert på forvitningsstudiet av Hanssen (Torske og Wasbotten, 2015) ser vi at maksimum vannopptak for de fleste oljene ligger under 75%. Vi fokuserte derfor på 50% og maks-vann emulsjonene og brukte en testmatrise som vist i Tabell 3.1.

Med en avdampning på 10 – 28%, trengs det om lag 1,5 L for å ende opp med 0,30 L for hver av 150/200 og 250°C+ fraksjonene. Dette ga olje til flere tillaginger av emulsjon (50% og maks-vann) og for testing av vannfrie fraksjoner. En MNS-test trenger ca. 10 g emulsjon/olje, så det ble rikelig med emulsjon/vannfri olje til denne testingen, se Figur 3.2. Det ble også målt viskositet på alle vannfrie oljer og emulsjoner.



Figur 3.2: Skisse for tillaging av maksvann-emulsjoner til måling av fysikalsk/kjemiske egenskaper (viskositet) og testing av dispergeringsmiddel (MNS).

Tabell 3.1: Testmatrise for dispergeringstesting (MNS) for Wisting Hanssen. Tabellen viser både viskositet ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ,  $10\text{s}^{-1}$ ,  $5\text{ }^\circ\text{C}$ ) fra Akvaplan-niva i 2015 og tilsvarende fra dette prosjektet. Tall i parentes angir et standardavvik (StdDev,  $n=3$ ).

Wisting Hanssen (Akvaplan-niva, 2015)				
	Vannfri	50%	Max-vann	
	Viskositet	Viskositet	Viskositet	Vanninnhold
Fresh	97			
150°C+	74	2 900	5 800	76%
200°C+	167	4 700	5 500	66%
250°C+	320	4 400	5 400	57%

Wisting Hanssen (SINTEF, 2022)				
	Vannfri	50%	Max-vann	
	Viskositet	Viskositet	Viskositet	Vanninnhold
Fresh	28 (3.6)			
150°C+	54 (18)	940	4 570	91%
200°C+	104 (22)	1 450	5 970	85%
250°C+	251 (95)	2 405 (75)	16 240	80%

Det er avvik mellom viskositetsmålingene for de to studiene av Hanssen oljen presentert i Tabell 3.1. For de vannfrie oljene er det imidlertid bare den ferske oljen (97 versus 28  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) der forskjellen er signifikant, de øvrige er innenfor den variasjonen vi kan forvente for denne typen målinger (3 ganger standardavvik). For de emulgerte prøvene er det imidlertid større og signifikante forskjeller, spesielt for 50% prøvene der de nye viskositetene i gjennomsnitt bare er 30-50% av verdiene som ble målt i 2015. Når det gjelder maks-vann prøvene så er vanninnholdet generelt høyere for 2022 prøvene, så her er det vanskelig å direkte sammenligne viskositetene.



Det er vanskelig peke på konkrete grunner til forskjellene i viskositet på emulsjonene laget i 2015 (Akvaplan-niva) og nå i 2022 (SINTEF). En mulig forklaring er at studiet i 2015 er gjort med andre roterende flasker enn de som er indikert i Figur 3.2. En annen mulighet er forskjeller i sammensetting/egenskaper for oljeprøvene som er brukt.

Det er heller ikke gjennomført noen interkalibrering når det gjelder analyser og labarbeid som inngår i en forvittringsstudie. I dag gjøres det slike studier både hos Akvaplan-niva, CEDRE (Frankrike), S.L. Ross (Canada) i tillegg til hos SINTEF Ocean. Det er derfor vanskelig å si noe om hvilke forskjeller som kan forventes ved en sammenligning av studier utført ved disse laboratoriene eller dersom en studie gjentas ved en av laboratoriene.

De tillagde forvitrede prøvene (Tabell 3.1.) ble brukt til doseringstesting av dispergeringsmiddel og til å estimere tidsvinduet for bruk av dispergeringsmidler. All dispergeringstesting ble gjort med MNS-testen (høy-energi). Resultater fra denne testingen er presentert i neste kapittel.

## 4 Effektivitet av påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på overflaten

Både doseringstesting og testing av prøver med varierende forvitring ble utført med MNS testen.

### 4.1 Doseringstesting

Hensikten med denne doseringstesten er å se hvor følsom den dannede emulsjonen er for variasjon i dosering av dispergeringsmiddel. Dette gir viktig operativ informasjon angående doseringen som trengs for å dispergere forvitrede oljeflak på sjøen.

Innledningsvis ble det gjort doseringstesting med Dasic-NS med følgende dosering; 1:25, 1:50, 1:100, 1:200 og uten dispergeringsmiddel (referanse). Resultatene er gitt sammen med tilsvarende resultater for Central og Blend i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Doseringstesting med Wisting Central, Blend og Hanssen (MNS ved 5 °C)

Dispersant (DOR/DER)	Central (2017)	Blend (2018)	Hanssen (2022)	
	200°C+/50%, 440 mPa·s*	200°C+/50%, 530 mPa·s*	200°C+/50%, 1 450 mPa·s*	250°C+/50%, 2 410 mPa·s*
<b>Dasic NS (1:25)</b>	100	100	100	91
<b>Dasic NS (1:50)</b>	100	100	100	100
<b>Dasic NS (1:100)</b>	100	100	100	60
<b>Dasic NS (1:200)</b>	100	95	100	8
<b>No dispersant</b>	93	62	4	4

\*Viskositeter er målt ved 10s<sup>-1</sup>

Siden effektivitetene (MNS) i 2022 var generelt meget høye ved den først valgte emulsjonen (200°C+/50%), ble det også gjort dispergeringstesting med en mere viskøs emulsjon (250°C+/50%). Tabell 4.1 viser at effektivitetstesting med varierende dosering og gir generelt høye og sammenlignbare resultater med tidligere testing med Central og Blend.

