

Rapport

Dispergeringstesting og vurdering av dispergeringsmidler på ulike oljeprodukter

Light distillate (MGO), Heavy distillate (HDME 50), Ultra-Low Sulphur Fuel Oil (ULSFO), Heavy Fuel Oil (HFO)

Forfatter(e)

Kristin Rist Sørheim

Marius Johnsen, Oddveig M. Bakken, Kaja C. Hellstrøm



Rapport

Dispergeringstesting og vurdering av dispergeringsmidler på ulike oljeprodukter

Light distillate (MGO), Heavy distillate (HDME 50), Ultra-Low Sulphur Fuel Oil (ULSFO), Heavy Fuel Oil (HFO)

EMNEORD:
Dispergering;
Dispergeringsmiddel;
Hybridolje;
Marine gassolje;
Bunkersolje

VERSJON

2.0

DATO

2019-06-11

FORFATTER(E)

Kristin Rist Sørheim
Marius Johnsen, Oddveig M. Bakken, Kaja C. Hellstrøm

OPPDRAGSGIVER(E)

Kystverket

OPPDRAGSGIVERS REF.

Hanne Solem Holt, Hilde Dolva

PROSJEKTNR

302004436

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

97

SAMMENDRAG

Målsettingen med dette prosjektet har vært å utføre dispergeringstester som inkluderer både screening og doseringstesting med ulike dispergeringsmidler, og teste disse på ulike oljeprodukter av type marin gassolje (MGO), hybridoljer (ULFSO og HDME50) og lav-svovel bunkersolje (IFO-180LS). Dette for å skaffe til veie en tilstrekkelig god dokumentasjon og et godt grunnlag for Kystverket for best mulig valg og anskaffelse av dispergeringsmiddel i forbindelse med en fremtidig statlig dispergeringsberedskap. Resultatene fra dette studiet har også blitt vurdert sammen med tidligere dispergeringsstudier fra 2014 og 2016-2017 utført på tilsvarende oljetyper. Det er i denne rapporten summert og konkludert vedrørende alle oljetyper og dispergeringsmidler som er blitt testet.

Dispergeringstestene fra dette prosjektet (2018-2019) har inkludert både lav-energitesten IFP og høy-energitesten MNS ved ulike temperaturer som gjenspeiler både sommer (13°C), vinter (5°C) og arktiske forhold (2°C). I tillegg ble det utført ett dispergeringsforsøk i meso-skala renna med MGO og Dasic NS ved 2°C, samt to dispergeringsforsøk med IFO-180LS med hhv. Dasic NS og Corexit 9500 ved 13°C.

UTARBEIDET AV

Kristin Rist Sørheim

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Per S. Daling

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Mimmi Throne-Holst

SIGNATUR**RAPPORTNR**

OC2019 A-090

ISBN

978-82-7174-362-8

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
Draft 1.0	2019-04-29	Draft versjon

Final 2.0	2019-06-11	Final versjon etter kommentarer fra Kystverket
-----------	------------	--

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag / Summary	7
2	Innledning	11
3	Oppsummering dispergeringstester av oljeprodukter fra tidligere studier	13
3.1	Dispergerbarhet på bunkersoljer (2014)	13
3.2	Dispergerbarhet på marine diesoljer og hybridoljer (2016-2017).....	16
4	Valg av oljetyper og dispergeringsmidler (2018-2019).....	21
4.1	Testoljer	21
4.2	Fysikalsk-kjemiske analyser på utvalgte testoljer	22
4.3	Valg av dispergeringsmidler	23
4.4	Temperatursveip på utvalgte dispergeringsmidler.....	24
4.5	Giftighetstesting av dispergeringsmidler	24
4.5.1	Radiagreen OSD	24
4.5.2	Oppsummering dispergeringsmidler testet for giftighet	25
5	Eksperimentelt	26
5.1	Analysemetoder	26
5.2	Tillaging av vann-i-olje emulsjoner	26
5.3	Testing av dispergeringsmidlers effektivitet (IFP/MNS)	26
5.4	Dispergeringseffektivitet med IFP og MNS metodikken	26
5.5	Felttest (FET) for testing av dispergerbarhet	27
5.6	Meso-skala renne for dispergeringsforsøk	28
6	Resultater dispergeringstesting (IFP/MNS)	29
6.1	Screening og doseringstesting – MGO (2°C)	29
6.2	Screening og doseringstesting – HDME 50 (13°C)	33
6.3	Screeningtesting – HDME 50 (5°C).....	35
6.4	Screening og doseringstesting – ULSFO (13°C)	36
6.5	Screeningtesting – ULSFO (5°C)	42
6.6	Screeningtesting – IFO-180LS (5°C).....	42
6.7	Oppsummering screening og dosering av dispergeringsmidler testet på IFP/MNS	44
7	Dispergeringsforsøk i meso-skala renna	48
7.1	Dispergeringsforsøk 1 – MGO og Dasic NS (2°C).....	48
7.2	Dispergeringsforsøk 2 – IFO-180LS med Dasic NS (13°C)	57

7.3	Dispergeringsforsøk 3 – IFO-180LS med Corexit 9500 (13°C)	67
7.4	Oppsummering dispergeringsforsøk i meso-skala renna	78
8	Utfellingstest for lagringsstabilitet av dispergeringsmidler	79
9	Konklusjon /Conclusion	82
9.1	Konklusjon	82
9.2	Conclusion	83
10	Oppsummering – Oljetyper og dispergeringsmidler testet for dispergeringseffektivitet	86
11	Referanser	90
A	Temperatursveip ULSFO	92
B	Gasskromatografisk analyse (GC-FID)	93
B.1	ULSFO	93
B.2	MGO	94
C	Analysemetoder og preparering av vann-i-olje emulsjoner	95
D	Skjematisk skisse av IFP og MNS apparaturen	96
E	Skjematisk skisse og kort beskrivelse av meso-skala renna	97

Definisjoner og forkortelser

Forkortelser og begrep	Definisjoner og beskrivelser
CEDRE	Centre of Documentation, Research and Experimentation on accidental water pollution. Fransk forskningsinstitutt
Corexit 9500	Dispergeringsmiddel. Velkjent dispergeringsmiddel rundt i verden, bl.a. i USA. Produktnavn: EC9500A
Dasic EW	Dispergeringsmiddel produkt beregnet for høy viskøse emulsjoner, godkjent bl.a. i England
Dasic NS	Dispergeringsmiddel. NS = North Sea
Dispersant Gel	Dispergeringsmiddel (gel struktur). Utviklet av ExxonMobil. Høy viskositet og krever særskilt påføringsbetingelser
Dispergeringsmiddel	Dispergeringsmiddel brukes for å dispergere (finfordele) olje ned i vannmasse slik at den er lettere tilgjengelig for mikrobiell aktivitet
DER	Dispersant-to-Emulsion ratio
DMA - grade	Marine destillater/gassoljer med gitte fysikalske egenskaper /spesifikasjoner iht. ISO 8217:2017 (ISO=International Organization for Standardization)
DOR	Dispersant-to-Oil ratio
Dynamisk uttak (dispergering)	MNS-test. Dispergert prøve tas umiddelbart etter avsluttet test med bølger tilstede. Standard prosedyre.
ECA / SECA	Emmision Control Areas /Sulphur Emmision Control Areas
EC50	Effektiv konsentrasjon. Den konsentrasjonen av et stoff som gir en spesifikk effekt, under testbetingelser etter en bestemt tid, i 50 % av organismene som testes.
EMSA	The European Maritime Safety Agency
FET-test	Field Effectiveness Test. Test som gir en rask kvalitativ vurdering av den kjemiske dispergerbarheten til en olje/emulsjon. Oljens dispergerbarhet vurderes ut fra visuelle kriterier.
Gamlen OD4000	Dispergeringsmiddel. Vanlig dispergeringsmiddel i Europa, godkjent bl.a. i Frankrike
GC-FID	Gasskromatografi - Flammeionisasjonsdetektor
GO	Gas Oil (Gassolje)
HDME50	Heavy Distillate Marine ECA 50
HFO	Heavy Fuel Oil
Hz	Hertz, frekvens
IFO	Intermediate Fuel Oil
ISO	International Organization for Standardization
IFP-test	Lavenergi dispergeringstest som representerer en sjøtilstand med ikke-brytende bølger (2-5 m/s)
LISST	Laser in situ scattering and transmissometry system. Instrument for måling av dråpestørrelser og konsentrasjoner av dispergerte olje i vannsøyle
LS	Lav svovel / Low sulphur
LSFO	Low Sulphur Fuel Oil, S < 1 wt. %
MGO	Marine Gas Oil (Marin gassolje)
MNS	Høyenergi dispergeringstest som er estimert til å tilsvare middels til høy sjøtilstand, dvs. brytende bølger 5-10 m/s.
µm	mikrometer
mm	millimeter
mPa.s	Millipascal·sekund. Enhet for en væskes dynamiske viskositet
NCA	Norwegian Coastal Administration
NIVA	Norsk Institutt for Vannforskning

NOFO	Norsk Oljevernforening For Operatørselskap
OSR-52 / OSR-62	Dispergeringsmiddel. OSR = Oil Spill Response
OSRL	Oil Spill Response Limited
OPV	Olje på vann
OWM	Oil Weathering Model (Oljeforvittringsmodell)
ppm	Parts per million
Radiagreen OSD	Dispergeringsmiddel. OSD = Oil Spill Dispersant. Godkjent produkt i flere land i Europa, bl.a. Frankrike og UK
Skjærhastighet (s^{-1})	Hastighet hvor en deformasjon påføres et materiale /væske ved måling av viskositet
Statisk uttak (dispergering)	MNS-test. Dispergert prøve tas 5 minutter etter avsluttet test uten bølger tilstede. Store dråper (mm) stiger til overflaten, mens mindre dråper (μm) forblir i vannmassen
Superdispersant-25	Dispergeringsmiddel. Ikke testet og godkjent produkt i Norge mht. giftighet. Godkjent bl.a. i England og Frankrike
ULSFO	Ultra-Low Sulphur Fuel Oil, S < 0.1 wt. %
UV	Ultraviolet
VLSFO	Very-Low Sulphur Fuel Oil, S < 0.5 wt. %
Viskositet	Angivelse for seighet av en væske gitt ved en bestemt temperatur og skjærrate (resiprok sekund). Væsker med lav viskositet flyter lettere enn væsker med høy viskositet
Vol. %	Volumprosent
WRG	Wide Range Gas Oil
Wt. %	Vektprosent

1 Sammendrag / Summary

Sammendrag

Kystverket har som målsetting å gå til anskaffelse av dispergeringsmiddel som er egnet for flere typer oljetyper i forbindelse med oppbygging av en fremtidig statlig dispergeringsberedskap (helikopter og fartøy). Laboratorietestene i dette prosjektet ble utført for å verifisere om flere produkter kunne være velegnet og dekke behovet for Kystverket med forutsetning at anbefalt dispergeringsmiddel måtte oppfylle krav som stilles vedrørende giftighet (algetest, *Skeletonema*) i henhold til *Forurensningsforskriften 19*. Dette prosjektet har derfor hatt som målsetting å kunne dokumentere og teste effektiviteten av ulike relevante dispergeringsmidler som kan brukes på ulike oljeprodukter (drivstoffoljer).

Dispergeringstestene har inkludert bruk av lav-energitesten IFP og høy-energitesten MNS ved ulike testtemperaturer som gjenspeiler sommer (13°C), vinter (5°C) og arktiske forhold (2°C). I tillegg ble det utført 3 dispergeringsforsøk i meso-skala renna, hvor valg av dispergeringsmidler og oljetyper ble utført i samråd med Kystverket etter at resultatene fra IFP og MNS testene forelå.

Oljetyperne som ble testet for dispergeringseffektivitet i dette prosjektet inkluderte en marin gassolje (diesel) omtalt som MGO av type DMA-kvalitet. Dette er et relevant drivstoff som brukes bl.a. mye i Arktis, hvor dette drivstoffet kan benyttes i naturreservatene på østsiden samt i de tre nasjonalparkene på vestsiden av Svalbard. I tillegg er MGO er et vanlig og mye brukt drivstoff i marin virksomhet også utenom arktiske områder. En annen type oljeprodukt testet var hybridoljene (HDME 50 og ULSFO). Hybridoljer er et samlebegrep for å beskrive drivstoff som ikke kan klassifiseres i henhold til ISO 8217, men som har egenskaper som kan dekke både lettere destillatoljer og tyngre drivstoffkvaliteter. HDME 50 er et såkalt "Heavy distillate", mens ULSFO er betegnelsen på et "Ultra-low sulphur fuel oil". Hybridoljene har kommet på markedet som følge av strengere krav til svovelutslipp fra marin virksomhet, både innenfor og utenfor SECA (Sulphur Emission Control Areas). Hybridoljene kan ha andre fysikalsk-kjemiske egenskaper sammenlignet med tradisjonelle bunkersoljer som f.eks. IFO-180 og IFO-380. I tillegg ble også en tradisjonell LSFO (Low Sulphur Fuel Oil) av type IFO-180LS valgt ut som testolje for denne kategorien drivstoffolje. Oljetyperne i dette prosjektet er også tidligere blitt testet for dispergeringseffektivitet både i 2014 "Dispergerbarhet på bunkersoljer" og i 2016-2017 på marine gassoljer og hybridoljer omtalt "Hybridprosjektet". Dispergeringstestene fra dette prosjektet (2018-2019) ble derfor utført som supplerende screening og doseringstester for å sammenligne og vurdere resultatene med de tidligere studiene på de tilsvarende oljetyperne utført ved SINTEF. En kombinasjon av de supplerende testene ble utført både med lav-energitesten IFP og høy-energitesten MNS der det var kunnskapshull. Ved å sette sammen alle dispergeringstester fra dette og de tidligere prosjektene var det som mål å få et mest mulig samlet bilde av dispergeringsegenskapene for de ulike oljetyperne.

Dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 og Radiagreen OSD ble valgt ut som aktuelle produkter i dette prosjektet. Utvelgelsen var basert både på tidligere dispergeringstester og dokumentasjon utført på ulike oljeprodukter, samt at produktene var kjente og relevante dispergeringsmidler rundt i verden og ellers i Europa. Dasic NS også er inkludert i oljevernberedskapen på norsk sokkel og var også aktuell av den grunn.. Det var også en forutsetning at dispergeringsmidlene skulle være godkjente for bruk i Norge iht. giftighet (algetest). Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 er godkjente produkter i Norge med hensyn på giftighet, bortsett Radiagreen OSD som ble testet for giftighet i denne prosjektperioden. Radiagreen OSD innfridde ikke myndighetskravet for EC50>10mg/l, og ble derfor vurdert som et ikke-aktuelt dispergeringsmiddel for Kystverket per i dag. Det presiseres også at Radiagreen OSD heller ikke var et signifikant bedre dispergeringsmiddel sammenlignet med de andre produktene testet på de ulike oljetyper.

Resultatene fra screening og doseringstestene utført med IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) viste at ingen av dispergeringsmidlene skilte seg vesentlig ut fra hverandre med hensyn på dispergeringseffektivitet, men det var nyanser av forskjeller mellom oljetyper og dispergeringsmidler. Rangering av

dispergeringsmidlene på samme olje kunne også være innbyrdes forskjellige med hensyn på testmetodikk (IFP og MNS), doseringsforhold og testtemperatur. Ingen av dispergeringsmidlene viste seg heller ikke å være totalt uegnet, men generelt ble det konkludert med at Dasic NS og Corexit 9500 kom noe bedre ut sammenlignet med OSR-52, og var for flere av testene nokså likestilte. Dette var også i samsvar med de tidligere screening og doseringstestene som utført i som en del av Hybridprosjektet i 2016-2017. For bunkersoljer, basert på resultatene fra dette prosjektet samt det tidligere studiet fra 2014, kom Corexit 9500 generelt noe bedre ut på de tyngste bunkersoljene (IFO 180 og IFO-380) sammenlignet med Dasic NS og OSR-52.

Det ble gjennomført et dispergeringsforsøk i meso-skala renna med MGO med påføring av Dasic NS ved 2°C. Oljen ble forvitret i 20 timer under ikke-brytende bølger før påføring av dispergeringsmiddel. MGO var lett dispergerbar med Dasic NS, spesielt ved økende bølgeenergi i renna. Etter 2 runder med kumulativ påføring av Dasic NS (DOR 1:65) var det ikke observert gjenværendeolje på overflaten, dvs. at oljen var fullstendig dispergert i vannfasen. Dette var i god overenstemmelse med benke-skala testene (IFP/MNS), hvor lav-energitesten (IFP) viste god effekt med Dasic NS (78-80%) med DOR 1:25 og 1:50. Høye dispergeringseffektiviteter (90-100 %) var også påvist med høyenergitesten (MNS) ved dynamisk prøveuttak etter standard prosedyre med bølgeenergi stilstedet, selv uten tilsats av dispergeringsmiddel. Resultatene fra dispergeringsforsøket i meso-skala renna ved var også i god overenstemmelse med et standard forvitningsforsøk utført i 2016-2017 med samme batch av MGO ved samme temperatur (2°C). Oljen ble da forvitret i 72 timer før påføring av Dasic NS hvor mer enn 95 % av olje/emulsjonen var dispergert etter 1. gangspåføring med svært lav DOR 1:250.

Det ble også to utført dispergeringsforsøk i meso-skala renna med IFO-180LS. Bunkersoljen ble forvitret i 2 timer under brytende bølger før påføring av dispergeringsmiddel av henholdsvis Dasic NS og Corexit 9500 i 3 suksessive runder med kumulativ DOR 1:11. Det var kun observert små forskjeller mellom Dasic NS og Corexit 9500, dvs. at ingen av disse to dispergeringsmidlene hadde signifikant bedre effekt enn den andre på denne bunkersoljen og kunne dermed likestilles. Et tilsvarende forsøk fra 2014 med en annen batch av IFO-180LS, hvor Corexit 9500 ble påført olje/emulsjon i 3 runder (omtrent samme doseringsforhold), hadde også store likheter med dispergeringsforsøkene på bunkeroljen utført i dette prosjektet. Repeterende påføring av dispergeringsmiddel er en av suksesskriteriene for effektiv dispergering av høyviskøse bunkersoljer.

Utfellingstesting ble utført på Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 fra +5 til - 20°C. Dette forsøket viste at OSR-52 ble bunnfrosset ved nedfrysing til minus 20°C, mens Dasic NS og Corexit 9500 fremdeles hadde en flytende konsistens ved denne temperaturen, dog mer tykflytende enn ellers. Det ble midlertidig observert blakking av Dasic NS ved -20°C som opphørte ved + 5°C. En slik blakking ansees i midlertidig ikke å ha praktisk betydning ved lagring under slike svært kalde betingelser. Viskositeten til Corexit 9500 vil derimot være vesentlig høyere enn Dasic NS ved kalde temperaturer, og bør inngå i total vurdering av dispergeringsmidler fra et operativt synspunkt.

Summary

In accordance to the plan for implementing a governmental oil spill dispersant strategy in Norway (helicopter and vessel), the Norwegian Coastal Administration (NCA) has through several projects during the years from 2014-2019 requested SINTEF to conduct dispersants effectiveness testing with the aim to investigate dispersants suitable for several oil types. The laboratory dispersant testing from this current project was carried out to verify whether several dispersants could be suitable and cover the need for NCA, provided that recommended dispersants had to meet the requirements regarding toxicity (algae test, *Skeletonema*) in according to the *Pollution Regulations 19*. The main objective was to document and test the dispersant effectiveness of different relevant dispersants that can be used on various oil products (fuel oils).

The dispersant effectiveness testing (screening and dosage testing) included both the low-energy IFP and the high-energy MNS test at different temperatures reflecting summer (13°C), winter (5°C) and arctic conditions (2°C). In addition, 3 dispersant experiments in the meso-scale flume were conducted, and the selection of dispersants and oil types was carried out in consultation with the NCA after the results from the IFP and MNS tests were available.

The oil types tested for dispersant effectiveness in this project included a marine gas oil (diesel) referred to the DMA-grade, MGO. This is a relevant fuel that is frequently used in the Arctic, where this fuel is allowed to be used in the nature reservation on the east side and at the three national parks on the west side of Svalbard. In addition, MGO is common and widely used fuel in marine activities also outside arctic areas. Another type of oil type tested was the two hybrid oils (HDME 50 and ULSFO). Hybrid oils are a common term for describing fuels that cannot be classified according to ISO 8217, but have properties that cover both lighter distillates and heavier fuel oil grades. HDME 50 is a so-called "Heavy distillate", while ULSFO is the term for an "Ultra-low sulphur fuel oil". The hybrid oils have entered the market due to stricter requirements for sulphur emissions from marine activities, both inside and outside the SECA (Sulfur Emission Control Areas). The hybrid oils may have other physico-chemical properties compared to traditional bunker oils such as e.g. IFO-180 and IFO-380. In addition, a LSFO (Low Sulfur Fuel Oil) of IFO-180LS was also selected as a test oil for this fuel oil category. The oil types have also previously been tested for dispersant effectiveness both in 2014 "Dispersibility on bunker oils" and in 2016-2017 on marine gas oils and hybrid oils referred to the "Hybrid project". The dispersant tests from this current project (2018-2019) were therefore carried out as supplementary screening and dosage tests to compare and evaluate the results with the previous studies on the corresponding oil types, performed at SINTEF. A combination of the supplementary tests was performed both with the low-energy test IFP and the high-energy test MNS where there was a knowledge gap. The aim was to get the most comprehensive overall picture of the dispersant effectiveness properties for the different oil types by putting together the results from this current project and the previous projects.

The dispersants Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 and Radiagreen OSD were selected as relevant products in this project. The selection was based on both previously dispersant effectiveness testing and documentation performed on the different oil types, and that the dispersants were well-known and relevant for use around the world and elsewhere in Europe. Dasic NS is also included in the oil spill contingency on the Norwegian shelf and was therefore a relevant dispersant for that reason. It was also a requirement that the selected dispersants should be approved for use in Norway according to the toxicity (algae test, *Skeletonema*). Corexit 9500, Dasic NS and OSR-52 are currently approved products in Norway regarding toxicity, except for the Radiagreen OSD which was tested for toxicity during this project period. Moreover, the Radiagreen OSD did not meet the regulatory requirement for EC50 > 10 mg /L and was therefore considered a non-relevant dispersant for NCA, today. It is also emphasized that the Radiagreen OSD was not a significantly better dispersant compared to the other products tested on the different oil types.

The results of screening and dosage tests performed with IFP (low-energy test) and MNS (high-energy test) showed that none of the dispersants differed significantly in terms of dispersant effectiveness, but there were some distinct differences between oil types and dispersants. However, ranking of the dispersants on the same

oil could also be mutually different in terms of test methodology (IFP and MNS), dosage ratio and test temperatures. Moreover, neither of the dispersants did not turn out to be totally unsuitable. As an overall evaluation, it was concluded that Dasic NS and Corexit 9500 had somewhat higher dispersant effectiveness than OSR-52 for many of the oils and test conditions, and for several tests these two dispersants were fairly equal. This was also in accordance with the previously screening and dosage testing performed as part of the "Hybrid project" in 2016-2017. For the heavy bunker fuel oils, based on the results of this project as well as the previous study from 2014, Corexit 9500 was generally found to be the most suitable dispersant, especially on the heaviest bunker oils (IFO-180 and IFO-380) compared to Dasic NS and OSR-52.

A dispersant testing experiment in the meso-scale flume with MGO was carried out with application of Dasic NS at 2°C. The diesel oil was weathered for 20 hours under non-breaking waves (swell) prior to application of dispersant. MGO was found to be easily dispersible with Dasic NS, especially with increasing wave energy in the flume. After 2 rounds of cumulative application of Dasic NS (DOR 1:65), no residue/oil was observed on the surface, i.e. the oil was completely dispersed into the water phase. This was also in good agreement with the bench-scale tests (IFP / MNS), where the low-energy test (IFP) showed good effectiveness with Dasic NS (78-80%) with DOR 1:25 and 1:50. High dispersion efficiencies (90-100 %) were also demonstrated by the high energy test (MNS) by dynamic sampling with applied energy (waves), and high dispersion was also observed without adding dispersant. The results from the meso-scale flume were also in good agreement with a standard weathering flume experiment conducted in 2016-2017 with the same batch of MGO, at the same test temperature (2°C). The oil was then weathered for 72 hours prior to the application of Dasic NS where more than 95% of the oil was dispersed after the first round of application of Dasic NS, with low DOR 1: 250.

In addition, two identical meso-scale dispersant tests were performed with the IFO-180LS. The heavy bunker fuel oil was weathered for 2 hours under breaking waves conditions, prior to application of the dispersants of Dasic NS and Corexit 9500, respectively. Both dispersants were applied on the surface oil/emulsion in 3 successive rounds with cumulative DOR 1:11. Only slight differences were observed between Dasic NS and Corexit 9500 from these experiments, i.e. none of two dispersants had a significantly better effect than the other on this bunker oil and could thus be regarded as equal. A similar experiment from 2014 with another batch of IFO-180LS, where the Corexit 9500 was applied to oil / emulsion in 3 rounds (approximately the same dosage ratio), also showed strong similarities with the flume experiments performed in this current project. Repetitive application of dispersants is one of the success criteria for efficient dispersion particularly for high viscous heavy bunker fuel oils.

A precipitation test was performed on Corexit 9500, Dasic NS and OSR-52 from +5 to - 20°C. This experiment showed that OSR-52 was bottom frozen in the sampling glass at minus 20°C, while Dasic NS and Corexit 9500 still had a liquid appearance at this low temperature, though they were more viscous than otherwise. Moreover, it was temporarily observed a cloudy appearance of Dasic NS at -20°C which ceased at + 5°C, but this phenomenon is not considered to be of any practical importance when stored under such cold conditions. The appearance of Corexit 9500 indicated, however, to be unaffected at low temperatures. On the other hand, the viscosity of Corexit 9500 will be significantly higher than Dasic NS, particularly pronounced at cold temperatures. Viscosity should also be included in the overall evaluation of dispersants from an operational point of view.

2 Innledning

Kystverket har som målsetting å gå til anskaffelse av dispergeringsmiddel som er egnet for flere typer oljetyper i forbindelse med oppbygging av en fremtidig statlig dispergeringsberedskap (helikopter og fartøy). Dispergeringsprosjektet som SINTEF utførte i 2014 på bunkersoljer ("Disperbarhet av bunkersoljer", Sørheim et al. 2014) viste at Corexit 9500 sammenlignet med Dasic NS kom noe bedre ut i effektivitet spesielt for de tyngre bunkersoljene. I tillegg har det foreligget internasjonalt mest dokumentasjon på Corexit 9500 når det gjelder dispergerbarhet på bunkersoljer (Sørheim et al. 2014). Både Dasic NS og Corexit 9500 er dispergeringsmidler som den gang oppfylte krav som stilles med hensyn på giftighet i henhold *Forurensningsforskriften, kap. 19*. Etter den tid er det i midlertidig kommet andre aktuelle dispergeringsmidler som EMSA produktet Radiagreen OSD på markedet, samt at Finasol produktet OSR-52 er blitt et godkjent middel med hensyn på giftighet. I tillegg er det også kommet andre typer aktuelle drivstoffoljer (f.eks. hybridoljer) på markedet for å tilfredsstille krav til redusert svovel-innhold. Hybridoljene kan ha andre fysisk-kjemiske egenskaper sammenlignet med tradisjonelle bunkersoljer (f.eks. IFO-180 og IFO-380), Marin diesel av type marine gassolje (MGO) også er et relevant drivstoff i arktiske områder rundt Svalbard, og er generelt et drivstoff som det brukes mye av i dag om bord på fartøy. I et tidligere prosjekt ved SINTEF i 2016-2017 ble det utført dispergeringstester på ulike marine dieselprodukter samt hybridoljene HDME 50 og ULSFO. Resultatene fra dette foregående studiet er gitt som prosjektmemo (Hellstrøm et al. 2017), samt oppsummert i egen rapport (Hellstrøm, 2017). Resultatene indikerte den gang at Dasic NS bla. var generelt et godt egnet dispergeringsmiddel på flere av disse oljetyper etterfulgt av Corexit 9500. Basert på de tidligere laborietester ved SINTEF både i 2014 og 2016-2017 har ikke ett produkt utmerket seg og vært entydig blant dispergeringsmidlene testet på de ulike oljetyper.

Laborietestene i dette prosjektet ble utført som en basis for å verifisere om flere produkter kunne være velegnet eller nødvendig for å dekke behovet for Kystverket med forutsetning om at anbefalt dispergeringsmiddel måtte oppfylle krav som stilles vedrørende giftighet (algetest, *Skeletonema*) i henhold til *Forurensningsforskriften 19*. Dette prosjektet har derfor hatt som målsetting å kunne dokumentere og teste effektiviteten for ulike relevante dispergeringsmidler som kan brukes på ulike oljetyper. Dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 og Radiagreen OSD ble i dette prosjektet valgt ut som testmidler på de ulike oljeproduktene MGO, hybridoljene HDME 50 og ULSFO, samt en lav-svovel (1% S) bunkersolje (IFO-180LS). De fire dispergeringsmidlene ble valgt ut basert på følgende vurderinger:

- Corexit 9500 er på verdensbasis det mest kjente produktet, og ble bl.a. brukt under Macondo (Mexicogulfen) i 2010
- Dasic Slickgone NS, heretter kalt Dasic NS benyttes i dag i norsk oljevernberedskap og finnes på lager hos NOFO. Dasic NS er et dispergeringsmiddel som er blitt testet på ulike oljetyper (spesielt råoljer) over 25 år hos SINTEF
- OSRL har bygd opp flere beredskapslager av Finasol OSR 52 (kalt OSR-52 i denne rapporten). Dispergeringsmiddelet er en del av den eksisterende oljevernberedskapen i England samt at det også er et godkjent produkt i Frankrike
- Radiagreen OSD er et EMSA produkt som er kjøpt inn til beredskapslager i land innenfor Europa.
- Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 godkjente produkter i Norge med hensyn på giftighet som også var et viktig kriterium for valg av relevante dispergeringsmidler. Radiagreen OSD ble testet for giftighet underveis i dette prosjektet, men tilfredsstilte ikke dagens krav til akutt giftighet. Produktet ble derfor ikke med i den videre testing og evaluering etter at giftighetstesten forelå

Dispergeringstestene fra dette prosjektet ble utført som supplerende tester (screening og dosering) for å sammenligne og vurdere resultatene med de tidligere studier utført ved SINTEF (Sørheim et al. 2014, Sørheim og Daling, 2015, Hellstrøm, 2017, Hellstrøm et al. 2017) på de utvalgte oljene. En kombinasjon av screening og doseringstester på de aktuelle dispergeringsmidlene ble derfor foreslått for å få et bedre grunnlag til å kunne skille effektivitetene mellom de ulike dispergeringsmidlene på de relevante oljeproduktene. Det ble utført supplerende tester der det var kunnskapshull, og ved å sette sammen alle dispergeringstester fra dette og de

tidligere prosjektene, var målet å få et mest mulig samlet bilde av dispergeringsegenskapene for de ulike oljene. Forsøk ved arktiske forhold ble f.eks. utført på MGO som supplerende tester på tilsvarende olje i 2016-2017 (Hellstrøm et al. 2017, Hellstrøm, 2017). Testing ved 5°C (typisk vintertemperatur i Nordsjøen og Norskehavet) ble kun utført dersom oljene var dispergerbare ved 13°C, eller ble supplert iht. tidligere tester på den aktuelle oljen.

Dispergeringstestene har inkludert bruk av lav-energitesten IFP og høy-energitesten MNS ved ulike testtemperaturer som gjenspeiler sommer (13°C), vinter (5°C) og arktiske forhold (2°C). I tillegg ble det utført 3 dispergeringsforsøk i meso-skala renna, hvor valg av dispergeringsmidler og oljetyper ble utført i samråd med Kystverket etter at resultatene fra IFP og MNS testene forelå.

3 Oppsummering dispergeringstester av oljeprodukter fra tidligere studier

En kort oppsummering fra to tidligere dispergeringsstudier utført ved SINTEF er gitt i dette kapittelet. Disse to studiene inkluderte testing og anbefaling av dispergeringsmiddel på bunkersoljer (Sørheim et al. 2014) og dispergering av hybridoljer (HDME 50 og ULSFO), samt diesel oljer av type marine gassolje (MGO) (Hellstrøm et al. 2017, Hellstrøm 2017).

Med basis i disse tidligere studiene fra 2014 (dispergerbarhet på bunkersoljer) og 2016-2017 omtalt som Hybridprosjektet, samt en vurdering av relevante drivstoff på markedet i dag, ble det valgt ut fire oljetyper av type marin diesel, hybridoljer og tyngre bunkersolje for videre testing. Dette for å supplere og utvide den eksisterende dokumentasjon med nye dispergeringstester både med hensyn til testtemperatur, screening og dosering, samt en vurdering av aktuelle og tilgjengelige dispergeringsmidler for testing. I det tidligere studiet på bunkersoljer i 2014 (Sørheim et al. 2014) var f.eks. ikke OSR-52 et godkjent produkt med hensyn på giftighet (effektiv konsentrasjon, $EC_{50} < 10 \text{ mg/l}$) i Norge, men at dette dispergeringsmidlet per i dag er et testet godkjent produkt hos myndighetene basert på algetest (*Skeletonema*). I tillegg var ikke Radiagreen OSD et tilgjengelig og aktuelt produkt ved testing på bunkersoljer i 2014. Valg av oljetyper og dispergeringsmidler for testing i dette prosjektet er også nærmere omhandlet i kapittel 4.

3.1 Dispergerbarhet på bunkersoljer (2014)

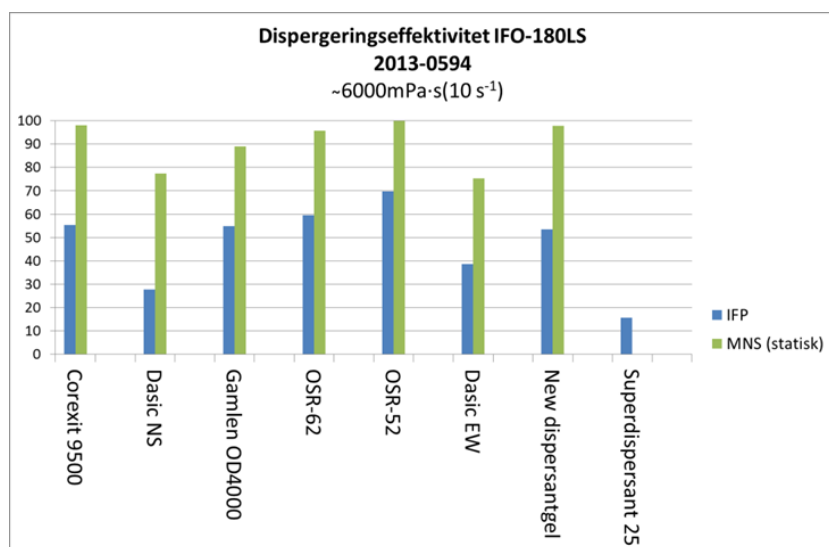
SINTEF har tidligere utført prosjekt for Kystverket i forbindelse med "Statlig dispergeringsberedskap" (Sørheim et al. 2014) med basis for å kunne utarbeide plan for implementering av en statlig dispergeringsberedskap i Norge. Målsetning med prosjektet den gang var å komme fram til hvilke bunkersoljer som var dispergerbare, samt anbefaling av det mest egnede dispergeringsmidlet til å kunne estimere tidsvindu for bruk av dispergeringsmiddel. Det ble utført tester av dispergerbarhet for ulike typer bunkersoljer (IFO-80LS, IFO-180LS, IFO-180NS og IFO-380LS). Bunkersoljene ble analysert for dispergerbarhet ved bruk av IFP lav-energitest (ikke-brytende bølge) og MNS høy-energitest (brytende bølge), samt dispergeringstesting i meso-skala renne.