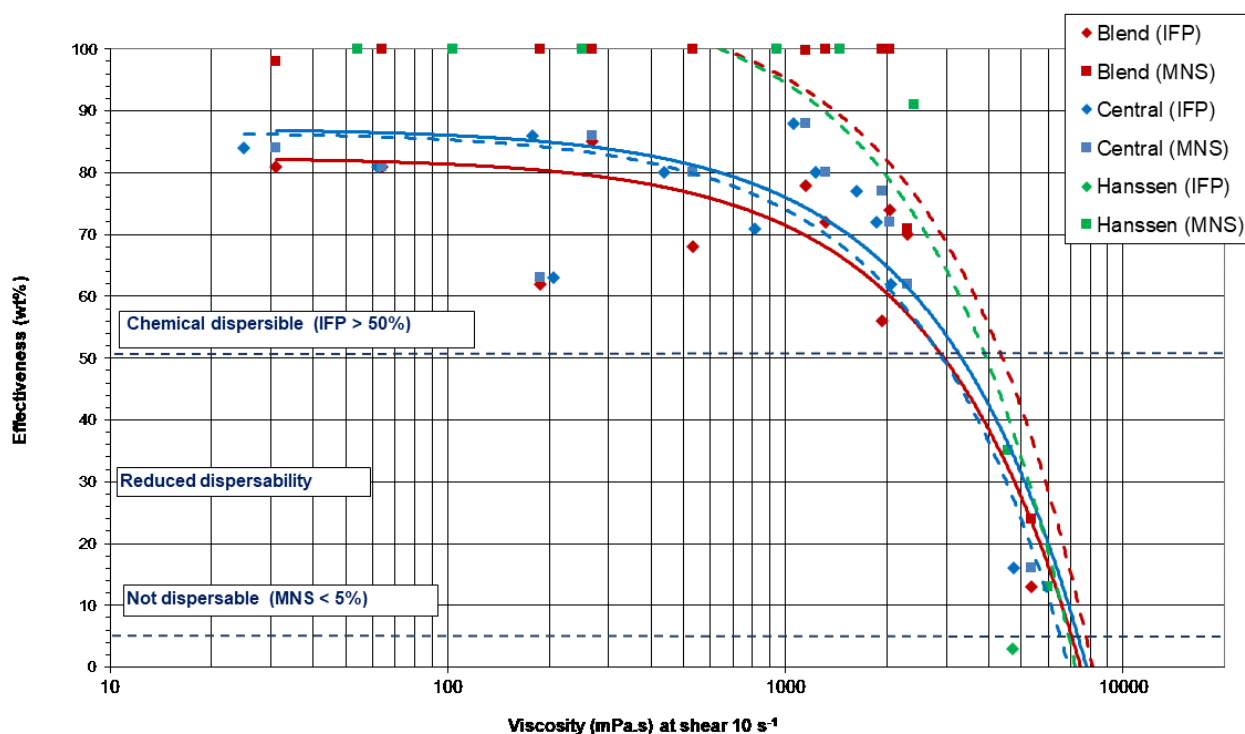
### 4.2 Effektivitet av dispergeringsmiddel som funksjon av forvitring

Hensikten med testingen av prøver med økende grad av forvitring er å estimere tidsvinduet for påføring av dispergeringsmiddel. Ved økende viskositet og stabilitet av emulsjonene vil de aktive komponentene i dispergeringsmiddelet (surfaktantene) bruke lengre tid på å trenge inn i oljen og de kan bli vasket av oljen og blir fortynnet/tapt i sjøen. Til slutt blir effektiviteten på grunn av dette så lav at det operasjonelt er liten nytte av å påføre dispergeringsmiddel.

Dispergeringstesting av prøvene i Tabell 3.1 ble utført ved 5 °C og danner grunnlaget for en oppdatert utgave av figuren som viser dispergerbarhet for Wisting oljene (Figur 1.6) som funksjon av forvitring (se Figur 4.1).

Tabell 4.2: Effektivitet av dispergeringsmiddel (Dasic NS) som funksjon av forvitring av Hanssen oljen beskrevet i Tabell 3.1 (MNS ved 5 °C).

	Vanninnhold emulsjon	Viskositet	MNS
	Vol. %	mPa·s 10 s <sup>-1</sup>	Vol. % dispergert
150°C+	0	54	100
200°C+	0	104	100
250°C+	0	251	100
150°C+	50	942	100
200°C+	50	1 452	100
250°C+	50	2 405	91
150°C+	91	4 561	35
200°C+	85	5 973	13
250°C+	80	16 241	<5



Figur 4.1: Oppdatert utgave av Figur 1.6 som oppsummerer effektivitetstesting (Dasic NS) for IFP (lav sjøtilstand) og MNS (høy sjøtilstand) for de tre Wisting-oljene; Blend (80:20), Central og Hanssen. Grensene (IFP 50% og MNS 5%) brukes for å estimere tidsvinduet for bruk av dispergeringsmiddel for henholdsvis god dispergerbarhet (IFP > 50%) og redusert dispergerbarhet (MNS >5%), se Daling 2003.

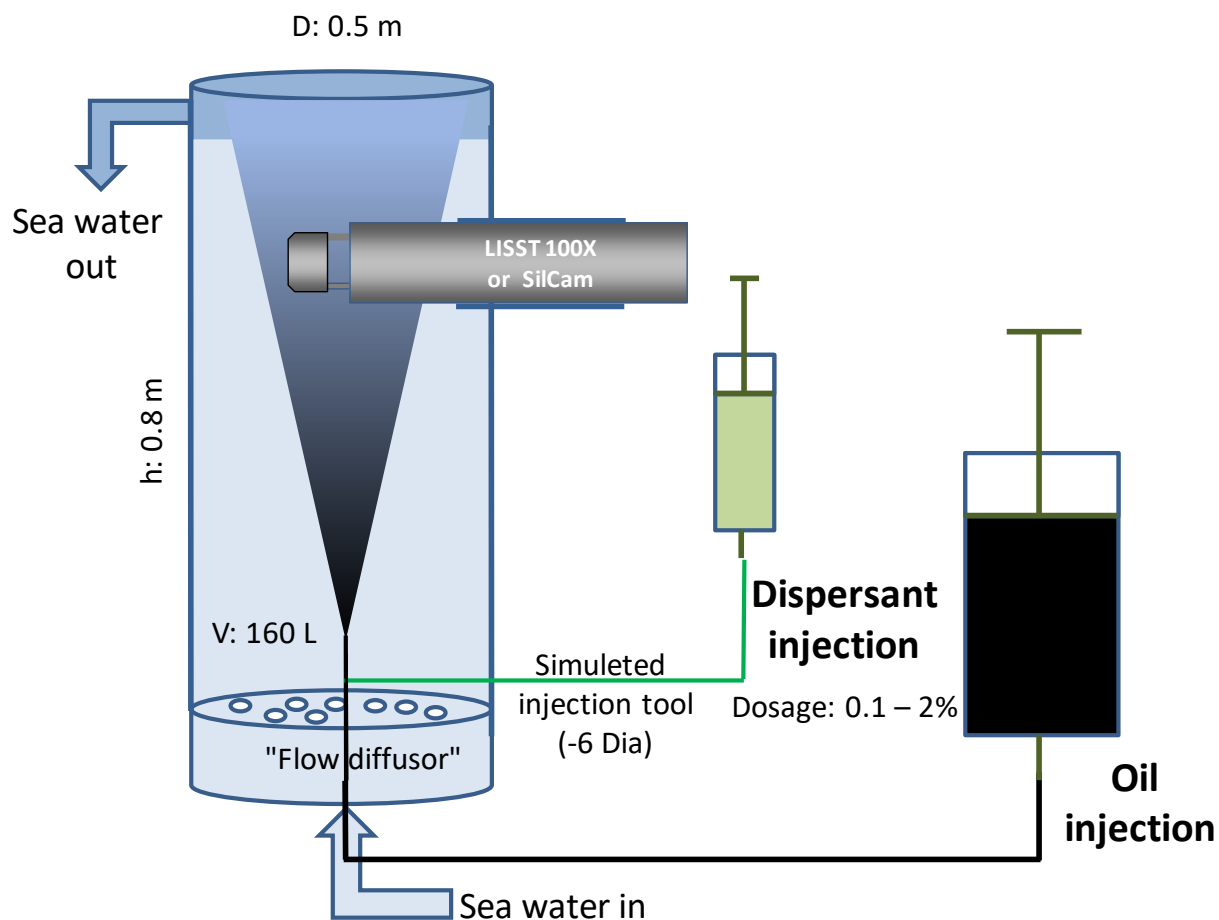
## 5 Effektivitet av subsea injeksjon av dispergeringsmidler