Screening av totalt 8 forskjellige dispergeringsmidler: Corexit 9500, Dasic NS, Dasic EW, OSR-62, OSR-52, Gamlen OD 4000, Superdispersant-25 og Dispersant Gel ble utført på bunkeroljene, se også tabelloversikt 4.1 i Sørheim et al. 2014. Det var på forhånd bestemt at Dasic NS skulle være med videre for testing for dosering basert på at dette produktet var godkjent og brukt i oljevernberedskapen på norsk sokkel. Det var også den gang en forutsetning at det anbefalte dispergeringsmiddelet skulle oppfylle krav som stilles til kjemiske dispergeringsmidler i henhold til *Forurensingsforskriften* kap. 19; det vil si oppfylle krav som stilles vedrørende giftighet (algetest, *Skeletonema*). Dasic EW, OSR-62, OSR-52, Superdispersant 25 og Dispersant Gel var ikke godkjente produkter iht. toksisitet (enten ikke blitt testet eller ikke bestått). I tillegg skulle også valg av dispergeringsmiddel for videre testing være relevante produkter som både var godkjent i andre land og brukt internasjonalt. OSR-52 var f.eks. anbefalt av CEDRE og et godkjent produkt i Frankrike. Etter en samlet vurdering av både testresultater og overnevnte kriterier ble det besluttet å gå videre med 3 av dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 for videre doseringstesting på bunkersoljene.

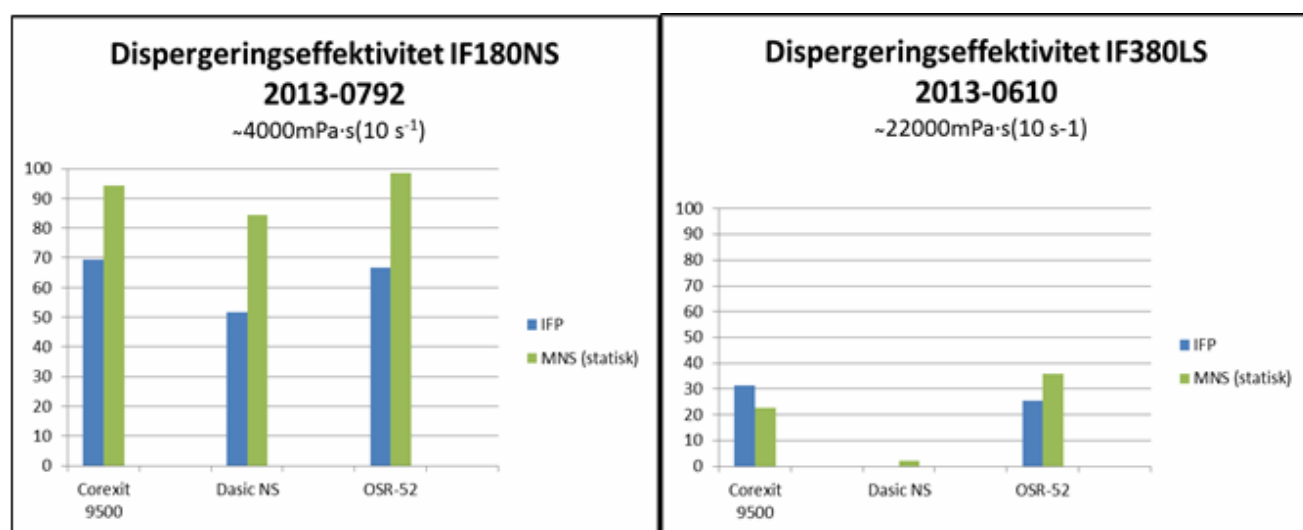
Eksempler fra screeningtesting er vist i Figur 3-1 og Figur 3-2. Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 ble valgt videre for doseringstesting på de utvalgte bunkersoljene (Figur 3-3). Doseringstesten viste at DOR (dispersant-to-oil ratio) 1:10 ga generelt best effektivitet for alle oljene, men det ble ikke observert store forskjeller mellom doseringsforholdet 1:10 og 1:25. Doseringsforhold 1:25 ble anbefalt da det høye doseringsforholdet 1:10 medførte noe større variasjon i analysene. Effekten av doseringsforhold 1:50 var derimot signifikant lavere enn for 1:25. Screening og doseringstesting ble utført ved 13°C. Resultatene viste ikke entydig store forskjeller mellom produktene på bunkersoljene, men generelt kom Corexit 9500 noe bedre ut på de tyngste bunkersoljene (IFO 180 og IFO-380) sammenlignet med Dasic NS og OSR-52. Bemerk at det ble utført statisk dispergering også kalt uttak for MNS-testen, dvs. at det ble utført prøvetaking etter 5 min. settlingstid ved stillstand av bølgeenergi, se også kap. 5.4 for nærmere forklaring på statisk og dynamisk prøvetaking. Gjennomsnitt IFP som

angitt i figurene menes her gjennomsnittsverdier for parallelle tester utført med MNS-testen. I resten av rapporten oppgis IFP uten betegnelsen "gjennomsnitt", selv om testene utføres som paralleller.

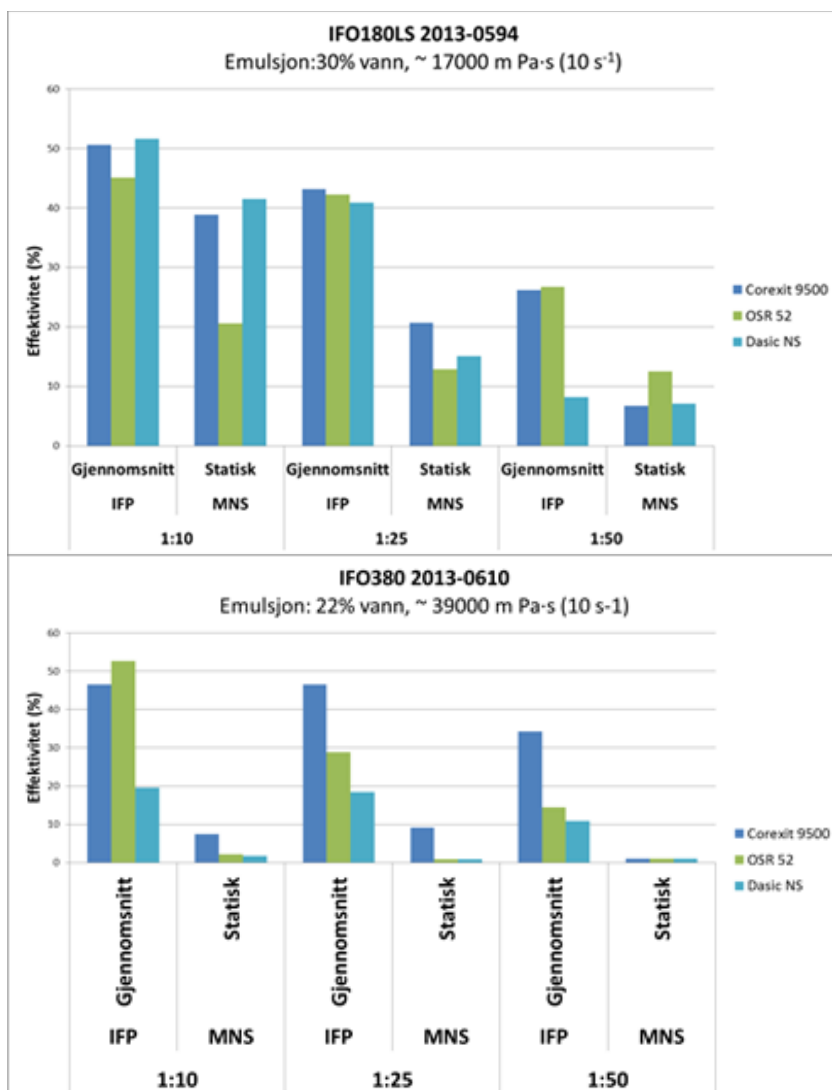
I tillegg ble det utført to dispergeringsforsøk i meso-skala i renna med IFO-180LS ved ulike forvitringstid (2 og 20 timer) før påføring av Corexit 9500, ved 13°C. Forsøkene i meso-skala renna viste at bunkersoljen hadde et potensial for å bli dispergert selv om oljen oppnådde høye viskositeter, spesielt etter 20 timers forvitring (ca. 40 000 mPa.s). Renneforsøkene indikerte også at det var behov for ca. 3 suksessive påføringsrunder før emulsjonen ble brutt og oljen kunne bli dispergert og nedblandet i vannfasen. Repeterende behandling av overflateolje med dispergeringsmiddel er også en velkjent strategi for optimal effektivitet, og har vist å være spesielt viktig for høyviskøse olje/emulsjoner.



Figur 3-1 Dispergeringseffektivitet for IFO-80LS utført ved 13 °C.



Figur 3-2 Eksempler dispergeringseffektivitet for IFO-180 NS og IFO-380LS: MNS (statisk prøvetaking etter 5 min. settlingstid) bedømt visuelt til mindre enn 5 %, dvs. ikke-dispergerbar for Dasic NS. Utført ved 13 °C.



Figur 3-3 Eksempler fra doseringstesting på IFO-180LS (øverst) og IFO-380 (nederst) med IFP og MNS, DOR 1:10, 1:25, 1:50 for Corexit 9500, OSR-52 og Dasic NS. Utført ved 13°C.

Konklusjon bunkersoljer

Etter en samlet vurdering av resultatene fra de oljene som ble benyttet i prosjektet fra 2014, var Corexit 9500 funnet å være det mest velegnete dispergeringsmiddelet, spesielt gjaldt dette bunkersoljer med høye viskositeter (~20 000 mPa·s). Dette kom også tydeligst fram for IFO-380, selv om denne oljen også var redusert dispergerbar med Corexit 9500. Videre ble Corexit 9500 valgt ut for å bestemme tidsvindu (dispergeringsgrenser) for bruk av dispergeringsmiddel som funksjon av økende forvitningsgrad og viskositeter for de ulike bunkeroljene ved 0, 5 og 13°C. Viskositetsgrensene ble benyttet som inngangsdata sammen med forvitningsdata i SINTEF Oljeforvitningsmodell (OWM) for å predikere tidsvindu for dispergeringseffektivitet over en tidsperiode ved ulike sjøtemperatur og vindhastigheter. I tillegg kunne dispergeringsforsøkene i meso-skala renna også konkludere med at bunkersoljer kan være dispergerbare (testet for IFO-180LS), men at fleregangspåføringer av dispergeringsmiddel var nødvendig for tilstrekkelig dispersjon. Dispergeringseffektiviteten er svært avhengig av emulsjonsviskositeten og for høyviskøse emulsjoner kan det ta noe tid før dispergeringsmiddelet trenger inni emulsjonen. Forsøkene i meso-skala renna viste også nødvendigheten med høye doseringer av dispergeringsmiddel, samt viktigheten av brytende bølger (tilførsel av energi) for effektiv dispersjon.

3.2 Dispergerbarhet på marine dieseloljer og hybridoljer (2016-2017)

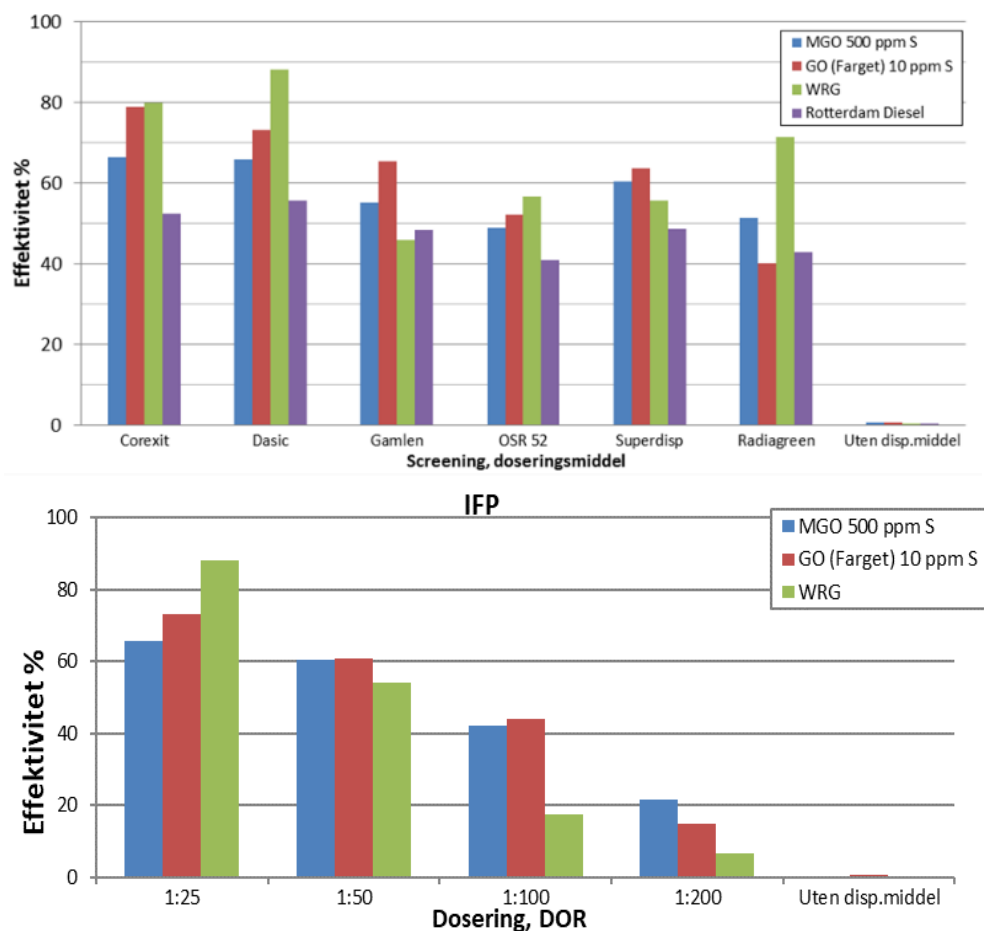
I perioden 2016-2017 ble det utført et større studium på marine dieseloljer og hybridoljer og som innbefattet både forvittringsstudie, toksisitetstester, spredningsforsøk, antennbarhet og dispergerbarhetstesting, også kalt Hybridprosjektet. Resultatene fra dette prosjektet ble gitt som separate prosjektmemo (Hellstrøm et al. 2017) og oppsummert i egen rapport (Hellstøm, 2017). I denne rapporten vil kun dispergeringstestene fra dette studiet bli omtalt.

Marine dieseloljer

Dispergeringstesting (screening og dosering) ble utført for å dokumentere effektiviteten til 6 ulike dispergeringsmidler (Corexit 9500, Dasic NS, Gamlen OD 4000, OSR-52, Superdispersant 25 og Radiagreen OSD) på tre ulike DMA-kvaliteter av marine gassoljer (MGO 500 ppm, GO 10 ppm, og en "Rotterdam" diesel), samt en Wide Range Gas Oil (WRG). Det ble ikke utført doseringstest på Rotterdam diesel. Det ble benyttet IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) for disse testene. Screening og doseringstesting på de marine dieseloljene ble utført ved 13°C. Testene ble utført for 250°C+ residu/vannfri for de marine gassoljene, mens fersk vannfri olje ble benyttet for WRG. Figur 3-4 viser at Dasic NS og Corexit 9500 var mest effektiv ved screeningstesting for disse oljene. Dasic NS ble videre valgt som dispergeringsmiddel for doseringstesting med DOR 1:25.

Doseringstesten viste at for ikke-brytende bølger (IFP-test) ga den høyeste DOR 1:25 den mest optimale dispergeringseffekten på MGO, GO og WRG. Resultatene fra MNS-testene ga generelt høyere effektivitetsverdier, og ga dermed ikke de samme klare trendene på økt effektivitet med økt dosering. Dette viser at energitilførsel kan være en viktig faktor for best mulig dispergering av dieseloljene, dvs. at under rolig værforhold kan tilførsel av energi øke dispergeringseffektiviteten. I tilfeller med høyere naturlig turbulens kan lavere dosering (f.eks. DOR 1:100) være tilstrekkelig for å oppnå tilfredsstillende dispergeringseffektivitet.

Dasic NS ble også benyttet for å bestemme tidsvindu for bruk av dispergeringsmiddel som funksjon av økende forvittringsgrad/emulsjon og viskositeter. Dasic NS ble også benyttet i meso-skala renneforsøk for to av dieseloljene (MGO og WRG) ved hhv. 2 og 13°C. Dispergeringsmiddel ble påført gjenværende overflateolje etter endt forvitring (72 timer). Bruk av dispergeringsmiddel viste seg å ha god effekt på MGO under standard forvittringsforsøk i renna ved både 2 og 13°C hvor lav-dosering var tilstrekkelig for effektiv dispergering. For WRG ble det anbefalt noe høyere doseringer (DOR 1:25 eller 1:50) spesielt ved 2°C, hvor gjentatte påføringer økte dispergeringseffektiviteten.



Figur 3-4 Øverst: Screening av dispergeringsmidler for dieseloljer. Nederst: Doseringstesting (DOR 1:25) med Dasic NS på marine diesel oljer. Alle tester ble utført ved 13 °C med IFP-metodikken. Figurer fra Hybridprosjektet 2016-2017

Hybridoljer

Det ble utført screening og doseringstesting for to ulike hybridoljer (HDME 50 og ULSFO). Testene ble utført ved 13°C med bruk av IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest). Det ble benyttet 50 vol. % emulsjoner fra fersk olje for både HDME 50 og ULSFO i disse testene. Resultater fra screeningstesten med IFP og 6 ulike dispergeringsmidler (Corexit 9500, Dasic NS, Gamlen OSD 4000, OSR-52, Superdispersant 25, og Radiagreen OSD) er oppsummert i Figur 3-5. For ULSFO viste Dasic NS og Corexit 9500 de høyeste dispergeringseffektiviteter (DOR 1:25). For HDME 50 kom Dasic NS og Radiagreen OSD best ut, mens Corexit 9500 heller virket dårlig (< 10 % effektivitet) på denne hybridoljen (DOR 1:25).

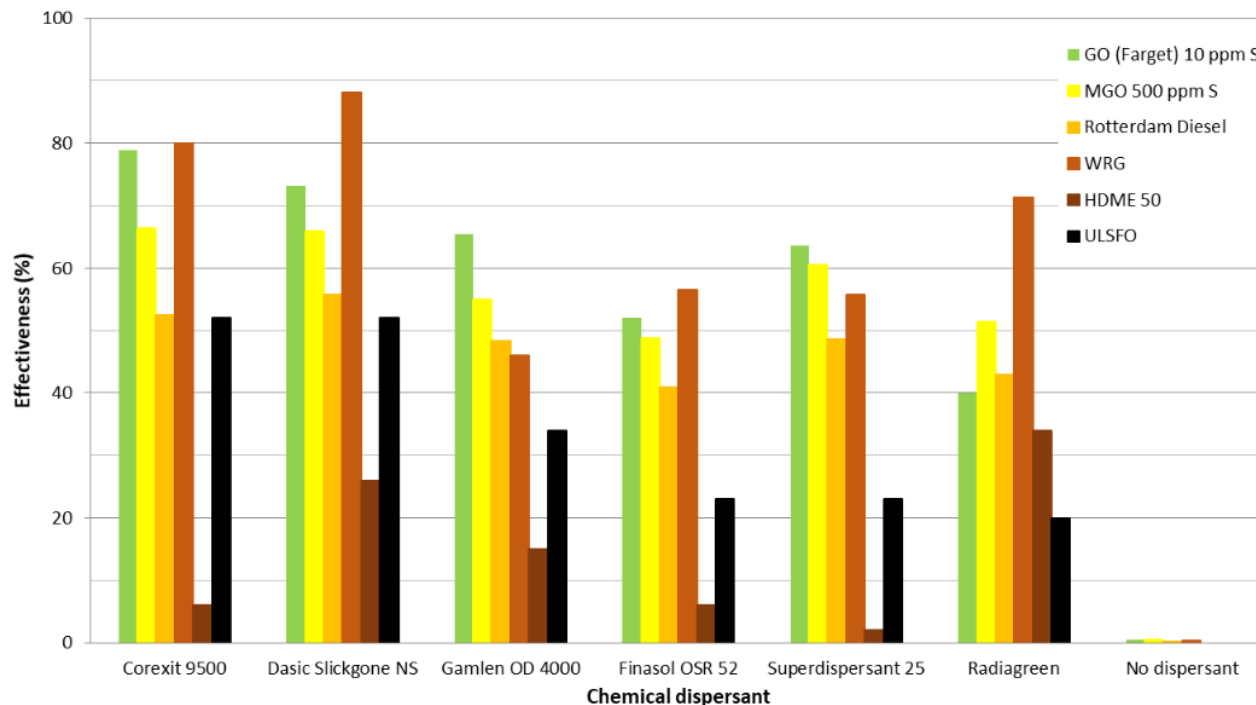
Dasic NS ble benyttet under doseringstesting som vist i Figur 3-6 for ULSFO og HDME 50. Doseringstesting utført med IFP viste at ULSFO var avhengig av dosering, dvs. ved DOR 1:25 var effektiviteten 52 %, mens for lavere DOR 1:200 var effektiviteten redusert til 5 %. Doseringstestene på MNS for ULSFO viste derimot ca. 100 % effektivitet for alle DOR. Resultatene fra doseringstesten for ULSFO er oppsummert i Tabell 3-1. HDME 50 hadde generelt lave effektiviteter med IFP, dvs. at effektiviteten ved DOR 1:25 var 26 %, og synkende ved lavere doseringsforhold. Ved økende energi (MNS) fikk olje/emulsjon av HDME 50 en effektivitet på 62 % (DOR 1:25), men kun 6 % for DOR 1:200. Resultatene fra doseringstesten for HDME 50 er oppsummert i Tabell 3-2.

Tabell 3-1 Doseringstest for ULSFO (med 50 vol. % laget av fersk olje) med IFP og MNS-test utført ved 13 °C. Viskositeter er oppgitt for emulsjonene.

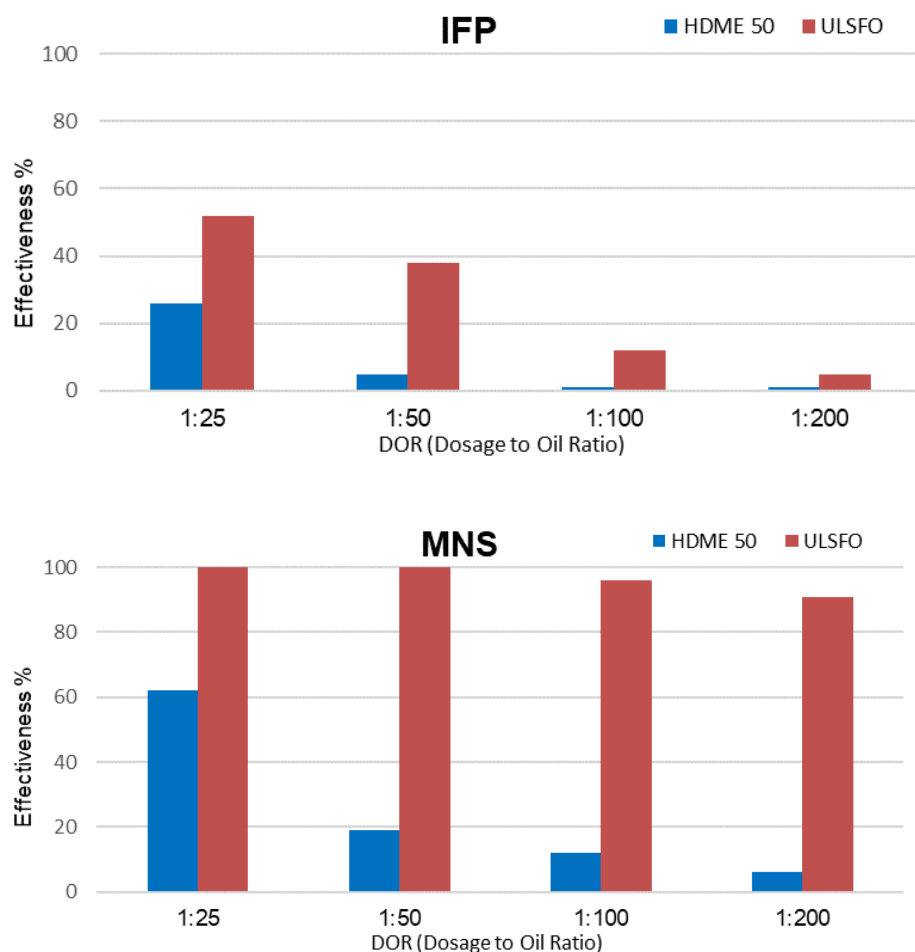
Dispersant (doseringsforhold)	Effektivitet av Dasic NS på fersk olje /50 vol. % emulsjon		Viskositet (mPa.s) 10 s ⁻¹ , 13°C
	IFP	MNS	
Dasic NS (1:25)	52	100	1336
Dasic NS (1:50)	38	100	1235
Dasic NS (1:100)	12	96	1235
Dasic NS (1:200)	5	91	1235

Tabell 3-2 Doseringstest for HDME 50 (med 50 vol. % laget av fersk olje) med IFP og MNS-test utført ved 13 °C. Viskositeter er oppgitt for emulsjoner

Dispersant (doseringsforhold)	Effektivitet av Dasic NS på fersk olje /50 vol. % emulsjon			
	IFP	Viscosity (mPa.s) 10 s ⁻¹ , 13°C	MNS	Viscosity (mPa.s) 10 s ⁻¹ , 13°C
Dasic NS (1:25)	26	4789	62	4789
Dasic NS (1:50)	5	6436	19	6299
Dasic NS (1:100)	1	6436	12	6299
Dasic NS (1:200)	1	6436	6	6299



Figur 3-5 Effektivitet for ulike dispergeringsmidler for screeningtest for de valgte oljetypene med bruk av IFP ved 13°C (DOR: 1:25). Figur fra Hybridprosjektet 2016-2017



Figur 3-6 Effektivitet fra doseringstesting med Dasic NS på IFP (øverst) og MNS (nederst) for HDME 50 og ULSFO ved 13°C. Figur fra Hybridprosjektet 2016-2017

I tillegg ble det utført standard forvitningsstudie meso-skala renneforsøk (forvitningsstudie) med begge hybridoljene (HDME 50 og ULSFO) ved 2 og 13°C. Gjenværende overflateolje/emulsjon ble påført dispergeringsmiddelet (Dasic NS) etter endt forvitring (72 timer). ULSFO stivnet med det samme like etter påføring i renna ved 2°C. Olje/emulsjonen var svært klebrig og en stor andel av oljen festet seg på veggen i renna, og kun en mindre andel (ca. 20 %) av opprinnelig mengde var tilgjengelig for dispergering. Dispergeringsmiddelet hadde etter repeterende påføring en viss effekt på emulsjonen (ca. 30 % effektivitet med kumulativ DOR 1:11, men ga ingen effekt på oljeklumper pga. høyt stivnepunkt. Ved 13°C viste også den høyviskøse forvitret olje/emulsjonen (~ 25000 mPa.s) liten effekt av dispergeringsmiddelet. Kun 20 % ble dispergert etter 3 runder med Dasic NS (kumulativ DOR 1:11). Det var ingen merkbar naturlig dispergering ved begge temperaturer. Det ble konkludert at forvitret ULSFO ikke var godt dispergerbar og var generelt lite mottagelig for dispergering.

HDME 50 stivnet ved påføring i renna 2°C, men ikke ved 13°C. Ved 13°C emulgerte HDME 50 raskt (61 vol.% etter 72 timer) og dannet en homogen emulsjon med høy viskositet (20 232 mPa.s). Ved 2°C skjedde emulgeringen derimot langsomt med stivnete oljeklumper på overflaten. Vannopptaket var lavt, 33 vol. % etter 72 timer (visk.18 730 mPa.s). Det var ingen merkbar naturlig dispergering, dvs. uten påføring av dispergeringsmiddel ved begge temperaturer. Påføring av dispergeringsmiddelet resulterte i redusert emulsjonsviskositet ved begge temperaturer. Gjentatt påføring økte dispergeringseffektiviteten. Effektiviteten

av dispergeringsmiddel var høyest ved 2°C hvor emulsjonen ble dispergert, mens oljeklumpene forble upåvirket av dispergeringsmidlet. Det ble for begge temperaturer påført Dasic NS i 3 runder med kumulativ DOR 1:10 (> 50 % effektivitet). Det ble konkludert med at repeterende påføring av Dasic NS var nødvendig for å oppnå god dispersjon av HDME 50.

Konklusjon marin diesel og hybridoljer

Basert på resultater fra screeningtestene ble Dasic NS betraktet som det mest allsidige dispergeringsmiddelet for de testede oljeproduktene, etterfulgt av Corexit 9500 som også viste relativt god effektivitet for de fleste oljene. I midlertidig var effektiviteten til Corexit 9500 lav for HDME 50 (< 10 %), men for denne oljetypen kom Radiagreen OSD (34 % effektivitet) best ut etterfulgt av Dasic NS (26 % effektivitet). Bemerk at i 2016-2017 var det ikke kjent at Radiagreen OSD ikke oppfylte krav til giftighet iht. *Forurensningsforskriften*. Forsøkene i meso-skala renna (forvitring i 72 timer) før påføring av Dasic NS viste at MGO var godt dispergerbar med lav dosering ved 2 og 13°C. For WRG ble det anbefalt noe høyere doseringer ved arktiske forhold, samt at oljen hadde god dispergeringseffekt av gjentatte påføringer av dispergeringsmiddelet. Hybridoljene ULFSO og HDME 50 var derimot generelt dårlig /reduert dispergerbare i renna.

4 Valg av oljetyper og dispergeringsmidler (2018-2019)

I dette prosjektet som startet i 2018 var hensikten å sette kunnskapshull basert på tidligere dispergeringsforsøk fra 2014 og 2016-2017 med supplerende tester på utvalgte oljetyper og dispergeringsmidler. Valg av testoljer, deres fysikalsk-kjemisk egenskaper, samt valg av dispergeringsmidler er gitt i delkapitlene under. I tillegg ble Radiagreen OSD testet for giftighet (algetest) i denne prosjektperioden, og resultatet fra denne testen er også gitt i dette kapittelet.

4.1 Testoljer

Det ble valgt ut fire oljetyper for dispergeringstesting (screening/dosering) som oppført i Tabell 4-1. Valg av oljetyperne var basert på å supplere dispergeringstesting fra tidligere forsøk som beskrevet i kapittel 3.

Oljetyperne inkluderte en DMA-kvalitet (drivstoff) av type dieselolje som i denne rapporten blir omtalt som en Marine Gas Oil (MGO). MGO er aktuell i arktiske områder da det f.eks. i naturreservatene på østsiden og i de store nasjonalparkene på vestsiden av Svalbard er kun tillatt å bruke drivstoff av type DMA-kvalitet. MGO benyttet i dette dispergeringsprosjektet er produsert ved Slagen raffineriet. Fysikalsk-kjemiske analyser, forvitringsegenskaper samt dispergerbarhetstesting er tidligere blitt utført for denne oljen (Sørheim og Daling, 2015, Hellstrøm et al, 2017, Hellstrøm, 2017).

Det ble valgt ut to typer hybridoljer av type HDME 50 (Heavy Distillate Marine ECA 50) produsert av ExxonMobil og ULSFO (Ultra Low Sulfur Fuel Oil) fra Shell. Begge hybridoljene er fra raffinerier i Nederland. Bemerk at hybridoljer er et generelt begrep for å beskrive drivstoff som ikke kan klassifiseres henhold til ISO-standard (ISO 8217). Hybridoljer produseres fortrinnsvis for å kunne erstatte tyngre, svovelrike drivstoffoljer, som bunkersoljer som følge av et strengere krav til svovelutslipp i såkalte svovelkontrollerte områder (SECA-Sulphur Emission Control Areas). Fysikalsk-kjemiske og forvitringsegenskaper, samt dispergerbarhetstesting er også blitt utført på batcher av ULSFO og HDME 50 (Hellstrøm et al. 2017, Hellstrøm, 2017).

En bunkersolje av type IFO-180LS ble også valgt ut for å utføre supplerende dispergeringstester på denne oljen hvor det eksisterer både forvitringsdata og dispergerbarhetstesting (Sørheim et al. 2014).

Tabell 4-1 Oversikt over oljetyper for dispergeringstesting

Oljetype	Beskrivelse	SINTEF ID	Kilde	Referanse	Kommentar
MGO	Diesel	2014-0551	Esso Slagen, Norge	Sørheim og Daling et al. 2015	Marinegassolje. Svovel 500 ppm
ULSFO	Hybridolje	2018-3881	Shell, Nederland	Hellstrøm 2017* Faksness og Krause, 2018 **	Ultra-Low Sulfur Fuel Oil . Batch tilsendt fra Kystverket. Benyttet under NOFO OPV 2018. Svovel < 1000 ppm
HDME 50	Hybridolje	2017-7834	ExxonMobil, Nederland	Hellstrøm, 2017***	Batch tilsendt fra Kystverket fra testhall forsøk. Svovel < 1000 ppm
IFO-180LS	Bunkersolje	2013-0594	Fra DNV GL	Sørheim et al. 2014	Bunkersolje. Lav svovel < 1 wt. %)
IFO-180LS****	Bunkersolje	2018-3882	Kystverket	Faksness et al. 2018	Bunkersolje. Lav svovel < 1 wt. %)

* ULSFO fra 2016 har vesentlig andre kvaliteter mht. tetthet, GC-FID profil og viskositet som kan innvirke på dispergeringseffektivitetene for de ulike dispergeringsmidlene.

**Forprosjekt til OPV 2018

*** Samme type olje som ble testet i dette dispergeringsprosjektet

**** Benyttet i dispergeringsforsøkene i meso-skala renna

4.2 Fysikalsk-kjemiske analyser på utvalgte testoljer

SINTEF hadde flere av testoljene stående på lager hvor de tidligere er blitt testet for dispergering under andre testbetingelser (f.eks. temperatur).