Det er mange fordeler med subsea dispersant injection (SSDI) i forhold til påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på overflaten. Det mest åpenbare er at dispergeringsmiddelet kan tilføres et konsentrert utslipp av fersk, varm og lavviskøs olje (0,5 – 5 mPa·s), for eksempel fra en blow-out preventer (BOP). For Wisting er oljens temperatur og viskositet ventet å være 17°C og 3 mPa·s. Dette kan gi økt effektivitet sammenlignet med de operasjonelle utfordringene med å påføre fra fly eller båt på oppdelte flak på havoverflaten, der forvitningsgrad, lave temperaturer og tilhørende høye viskositeter kan være en utfordring.

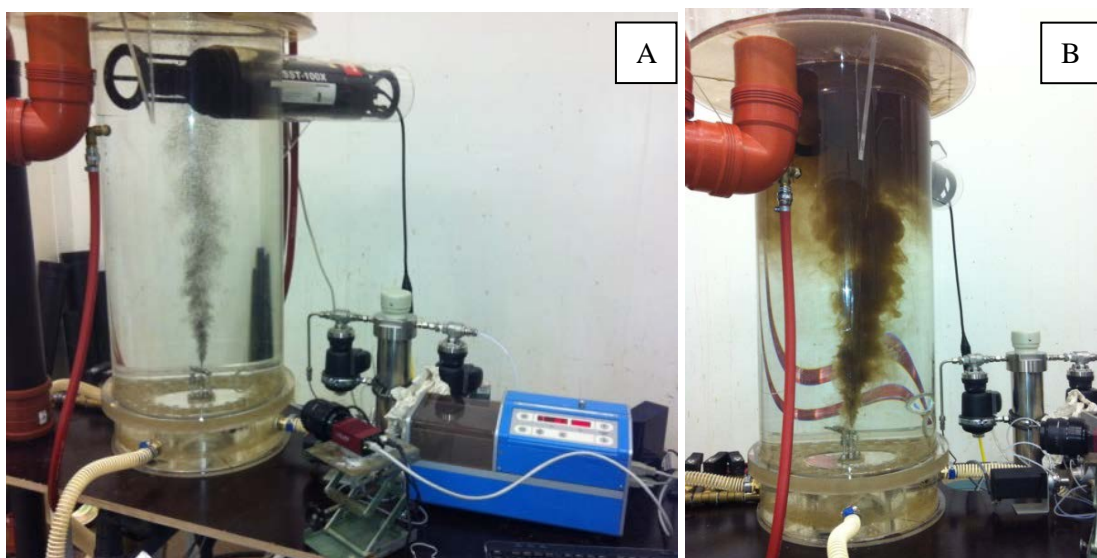
Det er ikke tidligere utført noen SSDI testing med oljene fra Wisting-feltet. I dette prosjektet er det derfor utført testing med de tre Wisting oljene med to dispergeringsmidler (Dasic NS og Corexit C9500) og fem forskjellige doseringer (2, 1, 0,5, 0,2 og 0%). Temperatur for oljen ved subsea testing i MiniTårnet er vanligvis 50°C. Siden Wisting er et grunt reservoar med lav temperatur på et eventuelt utslipp (17 °C), vil vi i dette prosjektet teste med en lavere temperatur. Testingen ble utført i SINTEFs MiniTårn, se neste kapittel for detaljer.

### 5.1 Eksperimentelt

SINTEF har utviklet et testsystem for å simulere undervannsinjeksjon av dispergeringsmiddel (eller subsea dispersant injection – SSDI), se Brandvik et al., 2019. Dette blir nå brukt som et supplement til standard testing av dispergeringsmiddel ved våre forvitningsstudier, se Figur 5.1 and Figur 5.2.



Figur 5.1: Skisse for SINTEFs nye standardtest for undervannsinjeksjon av dispergeringsmidler. Her illustreres en laminær bakgrunnsstrøm som muliggjør kontinuerlige forsøk og egne dyser for utslipp av olje og injeksjon av dispergeringsmidler. Et LISST laser scattering system brukes for å monitorere oljedråpestørrelser og kvantifisere effektivitet.



Figur 5.2: Stigende sky av store ubehandlede dråper (A) og tilsvarende etter injeksjon av 1% dispergeringsmiddel med redusert dråpestørrelse (B).

Betingelsene brukt ved testingene i SINTEF MiniTårn er:

- Tank dimensjoner: 0.8 m, 0.5 m and 160 L (Høyde, Diameter, Volum)
- Utslippsdiameter olje: 0.5 mm (rund)
- Oljerate: 0.1 L/min
- Olje temperaturområde: 20 til 80 °C (20 °C for eksperimenter med fast temperatur)
- Injeksjonsmetode dispergeringsmiddel: Simulated injection tool (SIT).
- Dosering dispergeringsmiddel: 0.1 – 2%
- Gjennomstrømning vann: 30 - 100 L/min (laminær bakgrunnsstrøm i eksperimentperioden)

Før oppstart blir tårnet rengjort og vasket med filtrert naturlig saltvann (35 ppt) i fem minutter (30 l/min). Separate og programmerbare stempelpumper blir brukt til å injisere olje (1000 ml) og dispergeringsmiddel (100 ml). Gjennomstrømningen av naturlig sjøvann blir drevet av trykket i systemet for fordeling av sjøvann i alle SINTEFs marine laboratorier 30 – 100 L/min (9-12 °C).

### 5.1.1 Forsøk med varierende dosering

Følgende prosedyre blir brukt for å studere effekten av varierende dosering av dispergeringsmiddel:

1. Det etableres først en konstant laminær gjennomstrømning av filtrert sjøvann på 30 L/min.
2. Monitorering av bakgrunn med LISST 100X.
3. Injeksjon av ubehandlet referanseolje som monitoreres i 60 sekunder.
4. Dispergeringsmiddel injiseres vha SIT (se kapittel 5.1.3) og endring i dråpestørrelsesfordeling monitoreres i 60 sekunder.
5. For hver endring i dosering (0.1 – 2%) monitoreres dråpestørrelsesfordelingen i 60 sekunder.
6. Forsøket avsluttes med en replikat måling på ubehandlet referanse olje, se punkt 3.

### 5.1.2 Kvantifisering av oljedråpestørrelser

Effektiviteten til SSDI måles ved å kvantifisere endringen i oljedråpefordelingen i forhold til ubehandlet referanseolje. Størrelsen på oljedråpene måles ved hjelp av en laser diffraction scattering instrument, LISST100X. Instrumentet er plassert 50 cm over utslippet for å oppnå stabile og homogene forhold med en fortykning som gir en konsentrasjon av oljedråper egnet for kvantifisering (10 – 300 ppm).

### 5.1.3 Metoder for subsea injeksjon av dispergeringsmidler

Effektiviteten til forskjellige påføringsmetoder for dispergeringsmidler har blitt studert i et tidligere studium og en av metodene fra det studiet, Simulated insertion tool (SIT) er benyttet i dette prosjektet (Brandvik et al., 2018). Med SIT blir dispergeringsmiddelet injisert i oljestrømmen 6 utslippsdiametre før dyseåpningen for oljeutslippet. Dette simulerer at dispergeringsmiddelet blir påført vha. et rør (wand) som stikkes ned (2.4 m) i en utslippsåpning på 0,4 m.

## 5.2 Resultater

Alle tre oljer relevant for Wisting feltet (Central, Hanssen og Blend) ble testet med Corexit 9500 og Dasic NS. Effektivitet til SSDI blir kvantifiser som reduksjon av dråpestørrelsen ( $d_{50}$ ) ved å utføre tester i SINTEF MiniTårn. Disse resultatene sammenlignes med Oseberg blend som er brukt som en referanseolje i mange prosjekter ved SINTEF. Referanseoljen er testet i prosjekter utført i SINTEF's meso-skala fasiliteter på Brattøra og i stor-skala i Ohmsett, NJ, USA. Disse forsøkene viser en økende effektivitet (relativ reduksjon i dråpestørrelser) ved oppskalering (Brandvik et al., 2021) og gjør det lettere å relatere resultatene fra små-skala laboratorieforsøk til operative forhold.

Tabell 5.1 og Tabell 5.2 under og figurene på de neste sidene (Figur 5.3 og Figur 5.4) viser effektiviteten til dispergeringsmidlene Corexit 9500 og Dasic NS til å redusere oljedråpestørrelsen ved å simulere injeksjon direkte inn i oljestrømmen ved en subsea utblåsning (SINTEF MiniTårn). Tabellene viser at Corexit er over dobbelt så effektiv til å redusere dråpestørrelsen (4-5 ganger ved 1% dosering) i forhold til Dasic NS (2 ganger ved 1% dosering). Dette er forskjellig fra tester som simulerer påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på havoverflaten, der de to produktene vanligvis har mere like egenskaper.

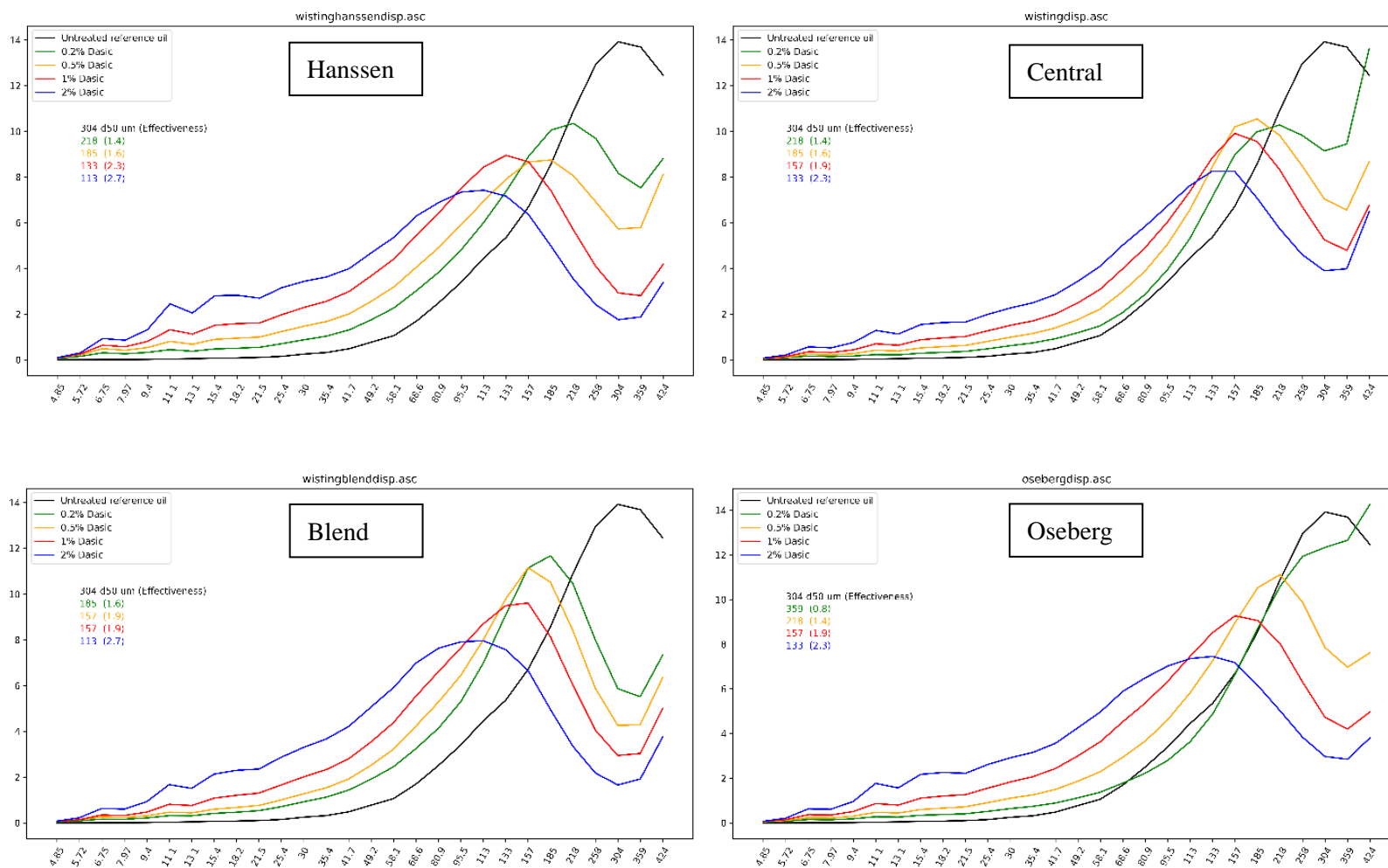
Tabell 5.1: Effektivitet (relativ reduksjon av oljedråper ( $d_{50}$ )) for forsøk med undervannsinjeksjon av Dasic-NS på oljene fra Wisting-feltet samt Oseberg (referanse)