MGO (marine diesel)

Det ble utført ekstra topping/destillering av fersk MGO (SINTEF ID 2014-0551) for å lage tilstrekkelig volum av 250°C+ residu for dispergeringstesting. Det ble i denne sammenheng utført analyser av tetthet, viskositet og gasskromatografisk analyse (se GC-kromatogrammer i Appendiks B2) av toppet residu for å sammenligne med tidligere toppet 250°C+ residu (Sørheim og Daling, 2015). Analysene for 250°C+ residuet er sammenlignbare og det er ingen signifikante forskjeller i fysikalsk-kjemiske egenskaper mellom toppingene fra 2014 og 2018 (Tabell 4-2).

Tabell 4-2 Analyse av fersk og 250°C+ residu for MGO utført i 2014 og 2018 for sammenligning

MGO, SINTEF ID 2014-0551	Evap. (vol%), 2014	Evap. (vol%), 2018	Residu (wt%), 2014	Residu (wt%), 2018	Tetthet (g/ml), 2014	Tetthet (g/ml), 2018	Visk.2°C (mPa.s), 2014*	Visk.2°C, (mPa.s), 2018*
Fersk	31	31	71	71	0,852	0,852	8	-
250°C+	31	31	71	71	0,868	0,868	20	22

*Viskositet oppgitt ved skjærhastighet $10s^{-1}$

HDME 50 (hybridolje)

I dette prosjektet ble det benyttet en annen batch med HDME50 (2017-7834) enn den som ble benyttet i det tidligere Hybridprosjektet (Hellstrøm, 2017). Viskositet og tetthet var nokså like mellom disse to batchene som vist Tabell 4-3. Det forventes liten variasjon av destillater som HDME 50 sammenlignet med oljer som består av ulike fraksjoner av destillater (f.eks. ULSFO).

Tabell 4-3 Analyser av to batcher med HDME 50

HDME 50	Viskositet (mPa.s), 13°C, $10s^{-1}$	Tetthet, g/ml	Pour point, °C	Voks wt. %	Asf., wt. %	Kommentar
2016-0231	315	0,903	12	9,5	0,06	Hybridprosjektet 2016-2017
2017-7834	1005	0,909	-	-	-	Brukes som testolje for Mdir

ULSFO (hybridolje)

I dette prosjektet mottok SINTEF en ny batch av ULSFO (SINTEF ID 2018-8145) tilsendt fra Kystverket. Denne batchen ble tatt ut fra IBC-tanker hos Kystverket. Denne batchen var av samme hoved-batch som ble benyttet under Olje-på-vann (OPV) i 2018 (SINTEF ID 2018-3882). Det ble utført temperatursveip (+50 til -3°C), samt analyser av viskositet, tetthet, samt gasskromatografisk analyse (GC-FID) på den nye batchen for sammenligning med OPV 2018 batchen.

Resultatene er tabulert i Tabell 4-4. Figur av temperatursveip og GC-kromatogrammer er vist i henholdsvis i Appendiks A og Appendiks B. Basert på de fysikalsk-kjemiske analysene ble det konkludert med at begge ULSFO fra samme hoved-batch var sammenlignbare, men det forekom likevel noen avvik. Dette gjaldt spesielt avvik i viskositetsmålinger ved 10°C, skjærhastighet $10s^{-1}$. Det ble anbefalt å benytte viskositetsmålinger utført som temperatursveip for denne type olje for å gi mer reproducerbare målinger ved lave skjærhastigheter som $10s^{-1}$, enn viskositetsmålinger hvor oljen tempereres til en bestemt testtemperatur. Dette gjelder særlig i de tilfeller hvor testtemperaturen ligger vesentlig lavere enn oljens stivnepunkt. Bemerk at i det tidligere Hybridprosjektet fra 2016-2017 (Hellstrøm, 2017) ble det benyttet en helt annen batch av ULSFO (SINTEF ID 2016-0233) med andre fysikalsk-kjemiske egenskaper, som også vist i Tabell 4-4.

Tabell 4-4 Sammenligning av to uttak fra samme batch (2018) av ULSFO tilsendt fra Kystverket –fra to forskjellige IBC-tanker (det var ingen oppvarming av tanker ved prøvetaking) og en tidligere batch av ULSFO (Hybridprosjektet i 2016-2017)

Oljetype	SINTEF ID	Tetthet (g/ml)	Viskositet, mPa.s 50°C, 10s ⁻¹ temp. sveip	Viskositet, mPa.s 10°C, 10s ⁻¹ temp. sveip	Kommentar
ULSFO fersk olje	2018-3881	0,917	78	9 030	OPV 2018
ULSFO fersk olje	2018-8145	0,911	78	6 010	Dispergeringsprosjektet (2018-2019)
ULSFO fersk olje	2016-0233	0,872	11	6 350	Hybridprosjekt (2016-2017)

IFO-180LS (bunkersolje)

Tabell 4-5 viser enkel oversikt over analyser av to ulike batcher fra IFO-180LS som ble blitt benyttet i dette dispergeringsprosjektet. Grunnen til at det ble benyttet to ulike batcher av bunkersoljene var at det vi ikke hadde mer enn 2 liter gjenstående av batchen som ble benytt i dispergeringsprosjektet fra 2014 (Sørheim et al.2014), som var for et for lite volum til dispergeringsforsøk i meso-skala renna i dette prosjektet. Det er ikke store variasjoner mellom disse to batchene av IFO-180LS med hensyn på viskositet og tetthet.

Tabell 4-5 Analyser av to batcher av IFO-180LS for testing i benke-skala og meso-skala

Bunkersolje	Viskositet (mPa.s) 13°C, 10s ⁻¹	Viskositet (mPa.s) 5°C, 10s ⁻¹	Tetthet, g/ml	Stivnepunkt (°C)
IFO-180LS (2013-0594)	7426	-	0,973	6
IFO-180LS (2018-3882)	7197	27780	0.961	-

4.3 Valg av dispergeringsmidler

Det ble i utgangspunktet valgt ut fire aktuelle dispergeringsmidler av type Dasic NS, Corexit 9500, OSR-52 og Radiagreen OSD for testing i dette prosjektet. Dispergeringsmidlene ble valgt ut basert på at det foreligger god dokumentasjon på disse fra tidligere tester, samt at midlene er både relevante og tilgjengelige på verdensbasis og i Europa. Dasic NS inngår i oljevernberedskapen i Norge og var også aktuell av den grunn. I tillegg skulle dispergeringsmidlene være godkjente i Norge basert på giftighet (algetest) som gitt i kapittel 4.5 og oppsummert i Tabell 4-9. Se også kap. 2 for begrunnelse av valg av dispergeringsmidlene.

Tabell 4-6 viser en oversikt over dispergeringsmidlene ved SINTEF, når de ble anskaffet, volum, lagringsmåte og historikk.

Tabell 4-6 Oversikt over valgte dispergeringsmidler for testing

Disp. middel	SINTEF ID	Alder (år)	Mengde	Lagringsmåte	Historikk
Dasic NS	2015-0013	3	3x1000 ml + 780 ml = ca. 3780 ml	Fordelt på 4 x 1 L glassflasker	Lagret ved 4 °C
Corexit 9500	2015-0030	3	(3x1000 ml + 720 ml = ca. 3720 ml	Fordelt på 4 x 1 L glassflasker	Lagret ved 4 °C
OSR-52	2016-0039	2	500 ml	Fordeles på glassflasker	Lagret i mørkt på oljelab
Radiagreen OSD	2015-0513	3	480 ml	1 flaske	Lagret ved 4 °C

4.4 Temperatursveip på utvalgte dispergeringsmidler

Et temperatursveip fra + 20 til -15°C til ble utført på de fire dispergeringsmidlene som vist i Tabell 4-7. Viskositeter for Corexit 9500, OSR-2 og Radiagreen OSD ble målt i overkant av 250 mPa.s ved 0°C, mens Dasic NS viste noe lavere viskositet ved 0°C < 71 mPa.s. I den norske veiledningen ("*Bruk av dispergeringsmidler som beredskapstiltak*", s. 74) henvises det til en generell anbefalt viskositetsområde mellom 50 og 250 mPa.s ved 0°C, som en rettesnor for et "brukervennlig" dispergeringsmiddel. Dette er i samsvar til anbefalinger gitt i de engelske forskriftene.

Bemerk at de anbefalte viskositetsområdene var primært basert på operative erfaringer med redusert pumpekapasitet til små "heli-buckets" samt bruk av gammelt sprayutstyr på båter som tidligere var benyttet for vannbaserte produkter som en del av den engelske dispergeringsberedskapen. Ut fra erfaringer med påføringssystemer som vi har i Norge i dag ser vi derimot ikke noen operasjonelle utfordringer med bruk av noen av de utvalgte dispergeringsmidlene for viskositeter ved 0°C. Det kan derimot være variasjoner i viskositeter mellom batcher mellom de ulike dispergeringsmidlene.

Tabell 4-7 Viskositeter (temperatursveip) for de fire utvalgte dispergeringsmidlene

Disp. middel	SINTEF ID	Viskositet (mPa.s) 0°C, 10 s ⁻¹	Viskositet (mPa.s) 10°C, 10 s ⁻¹
Dasic NS	2015-0013	71	38
Corexit 9500	2015-0030	266	135
OSR-52	2016-0039	330	171
Radiagreen OSD	2015-0513	288	153

4.5 Giftighetstesting av dispergeringsmidler

4.5.1 Radiagreen OSD

I løpet av denne prosjektperioden sendte SINTEF 100 ml av dispergeringsmiddelet Radiagreen OSD for giftighetstesting til NIVA på vegne av Kystverket. Giftighetstesting av dette dispergeringsmiddelet ble utført i henhold til ISO 10253: *Water quality – Marine growth inhibition test with Skeletonema costatum and Phaeodactylum tricornutum*. Resultatene fra denne testen er beskrevet i NIVA report 2019. Radiagreen OSD viste effekt i *Skeletonema pseudocostatum* vekst med EC50 på 7 mg / l etter 72 timers eksponering (Rapport NIVA 2019), og passerte dermed ikke grensen for bruk i henhold til eksisterende myndighetskrav som er EC50 > 10 mg/l.

Resultater fra giftighetstesten i er oppsummert i Tabell 4-8. Radiagreen OSD ble i løpet av i denne prosjektperioden derfor ikke ansett som et relevant og mulig dispergeringsmiddel for Kystverket på grunn av dets giftighet. Etter at resultatet fra giftighetstesten forelå ble videre testing av dette dispergeringsmidlet avsluttet. I midlertidig er resultater fra dispergeringstestene (screening og dosering) som også innebærer Radiagreen OSD inkludert i resultatkapittelet (kapittel 5) hvor resultater foreligger, samt resultater fra tidligere tester som vist i kapittel 3. Det presiseres også at Radiagreen OSD heller ikke var et signifikant bedre dispergeringsmiddel sammenlignet med de andre produktene på de ulike oljene.

Tabell 4-8 Effekt i *Skeletonema pseudocostatum* vekst etter 72 timers eksponering (Rapport NIVA, 2019)

72 h	Concentration of test substance
EC ₅₀	7 mg/L
EC ₅₀ 95%-CL lower	3 mg/L
EC ₅₀ 95%-CL upper	19 mg/L
LOEC	≤1 mg/L
NOEC	<1 mg/L

EC₅₀ – effective concentration for 50% reduction, 95%-CL 95 – confidence limits, LOEC – lowest observed effect concentration / NOEC – no observed effect concentration

4.5.2 Oppsummering dispergeringsmidler testet for giftighet

Tabell 4-9 viser en kort oppsummering av de aktuelle dispergeringsmidlene fra dette prosjektet som er blitt testet for giftighet (Algetest, *Skeletonema*).

Tabell 4-9 Aktuelle dispergeringsmidler testet for giftighet (alge-test, *Skeletonema*)

Produkt	Giftighetstestet (<i>Skeletonema</i>)	Kommentar
Corexit 9500	Ja	Godkjent i Norge. Ble bla. benyttet under Macondo* i 2010
Dasic NS	Ja	Godkjent i Norge. Dispergeringsmiddel i beredskapslager i Norge
OSR-52	Ja	Godkjent i Norge. Er også godkjent bl.a. i UK og Frankrike
Radiagreen OSD	Ja	Godkjennes <u>ikke</u> i Norge (EC50 < 10 mg/l) **. EMSA produkt

*Deepwater Horizon - Gulf of Mexico ** Basert på NIVA rapport 2019

5 Eksperimentelt

5.1 Analysemetoder

Det ble utført ulike analyser for testoljene og dispergeringsmidlene i dette prosjektet som viskositet, temperatursveip, tetthet, gasskromatografisk analyse (GC-FID), og vanninnhold. Oversikt over analysemetoder er gitt i Appendiks C. I tillegg ble det utført topping /destillasjon av fersk MGO til et 250°C+ residu. Topping ble utført for å forvitte oljen ved å avdampe de letteste komponentene til den angitte fordampings-temperaturen. Metodikken er kjent og bla. beskrevet i Daling et al. 1990, se Appendiks C.

5.2 Tillaging av vann-i-olje emulsjoner

Tillaging av vann-i-olje emulsjoner ble utført testet vha. standard laboratoriemetodikk. Metoden er en modifisert versjon av en prosedyre utviklet av Mackay og Zagorski, 1982. Olje/residu og sjøvann roteres i 0,5L sylindriske skilletrakter i 24 timer med en omdreiningshastighet på 30 rpm. (omdreininger per minutt). Viskositet på emulsjonene ble målt før dispergeringstesting. Metoden for preparering av emulsjoner i skilletrakter er skissert i Appendiks C.

5.3 Testing av dispergeringsmidlers effektivitet (IFP/MNS)

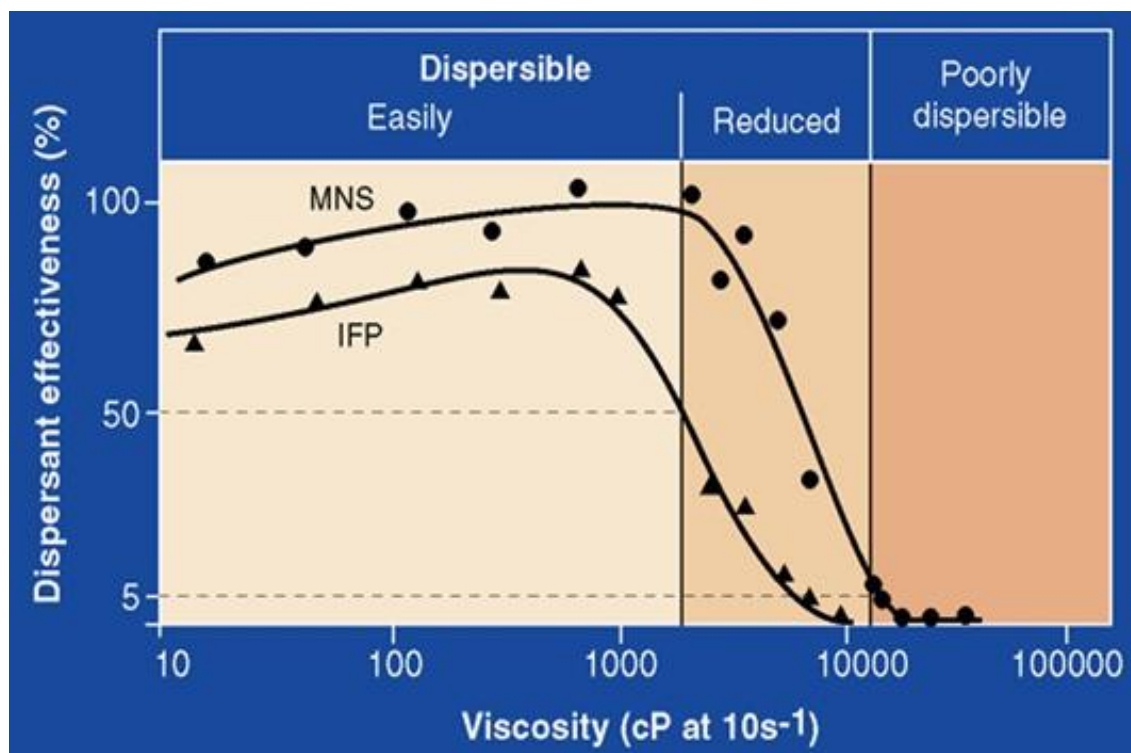
Det ble i dette prosjektet benyttet to typer laboratoriemetoder, såkalt lav-energi IFP og høy-energi MNS, for screening og doseringstesting for de valgte dispergeringsmidlene på de ulike oljetyperne. Resultatene fra dosering og screening testene er beskrevet og gitt i kapittel 6.

IFP-testen (Institut Francais du Pétrole test, Bocard et al., 1984) er den offisielle metoden brukt for godkjenning av dispergeringsmidler i Frankrike. Dette er en lav-energitest og representerer en sjøtilstand med ikke-brytende bølger (typisk 2-5 m/s vind). IFP-metoden er også en mer realistisk tilnærming til feltforhold enn mange andre testmetoder på grunn av kontinuerlig fortynning. Prøvetakingen er dynamisk hvor prøven tas mens det er energi i systemet. En skisse av IFP apparaturen er gitt i Appendiks D.

MNS-testen (Mackay and Szeto, 1980) har vært godkjenningmetoden for Canada. Energitilførselen foregår ved å blåse luft over olje / vann overflaten. Dette produserer en sirkulær bølgebevegelse som er estimert å tilsvare middels til høy sjøtilstand 5-10 m/s vind med brytende bølger. Standard mikseperiode er 5 minutter, men kan også økes til f.eks. 60 minutter (langstidsforsøk). Det kan utføres *dynamisk prøvetaking* mens det er energi tilstede eller *statisk prøvetaking* etter 5 min. settlingstid ved stillstand av bølgeenergi. For oljer som ikke lett lar seg dispergere til små dråper (μm -størrelser) kan det dannes store dråper i mm-størrelser i vannfasen som ved dynamisk prøvetaking kan gi positivt/høy effektivitet, men ved å la prøven stå i henstand i noen minutter vil de største dråpene raskt stige opp til overflaten og blir da ikke med i den statiske prøvetakingen. I dette prosjektet ble utført både dynamisk og statisk prøvetaking for enkelte av oljene da det ble observert store dråper /lumps i vannfasen som igjen kunne medføre uriktige høyre resultater for mål på effektiviteten av dispergeringsmiddel. En skisse av MNS apparaturen er gitt i Appendiks D.

5.4 Dispergeringseffektivitet med IFP og MNS metodikken

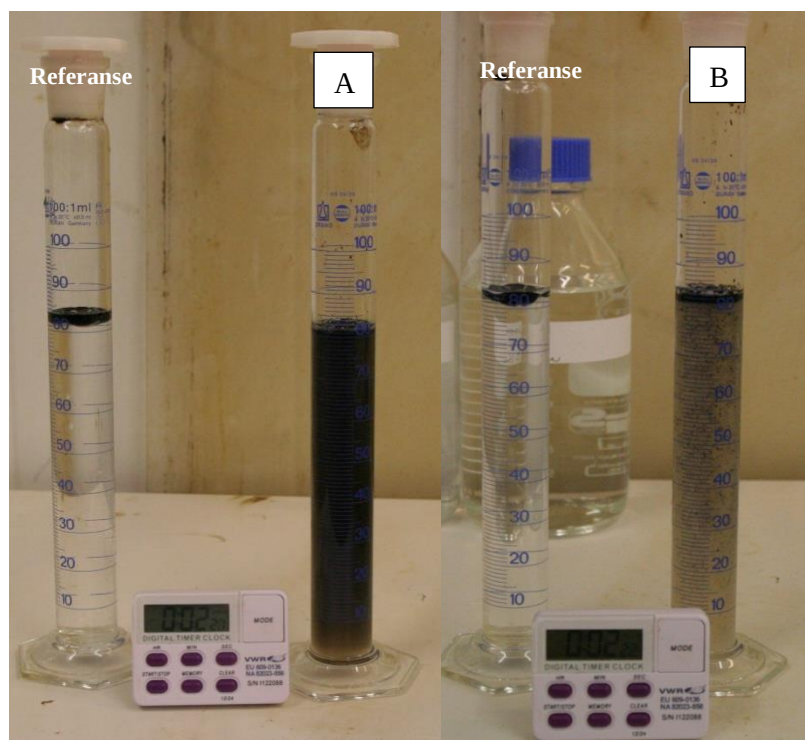
Generelt kan vi si at dersom et dispergeringsmiddel viser effektivitet større enn 50 % ved IFP-testen ansees oljen som godt dispergerbar, mens oljen er tilsvarende redusert dispergerbar med effektiviteter lavere enn 50 %. Ved 50 % effektivitet kan oljen/emulsjon fortsatt være dispergerbar, men selve dispergeringsprosessen går saktere, og det kan være behov for økt dosering og/eller økt behov for ekstra energitilførsel. Oljen sies å være redusert dispergerbar ved effektiviteter < 75 %, og ikke-dispergerbar for effektiviteter lavere enn 5 % med MNS-testen. Dette er effektivitetsgrenser som brukes i forbindelse med dispergeringstesting på råoljer ved SINTEF. Figur 5-1 viser eksempel for effektivitet av dispergeringsmiddel om funksjon av økende viskositeter for residuer /emulsjoner av olje med bruk av IFP og MNS metodikken.



Figur 5-1 Eksempel på dispergeringseffektiviteter vs. forvitring på sjø med økende viskositeter vist som effektivitet med bruk av IFP (effektivitet > 50 %; viskositetsgrense for når oljen er godt dispergerbar), og effektivitet med bruk av MNS (effektivitet < 5 %; viskositetsgrense for når oljen ikke er dispergerbar).

5.5 Feltest (FET) for testing av dispergerbarhet

SINTEF har utviklet en enkel kvalitative feltest (FET-test; Field Effectiveness Test) om gir en rask visuell vurdering av den kjemiske dispergerbarheten til en olje / emulsjon. Testen inngår bl.a. i dagens prøvetakingskoffert for bruk under oljevernaksjon. Oljens dispergerbarhet vurderes utfra visuelle kriterier (god, redusert, dårlig dispergerbar), se eksempel i Figur 5-2. FET-testen ble benyttet under dispergeringsforsøkene i meso-skala renne for en enkel og rask måte kunne si noe om oljens potensial for dispergering. I tillegg har også tidligere studier vist at denne kvalitative testen kan gi en rimelig god korrelasjon til mer kvantitative metoder (Fiocco et al. 1999A), og kan da benyttes som en enkel sjekk på en oljes/emulsjons dispergerbarhet.



Figur 5-2 FET-test. Eksempel kvalitativ sjekk på dispergerbarhet for en olje /emulsjon ut fra visuelle kriterier. A: Godt dispergerbar. B: Redusert dispergerbar

5.6 Meso-skala renne for dispergeringsforsøk

Det ble utført dispergeringsforsøk i SINTEFs meso-skala renne (Singsaas et al. 1993). Forvitring og dispergeringsstudier i slike flume-basseng har vist seg å gi nyttig supplerende dokumentasjon i tillegg til benkeskala tester og vil kunne være et bindeledd mot full-skala feltstudier (Fiocco et al. 1999A, Lewis et al. 1995, Guyomarch, 1999). Dette gjelder spesielt muligheten for å studere ulike påføringsstrategier, f.eks. effekt av suksessive (flere gangs) *in-situ* påføringer som igjen vil kunne gi viktig informasjon for optimalisering av den operative påføringsstrategien under en dispergeringsaksjon, samt indikere tidsvindu for bruk av dispergeringsmidler.

Dispergeringsforsøkene i meso-skala renna ble utført ved at oljen forvitres over en kort tidsperiode for deretter å bli påført dispergeringsmiddel *in-situ* for å vurdere effektiviteten av det aktuelle middelet på en valgt olje/emulsjon. Det ble i dette prosjektet utført 3 renneforsøk hvor valg av oljetyper, testtemperatur, dispergeringsmidler og forvitringstid ble bestemt i samråd med Kystverket etter at dispergeringstestene i benkeskala (IFP og MNS) var blitt utført og evaluert. Resultatene fra dispergeringsforsøkene i meso-skala renna er beskrevet i kapittel 7. En skisse og kort beskrivelse av meso-skala renna er gitt i Appendiks E.

6 Resultater dispergeringstesting (IFP/MNS)

Hensikten med screeningtestene er å kunne velge ut det mest effektive dispergeringsmiddelet ved ulike doseringsforhold for å rangere og sammenligne dispergeringsmidlene opp mot hverandre, og en oppsummering fra disse testene. Resultater fra dispergeringstestene (screening og dosering) ved bruk av IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) for de utvalgte dispergeringsmidlene (Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52, Radiagreen OSD) på de ulike oljetyperne (MGO, HDME 50, ULSFO og IFO-180LS) er vist i delkapitlene under. Bemerk at Radiagreen OSD ikke ble testet for alle oljene da dispergeringsmidlet viste seg å ikke bestå giftighetstesten (se kap. 4.5), og dispergeringstesting med Radiagreen OSD ble derfor stoppet underveis i testserien. Screeningtesten ble utført for å skille ulike dispergeringsmidler fra hverandre basert på effektivitet (%) testet på den aktuelle oljen /emulsjon med ulike dispergering-til-oljeforhold (DOR). I dette prosjektet ble benyttet DOR 1:25, 1:50, 1:100 og 1:200 hvor ikke annet er spesifisert, samt ingen tilsats av dispergeringsmiddel (blankprøve) hvor ikke annet er oppgitt.

Laboratoriet benytter seg av LIMS (Laboratory information management system) som er en programvare hvor prøvingsresultater og data blir registrert for bla. sporbarhet og kvalitetssikring. Det ble utført 2 paralleller tester for IFP (± 20 % usikkerhet) og en parallell for MNS etter standard prosedyre for dispergerbarhetstesting ved laboratoriet.

6.1 Screening og doseringstesting – MGO (2°C)

Det ble utført effektivitetstesting med dispergeringsmidler, både screening og doseringstesting på MGO 500ppm S (SINTEF ID: 2014-0551) ved 2°C for å simulere arktiske temperaturforhold. Testing ved 2°C ble utført for å supplere de eksisterende analyser som tidligere var utført ved 13°C (screening og dosering) med alle 4 dispergeringsmidlene. Vannfri 250°C+ residu ble benyttet for dispergeringstesting på MGO. Det ble utført både screening og doseringstesting med bruk av IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest). Dispergeringstesting med bruk av MNS har tidligere vist høy effektivitet ved 13 °C (Hellstøm, 2017), og var derfor også forventes høy effektivitet også ved lavere sjøtemperaturer pga. lav viskositet og lavt stivnepunkt for denne oljen. I tillegg vil dispergering av MGO (diesel) trolig være mest aktuelt under rolige værforhold, da brytende bølger vi kunne dispergere oljen naturlig i vannmassen.

For å beregne effektiviteter av dispergeringsmidler testet på MGO ble ekstraktene kvantifisert på GC-FID i stedet for spektrofotometri (UV) som er standardmetoden. Dette ble gjort siden egenfargen på ekstraktene var såpass lyse/blanke at de ikke kunne kvantifiseres på UV. MNS og IFP-prøvene ble derfor ekstrahert med p.a. kvalitet diklormetan (DCM) før filtrering og påfølgende analyse. Ekstraktene ble fortynnet til nøyaktige volum (f.eks. 250 ml), og av dette ekstraktet ble det tatt ut 900 µl til GC-kvantifisering. I hver av prøvene på 900 µl ble det tilsatt internstandard (RIS-THC). Resultater ble justert i forhold til internstandard.

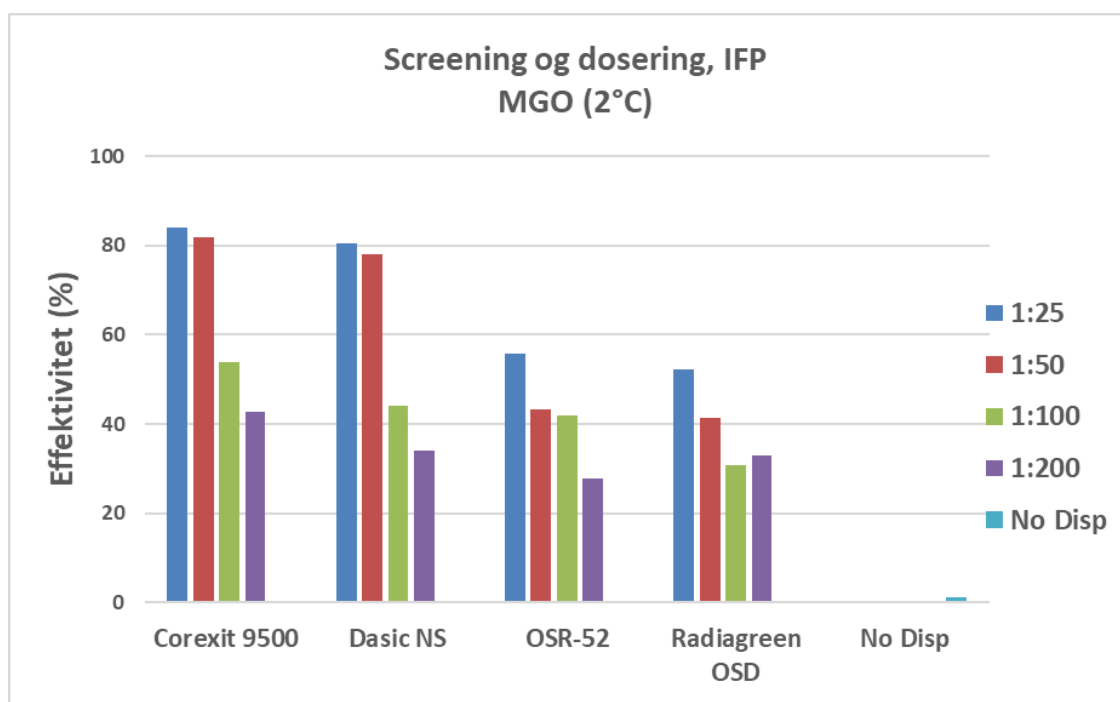
Resultatene fra screening og doseringstesten for IFP er sammenstilt i Tabell 6-1 og vist i Figur 6-1.

Tabell 6-1 IFP- Screening og doseringstesting for emulsjoner av MGO (250°C+/ vannfri) ved 2°C (DOR 1:25)

MGO, IFP effektivitet (%)	Corexit 9500	Dasic NS	OSR-52	Radiagreen OSD	Ingen disp.middel	Viskositet, (mPa.s) 2°C*
1:25	84	80	56	52	-	22
1:50	82	78	43	41	-	22
1:100	54	44	42	31	-	22
1:200	43	34	28	33	-	22
Blankprøve	-	-	-	-	0	22

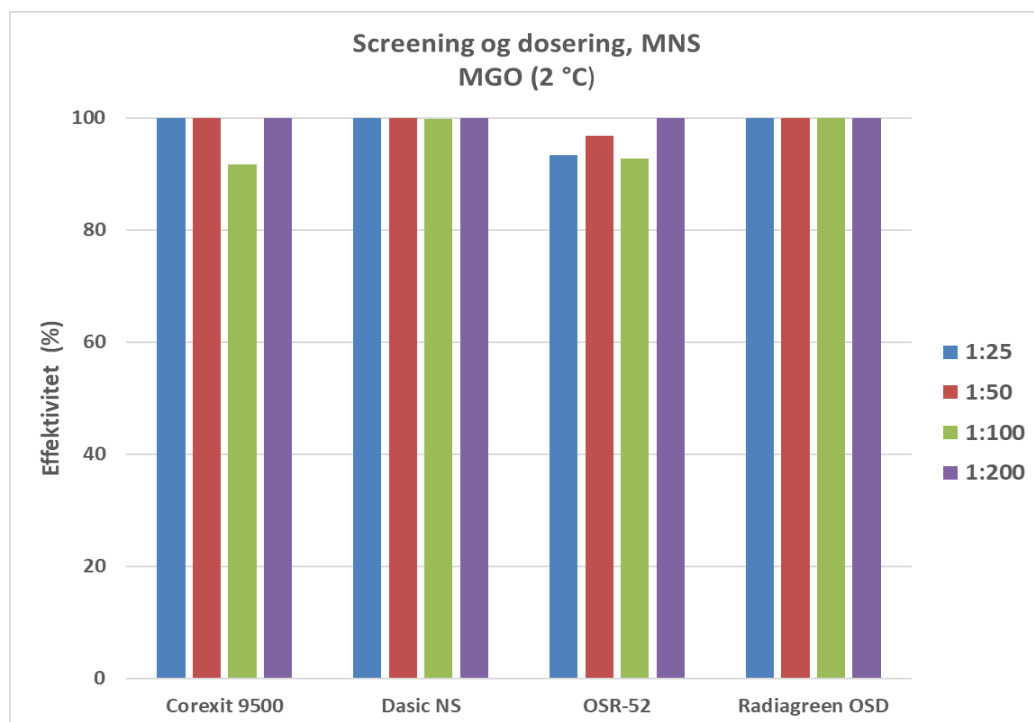
*Viskositeter målt ved skjærhastighet $10s^{-1}$

Screening og doseringstestene med IFP viste alle dispergeringsmidlene en reduksjon i effektivitet ved avtagende doseringsforhold, hvor DOR 1:25 viste høyest effektivitet, mens DOR 1:200 viste lavest effektivitet (Figur 6-1). Blankprøven med MGO uten tilsats av dispergeringsmiddel viste ingen dispersjon med lav-energitesten (IFP), dvs. at under rolig værhold vil ikke denne lav-viskøse oljetypen dispergere naturlig. Det trengs enten påføring av dispergeringsmiddel og eller i kombinasjon av økende energiforhold som vist med MNS for at MGO skal være dispergerbar. Corexit 9500 og Dasic NS viste høyest effektivitet for IFP ved DOR 1:25, 1:50, og til en viss grad ved DOR 1:100. OSR-52 og Radiagreen OSD viste generelt lavere effektivitet enn Corexit 9500 og Dasic NS, spesielt ved høyere doseringsforhold.