Dosering dispergeringsmiddel Dasic NS	Central		Blend		Hanssen		Oseberg	
	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.
0,2%	218	1,4	185	1,6	218	1,4	359	0,8
0,5%	185	1,6	157	1,9	185	1,6	218	1,4
1%	157	1,9	157	1,9	133	2,3	157	1,9
2%	133	2,3	113	2,7	113	2,7	133	2,3
Ubehandlet	304	1	304	1	304	1	304	1

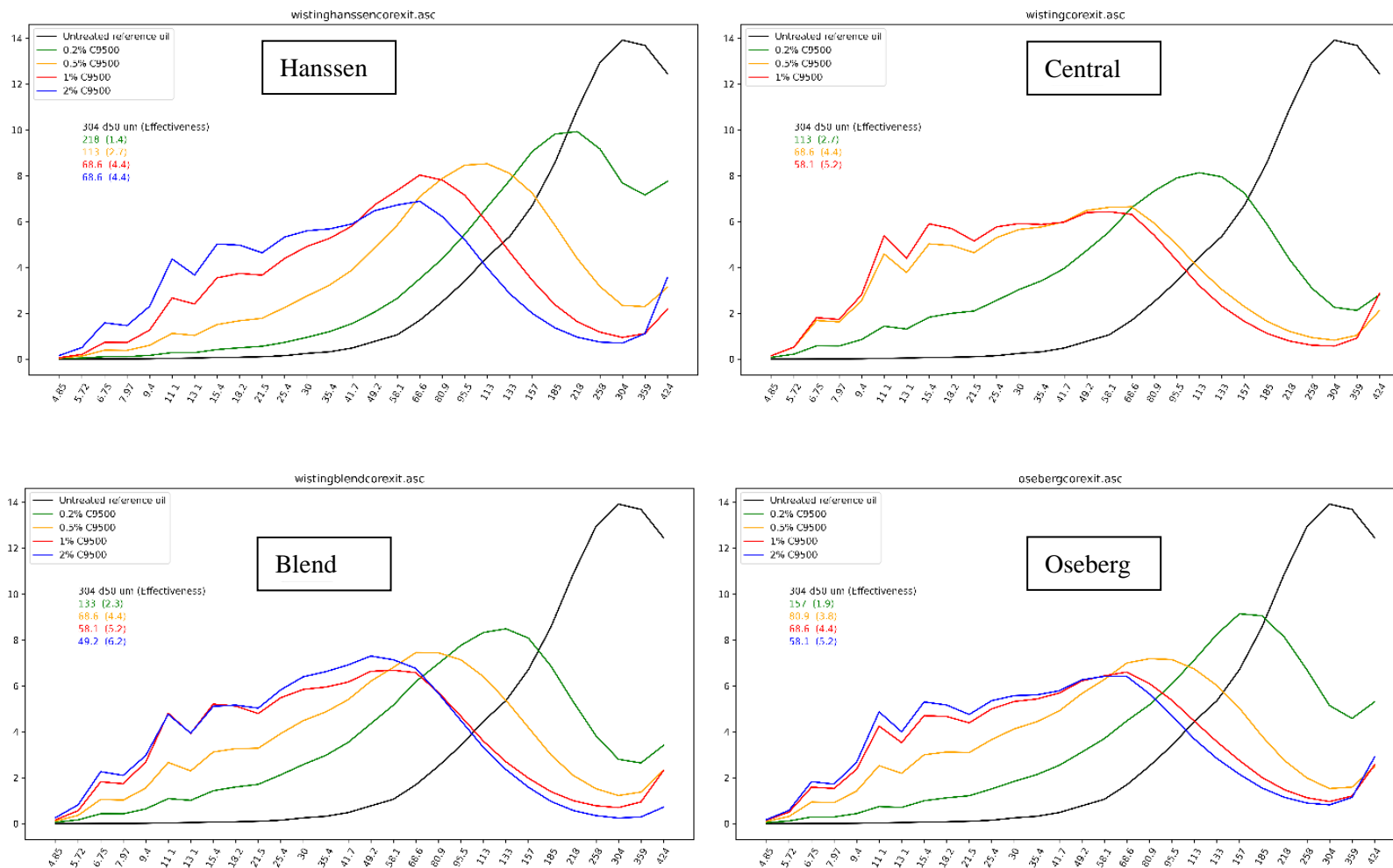
Tabell 5.2: Effektivitet (relativ reduksjon av oljedråper ( $d_{50}$ )) for forsøk med undervannsinjeksjon av Corexit 9500 på oljene fra Wistingfeltet samt Oseberg (referanse)

Dosering dispergeringsmiddel Corexit9500	Central		Blend		Hanssen		Oseberg	
	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.
0,2%	113	2,7	133	2,3	218	1,4	157	1,9
0,5%	69	4,4	69	4,4	113	2,7	81	3,8
1%	58	5,2	58	5,2	69	4,4	69	4,4
2%	-	-	49	6,2	69	4,4	58	5,2
Ubehandlet	304	1	304	1	304	1	304	1

- : Resultat ikke tilgjengelig



Figur 5.3: Volum (%) av oljedråper (y-aksen) som funksjon av dråpestørrelser (x-aksen) både for ubehandlet olje og ved injeksjon av dispergeringsmidler (Dasic NS) ved varierende dosering (0.2 – 2%) for Wisting Hanssen, -Central, -Blend og Oseberg blend (referanse). Innfelte tall viser estimert  $d_{50}$  og reduksjon i  $d_{50}$  i forhold til ubehandlet referanse olje.



Figur 5.4: Volum (%) av oljedråper (y-aksen) som funksjon av dråpestørrelser (x-aksen) både for ubehandlet olje og ved injeksjon av dispergeringsmidler (Corexit 9500) ved varierende dosering (0.2 – 2%) for Wisting Hanssen, -Central -Blend og Oseberg blend (referanse). Innfelte tall viser estimert  $d_{50}$  og reduksjon i  $d_{50}$  i forhold til ubehandlet referanse olje.



## 6 Effektivitet av subsea mekanisk dispergering

Mekanisk dispergering (SSMD) medfører at vi bruker en mekanisk basert teknologi (i dette tilfellet en vannstråle) for å knuse og finfordele oljedråpene fra et undervannsutslipp. Dette har også den fordel at oljen behandles mens den kommer fra et konsentrert punktutslipp og har lav viskositet på grunn av temperatur og ofte høy gassmetning (0,5 – 5 mPa·s), se Brandvik et al., 2021. Denne teknologien kan gi betydelige logistiske besparelser siden vi slipper å frakte de betydelige volumene av dispergeringsmidler som trengs for SSDI.

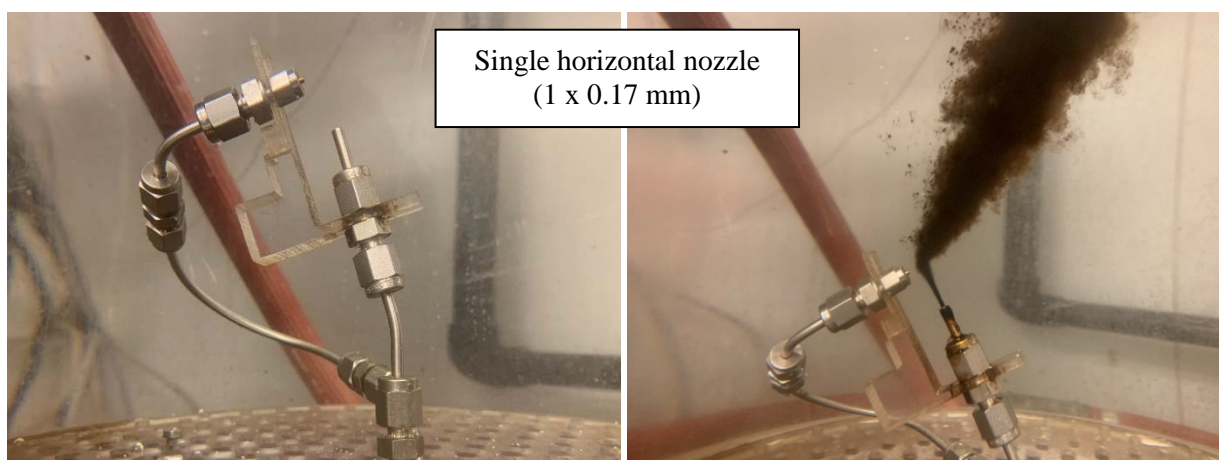
Vi har testet alle tre Wisting-oljene med en type vanddyse (rundstråler) og med tre forskjellige hastigheter/rater (40 – 60% vann). Angående testtemperatur for oljen har vi også her brukt romtemperatur (20 °C) som er relevant for Wistingfeltet, se kapittelet over.

### 6.1 Eksperimentelt

SINTEF MiniTårn ble også brukt for testing av effektiviteten til SSMD. Se beskrivelse i kapittel 5.1.

Følgende betingelser ble brukt for alle forsøkene med SSMD:

- Tank dimensjoner: 0.8 m, 0.5 m and 160 L (Høyde, Diameter, Volume)
- Diameter på oljedyse: 0.5 mm
- Olje utslippsrate: 0.1 L/min
- Diameter på dyse for Water jetting: 0.17 mm
- Water jetting flow rater: 0.04 – 0.06 L/min (40 – 60% av oljerate)
- Olje temperatur: 20 °C
- Vann gjennomstrømming MiniTårn: 30 - 100 L/min



Figur 6.1: Illustrasjon av dyser brukt til mekanisk undervannsdispergering. Til venstre: Uten utslipp av olje. Til Høyre: Under utslipp der dråpestørrelsen reduseres på grunn av kreftene i vannstrålen som treffer oljeutslippet etter at mesteparten av den primære dråpedannelsen er ferdig. Oljen blir sluppet ut av en 0.5 mm dyse og "water jetting" blir utført med en 0.17 mm dyse og 50% rate av oljestrømmen.

### 6.2 Resultater

Alle tre oljer relevant for Wisting feltet (Central, Hanssen og Blend) ble testet med tre forskjellige rater/hastigheter med "Water Jetting" (SSMD) i SINTEF MiniTårn. Effektivitet til SSMD blir også kvantifisert som reduksjon av dråpestørrelsen ( $d_{50}$ ) på samme måte som for SSDI, se Tabell 6.1 og Figur 6.3.

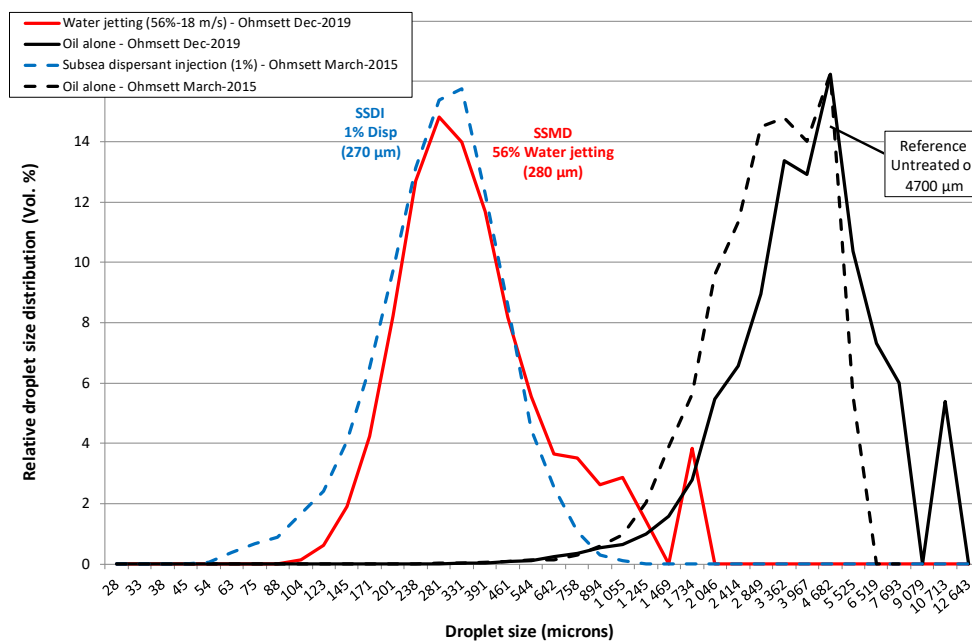
Disse resultatene sammenlignes med Oseberg blend som er brukt som en referanseolje i mange prosjekter ved SINTEF. Oseberg Blend er testet i prosjekter utført i SINTEF's meso-skala fasiliteter og i stor-skala basseng forsøk i Ohmsett, NJ, USA. Disse forsøkene viser en økende effektivitet (reduksjon i dråpestørrelser) ved oppskalering (Brandvik et al., 2021b, Brandvik et al. 2022).