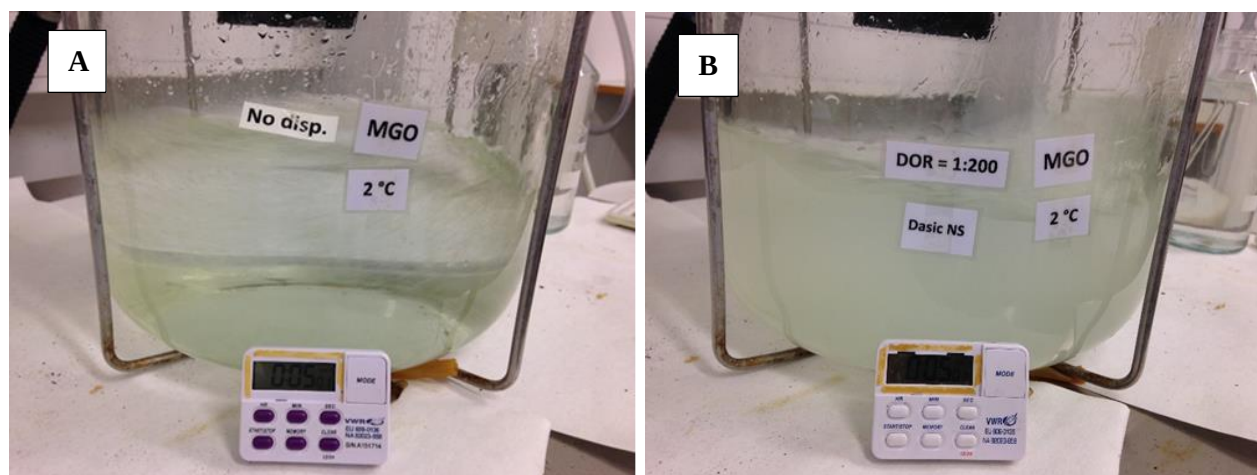
Figur 6-1 Screening og doseringstesting for MGO (250°C+/vannfri) ved 2°C med IFP (lav-energitest)

Screening og doseringstesten med MNS viste at alle dispergeringsmidlene samt blankprøven uten tilsats av dispergeringsmiddel, hadde bortimot 100 % effektivitet for alle DOR (Figur 6-2). Resultantene er ikke tabulert pga. liten/ingen variasjon mellom prøvene. Resultatene bekreftet også at MGO er en svært lett-dispergerbar olje både med eller uten tilsats av dispergeringsmiddel ved brytende bølger (høyenergi). En rangering av dispergeringsmidlene basert på DOR var derfor ikke mulig under standard prøvetaking, dvs. dynamisk uttak etter 5 minutter.



Figur 6-2 Screening og doseringstesting for MGO (250°C+/vannfri) ved 2°C med MNS (høy-energitest) – dynamisk uttak etter 5 min.

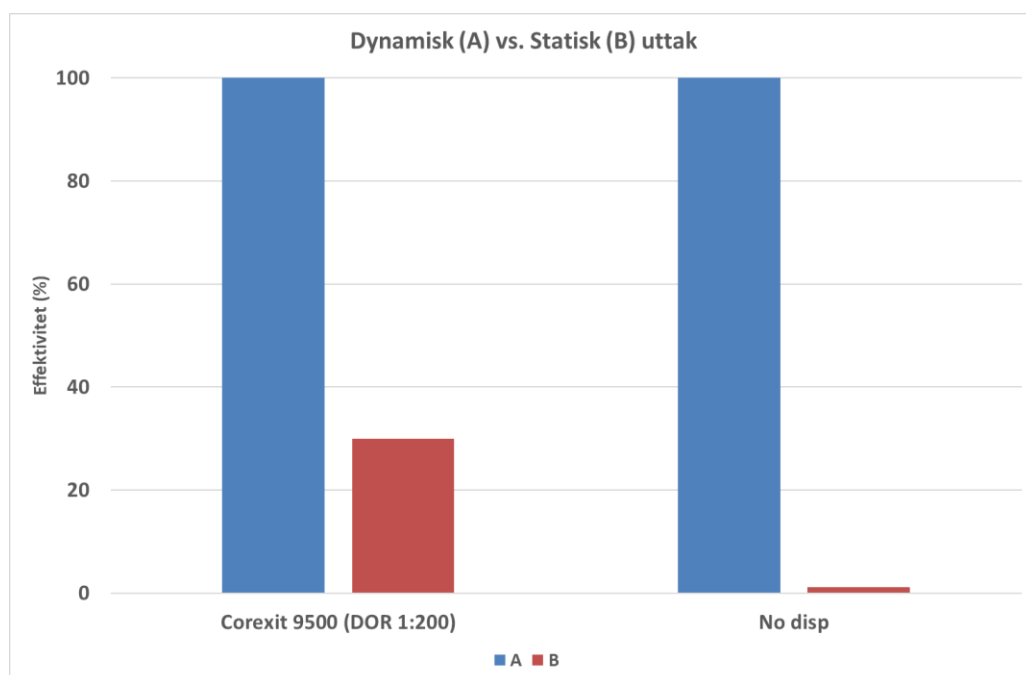
Som nevnt ovenfor viste også MNS-testen høy effektivitet (ca. 100 %) selv med ingen tilsats av dispergeringsmiddel tilsvarende som vist i Figur 6-2. Figur 6-3 viser en visuell sammenligning av en blankprøve og en test med tilsats dispergeringsmiddel. MGO med tilsats av dispergeringsmiddel ga blakking pga. små oljedråper i vannmassen, mens prøven med ingen tilsats av dispergeringsmiddel (blankprøven) viste visuelt store oljedråper i MNS-karet.



Figur 6-3 MGO (250°C+/vannfri). A: MNS-test med ingen tilsats av dispergeringsmiddel B: MNS-test med Dasic NS, DOR 1:200

Det ble videre utført en test med ingen tilsats av dispergeringsmiddel og en tilsvarende test med Corexit 9500 (DOR 1:200) på MGO med statiske prøveuttak, dvs. prøveuttak etter 5 min. settlingstid. Dette var for å sjekke om den høye effektiviteten etter dynamisk uttak kunne skyldes nedblanding av store dråper eller om det var en reell dispersjon av mindre dråper. Resultater fra denne testen er vist som stolpediagrammer i Figur 6-4, hvor

statisk uttak hadde en vesentlig lavere dispergeringseffektivitet sammenlignet med dynamisk uttak. Dette gjenspeiler at andelen av større dråper ca. $> 70\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$ har steget raskt til overflaten etter henstand, mens en mindre andel av dispergerte (små) dråper ca. $< 70\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$ som dispersjon forblir i vannmassen etter endt settlingstid (5 min.). Dette fenomenet ble observert og målt både for blankprøven og for prøven med tilsats av dispergeringsmiddel. Dråpestørrelser ble ikke målt under forsøkene, men refererer til tidligere studier f.eks. Daling et al. 1990) og "Stokes lov" iht. stigehastighet av oljedråper (cm/time) ved henstand.

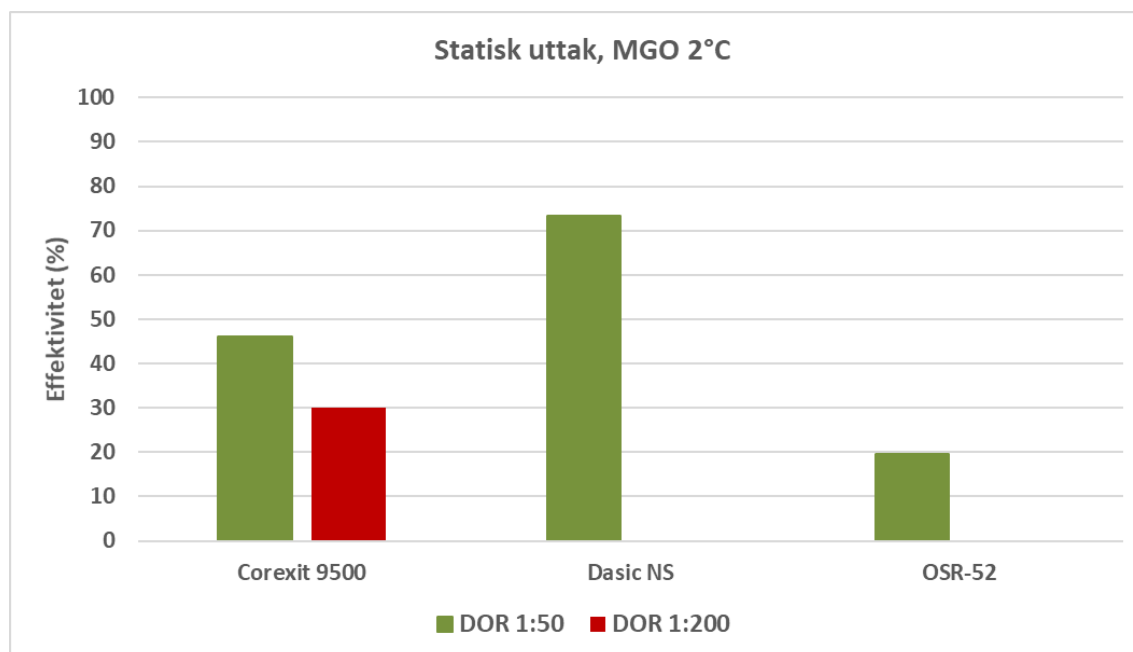


Figur 6-4 MGO (250°C+/vannfri): Dynamisk uttak (A) vs. Statisk uttak (B) med Corexit 9500, DOR 1:200, og uten tilsats av dispergeringsmiddel (blankprøve)

Det ble derfor besluttet at det skulle utføres screeningtesting med alle dispergeringsmidlene (Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52) med statisk uttak med ett valgt DOR 1:50. Dette for å undersøke om det var mulig å skille mellom dispergeringsmidlene på denne måten. Resultatene er oppsummert i Tabell 6-2 og vist som stolpediagrammer Figur 6-5. Dasic NS ga en vesentlig høyere effektivitet (73%) sammenlignet med Corexit 9500 (46 %) og OSR52 (20 %) ved statisk uttak på MNS. Det er forventet at effektiviteten også for de to andre dispergeringsmidlene vil bli tilsvarende redusert ved lavere dosering slik som vist for Corexit 9500, DOR 1:200 (30 %), og høyere effektiviteter ved DOR 1:25.

Tabell 6-2 MGO (25°C+/vannfri) ved 2°C - Statisk uttak med MNS (høy-energitest)

Statisk uttak - MNS	Corexit 9500 (% effektivitet)	Dasic NS (% effektivitet)	OSR-52 (% effektivitet)
DOR 1:50	46	73	20
DOR 1:200	30	-	-



Figur 6-5 MGO (250°C+/vannfri) ved 2°C – Statisk uttak for Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 med DOR 1:50 (grønne stolper) samt Corexit 9500, DOR 1:200 (rød stolpe), se Figur 6-4

6.2 Screening og doseringstesting – HDME 50 (13°C)

Screening og doseringstesting på HDME 50 (SINTEF ID 2017-7834) ble utført ved 13°C med 50 vol.% vann-i-olje (v/o) emulsjon basert på den ferske oljen. Disse testene ble utført for å supplere med tidligere testing (Hellstrøm et al., 2017) utført på en eldre tilsvarende batch av HDME 50. Screening og doseringstesting ble den gang utført med DOR 1:25 med kun Dasic NS (IFP og MNS). I tillegg ble det i dette prosjektet supplert med en screeningstest ved 5°C for å undersøke effektiviteten ved vintertemperatur for ulike dispergeringsmidlene, samt om man fikk en rangering av de valgte dispergeringsmidlene også ved en lav testtemperatur. Screeningstesten for 5°C ble utført med DOR 1:25 for alle dispergeringsmidlene med IFP og MNS. For MNS-testene ble det utført dynamisk prøvetaking.

Resultatene fra screening og doseringstestene ved 13°C for IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) er gitt i Tabell 6-3 og Tabell 6-4 og illustrert som stolpediagrammer i Figur 6-6 og Figur 6-7.

Tabell 6-3 IFP- Screening og doseringstesting for emulsjoner av HDME 50 (50 % emulsjon) ved 13°C

HDME 50 (50 vol.%) IFP effektivitet (%)	Corexit 9500	Dasic NS	OSR-52	Radiagreen OSD	Ingen disp.middel	Viskositet, (mPa.s) 13°C*
1:25	25	57	25	33	-	2000
1:50	31	32	27	21	-	2417
1:100	16	8	12	8	-	2255
1:200	5	5	5	5	-	2201
Blankprøve	-	-	-	-	0,1	2201

*Viskositeter målt ved skjærhastighet $10s^{-1}$

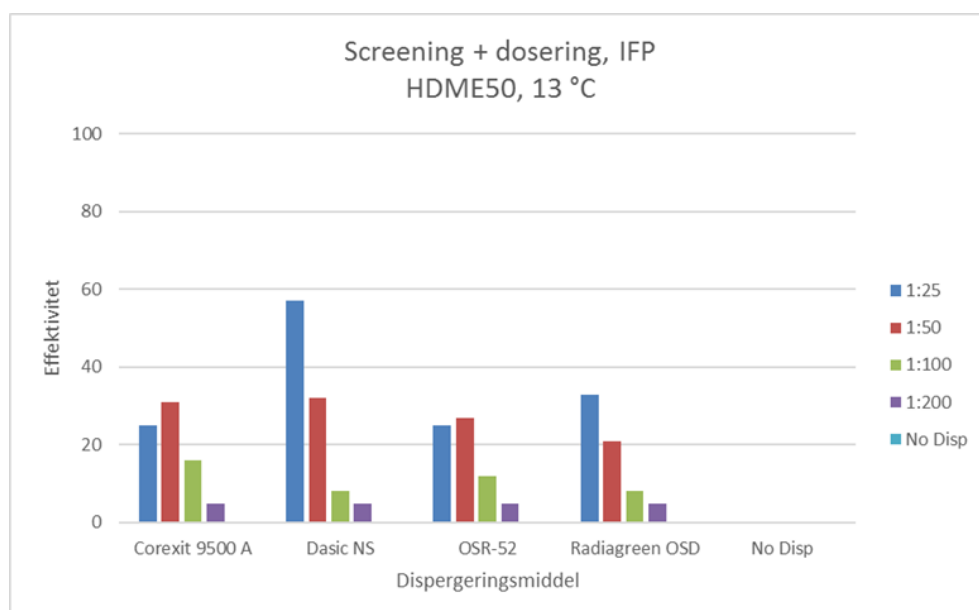
Tabell 6-4 MNS - Screening og doseringstesting for emulsjoner av HDME 50 (50 % emulsjon) ved 13°C

HDME 50 (50 vol.%) MNS effektivitet (%)	Corexit 9500	Dasic NS	OSR-52	Radiagreen OSD	Ingen disp.middel	Viskositet, (mPa.s) 13°C*
1:25	96	100	100	99	-	2000
1:50	97	96	97	87	-	2417
1:100	83	95	85	64	-	2255
1:200	56	48	57	32	-	2201
Blankprøve	-	-	-	-	0,4	2201

*Viskositeter målt ved skjærhastighet $10s^{-1}$

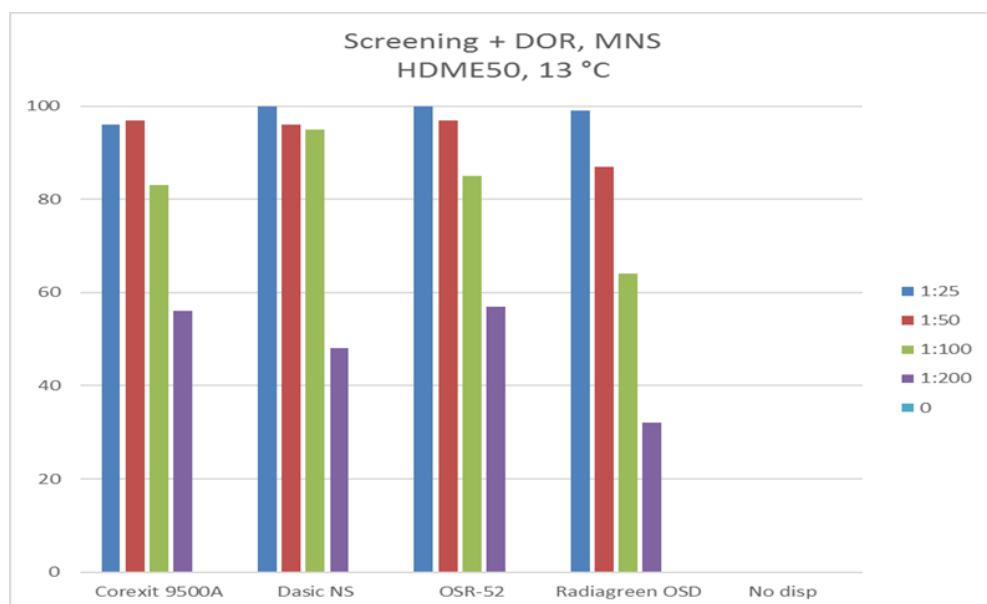
Figur 6-6 viser at Dasic NS har høyest effektivitet (57%) for IFP-testen (13°C) med DOR 1:25, mens de andre dispergeringsmidlene viste betydelig lavere effektiviteter fra 25-33 % med samme doseringsforhold. Corexit 9500 og OSR-52 hadde de laveste effektivitetene (25 %), mens Radiagreen OSD oppnådde en effektivitet på 33%. Ved lavere DOR 1:50 ble effektiviteten for Dasic NS også redusert (32 %), mens ved DOR 1:100 og DOR 1:200 viste alle dispergeringsmidlene liten effekt på HDME 50 (50 vol% emulsjon). Blankprøven viste nærmest null effektivitet med ingen tilsats av dispergeringsmiddel. Resultatene ved 13°C er også i samsvar med tidligere testing av HDME 50 (Hellstrøm et al., 2017, Hellstrøm 2017) med IFP, hvor Corexit 9500 og OSR-52 kom dårligst ut sammenlignet med Dasic NS og Radiagreen OSD.

For screening og doseringstesten med MNS ved 13°C (Figur 6-7) viste dispergeringsmidlene samme trender, dvs. at Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 og Radiagreen OSD har høye effektiviteter (> 80 %) ved DOR 1:25, 1:50 og 1:100 (Radiagreen OSD viste dog litt mer redusert effektivitet). Ved den laveste DOR 1:200 har samtlige dispergeringsmidler derimot reduserte effektiviteter (32-57 %). Den tidligere doseringstesten fra hybridprosjektet 2016-2017 med Dasic NS viste også den gang at effektiviteten ble betydelig redusert ved avtagende doseringsforhold. Bemerk at i dette prosjektet indikerte dispergeringstestingen på HDME 50 generelt høyere effektiviteter med MNS sammenlignet med en eldre batchen av HDME 50 (Hellstøm et al., 2017), men resultatene viser samme trender dvs. at dispergeringseffektiviteten er sterkt avhengig av doseringsforholdet.



Figur 6-6 Screening og doseringstesting på HDME 50 Screening og doseringstesting for HDME 50 (50 % emulsjon) ved 13°C med IFP (lav-energitest) ved 13°C

(13°C) med IFP (lav-energitest)



Figur 6-7 Screening og doseringstesting på HDME 50 (50 % emulsjon) ved 13°C med MNS (høy-energitest), ved 13°C

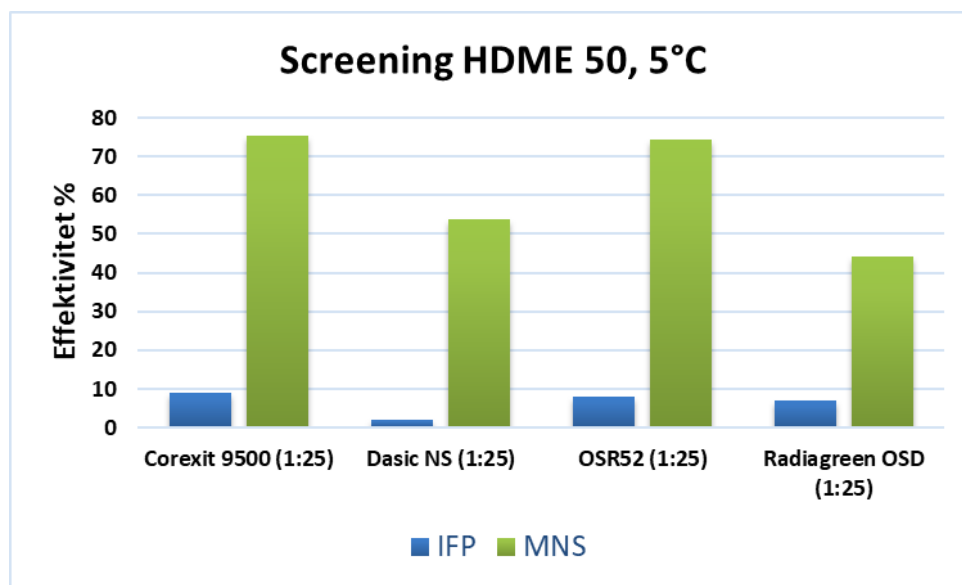
6.3 Screeningtesting – HDME 50 (5°C)

Resultater fra screeningtesten for HDME 50 (50 vol.% emulsjon) ved 5°C (DOR 1:25) er vist i Tabell 6-5 og Figur 6-8. Screeningtesting viste tydelig forskjell i dispergeringseffektivitet ved bruk av lav-energitesten IFP sammenlignet med høy-energitesten MNS (Figur 6-8). Det ble målt svært lave effektiviteter (<10 %) for IFP for alle dispergeringsmidlene. Med MNS-testen viste derimot både Corexit 9500 og OSR-52 høye effektiviteter (74-75%) etterfulgt av Dasic NS (54 %), mens Radiagreen OSD oppnådde lavest effektivitet på 44 %. Figur 6-9 viser eksempler på fargenyanser for ekstrakter etter endt dispergeringstesting ved 5°C før kvantifisering av dispergert olje på UV. Egenfargene på ekstraktene var sterkest med bruk av MNS sammenlignet med IFP, som også gjenspeiler resultatene. Det var derimot ikke mulig å skille dispergeringsmidlene fra hverandre basert på egenfargene, alene. Dispergeringstestene ved vintertemperatur (5°C) indikerte også at hybridoljen (HDME 50) vil kunne kreve energi, enten i form av brytende bølger og/eller ved kunstig energitilførsel, etter påføring av dispergeringsmiddel i en dispergeringsaksjon, dette for å oppnå en tilstrekkelig god dispersjon.

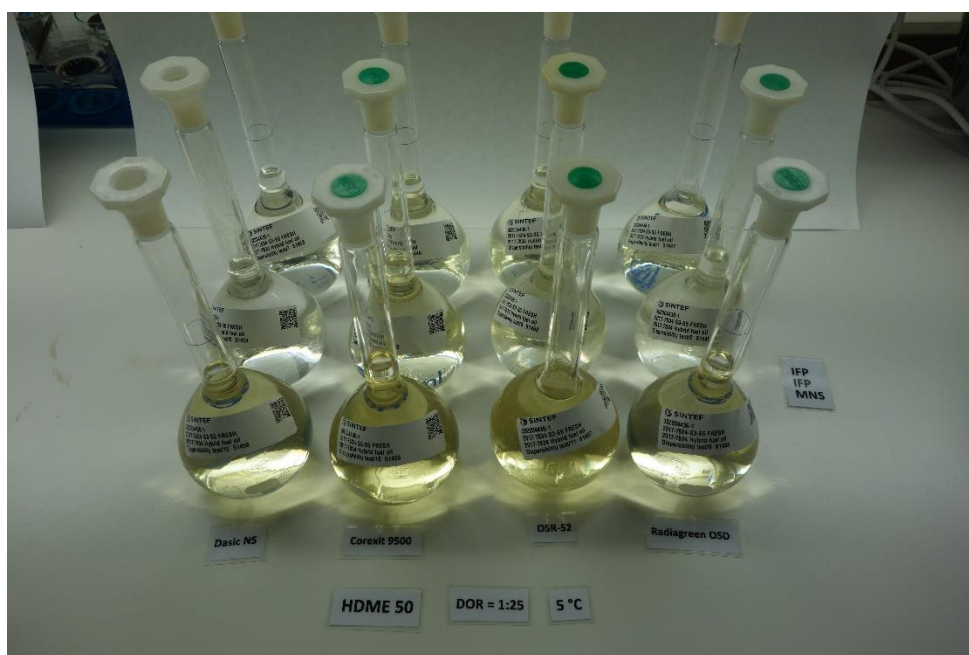
Tabell 6-5 Screeningtesting på HDME 50 (50 % emulsjon) ved 5°C (DOR 1:25)

HDME 50 (50 vol.%)	IFP effektivitet (%)	MNS effektivitet (%)	Viskositet, (mPa.s) 5°C*
Corexit 9500	25	57	7518
Dasic NS	31	32	7518
OSR-52	16	8	7518
Radiagreen OSD	5	5	7518

*Viskositet målt ved skjærhastighet $10s^{-1}$



Figur 6-8 Screeningtesting på HDME 50 (50 % emulsjon) ved 5°C med MNS (høy-energitest). DOR 1:25, ved 5°C



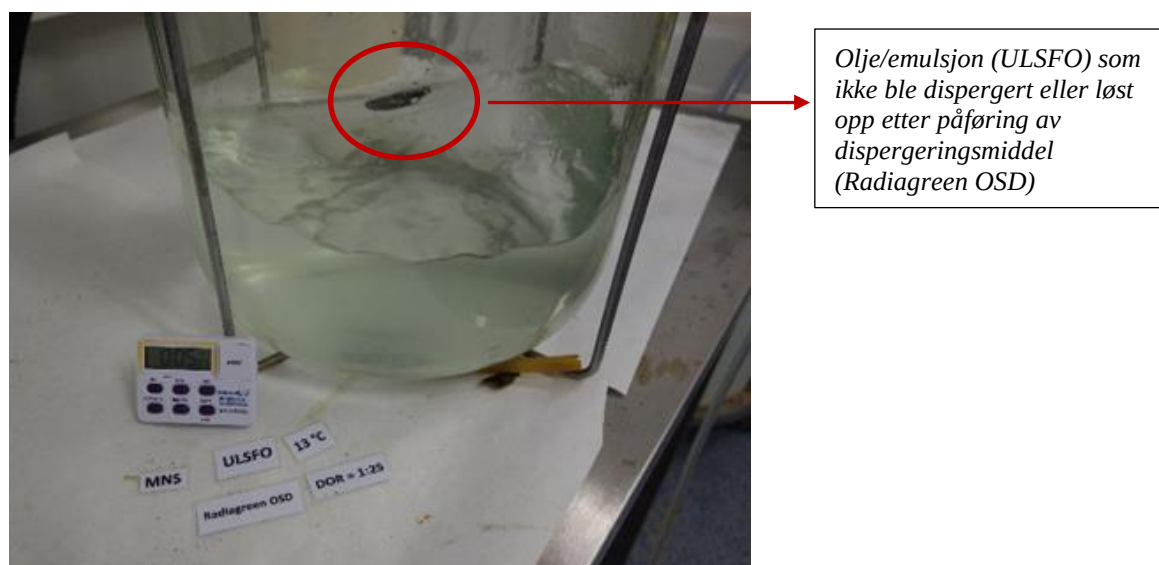
Figur 6-9 Ekstrakter fra screeningtesting på HDME 50 (50 % emulsjon) ved 5°C. Fremste rad er fra MNS-testen de to bakerste radene med lyseste ekstraktene er fra IFP- testen.

6.4 Screening og doseringstesting – ULSFO (13°C)

Screening og doseringstesting ble utført på en batch av ULSFO fra 2018 (SINTEF ID 2018-8145) på 13°C. I utgangspunktet var det planlagt å utføre screening og doseringstesting med tillegg av en 50 vol. % v/o-emulsjon basert på fersk olje for å supplere og sammenligne resultater med et tidligere studium (Hellstrøm et al. 2017, Hellstrøm, 2017) av ULSFO. Doseringstesten ble den gang utført med ett dispergeringsmiddel (Dasic NS) på IFP og MNS. I midlertidig ble det i studiet fra 2016-2017 benyttet en annen produsert batch av ULSFO (SINTEF ID 2016-0233) som hadde vesentlige andre fysikalsk-kjemisk egenskaper enn den nyere batchen fra

2018. Den tidligere batchen fra 2016 hadde bla. lavere tetthet (0,872 g/ml) sammenlignet med batchen fra 2018 (0,911 g/ml), hadde lavere viskositeter, samt at forskjeller også er vist for hydrokarbonprofilen (nC_5 - nC_{40}), se GC-kromatogrammer for sammenligning i Appendiks B2. Den tyngre og mer høyviskøse ULSFO fra 2018 som ble benyttet i dette prosjektet tok ikke opp mer enn ca. 30 % vann og hadde et sakte vannopptak over 24 timer. Emulsjonene hadde viskositeter rundt 23-30000 mPa.s ved 13°C ($10s^{-1}$) og oljen stivnet lett i romtemperatur.

Da det ble startet opp med testing på ULSFO med DOR 1:25 på IFP ble raskt observert at lav-energitesten ikke ga noen form for dispersjon med verken med Corexit 9500 eller Radiagreen OSD. Det ble derfor besluttet å ikke gå videre med de andre dispergeringsmidlene på IFP, men valgte i stedet å gå rett på med både statisk og dynamisk uttak med høy-energitesten MNS for å sjekke ut om begge uttak kunne gi resultater og dokumentetere en eventuell rangering mellom dispergeringsmidlene. Det viste seg at Radiagreen OSD ikke hadde noen form for effekt på MNS med den høyeste DOR 1:25 (Figur 6-10), mens Corexit 9500, Dasic NS, og OSR-52 hadde en viss effekt med tilsvarende doseringsforhold.



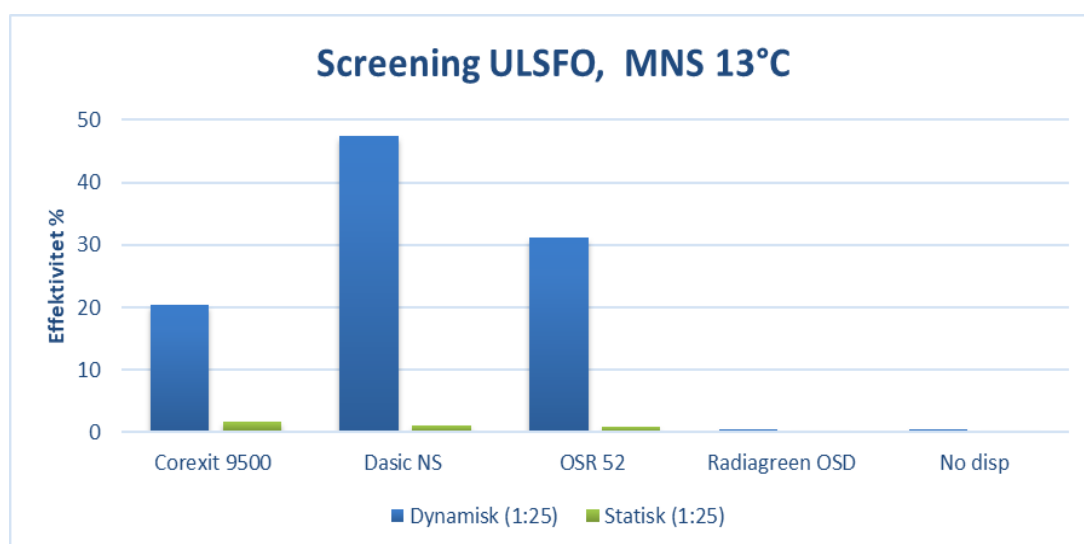
Figur 6-10 MNS testing på ULSFO (30 % emulsjon) med Radiagreen OSD (DOR 1:25), ingen effekt av dispergeringsmiddel ved 13°C (se også Figur 6-13)

Det er dynamisk prøvetaking ved energi tilstede som er standard for prøvetaking på MNS og er på den måten mer "realistisk" i felt. Statisk prøvetaking dvs. når bølgen stoppes i 5 minutter før prøvetaking ble vurdert i de tilfeller hvor MNS viser bortimot 100 % eller hvor det kan dannes større tråder eller klumper i vannfasen.

For ULSFO ble det målt neglisjerbare dispergeringseffektiviteter (<5%) etter statisk prøvetaking med DOR 1:25. Det ble observert liten andel dispersjon i vannfasen etter 5 min. henstand både med Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 sammenlignet med dynamisk prøvetaking, se Tabell 6-6 og Figur 6-11. Større tråder vil kunne flyte opp til overflaten ved henstand (før statisk uttak), mens små dråper forblir i vannfasen, men en visuell inspeksjon viste også lite dispergerte oljedråper i vannfasen. Basert på svært liten effektivitet for DOR 1:25 – både kvantifisert og etter visuell inspeksjon, var det også forventet samme observasjoner med andre doseringsforhold. Det ble derfor besluttet å ikke gå videre med statisk uttak fra MNS. For dynamisk uttak viste Dasic NS høyest dispergeringseffektivitet (48 %) sammenlignet med Corexit 9500 (21 %) og OSR-52 (31 %). Radiagreen OSD viste ingen effekt (0.4 %). Det ble valgt å gå videre med dynamisk dispergering for å undersøke om testene samt den visuelle inspeksjonen var forskjellig mellom dispergeringsmidlene med andre doseringsforhold.

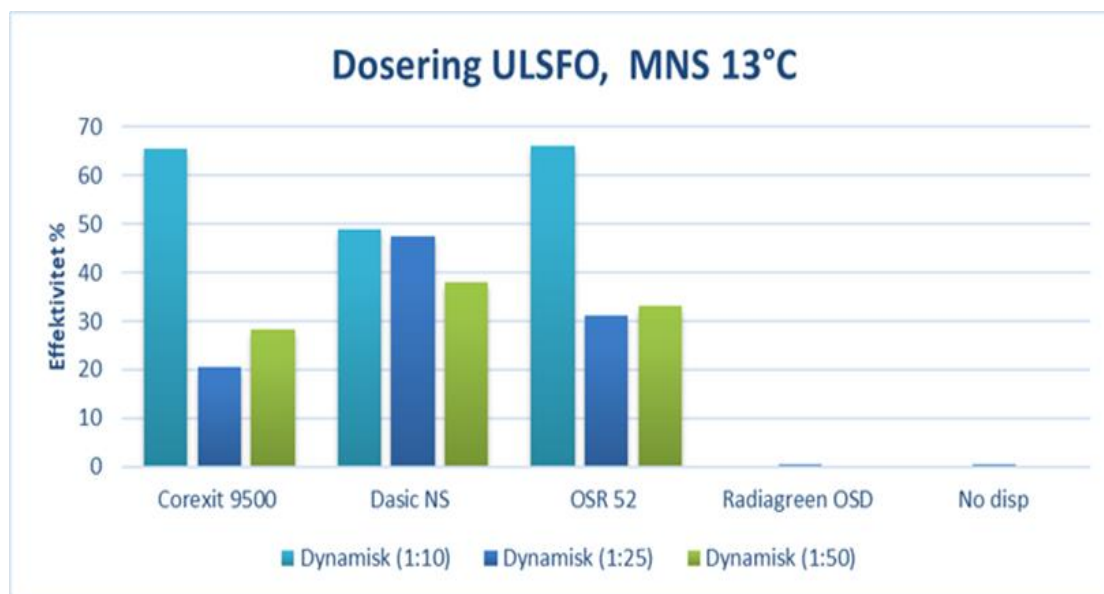
Tabell 6-6 Screening ULSFO 30 % emulsjon (DOR 1:10 og DOR 1:25). Dynamisk vs. statisk dispergering (prøveuttak) på MNS. Viskositeter 23-29 000 mPa.s ($10s^{-1}$), ved 13°C

Dispergeringsmidler	MNS (%) Dynamisk (DOR 1:25)	MNS (%) Statisk (DOR 1:25)	MNS Dynamisk (1:50)	MNS Dynamisk (1:10)	MNS Statisk (1:10)
Corexit 9500	21	1.7	28	66	4.5
Dasic NS	48	1	38	49	3.5
OSR-52	31	0.8	33	66	2.9
Radiagreen OSD	0.4	-	-	-	-
No disp (blankprøve)	0.4	-	-	-	-

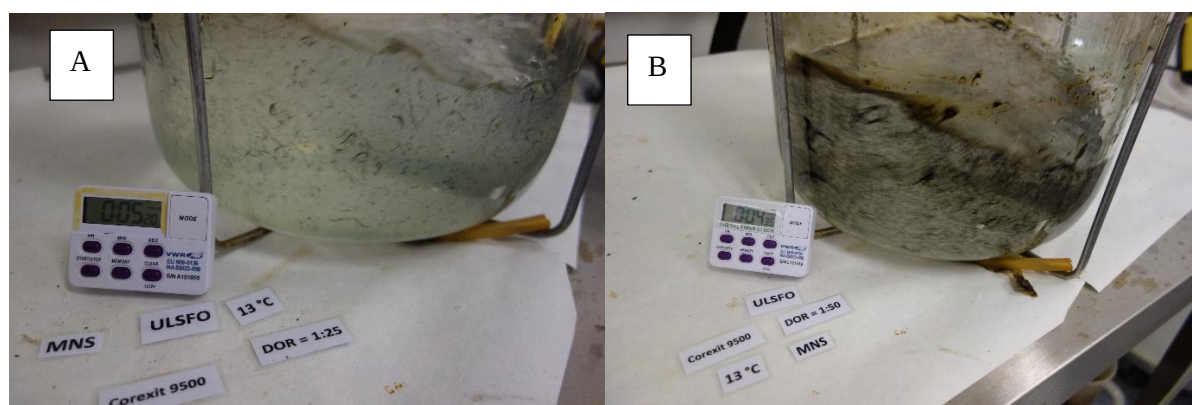


Figur 6-11 Screeningtesting på ULSFO 30 % emulsjon. DOR 1:25. Dynamisk vs. statisk dispergering (prøveuttak) på MNS ved 13°C

Figur 6-12 viser at DOR 1:10 ga en høyere effektivitet sammenlignet med DOR 1:25 og 1:50, hvor Corexit 9500 og OSR-52 oppnådde effektiviteter rundt 60-70 %, mens Dasic NS fikk litt lavere effektivitet rett under 50 % (se også Tabell 6-6). Det bør likevel bemerkes at resultatene med DOR 1:10 er noe usikre pga. andel av større tråder som kan gi forhøyet positivt resultat. DOR 1:50 ble primært valgt for å sammenligne med DOR 1:25, dvs. om DOR 1:25 kunne danne mindre eller færre tråder enn DOR 1:50 og her var den visuelle inspeksjonen viktig. Det var derimot ikke lett å skille DOR 1:25 og DOR 1:50 fra hverandre hvor DOR 1:50 til og med viste høyere effektivitet enn 1:25 (spesielt for Corexit 9500) som igjen trolig skyldes at for DOR 1:50 ble det dannet flere større tråder av oljeemulsjonen i vannfasen enn for 1:25 (Figur 6-13), og dermed oppsto det et artefakt, dvs. ga for høyt positivt resultat.



Figur 6-12 Doseringstesting på ULSFO (30 % emulsjon) med ulike DOR 1:10, 1:25 og 1:50 med dynamisk prøveuttak ved 13°C



Figur 6-13 MNS testing på ULSFO (30% emulsjon) med Corexit 9500. A: DOR:1 :25 vs. B: DOR 1:50 (større tråder) utført ved 13°C

Emulsjon av ULSFO hadde generelt en lav dispergeringseffekt, selv om noen av dispergeringsmidlene klarer til en viss grad å bryte opp emulsjonen til tråder og mindre klumper. En rangering basert på effektivitet mellom dispergeringsmidlene var derfor ikke mulig, men både Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 kunne bryte opp emulsjonen til en viss grad, mens det var ikke relevant med Radiagreen OSD. Blankprøve, dvs. uten tilsats av dispergeringsmiddel ga heller ikke uventet ingen effekt på denne hybridoljen.

Langstidsforsøk MNS

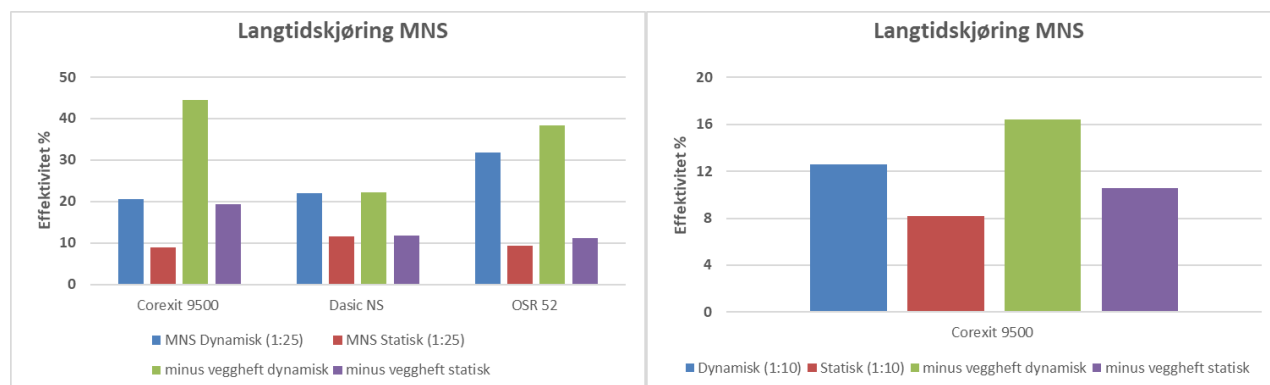
ULSFO viste seg å være relativ dårlig dispergerbar pga. olje/emulsjonens høye viskositeter (23-29000 mPa.s), og ble det derfor foreslått å utføre en serie med langstidsforsøk med MNS, dvs. testing av effektivitet etter påføring av dispergeringsmidler med en miksetid over en lengre tidsperiode (60 min.) i stedet for standard miksetid på 5 min. I litteraturen er det beskrevet at noen oljer kan trenge tid på å brytes opp til en dispersjon etter påføring av dispergeringsmiddel (Fiocco et al. 1999). I dette studiet ble prøvetaking derfor utvidet til 60 min. (dynamisk uttak), samt at det ble tatt ut prøve etter 5 min. etter henstand (statisk uttak). Det ble foretatt en systematisk bildedokumentasjon etter henholdsvis 5, 10, 30 og 60 min., samt etter 5 min. henstand, dvs. etter endt miksetid. Testene ble utført på 13°C for dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52.

Hensikten var å undersøke om det kunne observeres en økt dispergeringseffektivitet (dispersjon) med forlenget miksetid, dvs. om dispergeringsmiddelet hadde evnen til å bryte opp olje/emulsjonen av ULSFO enda mer som en dispersjon over tid. Det ble valgt DOR 1:25 for alle tre dispergeringsmidlene. Det ble også utført et forsøk med DOR 1:10 med Corexit 9500, men effekten av å øke doseringen var derimot ikke merkbar.

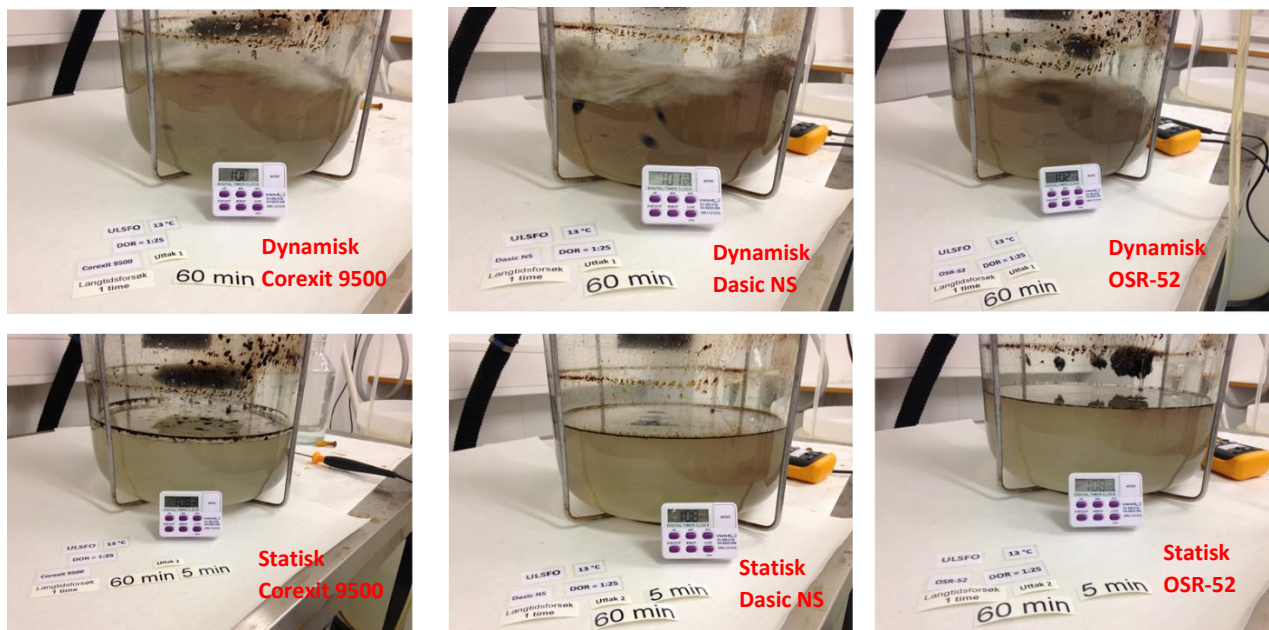
Resultatene indikerte i midlertidig at ULSFO (emulsjon) fortsatt ikke ga en god dispersjon etter 60 min., men det ble dannet en større andel av mindre dråper ved statisk prøveuttak sammenlignet med dynamisk prøveuttak som vist i Figur 6-15. For dynamisk uttak ble det generelt en reduksjon i effektivitet etter 60 min. sammenlignet med standardforsøk med dynamisk prøveuttak etter 5 min. Ved standardforsøkene ble det dannet en større andel av store tråder og oljeklumper som igjen kan medføre økt dispergeringseffektivitet, sammenlignet med langtidsforsøket på 60 min. På den måten kan vi si at oljen/emulsjonen trenger tid å løse seg opp etter at dispergeringsmidlet er påført, men selv etter 60 min. var det likevel observert uløste tråder/oljeklumper i vannfasen.

Det ble i tillegg observert vedheft av olje på veggen over tid i MNS-karet, spesielt gjaldt dette i forsøkene med Corexit 9500 og OSR-52, se bilder (Figur 6-15). Effektiviteten ble beregnet både med og uten å ta hensyn til tap av oljemengde som festet seg på karet (Figur 6-14). Det antas at oljen som adsorberes på veggen er store tråder /oljeklumper som ikke lar seg dispergere selv ved utvasking. Det har derfor blitt konkludert med at det blir mest riktig å studere effektiviteten av statisk uttak (røde stolpediagram) og dynamisk uttak (blå stolpediagram) i Figur 6-14.

Resultatene fra langtidsforsøkene kan konkluderes med at ingen av dispergeringsmidlene (Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52) som ble testet på ULSFO emulsjonen skilte seg ut (kun små forskjeller) med reduserte dispergeringseffektiviteter (< 30 %) både for statisk og dynamisk uttak, og at store trådene etter 60 min. kun til en viss grad ble brutt opp til mindre tråder. Det var observert en økning 8-12 % av dispergert olje i vannfasen ved statisk uttak etter 5 min. henstand fra langtidsforsøket (se rød stople i Figur 6-14), sammenlignet med standardforsøk (5 min.) med påfølgende statisk uttak etter 5 min. henstand (< 5 %), se Figur 6-11.



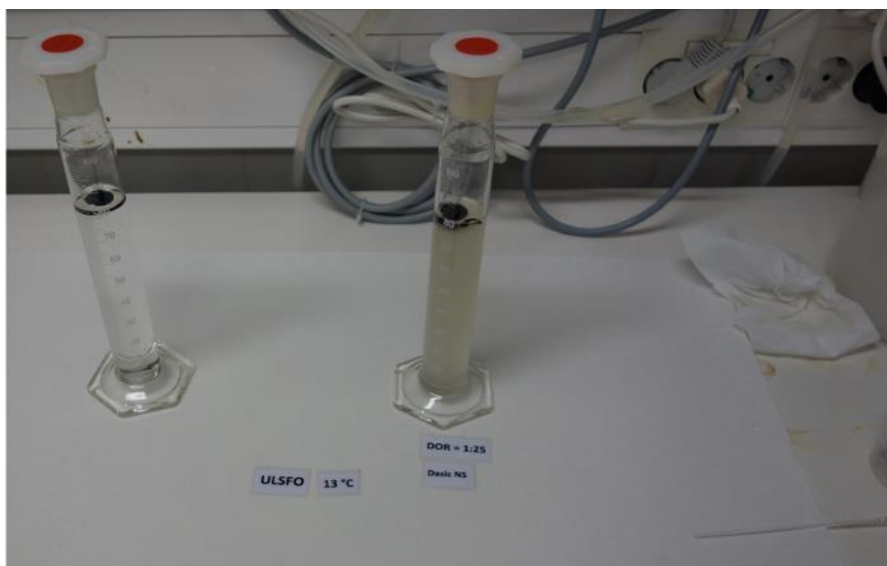
Figur 6-14 Venstre: Langtidsforsøk (prøveuttak etter 60 min.) ULSFO (30 % emulsjon) med DOR 1:25. Høyre: Langtidsforsøk ULSFO (30 % emulsjon) med DOR 1:10. Forsøkene ble utført ved 13°C



Figur 6-15 Langstidsforsøk (60 min) MNS med ULSFO (30% emulsjon) med DOR 1:25. Øverst Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 (dynamisk prøveuttak). Nederst: Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 (statisk prøveuttak). Forsøkene ble utført ved 13°C

Fet-test fersk ULSFO

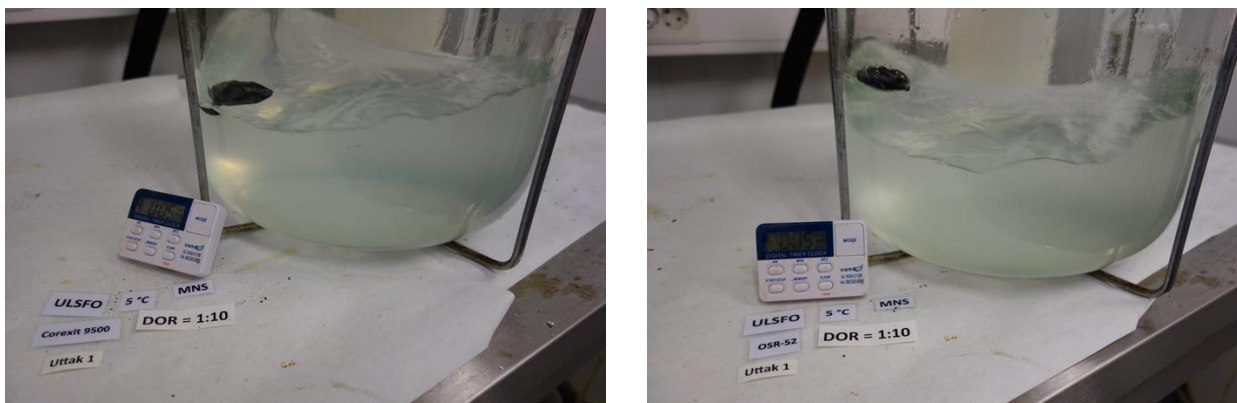
Det ble utført en enkel FET-test ved 13°C (DOR 1:25) med fersk ULSFO for å undersøke om den ferske hybridoljen hadde et potensial for å være dispergerbar. Oljen ble testet med Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52. Denne batchen av fersk ULFO var dårlig/svært redusert dispergerbar testet med alle dispergeringsmidlene. Figur 6-16 viser eksempel for FET-test med Dasic NS.



Figur 6-16 FET- test med fersk ULSFO (13°C) og Dasic NS, DOR 1:25 (høyre). Referanse uten dispergeringsmiddel (venstre)

6.5 Screeningtesting – ULSFO (5°C)

Det ble gjort et forsøk med å utføre screening testing på emulsjon av ULSFO på 5°C på MNS (høy-energitest). IFP ble utelukket da lav-energitesten ikke viste effekt ved 13°C. Oljen tok opp ca. 30 % vann, men emulsjonen var noe ustabil med store vannlommer. Emulsjonsviskositeten ble målt til 70 960 mPa.s ved skjær 10s^{-1} . Screeningtesten ble utført med DOR 1:10. Det var ingen observert effekt etter påføring av dispergeringsmidler på emulsjon av ULSFO ved 5°C, se eksempler for Corexit 9500 og OSR52 i Figur 6-17.



Figur 6-17 MNS – ULSFO (30% emulsjon) ved 5°C, DOR 1:10. Ingen effekt av dispergeringsmiddel (Corexit 9500 til venstre og OSR-52 til høyre)

6.6 Screeningtesting – IFO-180LS (5°C)

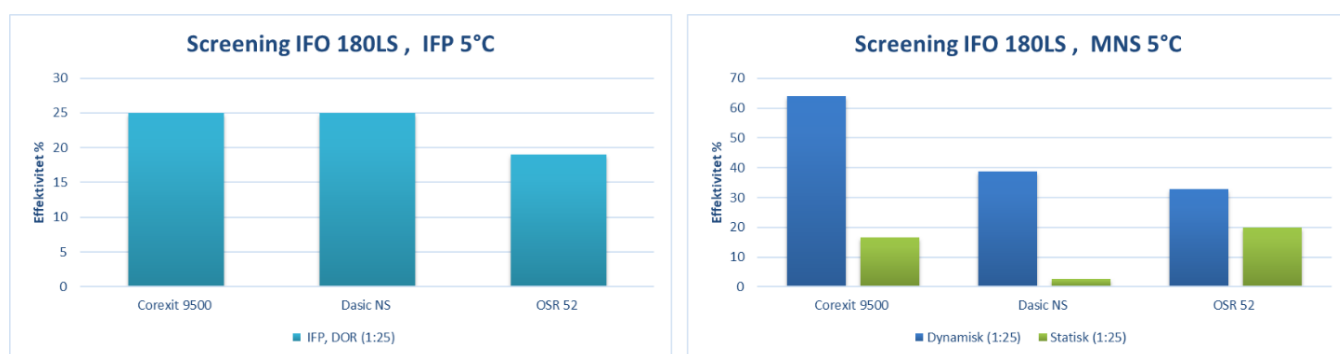
Det ble utført screeningtesting av fersk (vannfri) IFO-180LS (SINTEF ID 2013-0594) for å supplere tester med vintertemperatur (5°C) for denne oljen. Bunkersoljen ble tidligere testet for dispergeringseffektivitet ved 13°C (Sørheim et al, 2014).

IFO-180LS har høy viskositet ved 5°C (~ 28000 mPa.s). Screening av dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS og OSR52 ble utført både med IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) med DOR 1:25. For MNS ble det tatt ut vannprøver for kvantifisering fra både dynamisk og statisk uttak for sammenligning. Resultatene fra IFP og MNS testene er oppsummert i Tabell 6-7 og vist i Figur 6-18. Figur 6-19 viser bildedokumentasjon fra screeningtestene med MNS. For IFP hadde Corexit 9500 og Dasic NS litt høyere effektivitet enn OSR52, men ingen av disse ga god dispersjon ved lavenergitesten (19-25 % effektivitet). For MNS med dynamisk uttak viste Corexit 9500 best effektivitet ($> 60\%$) sammenlignet med de to andre dispergeringsmidlene. For statisk dispergering viste OSR-52 og Corexit 9500 å være best, men ga relative lave dispergeringseffektiviteter ($< 20\%$).

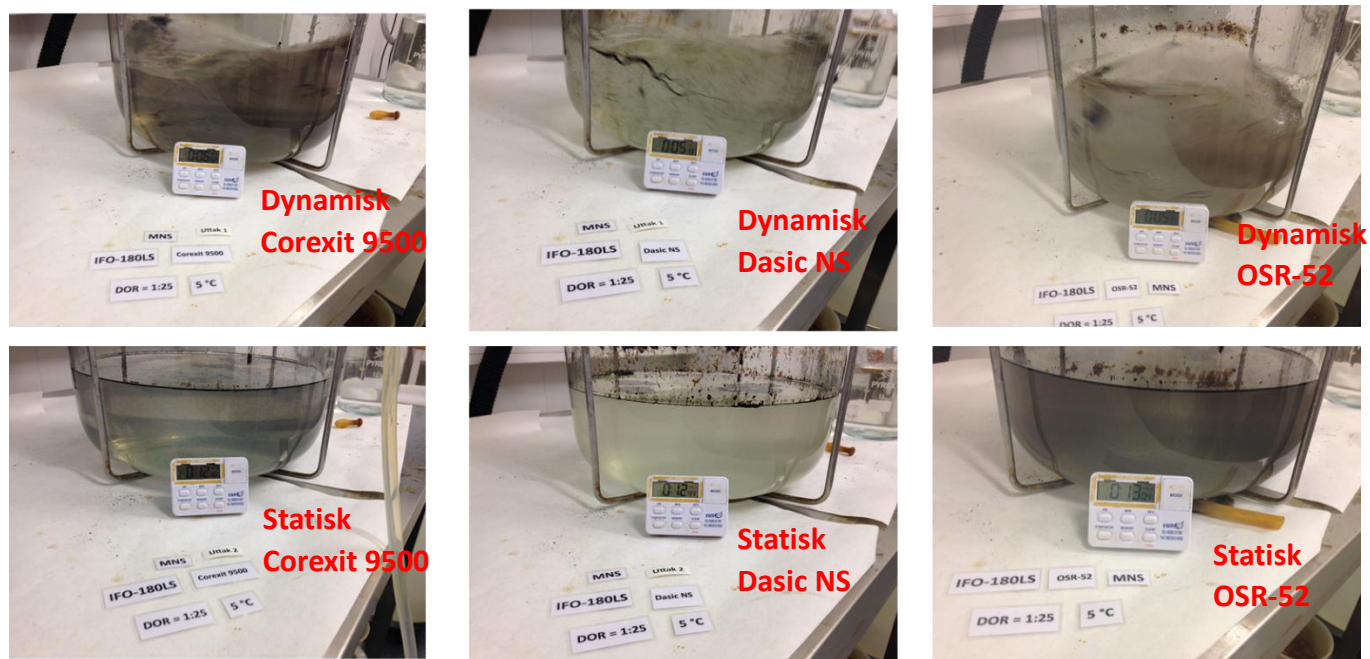
Også tidligere studie har vist at Corexit 9500 kom best ut spesielt for tyngre bunkersoljer (IFO-380) (Sørheim et al., 2014). I dette forsøket kom Corexit 9500 best ut ved dynamisk uttak, men ved statisk uttak ga ikke dette samme effekten og OSR-52 viste like god effektivitet. Lav effektivitet med Dasic NS ved statisk uttak indikerer at dette dispergeringsmidlet ga noe større dråper /tråder sammenlignet med Corexit 9500 og OSR-52 på denne bunkersoljen, som vist i Figur 6-19.

Tabell 6-7 Screening av fersk IFO-180LS (DOR 1:25) ved 5°C med IFP og MNS. Dynamisk og statisk prøveuttak med MNS.

Dispergeringsmidler	MNS % DOR 1:25 Dynamisk uttak	MNS % DOR 1:25 Statisk uttak	IFP % DOR 1:25	Viskositet. 5°C, mPa.s 10s ⁻¹
Corexit 9500	64	17	25	27 779
Dasic NS	39	3	25	27 779
OSR 52	33	20	19	27 779
No disp (blankprøve)	0,4	-	-	27 779



Figur 6-18 Screening av dispergeringsmidler på fersk IFO 180LS (5°C), DOR 1:25. Venstre: IFP, Høyre: MNS (dynamisk og statisk prøveuttak)



Figur 6-19 Screeningtesting MNS (5°C) med fersk/vannfri IFO-180LS. Øverst: Dynamisk uttak (Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52). Nederst: Statisk uttak (Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52)

6.7 Oppsummering screening og dosering av dispergeringsmidler testet på IFP/MNS

Resultater fra screening og doseringstestene på MGO, HDME 50, ULSFO og IFO-180LS er oppsummert i dette delkapitlet som inkluderer dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52. Radiagreen OSD utgikk underveis i prosjektet da denne ikke besto giftighetstesten utført ved NIVA, se kapittel 4.5, og vurderes derfor ikke som et mulig dispergeringsmiddel, men er inkludert i rangeringer og oppsummert i tabelloversikten hvor denne ble testet.

Det var ingen av dispergeringsmidlene (Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52) som skilte seg markant ut som ett hovedprodukt på oljetyperne testet i dette prosjektet, kun grader av nyanser. Det ble ikke funnet en entydig rangering mellom dispergeringsmidlene testet på de ulike oljetyperne. Ingen av resultatene viste heller ikke at ett produkt feilet på alle oljene som ble testet. Ett dispergeringsmiddel kunne f.eks. virke best med lav-energitesten (IFP), mens ett annet kunne være bedre med MNS (høy-energitest) for samme oljetype, eller det kunne slå ut ulikt med hensyn på testtemperatur. Overordnet kan vi si at Dasic NS og Corexit 9500 kom best ut med hensyn på dispergeringseffektivitet sammenlignet med OSR-52 for mange av testene. Dasic NS og Corexit 9500 ble også valgt ut som testmidler i forbindelse med dispergeringsforsøk i meso-skala renna (kapittel 7).

MGO (marine diesel)

Tabell 6-8 viser oversikt over rangering av dispergeringsmidlene på 250°C+ residu /vannfri MGO (SINTEF ID 2014-0551) ved 2°C (arktisk temperatur) for IFP og MNS. Dasic NS og Corexit 9500 viste generelt best dispergeringseffektiviteter (78-84%) ved DOR 1:25 og 1:50. Dette var i overenstemmelse med en tidligere screening studie med samme batch av MGO ved 13°C (DOR 1:25), hvor Dasic NS og Corexit 9500 også den gang var de mest effektive dispergeringsmidlene blant de midlene som ble testet (Hellstrøm, 2017). For MNS var det ikke mulig å skille dispergeringsmidlene fra hverandre ved dynamisk dispergering da alle DOR testet viste nærmest 100 % dispergeringseffektivt. Med statisk dispergering (MNS) for DOR 1:50 viste Dasic NS best effektivitet (73 %), etterfulgt av Corexit 9500 (46%) og OSR-52 (20 %).

Tabell 6-8 Screening og dosering MGO 250°C+ residu /vannfri (viskositet: 22 mPa.s, 10s⁻¹)

MGO (SINTEF ID 2014-0551)	Dosering (DOR)	Dispergeringsmiddel	Dynamisk uttak	Statisk uttak
Temperatur (2°C)				
IFP	1:25, 1:50, 1:100, 1:200	Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52, Radiagreen OSD	-	-
MNS	1:25, 1:50, 1:100, 1:200	Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52, Radiagreen OSD	X*	X**
Rangering IFP: Dasic NS ~ Corexit 9500 > OSR52 for DOR: 1:25, 1:50, 1:100				
Rangering MNS: Dasic NS > Corexit 9500 > OSR52 for DOR: 1:50 (statisk dispergering)				

*MNS Dynamisk uttak (dispergering) kunne ikke skille mellom disp. midlene, da alle doseringer ga 100 % effektivitet.

** Radiagreen OSD ble ikke testet for statisk uttak da den ikke besto giftighetstesten

HDME 50 (hybridolje)

Tabell 6-9 viser oversikt over rangering av dispergeringsmidlene for screening og doseringstesting ved 13°C (sommertemperatur) utført på 50 % emulsjon av HDME 50 (SINTEF ID 2017-7834). Dasic NS kommer best ut med IFP for DOR 1:25 og 1:50. For DOR 1:25 er dispergeringseffektiviteten > 50 %. Det tidligere hybridprosjektet (Hellstrøm, 2017) viste også at screening på IFP var mest effekt med Dasic NS og Radiagreen OSD, dernest OSR52 og Corexit 9500. For MNS var de 3 dispergeringsmidlene sidestilt (Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52) med høye effektiviteter > 75 % for DOR 1:25, 1:50 og 1:100. HDME 50 er doseringsavhengig og effektiviteten reduseres betraktelig ved DOR 1:200 for alle dispergeringsmidlene.

Tabell 6-9 Screening og dosering HDME 50 (50 vol. % emulsjon) ved 13°C
(viskositet: 2000-2200 mPa.s, 10s⁻¹)

HDME50 (SINTEF ID 2017-7834)	Dosering (DOR)	Dispergeringsmiddel	Dynamisk uttak	Statisk uttak
Temperatur (13°C)				
IFP	1:25, 1:50, 1:100, 1:200	Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52, Radiagreen OSD	-	-
MNS	1:25, 1:50, 1:100, 1:200	Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52, Radiagreen OSD	X	-
Rangering IFP *: Dasic NS > Corexit 9500 ~ OSR52 for DOR: 1:25, 1:50				
Rangering MNS **: Dasic NS ~ Corexit 9500 ~ OSR52 for DOR: 1:25, 1:50, 1:100				

*. Overensstemmelse med tidligere analyser HDME 50 (Hellstrøm, 2017): Radiagreen > Dasic NS > Corexit
DOR 1:100 og 1:200 < 20 % effektivitet (DOR 1:25)

** MNS > 75% effektivitet

Tabell 6-10 viser oversikt over rangering av dispergeringsmiddel ved 5°C (vintertemperatur) for DOR 1:25. For IFP er dispergeringseffektiviteten svært lave for alle midlene (< 10 %), og kan ikke rangeres. For MNS viste Corexit 9500 og OSR-52 (74-75 %) høyere effektivitet enn Dasic NS (54 %).

Tabell 6-10 Screening HDME 50 (50% emulsjon) ved 5°C (viskositet: 7518 mPa.s, 10s⁻¹)

HDME50 (SINTEF ID 2017-7834)	Dosering (DOR)	Dispergeringsmiddel	Dynamisk uttak	Statisk uttak
Temperatur (5°C)				
IFP	1:25	Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52		-
MNS	1:25	Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52	X*	-
Rangering IFP: < 10 % effektivitet for alle disp.midler				
Rangering MNS: Corexit 9500 ~ OSR52 (74-75 %), > Dasic NS (54%)				

ULSFO (hybridolje)

Denne batchen av ULFSO (SINTEF ID 2018-8145) (30 % emulsjon) ble ansett å være redusert dispergerbar ved 13°C med MNS, da olje/emulsjonen dannet store dråper/tråder, dvs. ingen en god dispersjon. Emulsjonen var ikke-dispergerbar ved bruk av IFP (lav-energitest). Statisk uttak ga neglisjerbare effekter for alle dispergeringsmidlene. Dynamisk uttak viste rangering Dasic NS > OSR-52 > Corexit 9500 for DOR 1:25, mens for DOR 1:10 var rangeringen snudd: Corexit 9500 > OSR-52 > Dasic NS (Tabell 6-11). Bemerk at rangeringen vil være forbundet med usikkerhet da store dråper/tråder kan gi falske positive resultater. Langtidsforsøket på MNS viste heller ikke at noen av dispergeringsmidlene skilte seg nevneverdig ut, og alle hadde generelt lave effektiviteter (< 30 %). Dasic NS og OSR-52 var bedre enn Corexit 9500, men det var små forskjeller. I det tidligere hybridprosjektet (Hellstrøm et al. 2017) med en annen batch av ULFSO (50 % vol.) viste Corexit 9500 og Dasic NS bedre dispergeringseffektiviteter enn OSR-52 på IFP (DOR 1:25). ULFSO testet i dette prosjektet var ikke dispergerbar ved vintertemperatur (5°C) (Tabell 6-12).

Tabell 6-11 Screening og dosering ULSFO (30 vol. % emulsjon) ved 13°C
(viskositet: 23-30 000 mPa.s, 10s⁻¹)

ULSFO (SINTEF ID 2018-8145)	Dosering (DOR)	Dispergeringsmiddel	Dynamisk uttak	Statisk uttak
Temperatur (13°C)				
IFP	Ingen dispersjon- ble stoppet	Corexit 9500, Radiagreen OSD	-	-
MNS	1:10, 1:25, 1:50	Corexit 9500, Dasic NS, OSR52,	X*	-
MNS Langstidsforsøk	1:10	Corexit 9500	X	X
MNS Langstidsforsøk	1:25	Corexit 9500, Dasic NS, OSR 52	X	X
Rangering MNS standard forsøk: Corexit ~OSR-52> Dasic NS (DOR 1:10) *				
Rangering MNS standard forsøk: Dasic NS > OSR-52> Corexit 9500 NS (DOR 1:25) *				
Rangering MNS langstidsforsøk: DOR 1:10**				
Rangering MNS langstidsforsøk: Dasic NS ~ Corexit 9500 ~ NS OSR-52 (DOR 1:25) ** (statisk)				

*ULSFO gir ingen god dispersjon verken ved DOR 1:10 og 1:25- store tråder som settler seg ved statisk uttak. Statisk uttak ga svært lav effektivitet (< 5%) for DOR 1:25 og forventet lav basert på visuell vurdering også for DOR 1:10

**MNS langstidsforsøk (60 min.) DOR 1:25 ga generelt lav effektivitet 20-25 % for alle 3 dispergeringsmidler ved dynamisk uttak. Statisk uttak ga effektiviteter 8-12 %. DOR 1:10 ga ikke bedre effektivitet enn for DOR 1:25

Tabell 6-12 Screening ULSFO (30 % emulsjon) ved 5°C (viskositet: 70 960 mPa.s, 10s⁻¹)

ULSFO (SINTEF ID 2018-8145)	Dosering (DOR)	Dispergeringsmiddel	Dynamisk uttak	Statisk uttak
Temperatur (5°C)				
IFP	Ikke testet		-	-
MNS	1:10	Corexit 9500, OSR52	-	-
Ingen effekt av dispergeringsmiddel ved 5°C				

IFO-180LS (bunkersolje)

Tabell 6-13 oppsummerer rangering av dispergeringsmidlene testet på IFO-180LS (SINTEF ID 2013-0594) ved 5°C med IFP og MNS. Lav-energitesten (IFP) viste lave dispergeringseffektiviteter (18-25%) hvor Corexit 9500 hadde den høyeste effektiviteten sammenlignet med Dasic NS og OSR-52. For MNS med dynamisk dispergering var rangeringen den samme som for IFP. Med statisk viste OSR-52 høyest effektivitet, påfulgt av Corexit 9500 og Dasic NS.

Screeningtesting ved 13°C ble utført i 2014 for samme batch av IFO-180LS (Sørheim et al. 2014), og for denne oljen viste OSR-52 den gang best effektivitet etterfulgt av Corexit 9500 og Dasic NS for statisk dispergering (dynamisk uttak på MNS ga ca. 100 % for disse disp. midlene ved 13°C). Generelt viste Corexit 9500 og til en viss grad OSR-52 til å være mer effektiv på IFO-grades sammenlignet med Dasic NS, spesielt for bunkersoljer med høye viskositeter.