Tabell 6.1: Effektivitet (relativ reduksjon av oljedråper ( $d_{50}$ )) for forsøk med mekanisk undervannsdispergering (Water jetting) på oljene fra Wistingfeltet samt Oseberg (referanse)

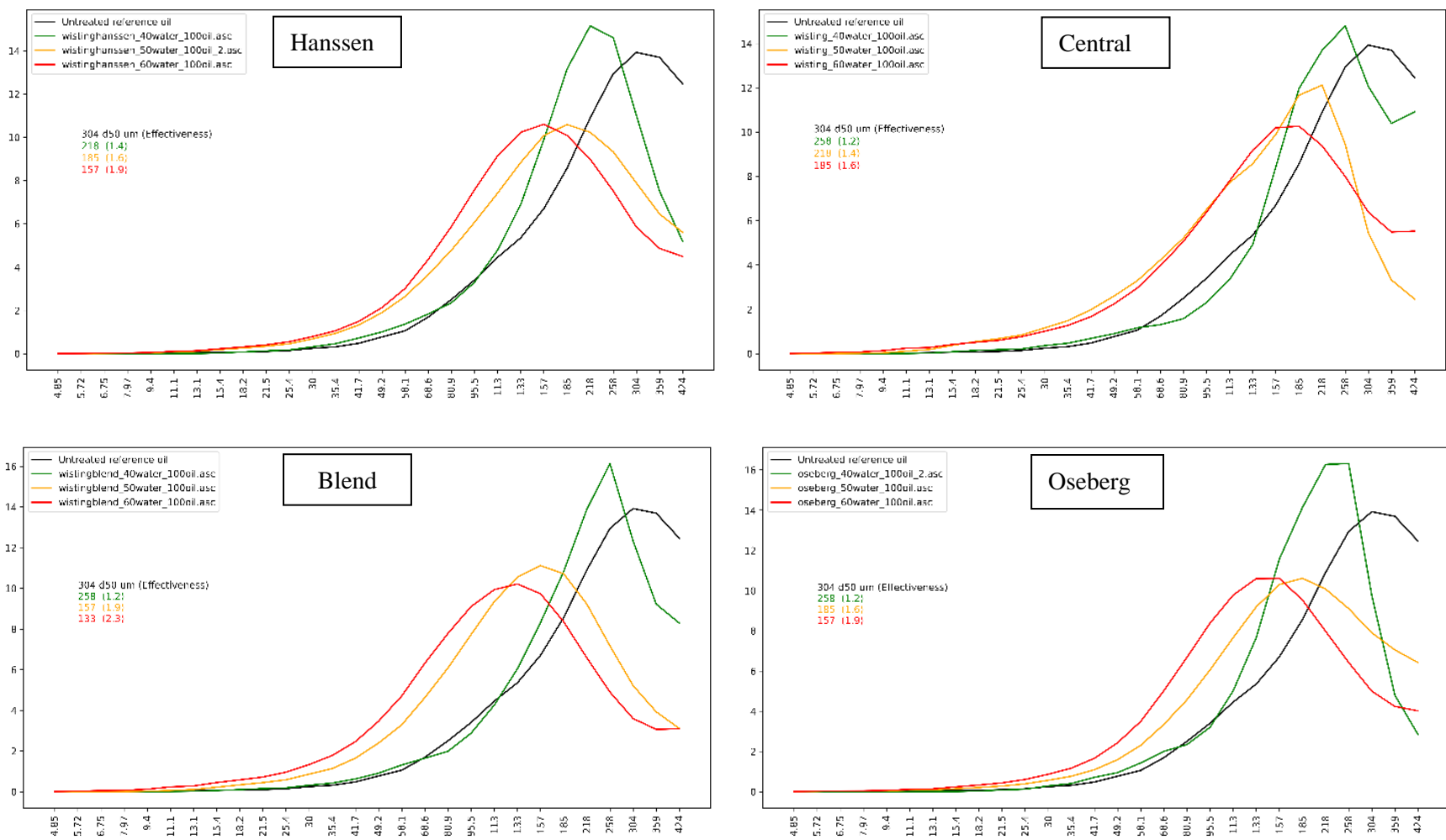
"Water jetting" rate relativt til oljerate (%)	Central		Blend		Hanssen		Oseberg	
	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Rel. red.
40%	258	1,2	258	1,2	218	1,4	258	1,2
50%	218	1,4	157	1,9	185	1,6	185	1,6
60%	185	1,6	133	2,3	157	1,9	157	1,9
Ubehandlet	304	1	302	1	304	1	304	1

Oseberg blend er brukt som referanseolje i testingen av både undervannsinjeksjon av dispergeringsmidler (SSDI) og testingen av mekanisk undervannsdispergering (SSMD). Dette for lettere å relatere resultatene fra små-skala laboratorieforsøk til operative forhold siden det er gjort stor-skala forsøk med både SSDI og SSMD i Ohmsett med Oseberg oljen. Figur 6.2 viser reduksjon i oljedråpestørrelser sammenlignet med referanse olje (sort) ved stor-skala forsøk i Ohmsett for SSDI (Brandvik et al., 2021) og SSMD (Brandvik et al., 2022).

Siden små-skala forsøkene med alle tre Wistingoljene viser tilsvarende effektivitet, for både SSDI og SSMD, som Oseberg blend (se oppsummering i Tabell 5.1, Tabell 5.2 og Tabell 6.1) og forsøk i stor-skala gir høy effektivitet med Oseberg blend (Figur 6.2), kan det antas at begge metodene også gir høy effektivitet og operativ nytte for Wisting oljene.



Figur 6.2: Sammenligning av SSMD og SSDI effektivitet (reduksjon i  $d_{50}$  etter behandling) fra stor-skala testing i Ohmsett (32 mm oljedyse og 80 l/min Oseberg blend). SSDI testing med 1% Corexit 9500 i 2015 and SSMD i 2019 (7.5 mm vanddyse 45 l/min).



Figur 6.3: Volum (%) av oljedråper (y-aksen) som funksjon av dråpestørrelser (x-aksen) både for ubehandlet olje og etter mekanisk undervannsdispergering "Water jetting" (40, 50 og 60% av oljerate) for Wisting Hansen, -Central, -Blend og Oseberg blend (referanse). Innfelte tall viser estimert  $d_{50}$  og reduksjon i  $d_{50}$  i forhold til ubehandlet referanse olje.

## 7 Konklusjoner

Dette avsnittet oppsummerer konklusjoner for arbeidet tidligere presentert og diskutert i denne rapporten.