Tabell 6-13 Screening IFO-180LS, fersk olje (viskositet 27 780 mPa.s, 10s⁻¹)

IFO 180LS (SINTEF ID 2013-0594)	Dosering (DOR)	Dispergeringsmiddel	Dynamisk uttak	Statisk uttak
Temperatur (5°C)				
IFP	1:25	Corexit 9500, Dasic NS, OSR 52	-	-
MNS	1:25	Corexit 9500, Dasic NS, OSR52	x	x
Rangering IFP: Corexit 9500 ~Dasic NS > OSR52 (effektivitet 18-25 %, lav effekt.)				
Rangering MNS: Corexit 9500 > Dasic NS > OSR52 Dynamisk				
Rangering MNS: OSR52 >Corexit 9500 > Dasic NS Statisk *				

*Lav effektivitet < 20%

7 Dispergeringsforsøk i meso-skala renna

Det ble utført 3 dispergeringsforsøk i SINTEFs meso-skala renna. Ett forsøk med MGO (diesel) med Dasic NS, samt to like forsøk med IFO-180LS (bunkersolje) med påføring av to ulike dispergeringsmidler Dasic NS og Corexit 9500.

Fersk olje ble først forvitret over en gitt tidsperiode og deretter påført dispergeringsmiddel ved *in-situ* dispergering. Det ble tatt ut prøver underveis for ulike analyser:

- Overflateprøver for måling av vanninnhold og viskositet
- FET-test for visuell sjekk av dispergerbarhet før og underveis etter tilsats av dispergeringsmiddel
- Vannprøver for å beregne konsentrasjoner av dispergert olje
- Måling av dråpestørrelsesfordeling med laser (LISST) i vannmassen og relativ konsentrasjoner

Ved påføring av dispergeringsmiddel ble bølgen og vindpropellen stoppet slik at dispergeringsmiddelet fikk virke sammen med olje før bølgemaskinen og vind ble skrudd på igjen. Ulike bølgeforhold (energi) ble benyttet under de ulike dispergeringsforsøkene.

Konsentrasjoner av dispergert olje ble analysert fra vannprøvene ved ekstraksjon og påfølgende analyse av totale hydrokarboner ved bruk av GC-FID fra ekstrakter med MGO og med UV spektrometer for ekstrakter fra forsøkene med IFO-180LS. Konsentrasjoner av dispergertolje må ansees som relative konsentrasjoner og må sees i sammenheng med før og etter påføring av dispergeringsmiddel. Visuelt vurdering av farge på vannprøvene og ekstraktene kan også gi en indikasjon hvordan dispergeringsmiddelet har virket på overflateoljen.

DOR (dispersant-to-oil) ble beregnet ut fra den totale volum av olje og dispergeringsmiddel, mens DER (dispersant-to-emulsion) kan beregnes ut fra målt vanninnhold og mengde olje tilgjengelig på overflaten for dispergering.

Det ble gjort forsøk med å måle dråpestørrelser i vannmassen med bruk av LISST (laser). Resultatene kan være noe usikre og må tolkes som trender. Store dråper /tråder i millimeterstørrelser (mm) vil kunne flyte opp til overflaten etter kort tid, mens mindre dråper (µm-størrelser) vil ha lengere levetid i vannmassen.

Nærmere beskrivelse og resultater fra dispergeringsforsøkene i meso-skala renna er beskrevet i delkapitlene under for MGO og IFO-180LS.

7.1 Dispergeringsforsøk 1 – MGO og Dasic NS (2°C)

I et tidligere prosjekt (Hellstrøm et al. 2017, Hellstrøm, 2017) ble det utført to standard forvitningsforsøk med MGO (SINTEF ID 2014-0551), dvs. oljen ble forvitret i 72 timer før *in-situ* påføring av et dispergeringsmiddel på gjenværende olje. Forsøkene ble utført ved 2 og 13°C. Formålet den gang var å studere forvitningsprosessene som avdampning og naturlig dispergering, samt de emulgerende egenskapene til oljen. MGO dannet en ustabil skumaktig "emulsjon" (olje/vannblanding) med noe tregere "emulgering" ved 2°C sammenlignet ved 13°C. Den emulgerte oljeblandingen viste lave viskositeter i området 6-17 mPa.s. Gjenværende olje ble dispergert med lavdosering (DOR) Dasic NS etter endt forvitringstid. Dasic NS ga en effektiv dispergering av den gjenværende olje/emulsjon ved begge testtemperaturer med et doseringsforhold på henholdsvis DOR 1:115 og DOR 1:250.

Hensikten med dette dispergeringsforsøket med samme batch av MGO var å simulere et scenario under arktiske forhold ved 2°C med et mulig dieselutslipp under rolige værforhold, dvs. forvitring i de første timene (døgnet) ved ikke-brytende bølger. Det ble benyttet samme dispergeringsmidlet (Dasic NS) som i de tidligere forvitningsforsøkene som beskrevet over. Ved påføring av dispergeringsmiddel ble det satt opp en fysisk

stengsel i renna for å oppkonsentrere og samle oljen opp mot barrieren, dette kan f.eks. simulere en lense eller is-barriere. Etter påføring av dispergeringsmiddelet ble frekvensen trinnvis tiltatt fra ikke-brytende til brytende bølger med hensikt å øke dispergeringseffektiviteten. Før dispergeringsforsøket ble den fargeløse dieselen tilsatt et grønt fargestoff (500 ppm) for å få kunne observere oljen bedre visuelt under forsøket. En FET-test med farget MGO ble utført for å bekrefte at fargen på den dispergert oljen fremdeles var synlig etter tilsats av dispergeringsmiddel (Figur 7-1).



Figur 7-1 FET-test med grønnfarget MGO. Referanse til venstre og test med tilsats av Dasic NS til høyre.

Utførelse

9 liter av farget MGO ble påført i meso-skala renna 11.03.2019 klokken 13:45 under rolige forhold/svake dønninger ("swell"), dvs. ingen brytende bølger med en sirkulering av oljen i renna. Oljen fikk deretter forvitte i 20 timer til en fordampningsgrad på ca.14%. Setting for bølgeenergi under forvitringstiden var 11 Hz /16 cm (ingen brytende bølge). Etter 20 timer ble Dasic NS påført gjenværende overflateolje i 2 runder med økende frekvens (energi) i renna. Prøver fra overflateoljen samt vannprøver ble utført underveis for analyser. I tillegg ble det utført målinger av dråpestørrelser med LISST. Det ble totalt tilsatt 114.4 gram av dispergeringsmiddelet Dasic NS som tilsvarer en suksessiv DOR 1: 65. Ved første runde med påføring ble det tilsatt 100,9 gram Dasic NS (1:74), mens det i den andre runden ble tilsatt kun 13,5 gram Dasic NS pga. lite gjenværende oljemengde (estimert 2 liter). Etter 2. gangspåføring av Dasic NS ble energien i renna økt suksessivt fra 17, 21 til 34 Hz (brytende bølge). Det ble ikke observert gjenværende olje på overflaten 30 minutter etter 2 gangspåføring.

Resultater fra dispergeringsforsøket med MGO og Dasic NS er oppsummert i Tabell 7-1 og Tabell 7-2 og samt billedokumentasjon fra dispergeringsforsøket. Figur 7-2 viser resultater etter *in-situ* påføring av gjenværende overflateolje basert på kvantifisert oljeinnhold i vannprøvene som stolpediagram som henviser til prosentvis andel av dispergert tilgjengelig overflateolje. Det bør bemerkes at det ikke var helt samsvar mellom målte konsentrasjoner av dispergert olje og hva som faktisk ble visuelt observert etter 2. gangspåføring, dvs. at det ikke ble observert gjenværende olje på overflaten, se også Figur 7-11. Grunnen til dette avviket skyldes trolig at dispergerte oljedråper ikke var jevnt fordelt i vannmassen, men fordelte seg mer som en gradient. Dette kan igjen medføre at målte konsentrasjoner av dispergert olje kan underestimeres ved prøvetaking. Under dette forsøket ble det også tatt ut vannprøver ved to ulike prøvepunkter i renna, ett ved kranuttaket som er standard for renneforsøk, og ett med bruk av hevert hvor LISST apparaturen var plassert. Begge prøvepunkt hadde

prøveuttaket ca. 0,5m under vannskorpen, og det ble ikke målt signifikante forskjeller i konsentrasjoner av dispergert olje i vannprøvene mellom disse to prøvepunktene.

Tabell 7-1 Resultater fra dispergeringsforsøk MGO ved 2°C etter 20 timers rolig forvitring ved ikke-brytende bølger med påfølgende påføring av Dasic NS

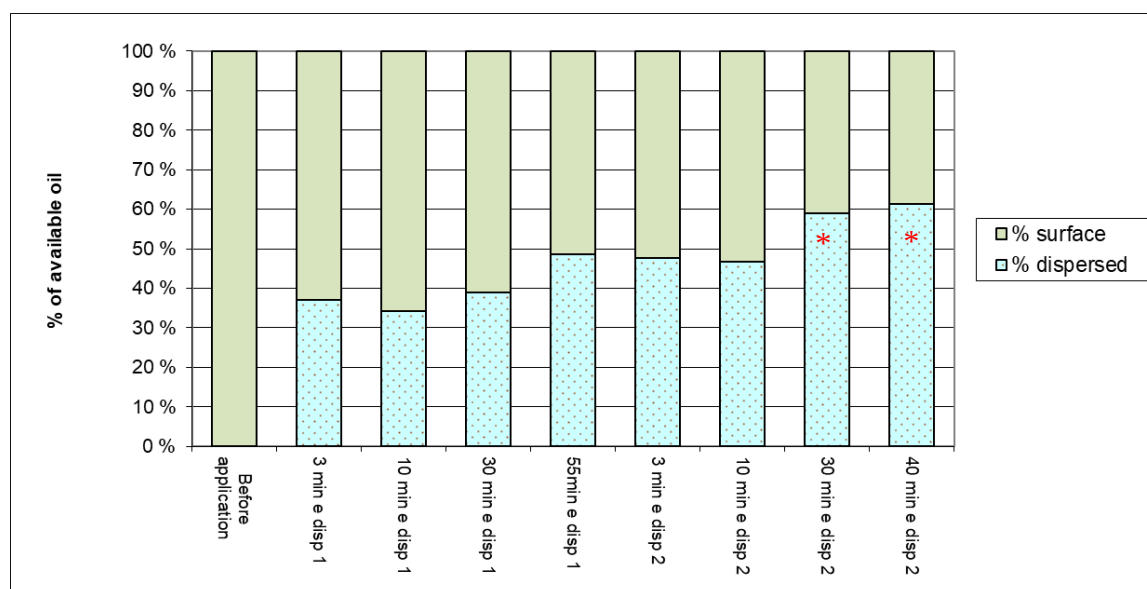
Prøve nr.	Tid (timer)	Vann innhold vol % ***	Fordampning wt. %**	Viskositet mPa.s, 10s ⁻¹	Olje-i-vann ppm *	FET test	Setting bølgegenerator
1	20	0	14	13	0	-	11 / 16cm
1. Påføring av dispergeringsmiddel: 100,9 g Dasic NS (DOR = 1,35 wt.%)							
3 min. Disp.1	-	0	14	13	481	-	17 / 16cm
10 min. disp 1	-	0	14	13	445	-	17 / 16cm
30 min. disp 1	-	0	14	13	507	-	17 / 16cm
55 min. disp 1	-	0	14	13	554	God	17 / 16cm
2.. Påføring av dispergeringsmiddel: 13,5 g Dasic NS (DOR= 0,18 wt. %)							
3 min. disp 2	-	1,6	21	14	543	-	17 / 16cm
10 min. disp 2	-	1,6	21	14	532	-	21 / 12cm
30 min. disp 2	-	1,6	21	14	673	-	34 / 12cm
40 min. disp 2	-	1,6	21	14	699	-	34 / 12cm

*ppm=part per million. **Fordampning basert tetthet av oljeprøver sammenlignet med kokepunktskurve for oljen

*** Vanninnhold målt med Karl-Fischer Titrering ****% dispergert av tilgjengelig olje

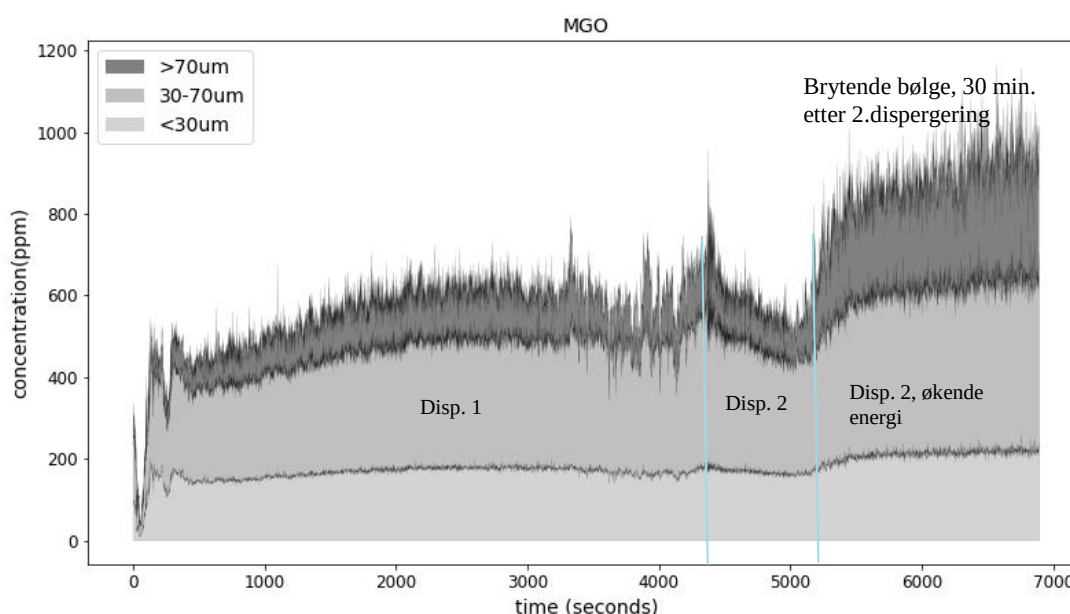
Tabell 7-2 Dispergeringsforsøk MGO med Dasic NS, DOR = Dispersant -to-oil ratio

Dasic NS påføring (gram)	DOR (wt. %)
Disp.1	1:74 (1,35)
Disp. 2	1:500 (0,18)
Disp 1 + Disp.2 (kumulativ)	1:65 (1,53)

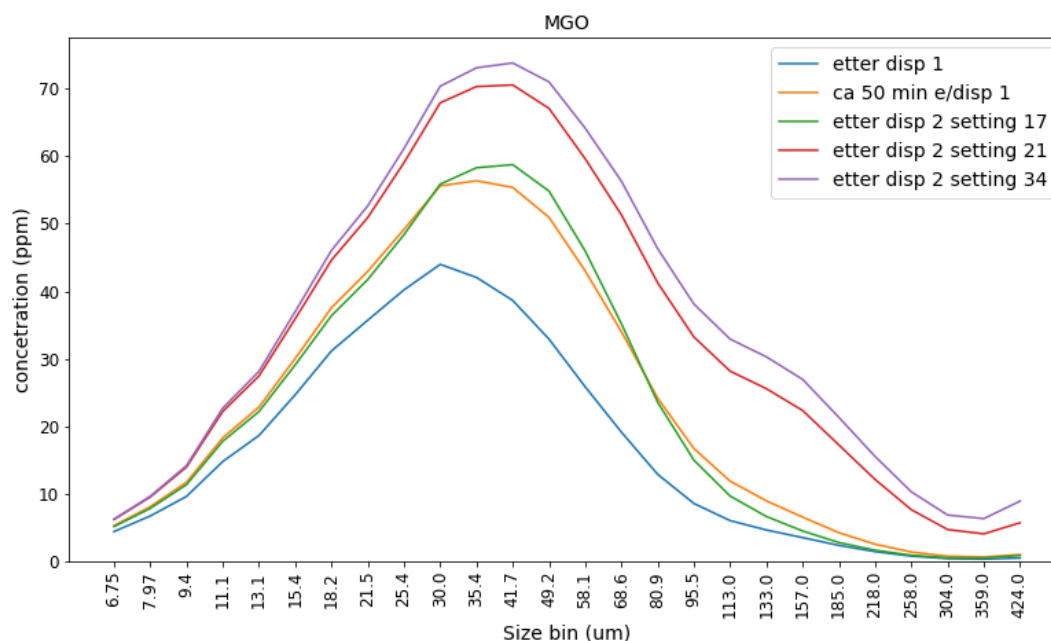


Figur 7-2 Dispergeringsforsøk MGO med Dasic NS. Prosentvis dispergert andel basert på tilgjengelig olje på overflaten. * Målte konsentrasjoner fra vannprøver trolig underestimert. Det ble ikke visuelt observert gjenværende olje etter 30 min. etter 2. dispergering

Figur 7-3 og Figur 7-4 viser dråpestørrelsesfordeling målt med LISST. Figur 6-3 viser at det var en høyest andel av dråpestørrelse i området 30-70 μm , men at det også var konsentrasjoner av mindre dråper ($< 30 \mu\text{m}$) samt større dråper $> 70 \mu\text{m}$ (spesielt etter 2 gangspåføring). Det ble målt høyest andel konsentrasjoner med oljedråper (d50) 40-50 μm etter 2. påføring, dvs. best dispergeringseffekt etter runde 2 (Figur 6-4). Samtidig viser målingene at det var mindre forskjeller i konsentrasjoner mellom de to høyeste bølgeenergisettingene med 21 Hz (fremdeles ikke-brytende bølger) og ved brytende bølger (34 Hz). Dette gjenspeiler at MGO kan være godt dispergerbar uten brytende bølger, men at oljen likevel trenger energitilførsel for optimal dispergering.

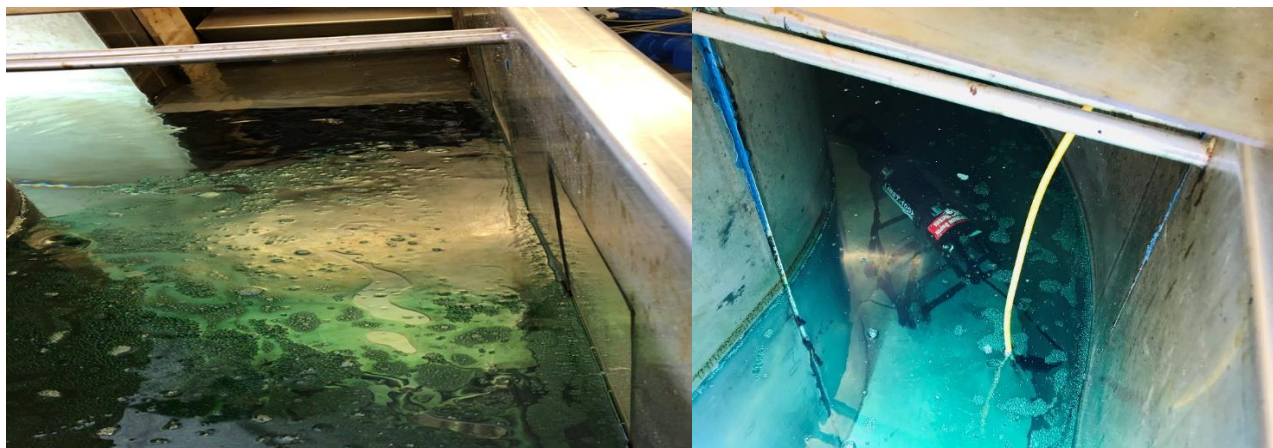


Figur 7-3 Fordeling av oljedråper med ulike størrelser under dispergeringsforøket med MGO med Dasic NS.. Høyest andel av oljedråper i området 30-70 μm , mens det er en økning av større dråper $> 70 \mu\text{m}$ etter 2 gangspåføring



Figur 7-4 Dråpestørrelsesfordeling (d50) etter dispergering. Høyest konsentrasjoner med (d50) 40-50 μm etter 2.gangs påføring med økende energiforhold

Visuelle observasjoner - Forvitring 20 timer



Figur 7-5 Venstre: Bilde tatt rett etter påføring av MGO (tilsatt grønt fargestoff) i renna. Venstre: Plassering av LISST for måling av dråpestørrelser plasser 0,5 m under vannskorpen



Figur 7-6 Etter 20 timers forvitring (ingen bølger) ligger oljen jevnt fordelt på overflaten ved rolig sirkulering i renna. Ingen nedblanding av naturlig dispergerte oljedråper eller tegn på emulgering under forvitningsprosessen-kun avdampning.

Dispergering (1) – Dasic NS

Etter endt forvitring (20 timer) under rolige ikke-brytende bølger (swell) ble overflateoljen samlet opp for dispergering. Dette gjøres ved å plassere en stopper (planke) på tvers av renna og skru av bølgen. Vinden vil drive oljen mot planken og samle den i et oppkonsentrert lag for lettere påføring av dispergeringsmiddel. Det ble påført 100,9 g Dasic NS med en Wagner-dyse-sprøyte. Denne kalibreres mot tid og påføring av 100,9 g tok 25 sekunder. Etter påføring fikk dispergeringsmidlet virke i 3 minutter før planken ble fjernet og bølgen startet opp igjen (17Hz / 16cm).

Det ble tatt vannprøver på to forskjellige punkter i renna (hevert ved LISST og kran i sving før bølgegenerator) etter henholdsvis 3, 10, 30 og 60 min.

Det ble utført FET-test etter første dispergeringsrunde (Figur 7-9). Testen viste at MGO ikke dannet dispersjon for den ferske utgangsoljen og forvitret prøve (etter 20 timer) under rolige ikke-brytende bølger (swell) uten tilsats av dispergeringsmiddel. Men at overflateoljen etter første runde med dispergeringsmiddel samt testing samme prøve med ekstra tilsats av Dasic NS viste en klar dispersjon, som var tydeligst for prøven med ekstra tilsats av dispergeringsmiddel. Dette indikerte at en runde to med påføring av dispergeringsmiddel i renna ville ha positiv effekt og gi en mer fullstendig dispersjon.



Figur 7-7 30 min. etter første dispergering er fremdeles litt olje på overflaten (< 0,5 liter). Mesteparten av oljen er blitt dispergert ned i vannmassen og gir vannfasen en blakket hvit farge.



Figur 7-8 Vannprøvene fra de første 30 min. (etter 1.gangspåføring av Dasic NS) viser at oljen dispergerer allerede etter 3 min. (sammenlignet med den helt blanke utgangsprøven til høyre)



Figur 7-9 FET-test etter første dispergeringsrunde. Fra venstre mot høyre: Utgangsoljen (fersk), forvitret overflateolje etter 20 timer, prøve tatt før andre runde dispergering og prøve tatt før andre runde dispergering med ekstra tilsats av dispergeringsmiddel. Oljen danner ikke dispersjon uten dispergeringsmiddel. Ekstra tilsats (andre runde dispergering) har positiv effekt og gi en mer fullstendig dispersjon

Dispergering (2)

1 time etter første runde med dispergering ble oljen samlet opp på samme måte som ved første dispergering for en ny runde påføring. Det ble anslått at under 2 liter av oljen var tilgjengelig for runde to med dispergering. I andre runde ble det påført 13,5 g Dasic NS med dyse-sprøyter og dette fikk trenge inn i oljen i to minutter før planken ble fjernet og bølgen startet.

De første ti minuttene ble kjørt med tilsvarende bølgeenergi som ved første runde dispergering (17Hz/16cm) men etter ti minutter ble energien økt (21Hz/12cm). En videre økning i bølgeenergi ble gjort etter 30 minutter – da til brytende bølge (34Hz/12cm).

Det ble tatt vannprøver på to punkter i renna etter henholdsvis 3, 10, 30 og 40min. Etter 40 minutter var tilsynelatende all oljen dispergert og forsøket ble da avsluttet.



Figur 7-10 10 min. etter andre dispergering med Dasic NS ble det observert betraktelig mindre olje på overflaten enn etter første runden med dispergering



Figur 7-11 30 min. etter andre påføring av Dasic NS – ingen gjenværende overflateolje visuelt observert. Hele vannfasen ble blakket

7.2 Dispergeringsforsøk 2 – IFO-180LS med Dasic NS (13°C)

Det ble i 2014 utført et korttids meso-skala forsøk ved 13 °C med IFO 180LS (2014-0594) (Sørheim et al. 2014). Bunkersoljen ble den gang forvitret i 2-2,5 timer med brytende bølger før påføring av dispergeringsmiddel (Corexit 9500). Hensikten med dispergeringsforsøket fra dette prosjektet 2018-2019 var å utføre et lignende forsøk, med en annen batch av IFO 180LS (SINTEF ID 2018-3882), som i 2014, men denne gang med Dasic NS i stedet for Corexit 9500 for sammenligning. Det ble benyttet brytende bølger under forsøket i meso-skala renna.

Utførelse

5 liter av IFO 180LS (SINTEF ID 2018-3882) ble forsiktig påført vannflaten 20.03.2019 klokken 10:14. Påføringen ble gjort over 3 minutter og bølgen ble startet klokken 10:19. Oljen var på forhånd varmet til ca. 40°C før den ble påført i renna. Prøver ble tatt hver halvtime og disse ble testet med FET-test for å se om de fremdeles var dispergerbar. Det ble også fortløpende målt viskositet av prøvene, og vannprøver ble tatt for å se om oljen hadde blandet seg ned i vannet naturlig.

Utgangviskositeten av den ferske oljen (13°C, 10s⁻¹) var 7197 mPa.s. Etter 2 timers forvitring under brytende bølger var viskositeten til bunkersoljen økt til 18 361 mPa.s, noe lavere viskositet sammenlignet med den forrige batchen testet i 2014 etter samme forvitringstid (~27 000 mPa.s). FET-testen viste at emulsjonen var redusert dispergerbar etter 2 timer i renna, og Dasic NS ble dernest påført *in-situ* i 3 runder. Viskositeter og vanninnhold av gjenværende overflate olje ble målt både før og etter tilsats av dispergeringsmiddel, dette for å sjekke om dispergeringsmiddelet hadde kart å bryte opp emulsjonen. Det ble utført flere FET-tester underveis for å kontrollere om olje/emulsjonen var godt, redusert eller dårlig dispergerbar. Det ble også tatt billedokumentasjon underveis, samt målinger av dråpestørrelser med LISST under forsøket. Under forvitringen ble det benyttet brytende bølger med litt lavere energi enn standard (32Hz/16cm), mens etter påføring av dispergeringsmiddel ble enegien økt til standard brytende bølger (34Hz/16cm).

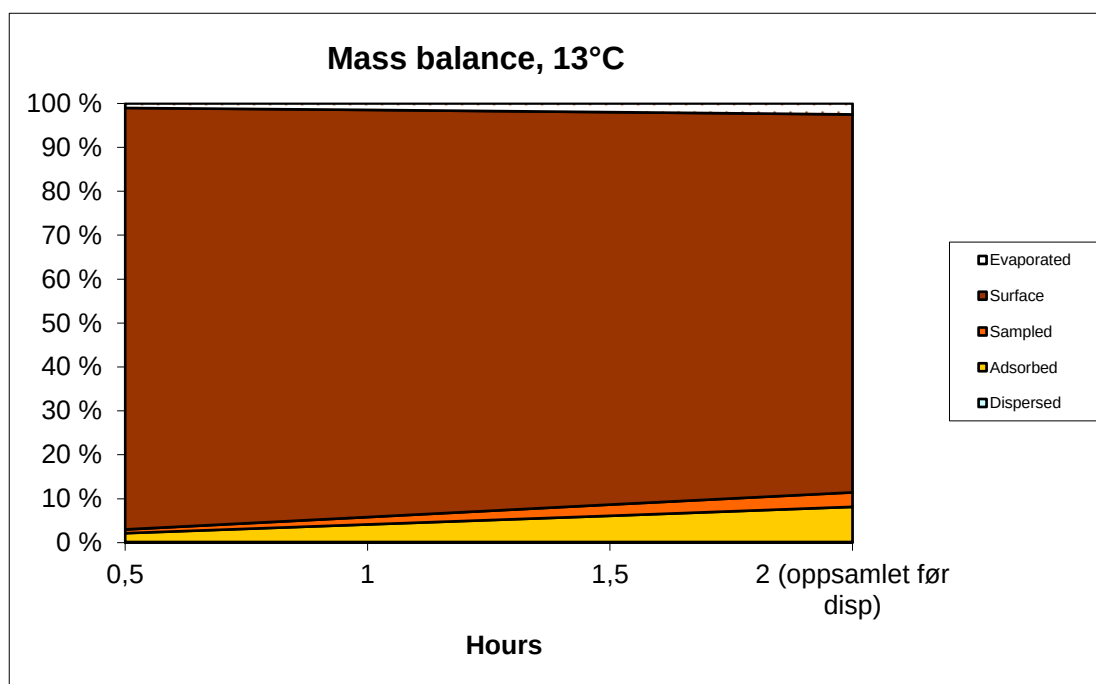
Det ble totalt tilsatt 393,9 gram Dasic NS med en kumulativ DOR 1:11 for de 3 dispergeringsrundene. Totalt var det ca. 5-10 % av den totale mengden olje gjenværende på overflaten etter den tredje runden med dispergeringsmiddel. Doseringsforholdet for de to første rundene var ca. DOR 1:25, mens for den 3. runden det ble påført en lavere dosering (DOR 1:100). Vanninnholdet i emulsjonen var nærmest uendret etter første runden med dispergeringsmiddel (60 til 58 vol. %), og viskositeten ble heller ikke redusert, men det ble snarere en økning (18 481 mPa.s). Ved 2. gangspåføring av Dasic NS ble vanninnholdet redusert til 50 vol.%, med en markant reduksjon av viskositet (9510 mPa.s). FET-testene viste også en god dispersjon etter første og andre gangspåføring med Dasic NS.

Resultater fra dispergeringsforsøket med IFO 180LS og Dasic NS er oppsummert i Tabell 7-3 og Tabell 7-4, Figur 7-12 og Figur 7-13 viser massebalanse for forvitring og for dispergering. Det ble tatt ut vannprøver for analyse av dispergert olje og FET-tester, samt dråpestørrelser målt med LISST (Figur 7-14 og Figur 7-15). Dispergeringsforsøket ble også dokumentert med bilder som vist i dette del-kapittelet.

Tabell 7-3 Resultater fra dispergeringsforsøket med IFO 180LS (2018-3881) ved 13°C med Dasic NS

Prøve nr.	Tid (timer)	Vann innhold, vol% ***	Fordampning, wt% **	Viskositet, mPa.s, 10 s ⁻¹	Olje-i-vann, ppm*	Olje i vann, % ****	FET	Setting bølgegenerator
1	0,5	44	1	9057	1,6	0,1	God	32Hz/ 16cm
2	1	53	1,5	12603	1,6	0,1	God	32Hz/ 16cm
3	1,5	55	2	17034	1,6	0,1	Redusert	32Hz/ 16cm
4	2	60	2,5	18361	1,6	0,1	Redusert	32Hz/ 16cm
1. Påføring av dispergeringsmiddel: 171,7 g Dasic NS (DOR = 3,84 wt. %)								
3 min. Disp. 1	-	-	-	-	11	1,0		32Hz/ 16cm
10 min. disp 1	-	-	-	-	30	2,9	-	34Hz/16cm
30 min. disp 1	-	-	-	-	29	2,7	-	34Hz/16cm
60 min. disp 1	-	57,4	-	18481	31	2,9	God	34Hz/16cm
2. Påføring av dispergeringsmiddel: 177,2 g Dasic NS (DOR= 3,96 wt. %)								
3 min. disp 2	-	-	-	-	335	32		34Hz/16cm
10 min. disp 2	-	-	-	-	727	70	-	34Hz/16cm
60 min. disp 2	-	50	-	9510	662	65	God	34Hz/16cm
3. Påføring av dispergeringsmiddel: 45 g Dasic NS (DOR= 1,01 wt. %)								
3 min. disp 2	-	-	-	-	962	92		34Hz/16cm
10 min. disp 3	-	-	-	-	921	90		34Hz/16cm

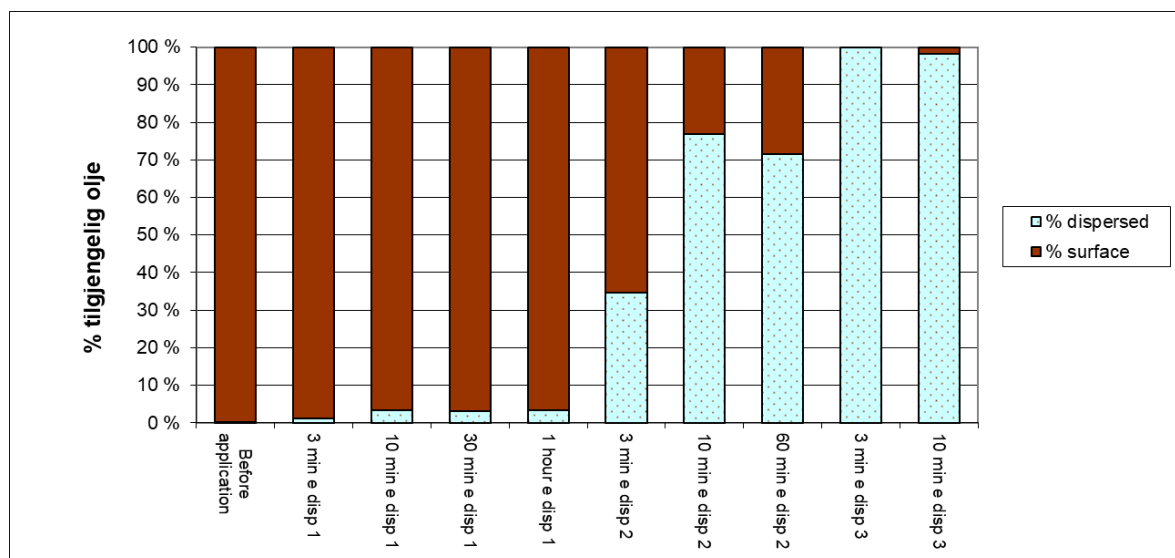
*ppm=parts per million ** Estimert fordampningsgrad ***Vanninnhold målt ved bryting av emulsjon med Alcopol emulsjonsbryter **** % dispergert av tilgjengelig olje



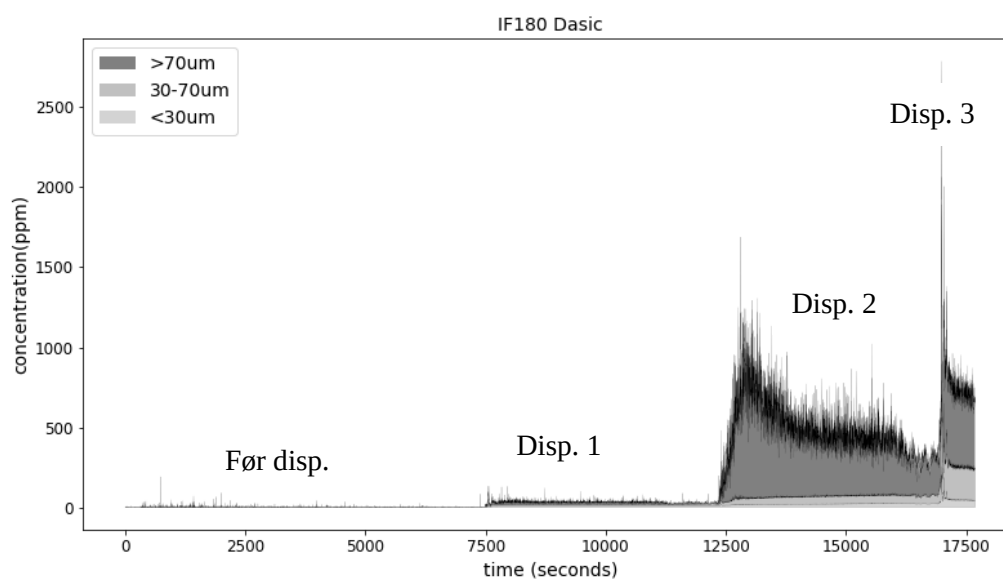
Figur 7-12 Massebalansen for IFO 180 LS (2018-03882) før tilsats av dispergeringsmiddel etter 2 timers forvitring (13°C)

Tabell 7-4 Dispergeringsforsøk IFO-180LS med Dasic NS. (DOR= Dispersant -to-oil ratio.
DER=Dispersant-to-emulsion ratio)

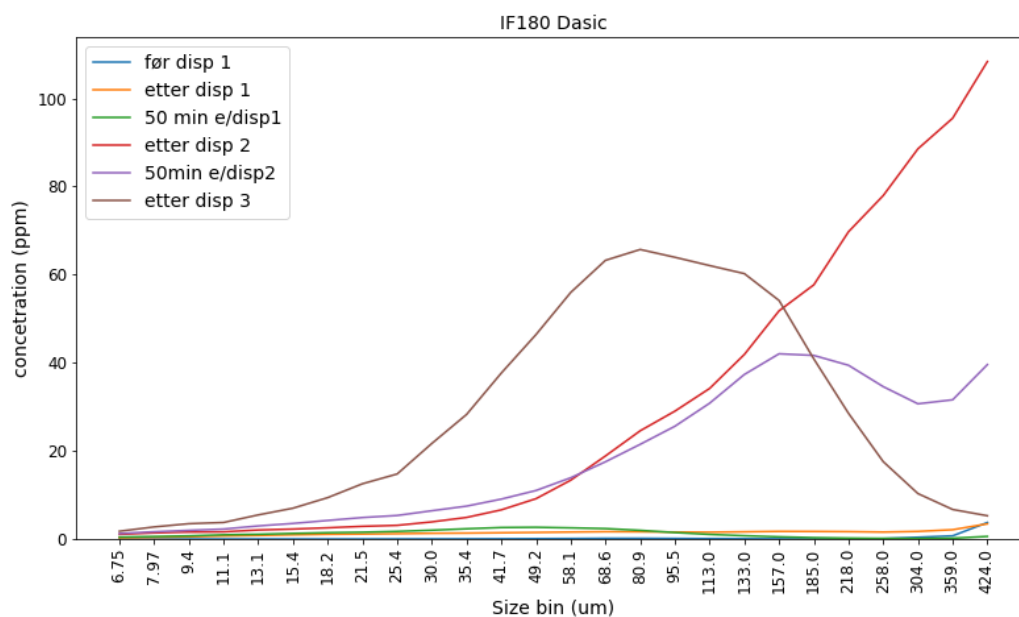
Dasic NS påføring (gram)	DOR (wt. %)	DER (wt. %)
Disp.1 (171.7)	1:26 (3,84)	1:62 (1,61)
Disp. 2 (177.2)	1:25 (3,96)	1:60 (1,66)
Disp.3 (45)	1:99 (1,01)	1:237 (0,42)
Kumulativ (393,9)	1:11 (8,81)	1:27 (3,70)



Figur 7-13 Massebalansen (IFO-180LS) for dispergering (3 påføringer av Dasic NS) % dispergert av tilgjengelig olje. *Overestimert 100% dispergert etter 3 min. etter 3. dispergering – observert 90-95%



Figur 7-14 Fordeling av oljedråper med ulike størrelser under dispergeringsforøket med IFO-180LS med Dasic NS. Høyest andel av oljedråper i området 30-70 μm etter 2 og 3. gangspåføring av Dasic NS



Figur 7-15 Dråpestørrelsesfordeling (d50) etter dispergering av IFO-180LS med Dasic NS

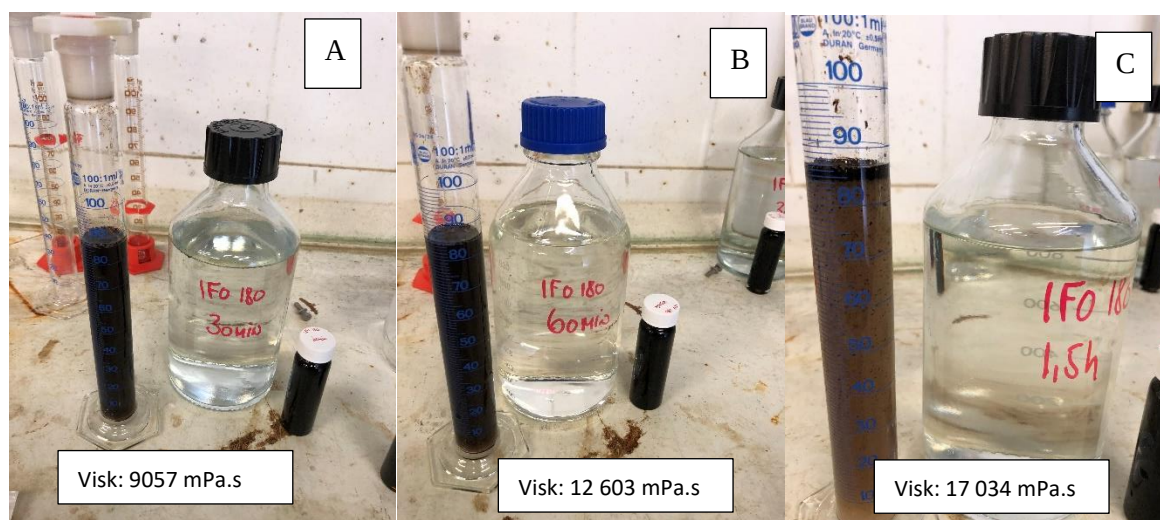
Visuelle observasjoner – Forvitring 2 timer



Figur 7-16 Påføring av IFO 180LS (venstre) og oljen som sprer seg på overflaten rett etter påføring (høyre)



Figur 7-17 Etter 1 time har oljen dannet en tykk emulsjon (viskositet: 12 603 mPa.s), og det er lite nedblanding i vannfasen



Figur 7-18 A og B: FET-tester (DOR 1:25, Dasic NS) etter 30 og 60 min. forvitring viser god dispergerbarhet. C: FET-test etter 1,5 timer viser redusert dispergerbarhet. Vannprøvene er blanke og viser at nedblanding i vannfasen under forvitring er minimal

Dispergering (1) – Dasic NS

Da prøven etter 2 timers forvitring viste redusert dispergerbarhet med FET-testen med viskositet på 18 360 mPa.s og 60 vol.% vannopptak ble olje/emulsjonen dispergert med Dasic NS



Figur 7-19 Emulsjonen etter 2 timer – emulsjon før dispergering

Oljen ble samlet opp med en stopper (planke) og bølgeenergien ble skrudd av slik at kun vinden ble brukt for å samle opp emulsjonen. 171g Dasic NS ble påført med en Wagner dysesprøyter i løpet av 50 sekunder. Dispergeringsmidlet fikk så virke i 5 minutter før planken ble fjernet og bølgeenergien startet. De første fem minuttene ble kjørt med 32 Hz/16 cm, før energien så ble økt til 34 Hz/16 cm. Det ble tatt vannprøver etter 3, 10, 30 og 60 minutter.



Figur 7-20 3 minutter etter at bølgen er startet opp ser vi at dispergeringsmidlet har effekt på emulsjonen, og at nedblandingen i vannfasen har startet. (bildene er tatt i det "flaket" passerer og før oljen har spredd seg homogent i hele renna – mye av fargen på vannfasen skyldes også at lyset må passere gjennom oljeflaket)



Figur 7-21 Etter 30 minutter har oljeflaket stabilisert seg mer og ser at nedblandingen i vannfasen består av store dråper /tråder av olje. Fargen og konsistensen på oljeflaket er endret etter at dispergeringsmiddel (Dasic NS) ble påført

Dispergering (2) – Dasic NS

60 minutter etter første dispergering ble den gjenværende overflateoljen samlet opp igjen på samme måte som før første dispergering. FET-test av oppsamlet oljer viser at olje/emulsjon er godt dispergerbar (Figur 7-22). 177,2 g Dasic NS ble deretter påført på samme måte som ved første dispergering og fikk virke i 5 minutter før stopperen ble fjernet og bølgeenergien startet opp igjen.



Figur 7-22 FET-test på oppsamlet olje før 2. dispergering av Dasic NS. Olje/emulsjon er godt dispergerbar



Figur 7-23 Olje/emulsjonen 3 minutter etter 2. dispergering (venstre). Nedblandingen i vannfasen er tydelig (midten), og vannprøve viser en tydelig økning av olje i vannfasen (høyre)



Figur 7-24 60 minutter etter dispergering har oljens utseende endret seg og observerer store dråper og tråder i vannfasen

Dispergering (3) – Dasic NS

Gjenværende olje/emulsjon ble samlet opp som tidligere beskrevet og 45 gram Dasic NS ble påført. Det ble estimert på dette tidspunktet ca. 2 liter olje/emulsjon tilgjengelig for 3.gangspåføring som utgjorde ca. 60 % dispergert og ca. 40 % av oljen på overflaten. FET-testen på oppsamlet olje viser at oljen er godt dispergerbar (Figur 7-25). Vannprøver ble tatt etter 3 og 10 minutter. Etter tre runder dispergering er det tilsynelatende veldig lite olje igjen på overflaten (< 0,5 liter) og forsøket ble avsluttet etter 10 minutter.



Figur 7-25 FET-test på før tredje dispergering viser at oljen er godt dispergerbar



Figur 7-26 10 minutter etter 3. dispergering er det tilsynelatende veldig lite olje igjen på overflaten (kun et tynt lag). < 0,5 liter. Venstre: Bølgeenergi Høyre: Ingen oljelag observert på overflater når vi ser fra siden. Oljen som er nedblandet har fått mindre dråper – ikke like mye tråder enn det som ble observert etter de foregående rundene dispergering, og denne dispersjonen vil være langt mer stabil enn de foregående



Figur 7-27 Fra venstre: Vannprøver 3 min. etter 3. gangspåføring, 2. gangspåføring (60, 10 og 3 min).
Bakke rekke: Vannprøver etter 1. gangspåføring

7.3 Dispergeringsforsøk 3 – IFO-180LS med Corexit 9500 (13°C)

Det ble bestemt å utføre et tilsvarende dispergeringsforsøk ved 13°C på IFO 180LS (2018-03882) med Corexit 9500 som ble utført med Dasic NS (kapittel 7.2). Dette for å sammenligne dispergeringseffektiviteten mellom disse to dispergeringsmidlene på samme olje batch med forsøksbetingelser og forvittringsgrad. Som nevnt i kapittel 7.2 er denne IFO-180LS batchen forskjellig fra den som ble benyttet i meso-skala forsøkene i 2014 (Sørheim et al. 2014), hvor Corexit 9500 ble benyttet i 2014 (Sørheim et al. 2014) for et tilsvarende kortidsforsøk (forvitring).

Utførelse

5 liter IFO-180LS ble forsiktig påført vannflaten 27.03.2019 klokken 10:31. Påføringen ble gjort over 2-3 minutter og bølgen ble startet kl. 10:34. Oljen var varmet til ca. 40°C før den ble påført. Overflateprøver ble tatt hver halvtime, hvor det bla. ble utført FET-tester for å sjekke om olje/emulsjonen fremdeles var dispergerbar. Det ble også fortløpende målt viskositeter av overflateprøvene, samt at vannprøver ble tatt for å analyser av dispergert olje, dvs. sjekk om oljen hadde blandet seg naturlig ned i vannfasen under forvitringen..

Viskositeten av den ferske utgangsoljen ved 13°C (10s^{-1}) var 7197 mPa.s. Etter 2 timers forvitring med brytende bølger var viskositeten til bunkersoljen økt til 18 068 mPa.s. FET-testen viste at emulsjonen var redusert dispergerbar etter 2 timers forvitring i renna, og Corexit 9500 ble dernest påført *in-situ* i 3 runder. Viskositeter og vanninnhold ble målt både før og etter tilsats av dispergeringsmiddel, dette for å sjekke om dispergeringsmiddelet hadde kart å bryte opp emulsjonen. Det ble utført flere FET-tester underveis for å kontrollere om olje/emulsjonen klart var godt, redusert eller dårlig dispergerbar. Det ble også tatt billedokumentasjon underveis, samt målinger av dråpestørrelser med LISST under forsøket. Under forvitringen ble det benyttet brytende bølger med litt lavere energi enn standard (30-32 Hz/16 cm), mens etter påføring av dispergeringsmiddel ble enegein økt til standard brytende bølger (34 Hz/16 cm).

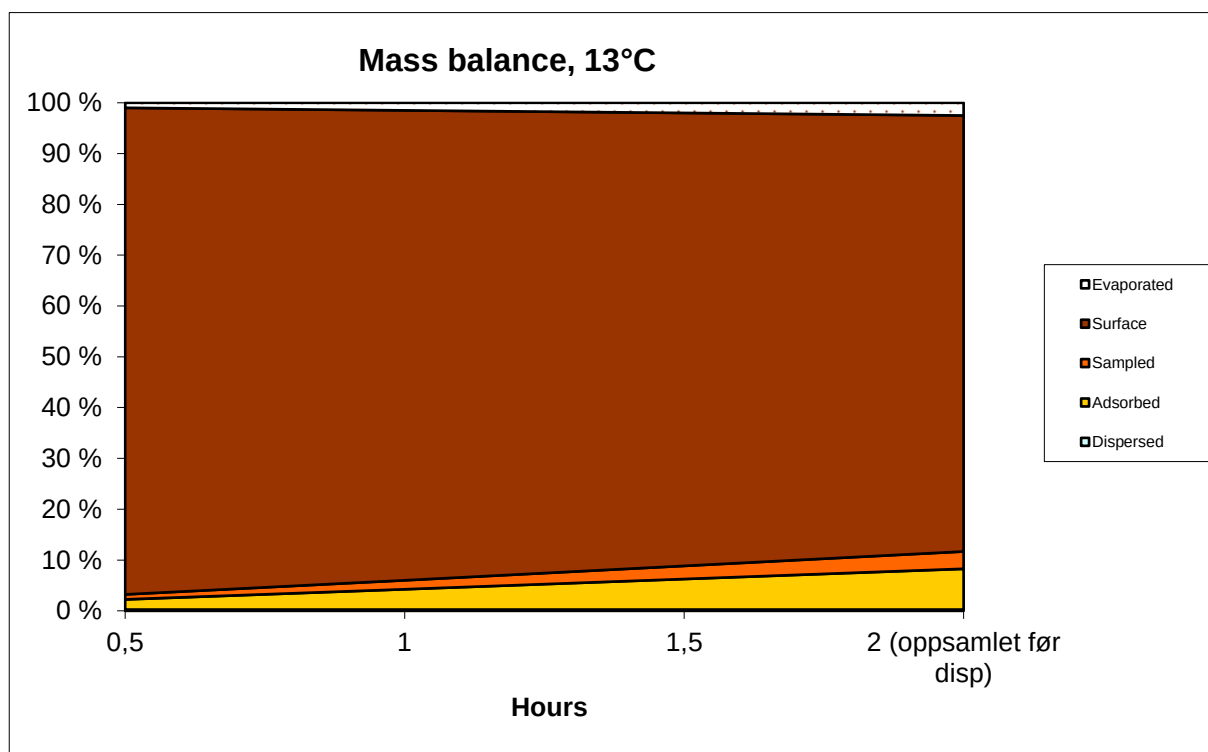
Det ble totalt tilsatt 411,4 gram Corexit 9500 med en kumulativ DOR 1:11 for de 3 dispergeringsrundene. Totalt var det ca. 5-10 % av den totale mengden olje gjenværende på overflaten etter den tredje runden med dispergeringsmiddel. Doseringsforholdet for de to første rundene var DOR 1:23 og 1:25, mens for den 3. runden det ble påført en lavere dosering (DOR 1:107). Vanninnholdet i emulsjonen var noe redusert etter første runden med dispergeringsmiddel (56 til 40 vol. %), mens ble en svak økning i viskositeten (18 482 mPa.s). Etter 2. gangspåføring av Dasic NS ble vanninnholdet redusert til 25 vol.%, med en reduksjon av viskositet (14 657 mPa.s). Etter 3.gangspåføring av Corexit 9500 ble vanninnholdet ytterligere redusert til 16 vol.%, men viskositeten var omtrent uendret (15059 mPa.s). FET-testene viste også en god dispersjon etter første og andre gangspåføring med Corexit 9500.

Resultater fra dispergeringsforsøket med IFO-180LS og Corexit 9500 er oppsummert i Tabell 7-5 og Tabell 7-6. Figur 7-28 og Figur 7-29 viser massebalanser for forvitring og for dispergering. Det ble tatt ut vannprøver for analyse av dispergert olje og FET-tester, samt dråpestørrelser målt med LISST (Figur 7-30 og Figur 7-31). Dispergeringsforsøket ble også dokumentert med bilder som vist i dette delkapittelet.

Tabell 7-5 Resultater fra dispergeringsforsøket med IFO 180LS (2018-3882) ved 13°C med Corexit 9500

Prøve nr.	Tid (timer)	Vanninnhold, vol% ***	Fordampning, wt%**	Viskositet, mPa.s, 10s ⁻¹	Olje-i-vann, ppm*	Olje-i-vann %****	FET	Setting bølgegenerator
1	0,5	37	1	11166	2,7	0,3	God	32Hz/ 16cm
2	1	49	1,5	14836	2,7	0,3	God	30Hz/ 16cm
3	1,5	54	2	16479	2,7	0,3	Redusert	30Hz/ 16cm
4	2	56	2,5	18068	2,7	0,3	Redusert	32Hz/ 16cm
1. Påføring av dispergeringsmiddel: 193,7 g Corexit 9500 (DOR = 4,33 wt.%)								
3 min. Disp.1	-	-	-	-	9	1,1	-	32Hz/ 16cm
10 min. disp 1	-	-	-	-	44	4,7	-	34Hz/16cm
30 min. disp 1	-	-	-	-	84	9,3	-	34Hz/16cm
60 min. disp 1	-	40	-	18482	73	8,1	God	34Hz/16cm
2. Påføring av dispergeringsmiddel: 176 g Corexit 9500 (DOR= 3,94 wt. %)								
3 min. disp 2	-	-	-	-	133	13	-	34Hz/16cm
10 min. disp 2	-	-	-	-	623	64	-	34Hz/16cm
60 min. disp 2	-	25	-	14657	539	54	God	34Hz/16cm
3. Påføring av dispergeringsmiddel: 41,7 g Corexit 9500 (DOR= 0,93 wt.%)								
3 min. disp 2	-	-	-	-	680	95	-	34Hz/16cm
10 min. disp 3	-	16	-	15059	894	89	-	34Hz/16cm

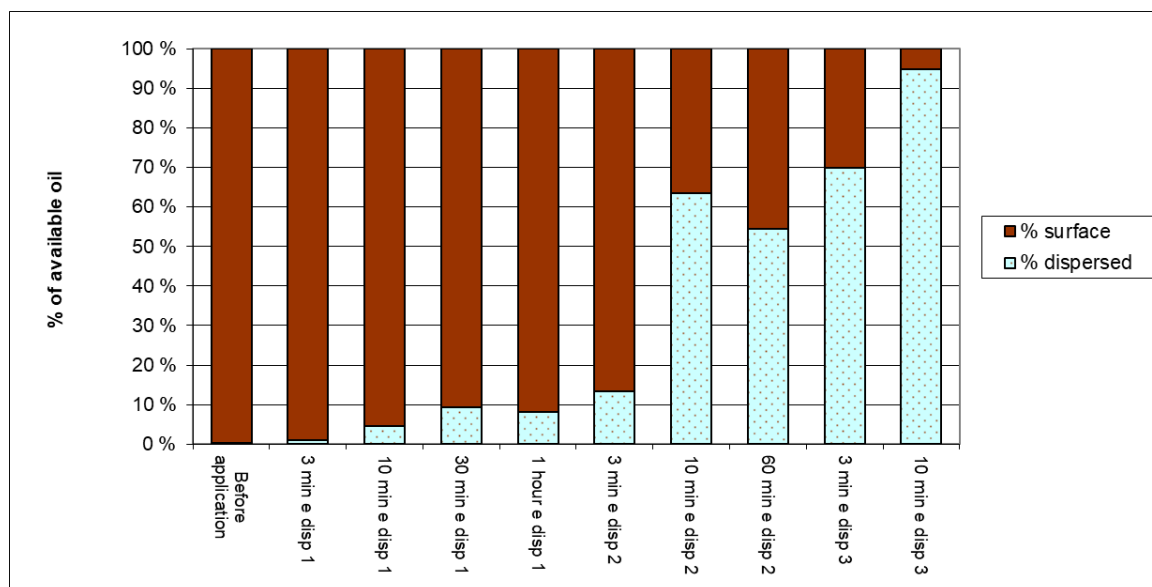
*ppm=parts per million ** Estimert fordampningsgrad ***Vanninnhold målt ved bryting av emulsjon med Alcolpol emulsjonsbryter **** % dispergert av tilgjengelig olje



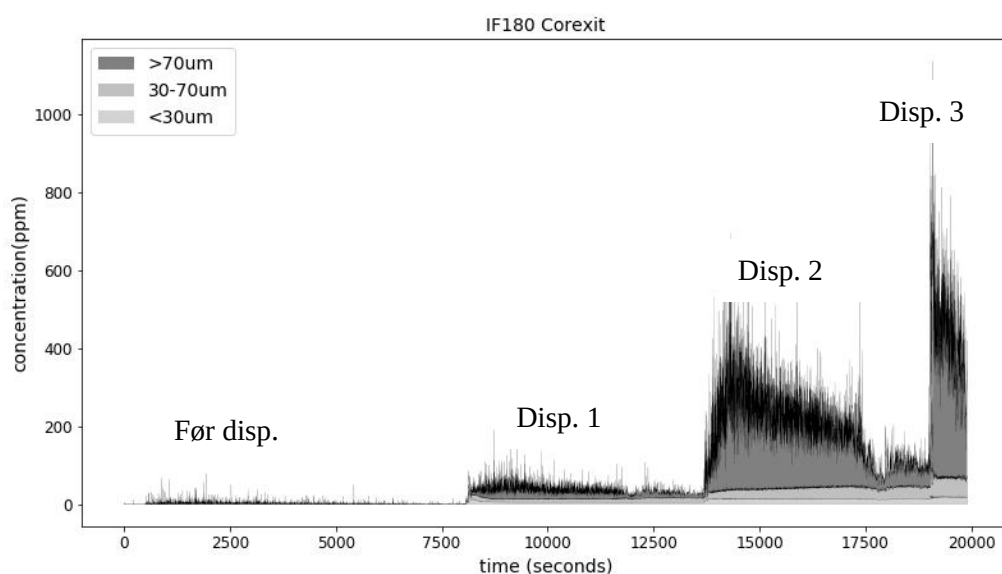
Figur 7-28 Massebalansen for IFO 180 LS (2018-03882) før tilsats av dispergeringsmiddel etter 2 timers forvitring (13°C)

Tabell 7-6 Dispergeringsforsøk IFO-180LS med Corexit 9500. (DOR= Dispersant -to-oil ratio.
DER=Dispersant-to-emulsion ratio)

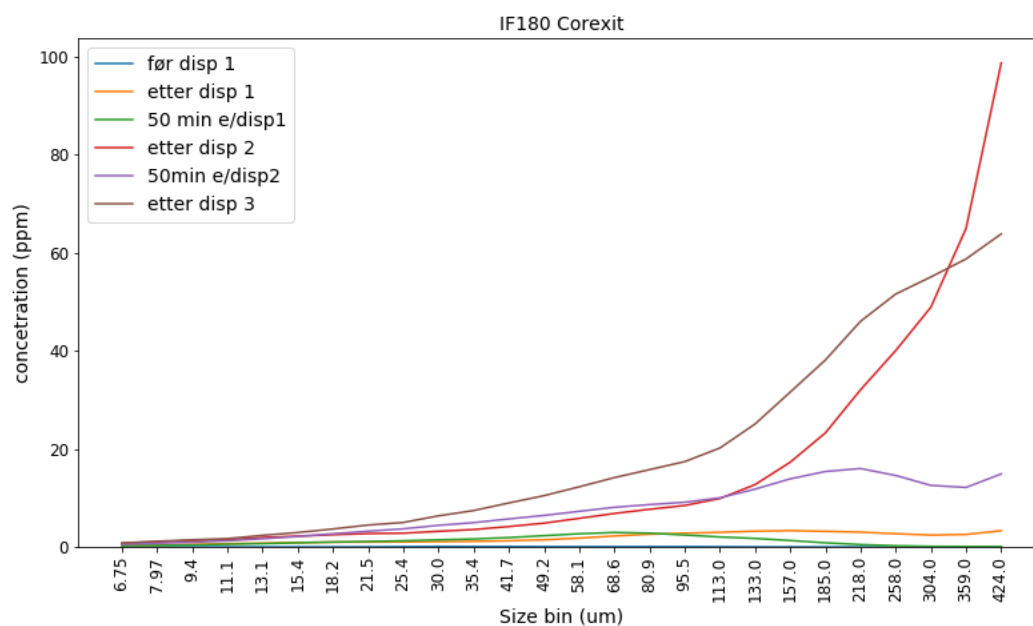
Corexit 9500 påføring (gram)	DOR (wt. %)	DER (wt. %)
Disp.1 (193,7)	1:23 (4,33)	1:55 (1,82)
Disp. 2 (176)	1:25 (3,94)	1:61 (1,65)
Disp.3 (41,7)	1:107 (0,93)	1:256 (0,39)
Kumulativ (411,4)	1:11 (9,20)	1:26 (3,86)



Figur 7-29 Massebalansen IFO-180LS for dispergering (3 påføringer av Corexit 9500) % dispergert av tilgjengelig olje

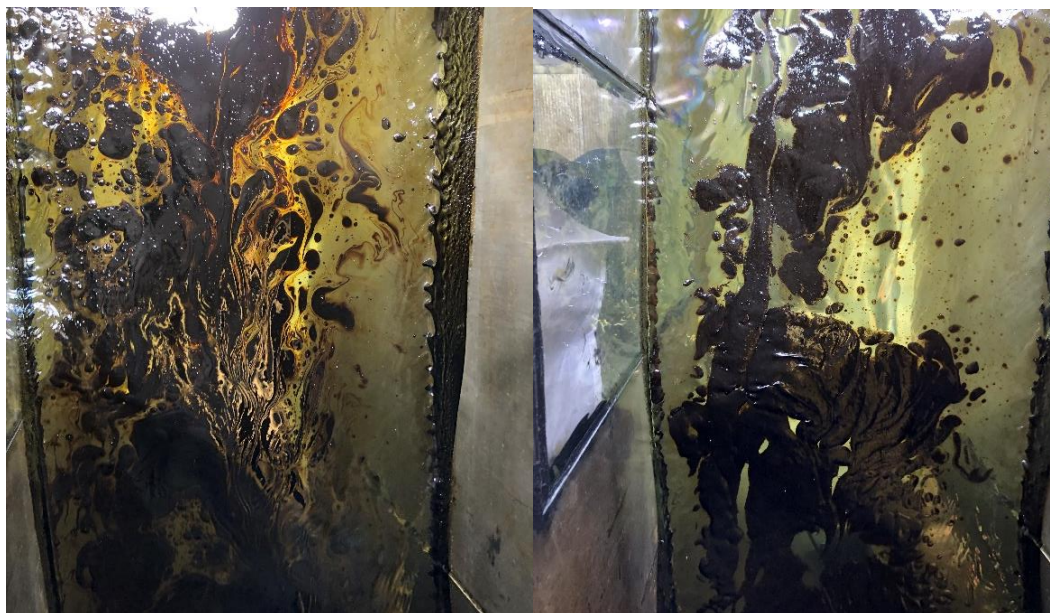


Figur 7-30 Fordeling av oljedråper med ulike størrelser under dispergeringsforøket med IFO-180LS med Corexit 9500. Høyest andel av oljedråper i området 30-70 μ m etter 2 og 3. gangspåføring av Corexit 9500



Figur 7-31 Dråpestørrelsesfordeling (d50) etter dispergering av IFO-180LS med Corexit 9500

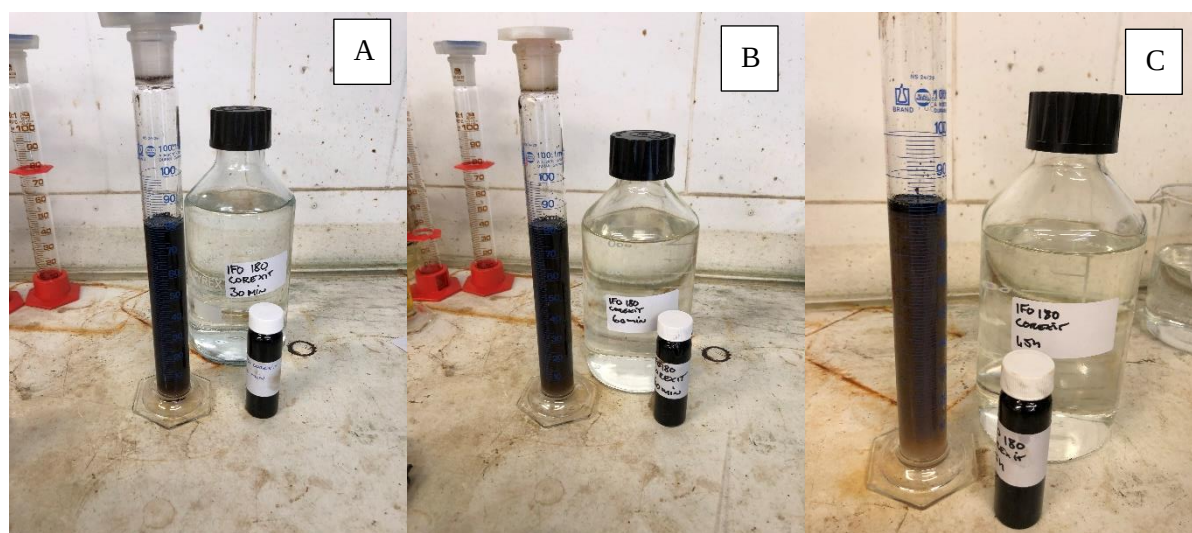
Visuelle observasjoner – Forvitring 2 timer



Figur 7-32 3 min. etter påføring (venstre), og 30 min. etter påføring (høyre). Oljen er tydelig tykkere etter 30 min og har tatt opp 37% vann



Figur 7-33 Etter 2 timer hadde emulsjon oppnådd en viskositet på 18 068 mPa.s. Emulsjonen holder seg på overflaten og det er lite olje nedblandet i vannmassen



Figur 7-34 A og B: FET-tester (DOR 1:25, Corexit 9500) etter 30 og 60 min. som viser god dispergerbarhet. C: FET-test etter 1,5 timer viser redusert dispergerbarhet

Dispergering (1) – Corexit 9500

IFO-180LS viste etter 2 times forvitring redusert dispergerbarhet med FET-test og hadde oppnådd en viskositet på 18 068 mPa.s og 56% vannopptak ble det besluttet å dispergere oljen med Corexit 9500.

Oljen ble samlet opp med en stopper (planke) og bølgeenergien ble skrudd av slik at kun vinden ble brukt for å samle opp emulsjonen. 193,7g Corexit 9500 ble påført med en Wagner dysesprøyter i løpet av 50 sekunder. Dispergeringsmidlet fikk så virke i 5 minutter før planken ble fjernet og bølgeenergien startet. De første fem

minuttene ble kjørt med 32 Hz/16 cm, før energien så ble økt til 34 Hz/16 cm. Det ble tatt vannprøver etter 3, 10, 30 og 60 minutter.



Figur 7-35 3 min, etter første dispergering med Corexit 9500– emulsjonen brytes opp i mindre deler (oljeklumper)



Figur 7-36 10 min. etter første dispergering med Corexit 9500 ser vi at vi får en del større oljepartikler i vannmassen – emulsjonen er fremdeles brutt opp i mindre oljeklumper, men har samlet seg mer



Figur 7-37 60 min. etter første dispergering med Corexit 9500 (viskositet 18482 mPa.s, 40 % vannopptak). Oljedråper nedblandet i vannmassen ser nå litt mindre ut, men fortsatt store tråder

Dispergering (2) – Corexit 9500

60 minutter etter første dispergering ble oljen samlet opp igjen på samme måte som før første dispergering. Det var FET-test av oppsamlet olje viser at olje/emulsjonen er godt dispergerbar som vist i Figur 7-38. 176 g Corexit 9500 ble deretter påført på samme måte som ved første dispergering og fikk virke i 5 minutter før stopperen ble fjernet og bølgeenergien startet opp igjen.



Figur 7-38 FET-test på oppsamlet olje før andre dispergering viser at oljen kan ansees som godt dispergerbar (venstre). Til høyre ser vi oljen som er samlet opp før andre runde dispergering



Figur 7-39 3 min. etter andre dispergering –oljeemulsjonens konsistens er endret og observerer en betydelig andel større oljedråper i vannfasen



Figur 7-40 Vannprøve 10 min. etter 2. dispergering med Corexit 9500



Figur 7-41 60 minutter etter andre dispergering (store dråper /tråder i vannfasen)

Dispergering (3) – Corexit 95000

Oljen ble samlet opp som tidligere beskrevet og 41,7 gram Corexit 9500 ble påført på tilsvarende måte som tidligere. Det ble estimert av det på dette tidspunktet var ca. 2 liter olje/emulsjon tilgjengelig etter oppsamling. FET-test på oppsamlet olje viser at oljen er godt dispergerbar (Figur 7-42). Vannprøver ble tatt etter 3 og 10 minutter. Etter tre runder dispergering er det tilsynelatende veldig lite olje igjen (< 0,5 liter) på overflaten og forsøket ble avsluttet etter 10 minutter.