### 7.1 Oppsummering av tidligere forvitningsstudier og anbefalinger for supplerende arbeid på oljene fra Wisting feltet

Det er relativt små forskjeller mellom oljene fra Wisting-feltet i forhold til variasjonen i sammensetting og egenskaper blant oljene totalt på norsk sokkel. En sammenligning basert på de tre tidligere forvitningsstudiene fra 2015, 2017 og 2018 konkluderte med at Wisting Hanssen dannet mer viskøse og stabile emulsjoner enn de andre to oljene.

Nye måling for Wisting Hanssen av viskositet for både fersk olje, vannfrie fraksjoner og emulsjoner indikerer at viskositeten for denne oljen er lavere og mere sammenlignbar med Central og Blend enn det tidligere forvitningsstudiene viste. Dette forutsetter at oljeprøvene vi har re-analysert i 2022 er sammenlignbare med prøvene som ble analysert i 2015.

Det brukes forskjellig utstyr og prosedyrer, for eksempel for å lage emulsjoner, ved de forskjellige institusjonene som utfører forvitningsstudier. Det er ikke gjennomført noen interkalibrering på analyser og labarbeid som inngår i en forvitningsstudie. I dag gjøres det slike studier både hos Akvaplan-niva, CEDRE (Frankrike), S.L. Ross (Canada) i tillegg til hos SINTEF Ocean. Det er derfor vanskelig å si noe om hvilke forskjeller som kan forventes ved en sammenligning av studier utført ved disse laboratoriene.

### 7.2 Effektivitet av påføring av dispergeringsmidler på oljeflak på overflaten

Dispergeringstesting som ble utført på Wisting Hanssen i 2015 omfattet bare testing med en lav-energi test (IFP) som simulerer lav sjøtilstand (ikke-brytende bølger). Forvitningsstudiene for de to andre Wisting oljene (Central og Blend) i 2017 og 2018 inkluderte også høy-energi testing (MNS) som simulerer brytende bølger.

Supplerende testing med MNS-metoden viser at Wisting Hanssen er nesten like dispergerbar som de to øvrige Wisting oljene. Det operative tidsvinduet for påføring av dispergeringsmidler på Wisting Hanssen er på 24 timer og kan være av stor av operativ betydning.

### 7.3 Effektivitet av subsea injeksjon av dispergeringsmidler (SSDI)

Alle tre Wisting oljene ble testet med SINTEFs standardmetode for effektivitet av subsea injeksjon av dispergeringsmidler (SSDI). Her kvantifiseres effektiviteten ved reduksjonen i oljedråpestørrelse ( $d_{50}$ ). Alle de tre oljene har en reduksjon i området 2-5 ganger avhengig av dispergeringsmiddel ved en dosering på 1%. Wisting oljene viser samme dispergerbarhet som Oseberg blend som er mye brukt i forsknings- og utviklingsprosjekter for SSDI.

Stor-skala testing av SSDI ved Ohmsett i NJ, USA viser en meget høy effektivitet for Oseberg blend. Wisting oljene viser tilsvarende effektivitet som Oseberg i små-skala testing ved SINTEF. Dette indikerer at SSDI også kan være en operativ metode å vurdere for Wisting oljene.

### 7.4 Effektivitet av subsea mekanisk dispergering (SSMD)

Alle tre Wisting oljene ble testet med en metode for å kvantifisere effektiviteten for subsea mekanisk dispergering (SSMD) utviklet ved SINTEF. Ved SSMD brytes eller knuses oljedråpene som dannes ved en blow-out med en vannstråle i en sekundær oljedråpesplitting (Water jetting). Effektiviteten av denne behandlingen kvantifiseres også ved reduksjonen i oljedråpestørrelse ( $d_{50}$ ). Alle de tre oljene har en reduksjon i området 2-3 ganger ved en water jetting rate på 50% (av oljeraten).

En water jetting rate på 50% er brukt i forsøkene (40 – 60%) fordi dette er en rate som er vurdert som operativt mulig. Eksisterende subsea pumper som brukes til håndtering av drilling-mud/cuttings eller brønn stimulering kan levere vann med en rate som tilsvarer 50% av en utblåsning på 12 000 m<sup>3</sup>/dag.

Også i disse forsøkene er effektiviteten for Wisting oljene sammenlignet med Oseberg blend som er mye brukt i forsknings- og utviklingsprosjekter for SSMD. Stor-skala testing av SSMD ved Ohmsett i NJ, USA viser en meget høy SSMD effektivitet for Oseberg blend. Dette er en sterk indikasjon på at SSMD gir høy effektivitet på Wisting oljene i stor skala og kan være en operativ metode å vurdere.

## 8 Referanser

- Brandvik, P.J., Johansen, Ø., Leirvik, F., Krause, D.F. and Daling, P.S. 2018: Subsea Dispersants Injection (SSDI), Effectiveness of Different Dispersant Injection Techniques – An Experimental Approach. *Mar. Pollut. Bull.* Volume 136, (2018), pp. 385-393.
- Brandvik, P. J., Daling, P. S., Dunnebier, D., Makatounis, P. E., Leirvik, F., & Krause, D. F. (2019a). A Proposed New Laboratory Protocol for Dispersant Effectiveness Testing Adapted for Subsea Dispersant Injection. *Journal of Environmental Protection*, 10(05), 694–709. <https://doi.org/10.4236/jep.2019.105041>
- Brandvik, P. J., Davies, E., Leirvik, F., Johansen, Ø., & Belore, R. (2021). Large-scale basin testing to simulate realistic oil droplet distributions from subsea release of oil and the effect of subsea dispersant injection. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111934.
- Brandvik, P.J., Davies E.J., Leirvik, F., Johansen, Ø., , Owens, Z., Gilman, L., Yun 2021b: Subsea Mechanical Dispersions (SSMD) Large-Scale Testing at Ohmsett (Phase-IV). SINTEF Report 2021:0035. Trondheim, Norway.
- Brandvik et al., 2022: Reducing Oil Droplet Sizes from a Subsea Oil and Gas release by Water jetting A laboratory study performed at different scales (from small- to large-scale). Submitted to MPB.
- Daling, P.S., Moldestad, M.Ø., Johansen, Ø., Lewis, A. and Rødal, Jon 2003: Norwegian Testing of Emulsion Properties at Sea—The Importance of Oil Type and Release Conditions. *Spill Science & Technology Bulletin*, Volume 8, Issue 2, 2003, Pp. 123-136.
- Sørheim, K.R., Bakken, O.M. 2017: Wisting Central crude oil-Properties and behaviour at sea. SINTEF report 2017:00119. Unrestricted.
- Sørheim, K.R., Bakken, O.M. 2018: Oil Weathering properties and dispersability on Wisting Blend. SINTEF report OC2018: F-046. Restricted.
- Torske, L., Wasbotten, I.H. 2015: Oil Weathering Studies of Wisting oil. Akvaplan-Niva AS Report 7428-02. Unrestricted.