Figur 7-42 FET-test før tredje dispergering med Corexit 9500. Emulsjonen anses som godt dispergerbar



Figur 7-43 3 min. etter tredje dispergering med Corexit 9500.. På dette tidspunktet er det meste av oljen i vannfasen og dråpestørrelsen virker å være betraktelig redusert. Noe olje blir "vasket ned" som dråper og tråder, men det meste er små og godt dispergerte



Figur 7-44 10 min. etter tredje dispergering med Corexit 9500



Figur 7-45 Vannprøver. Bakre rekke fra venstre mot høyre: prøver fra forvitring 30, 60 og 90 min, så prøver fra første dispergering 3, 10, 30 og 60 minutter. Fremste rekke fra venstre: andre dispergering 3, 10, 30 og 60 minutter. Tredje dispergering 3 og 10 minutter

7.4 Oppsummering dispergeringsforsøk i meso-skala renna

Resultatene fra dispergeringsforsøkene oppsummeres kort som følger:

MGO (2014-0551)

- Oljen ble forvitret under rolige betingelser (ingen bølger) i 20 timer ved 2°C før påføring av dispergeringsmiddel (Dasic NS)
- Dispergeringsforsøket viste at Dasic NS hadde god dispergeringseffekt på MGO ved økende bølgeenergi i renna
- MGO trengte energi i form av brytende bølger for total dispersjon
- Etter 2 runder med kumulativ påføring (DOR 1:65) av Dasic NS var det ikke ved visuell inspeksjon observert gjenværende olje på overflaten, dvs. at oljen var fullstendig dispergert i vannfasen
- Viskositeten for den forvitrete oljen før og under påføring av dispergeringsmidlet var lav (13-14 mPa.s, 10s^{-1})
- Resultatene fra dispergeringsforsøket var også i god overenstemmelse med benke-skala testene (IFP/MNS). Lav-energitesten (IFP) viste god effekt med Dasic NS (78-80%) for DOR 1:25 og 1:50. Høye dispergeringseffektiviteter var også påvist med høy-energitesten (MNS)
- Resultatene fra dispergeringsforsøket i meso-skala renna ved 2°C var også i god overenstemmelse med et standard forvitningsforsøk med samme batch av MGO (Hellstrøm 2017). Oljen ble da forvitret i 72 timer før påføring av Dasic NS hvor > 95 % av ole/emulsjonen var dispergert etter 1. gangspåføring (DOR 1:250)

IFO-180LS (2018-3882)

- Bunkersoljen ble forvitret i 2 timer under brytende bølger før påføring av dispergeringsmiddel. Det ble utført 2 tilsvarende forsøk med denne oljen med henholdsvis Dasic NS og Corexit 9500.
- Oljen ble forvitret under samme forsøksbetingelser for å oppnå så like viskositeter og vannopptak som mulig før dispergeringsmiddelet ble påført i 3 suksessive runder
- Olje/emulsjonen hadde såpass høye viskositeter (18068-18361 mPa.s) og høyt vannopptak (56-60 %) etter 2 timers forvitring at det var nødvendig med flere gangspåføringer av dispergeringsmiddel for denne type bunkersolje
- Repeterende behandling med dispergeringsmiddel er også en kjent påføringsstrategi for råoljer
- FET-testene under dispergeringsforsøkene viste at gjenværende olje/emulsjon etter både første og andre gangspåføring av dispergeringsmidlene var definert som godt dispergerbare
- Begge dispergeringsforsøkene med påføring av Dasic NS og Corexit 9500 viste også at etter 2. gangspåføring ble det observert en klar effekt av redusert viskositet av overflateemulsjonen og at en større andel av oljen var dispergert i vannmassen
- Effektiviteten av Dasic NS og Corexit 9500 viste små forskjeller mellom disse produktene på den forvitrete bunkersoljen, dvs. at ingen av disse to dispergeringsmidlene hadde signifikant bedre effekt enn den andre, dvs. at de kunne likestilles
- Et tilsvarende forsøk (Sørheim et al. 2014), med en annen batch av IFO-180LS (2013-0594) hvor Corexit 9500 ble påført olje/emulsjon i 3 runder (omtrent samme doseringsforhold), hadde også store likheter med dispergeringsforsøkene på bunkeroljen utført i dette prosjektet

8 Utfellingstest for lagringsstabilitet av dispergeringsmidler

Det ble i dette prosjektet utført utfellingstest for å undersøke lagringsstabilitet ned til -20°C. Referer til *Retningslinje for bruk av dispergeringsmidler som beredskapstiltak -Veileder 2017, Miljødirektoratet*. De aktuelle dispergeringsmidlene Dasic NS, Corexit 9500 og OSR-52 ble homogenisert og fylt over på 40 ml-glass. Homogenisering ble utført ved å varme opp dispergeringsmidlene til 50°C og riste i 1 minutt. Prøvene ble så satt i temperaturregulert klimaskap ved +5°C i 3 døgn for stabilisering. Deretter ble temperaturen satt suksessivt ned til 0°C, -5°C, -10°C, -15°C og -20°C. Prøvene sto i 1 døgn for hver av testtemperaturene, bortsett fra ved -20°C hvor prøvene sto i 10 døgn. Etter endt utfellingsforsøk ble prøvene deretter plassert tilbake på 5°C (1 døgn) og deretter ved 20°C (romtemperatur) i ca. 7 timer for å sjekke om det var noen endringer i konsistens og framtoning sammenlignet med utgangsprøvene.

Resultatene fra utfellingstesten er oppsummert gitt i Tabell 8-1 og fotodokumentasjoner er vist i Figur 8-1, Figur 8-2 og Figur 8-3. Det ble ikke observert bunnfall i noen av prøvene med under denne testen, men dispergeringsmidlene endret både framtoning og konsistens under utfellingstestene. Figur 8-4 viser tidligere målte viskositeter (temperatursveip) på ulike dispergeringsmidler fra + 20°C til -15°C. Viskositeter for Dasic NS er lavere i dette temperaturområdet sammenlignet med Corexit 9500 og OSR-62 (antar her samme viskositetsforløp som OSR-52). Det ble ikke målt viskositeter under utfellingstesten, men antar at viskositetsforløpet for de aktuelle dispergeringsmidlene testet følger samme trender.

Tabell 8-1 Resultater fra utfellingstest fra +5 til -20°C for Dasic NS, Corexit 9500 og OSR-52

Temp (°C)	Dasic NS	Corexit 9500	OSR-52
+5	Ingen endring	Ingen endring	Ingen endring
0	Ingen endring	Ingen endring	Ingen endring
-5	Ingen endring	Ingen endring	Ingen endring
-10	Tydelig blakking	Ingen endring	Antydning til blakking
-15	Tydelig blakking /flytende	Ingen endring /tykt flytende	Antydning til blakking /tyktflytende
-20	Tydelig blakking / flytende	Ingen endring /tykt flytende	Tydelig blakking / bunnfrosset
+5	Ingen endring fra utgangsprøve	Ingen endring fra utgangsprøve	Tyktflytende / kornete og blakket konsistens
+20*	Ingen endring fra utgangsprøve	Ingen endring fra utgangsprøve	Suspendert materiale i løsningen

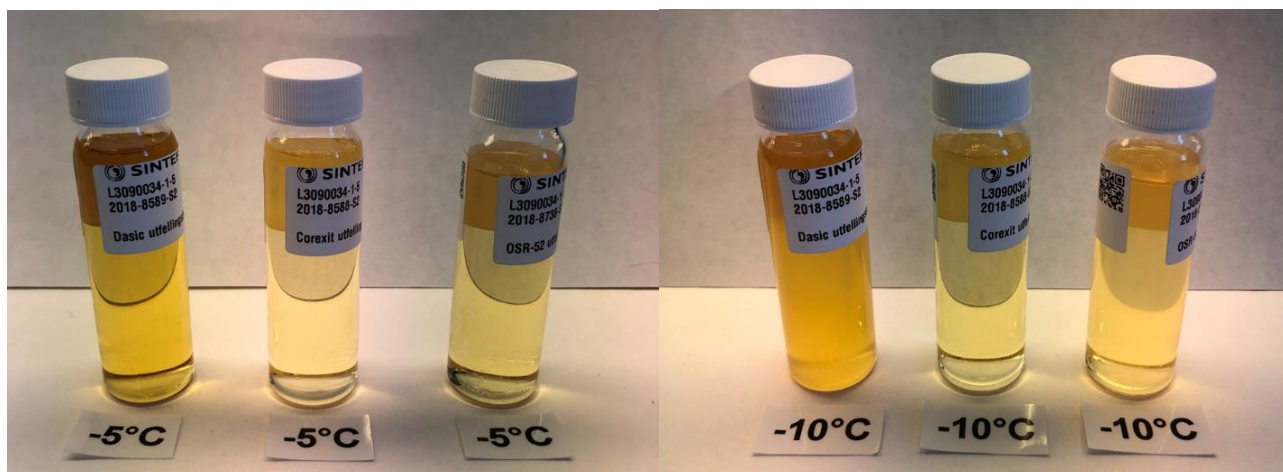
*Temperatur etter endt utfellingsforsøk ved minus 20°C i 7 døgn.

Prøvene ved -5°C viser ingen endring fra utgangsprøvene. Etter 1 døgn ved -10°C ble det observert blakking for Dasic NS, ingen synlige endringer for Corexit 9500, mens OSR-52 hadde antydning til påbegynnende blakking. Alle prøvene var da fremdeles flytende. Figur 8-1 viser bilder av dispergeringsmidlene etter 1 døgn ved -5 og -10°C.

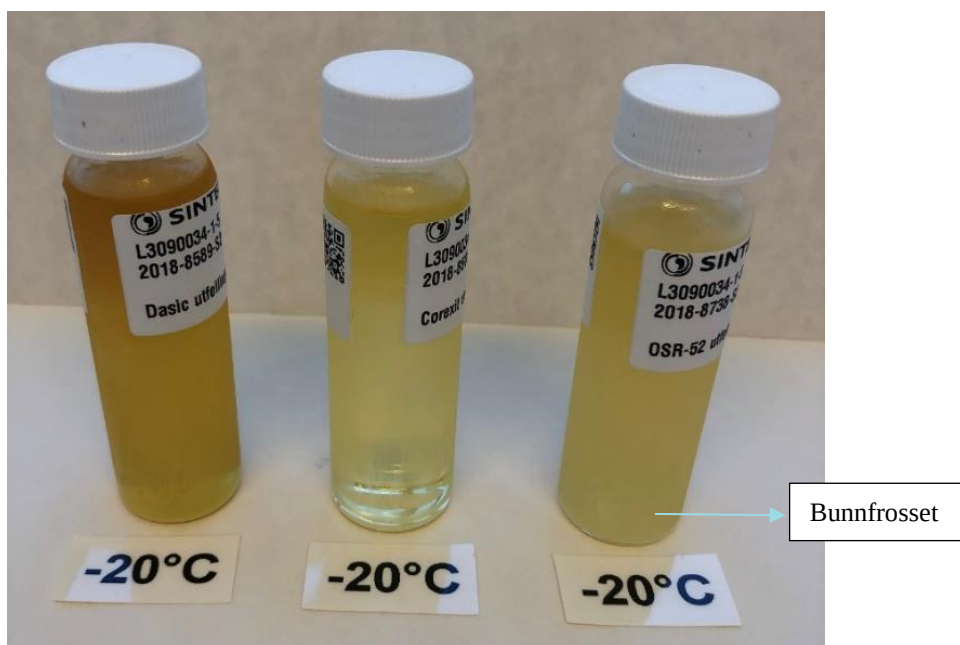
Figur 8-2 viser dispergeringsmidlene etter 7 døgn ved -20°C. Dasic NS var blakket, men fremdeles flytende (viskositet ~ 200 mPa.s, -15°C), mens Corexit 9500 hadde ingen synlige endringer og var også fremdeles flytende med vesentlig høyere viskositeter (700-800 mPa.s, -15°C), se Figur 8-4. OSR-52 både var både blakket og bunnfrosset ved -20°C. Det var ikke observert bunnfall i noen av prøvene.

Figur 8-3 viser dispergeringsmidlene ved 5°C og romtemperatur etter endt utfellingsforsøk. Både Dasic NS og Corexit 9500 var nå tilbake til normalt utseende med hensyn på farge og flytegenskaper (viskositet). OSR-52 var ved 5°C mer tyktflytende med en kortnet/blakket konsistens sammenlignet med utgangsprøven. Ved romtemperatur var OSR-52 blitt mindre viskøs, men det var observert suspendert materiale i løsningen (ikke som utfelling). OSR-52 var det dispergeringsmidlet som hadde tålt nedkjøling og påfølgende oppvarming dårligst sammenlignet med Dasic NS og Corexit 9500.

Corexit 9500 kan virke med robust med hensyn på resultater fra utfelletingstesten siden den ble visuelt var upåvirket på temperaturoendringene, men Dasic NS har lavere viskositet som kan være en fordel rent operativt. Observert blakking av Dasic NS ved -20°C ansees heller ikke å ha praktisk betydning ved lagring under kalde temperaturer.



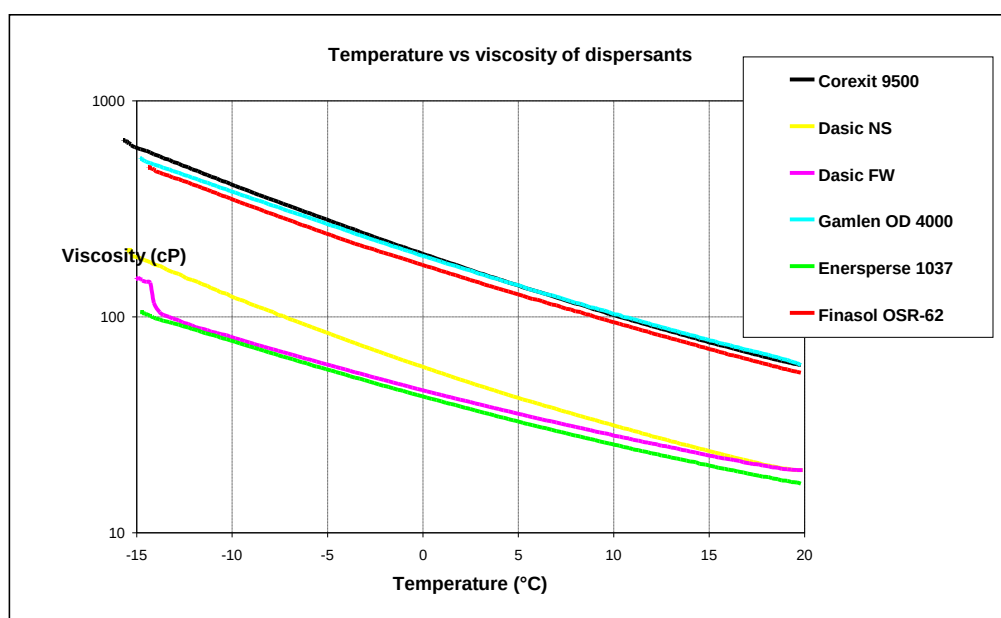
Figur 8-1 Venstre: Prøvene etter 1 døgn ved -5°C (ingen synlig endring). Høyre: Tydelig blakking av Dasic NS, ingen endring av Corexit 9500, antydninger til blakking av OSR-52



Figur 8-2 Venstre: Dasic NS: Tydelig blakket, flytende. Midten: Corexit 9500: Gjennomsiktig (ingen blakking – kun frost på glass), flytende. Høyre: OSR-52: Tydelig blakket og bunnfrosset.



Figur 8-3 Venstre (5 °C etter endt utfellingstest): Dasic NS og Corexit 9500 tilbake til normal framtoning og konsistens. Ingen bunnfall. OSR-52: Tykkflytende, blakket og kornete konsistens (ingen bunnfall). Høyre (romtemperatur etter endt utfellingstest): Observerv suspendert materiale for OSR-52



Figur 8-4 Temperatursveip for ulike dispergeringsmidler (Oil-in-ice JIP, 2016)

9 Konklusjon /Conclusion

9.1 Konklusjon

Dette prosjektet har hatt som målsetting å kunne dokumentere og teste effektiviteten for ulike relevante dispergeringsmidler (Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 og Radiagreen OSD) for å undersøke om det var mulig å velge ut et egnet dispergeringsmiddel (all-rounder) som kan benyttes på flere ulike oljetyper som marine dieseloljer (MGO), hybridoljer ULSFO og HDME 50, samt lav-svovelbunkerolje (IFO-180LS). Oversikt over oljetyper som er blitt testet i perioden 2014-2019 for dispergeringseffektivitet er gitt i Tabell 10-1, kapittel 10.

Toksistestesting på Radiagreen OSD

I denne prosjektperioden utførte NIVA giftighetstesten på Radiagreen OSD. Radiagreen OSD viste effekt i *Skeletonema pseudocostatum* vekst med EC50 på 7 mg / l etter 72 timers eksponering (Rapport NIVA 2019), og passerte dermed ikke grensen for bruk i henhold til eksisterende myndighetskrav med EC50 > 10 mg/l. Radiagreen OSD kan dermed ikke benyttes som et relevant dispergeringsmiddel i Norge slik regelverket fra myndighetene foreligger per i dag. Da resultatet fra giftighetstesten forelå ble videre testing med Radiagreen OSD stoppet i prosjektet.

Benke-skala testing IFP og MNS

Resultatene fra screening og doseringstestene utført med IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) viste at ingen av dispergeringsmidlene skilte seg vesentlig ut fra hverandre med hensyn på dispergeringseffektivitet, men det var nyanser av forskjeller mellom dispergeringsmidlene testet på for de ulike oljetyper. Rangering av dispergeringsmidlene på samme olje kunne også være innbyrdes ulike med hensyn på testmetodikk (IFP og MNS), doseringsforhold og testtemperatur. Ingen av dispergeringsmidlene viste seg å være totalt uegnet, men generelt kan vi si at Dasic NS og Corexit 9500 kom noe bedre ut sammenlignet med OSR-52, og var for flere av testene nokså likestilte. Kort oppsummering av trender fra dispergeringstestene er gitt som følger for Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52:

- MGO. Dasic NS og Corexit 9500 viste generelt best dispergeringseffektiviteter ved DOR 1:25 og 1:50, ved 2°C. Dette var i overenstemmelse med en tidligere screeningstudie utført ved 13°C (DOR 1:25), hvor Dasic NS og Corexit 9500 var de mest effektive dispergeringsmidlene blant de midlene som ble testet i Hybridprosjektet i 2016-2017. For MNS var det ikke mulig å skille dispergeringsmidlene fra hverandre ved dynamisk prøveuttak da alle DOR testet viste nærmest 100 % dispergeringseffektivt. Med statisk uttak (MNS) oppnådde Dasic NS den beste effektiviteten etterfulgt av Corexit 9500 og OSR-52 (DOR 1:50)
- HDME 50. Dasic NS kom best ut på IFP (DOR 1:25 og 1:50) for denne hybridoljen, mens Corexit 9500 kom dårligst ut sammenlignet med Dasic NS og OSR-52. Resultater fra Hybridprosjektet 2016-2017 viste også at Corexit 9500 hadde lavest effektivitet på HDME 50 sammenlignet med Dasic NS og OSR-52. For MNS (dynamisk uttak) var de 3 dispergeringsmidlene sidestilt med høye effektiviteter (DOR 1:25, 1:50 og 1:100). Dispergeringseffektiviteten for HDME 50 viste seg å være avhengig av dosering, hvor effektiviteten ble betraktelig redusert med lavest DOR 1:200 for alle dispergeringsmidlene. Ved 5°C var dispergeringseffektiviteten på IFP svært lav for alle midlene og kunne ikke rangeres, mens på MNS viste Corexit 9500 og OSR-52 litt høyere effektivitet enn Dasic NS for denne hybridoljen.
- ULSFO var generelt en dårlig/ redusert dispergerbar olje/emulsjon på MNS ved 13°C både for Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52 med DOR 1:10 og 1:25. Dette gjaldt også for langtidstesten (MNS) med økt virkningstid (prøveuttak etter 60 min.) mellom dispergeringsmiddel og oljeemulsjon. Langtidstesten ga derimot en viss økning i effektivitet i generering av mindre oljedråper og tråder sammenlignet med standardtesting på MNS med prøveuttak etter 5 min. Trender fra langtidsforsøket

(60 min. og 5 min. settlingstid) viste ingen signifikante forskjeller mellom dispergeringsmidlene. Bemerk at det var noe usikkerhet forbundet med kvantifisering av dispergeringseffektiviteten siden ULSFO dannet store dråper/tråder både ved DOR 1:10 og 1:25, og effektiviteten var generelt også lave for alle dispergeringsmidlene. Det ble oppnådd ingen effektivitet med lav-energitesten (IFP). ULSFO var heller ikke dispergerbar ved vintertemperatur (5°C)

- IFO-180. IFP viste generelt lave dispergeringseffektiviteter, men Corexit 9500 kom noe bedre ut sammenlignet med Dasic NS og OSR-52 med DOR 1:25 ved 5°C. For MNS med dynamisk uttak var rangeringen den samme som for IFP. Med statisk uttak viste derimot OSR-52 høyest effektivitet etterfulgt av Corexit 9500 og Dasic NS. For enda tyngre IFO-grades som IFO-380 er Corexit 9500 sannsynligvis det best mulige dispergeringsmiddelet (dog redusert dispergerbarhet), dette basert på tidligere tester fra 2014. Det antas derimot redusert bruk av dette drivstoffet i båter/skip i framtiden.

Meso-skala dispergeringsforsøk

Dispergeringsforsøket i meso-skala renna med MGO ved 2C (20 timers forvitring under rolige bølgeforhold) viste at denne oljen lot seg lett dispergere med Dasic NS (lavdosering) i suksessive 2 runder med høyest dispergeringseffektivitet ved økende energiforhold (brytende bølger) i renna. Resultatene fra de to dispergeringsforsøkene i meso-skala renna med IFO-180LS ved 13°C (2 timers forvitring med brytende bølger) indikerte at Dasic NS og Corexit 9500 kunne sidestilles som likeverdige dispergeringsmidler for denne oljetypen. Disse forsøkene viste også at det krevde suksessivt 2-3 påføring med dispergeringsmiddel for å bryte opp oljeemulsjon til en slik bunkersolje. Dette var også i samsvar med et tidligere renneforsøk med en annen batch av samme type IFO-180LS fra 2014 ved påføring av Corexit 9500.

Utfellingstest av dispergeringsmidler

Utfellingstesten fra +5 til -20 ° C viste at OSR-52 ble bunnfrosset ved minus 20 ° C, mens Dasic NS og Corexit 9500 fremdeles hadde en flytende konsistens ved denne temperaturen. Det ble midlertidig observert blakking av Dasic NS ved -20°C, men dette ansees ikke å ha praktisk betydning ved lagring under slike kalde betingelser. Viskositeten til Corexit 9500 vil midlertidig være høyere enn Dasic NS og bør også vurderes ved sammenligning og evaluering av dispergeringsmidlene opp mot hverandre fra et operativt synspunkt.

9.2 Conclusion

The objective from this current project was to document and test the effectiveness of various relevant dispersants Corexit 9500, Dasic NS, OSR-52 and Radiagreen OSD to investigate whether it was possible to select an all-rounder dispersant that could be efficient on different types of oil products; marine diesel oil (MGO), hybrid oils ULSFO and HDME 50, as well as the low sulphur fuel oils (IFO-180LS). Overview of oils and dispersants that have been tested in the period 2014-2019 are given in Table 10-1, Chapter 10.

Toxicity testing on Radiagreen OSD

During this project period, NIVA performed a toxicity test on the Radiagreen OSD (algae test). The Radiagreen OSD demonstrated effect in *Skeletonema pseudocostatum* growth with EC50 at 7 mg/L after 72 hours exposure time (report NIVA 2019). Based on this result, the dispersant did not pass the limit for use in accordance with existing regulatory requirements with EC50 > 10 mg/L, and further testing and evaluation of Radiagreen OSD was cancelled when the result from the toxicity test was known.

Bench-scale testing IFP and MNS

The results from the screening and dosage testing performed with the IFP (low-energy test) and MNS (high-energy test) showed that none of the 3 dispersants differed significantly in terms of relative effectiveness tested on all the oil types, but for some of the tests, there were found slightly differences among the oil types and dispersants. Dispersant effectiveness could also differ in terms of the test methodology (IFP and MNS), dosage ratios and test temperatures tested on the same oil. However, none of the dispersant's tested turned out to be

totally unsuitable, but in general, Dasic NS and Corexit 9500 were found to give a higher effectiveness than OSR-52 but were fairly similar for several of the tests. A brief summary of results and trends from the dispersant effectiveness testing on IFP and MNS are given as followed for the dispersants Corexit 9500, Dasic NS and OSR-52:

- MGO. Dasic NS and Corexit 9500 generally showed best dispersant effectiveness at DOR 1:25 and 1:50, at 2°C. These results were consistent with the previously screening study conducted at 13°C with DOR 1:25, where Dasic NS and Corexit 9500 were the most effective dispersants among the products tested (Hybrid project 2016-2017). For MNS, it was not possible to distinguish the dispersants by dynamic sampling since all the DOR tested showed almost 100% dispersion effectiveness. With static sampling on MNS, Dasic NS achieved the most efficient dispersion followed by Corexit 9500 and OSR-52(DOR1:50)
- HDME 50. Dasic NS was found to be the most optimal dispersant tested on IFP with DOR 1:25 and 1:50, whilst Corexit 9500 showed the lowest effectiveness for HDME50 compared to Dasic NS and OSR-52. Results from 2016-2017 (Hybrid project) also showed that Corexit 9500 had low effectiveness on HDME 50 compared to Dasic NS and OSR-52. For MNS, the effectiveness of the dispersants tested were comparable with high effectiveness at DOR 1:25, 1:50 and 1: 100. The dispersant effectiveness on HDME 50 was found to be highly dependent on the dosage rate, where the efficiency was significantly reduced by low DOR 1: 200, shown for all the 3 dispersants. At 5°C, the dispersant effectiveness on IFP was very low for all the dispersants (Corexit 9500, Dasic NS and OSR-52), and the dispersant could not be ranked, whereas for MNS, Corexit 9500 and OSR-52 showed slightly higher effectiveness than Dasic NS for this hybrid oil.
- ULSFO showed to be a poor/reduced dispersible oil on MNS at 13°C for all the 3 dispersants tested with DOR 1:10 and 1:25. This was also applied to the long-term test with MNS with increased mixing time (60 min) between the dispersant and the oil/emulsion. The long-term test (60 min. + 5 min. settling time), on the other hand, gave a slight increase in the generation of smaller oil droplets and threads compared to the standard testing on MNS with sampling after 5 min. Results from the long-term test indicated no significant differences between the dispersants. Note that there was some uncertainty associated with quantification of the dispersant effectiveness since this hybrid oil formed large droplets/threads at high DOR 1:10 and 1:25, and the effectiveness was generally low for all the dispersants tested. ULSFO was not dispersible at winter temperature (5°C)
- IFO-180. Testing on IFP showed in general low dispersant effectiveness on this fuel oil, where Corexit 9500 was found slightly more efficient compared to Dasic NS and OSR-52 (DOR 1:25) at 5°C. For MNS with use of dynamic sampling, the ranking of dispersants was the same as for IFP. On the other hand, with static sampling, OSR-52 showed the highest dispersant effectiveness followed by Corexit 9500 and Dasic NS. Based on earlier testing from 2014, heavier IFO grades (e.g. IFO-380), Corexit 9500 was the most optimal dispersant (though with reduced dispersibility). However, it is assumed that the use of this oil type will be reduced in vessels/ships in the future

Meso-scale flume dispersant testing

The meso-scale flume dispersant testing at 2°C on MGO (20 hours weathering in swell /calm conditions) showed that this marine oil was easily dispersed with application of Dasic NS in 2 rounds (low dosage), with the most optimal dispersion with increasing energy conditions (breaking waves). Two meso-scale flume experiments were conducted on the IFO-180LS (2 hours weathering in breaking waves conditions), followed by application of Dasic NS and Corexit 9500, respectively. The results indicated that Dasic NS and Corexit 9500 can be considered as equivalent dispersants tested under these similar test conditions for the fuel oil, as there were no significant differences in dispersant effectiveness between these two dispersants. The meso-scale experiments also showed that successively 2-3 applications of dispersant were required to break up the

emulsion of such a fuel oil. This was also consistent with a previously meso-scale flume experiment of another batch of the same type of IFO-180LS from 2014 with application of Corexit 9500.

Appearance of dispersants in cold temperature

The precipitation test from + 5 to -20°C showed that OSR-52 was bottom frozen in the sampling glass at minus 20°C, whilst Dasic NS and Corexit 9500 still were liquids at this temperature. However, it was observed a cloudy appearance of Dasic NS at -20°C but is not considered to be of any practical importance when stored under such cold conditions. A cloudy appearance was not observed for Corexit 9500, but the viscosity of Corexit 9500 is higher than Dasic NS and should also be considered when comparing and evaluating the dispersants against each other from an operational point of view.

10 Oppsummering – Oljetyper og dispergeringsmidler testet for dispergeringseffektivitet

Oversikt over oljer som er blitt testet for dispergering i perioden 2014-2019, med fokus på dispergeringsmidlene Corexit 9500, Dasic NS og OSR-52, er gitt i Tabell 10-1 (vist som engelsk språklig tabell). Oljetyperne er delt inn i grupper som "Light distillates / DMA quality", "Heavy distillates / Light Sulphur fuel Oil", Ultra Low Sulphur Fuel Oil, og Heavy Fuel Oil. Oversikten viser oljetyperne som er blitt testet, SINTEF identifikasjon, testtemperaturer, type tester og dispergeringsforsøk (IFP/MNS og meso-skala renne), hvilke dispergeringsmidler som er testet på de spesifikke oljene, samt en kort oppsummering av hovedtrender fra testene som f.eks. effektivitet og doseringsforhold.

For noen av oljene har det blitt utført systematisk dispergeringstesting for å bestemme viskositetsgrenser basert på effektivitetstesting med bruk av IFP og MNS. Disse viskositetsgrensene kan brukes som inngangsdata sammen med forvittringsdata for oljene i SINTEF OWM. Forvittringsmodellen kan da predikerte tidsvindu for bruk av dispergeringsmiddel over en gitt tidsperiode med ulike sjø temperatur og vindhastigheter. Dette ble gjort for utvalget oljer fra "Dispergerbarhet på bunkersoljer" fra 2014 og "Hybridprosjektet" fra 2016-2017. Tabeller som viser tidsvindu samt prediksjoner finnes i Sørheim et al. 2014 og Hellstrøm, 2017.

Tabell 10-1 Oversikt fra dispergeringsprosjektene i perioden 2014-2019. Forkortelser (C, D, O henviser til hhv. Corexit 9500, Dasic NS, og OSR-52, se også fotnoten til tabellen

			Bench-scale IFP/MNS				Meso-scale flume		
Oil types	SINTEF ID	Year tested	Screening, Dispersant*	Dosage, Dispersant*	Systematic Dispersibility**	Temp.°C	Application Dispersant*	Temp.°C	Comments
Light distillates / DMA-qualities									
GO	2014-0552	2016-2017	C, D, O	D	D	13	No	No	Bench-scale: Dasic NS and Corexit 9500 most effective. Dosage (Dasic NS) gives complete dispersion in breaking waves (DOR 1:25, MNS) and 73 % effectiveness in low energy (IFP, DOR 1:25)
GO	2014-0552	2016-2017	No	No	D	2	No	No	Good dispersibility at low temperature, no difference compared with 13°C
MGO	2014-0551	2016-2017	C, D, O	D	D	13	D	13	Bench-scale: Dasic NS and Corexit 9500 most effective. Dosage dependant dispersibility (Dasic NS) with IFP; 22-66 % of DOR 1:200 to 1:25). Meso-scale: Standard test (72 hours weathering) before applying Dasic NS. Easily dispersed after 1 round, DOR 1:115 (13°C) and 1:250 (2°C)
MGO	2014-0551	2016-2017	No	No	D	2	D	2	Good dispersibility at low temperature, no difference compared with 13°C
MGO	2014-0551	2018-2019	C, D, O	C, D, O	No	2	D	2	Bench-scale: Dasic NS and Corexit 9500 most efficient at DOR 1:25 and 1:50 (IFP). MNS ca. 100 % effectiveness for all dispersants (including natural dispersion) with dynamic sampling Meso-scale: Weathering 20 hours in non-breaking waves before applying dispersant. MGO was easily dispersed with Dasic NS with increasing energy (waves), cumulative DOR 1:65 (2 rounds).
Rotterdam diesel	2016-0232	2016-2017	C, D, O	No	No	13	No	No	Bench-scale: Dasic NS most effective followed by Corexit 9500. DOR 1:25 most effective (IFP)
Heavy distillates / Light Sulphur Fuel Oils									
WRG	2014-0553	2016-2017	C, D, O	D	D	13	D	13	Bench-scale: Dasic NS slightly better than Corexit 9500 (DOR 1:25). Dosage dependant with IFP, highest effectiveness with DOR 1:25. Visc. limit for reduced dispersibility ~300 mPa.s Meso-scale: One test with stepwise increasing energy, and a standard test (72 hours) before applying dispersant. Repeated application (DOR 1:100) improved the dispersion effectiveness (estim. 95 % effectiveness)
WRG	2014-0553	2016-2017	No	No	D	2	D + C	2	Bench-scale: Visc. limit for reduced dispersibility ~300 mPa.s, similar as for 13°C.

									Meso-scale: Standard test (72 hours weathering) before applying dispersant. Dasic NS in 3 rounds, followed by one round with Corexit 9500. Estim. 60 % effectiveness.
HDME 50 (hybrid oil)	2016-0231	2016-2017	C, D, O	D	D	13	D	13	Bench-scale: IFP screening (< 30 %). Dasic NS most effective dispersant > OSR-52 > Corexit 9500 (DOR 1:25). Dosage dependant dispersibility (Dasic NS) with IFP; 52 % DOR 1:25. Meso-scale: Standard test (72 hours weathering) before applying dispersant. No solidification, no natural dispersion. Overall: Reduced effectiveness. 3 rounds application of Dasic NS reduced the emulsion viscosities, and repeated application increased the effectiveness. Cumulative DOR: 1:10
HDME 50 (hybrid oil)	2016-0231	2016-2017	No	No	D	2	D	2	Bench-scale: Viscosity limits were estimated. Meso-scale: Standard test (72 hours weathering) before applying dispersant. Solidification, no sign. natural dispersion. Good dispersible for the liquid oil phase, but waxy lumps remained on the surface. 3 round application of Dasic NS reduced emulsion viscosities, repeated application increased effectiveness.
HDME 50 (hybrid oil)	2017-7834	2018-2019	C, D, O	C, D, O	No	13	No	No	Bench-scale: Dasic NS more efficient than Corexit 9500 and OSR-52 for DOR 1:25 and 1:50 for low energy test (FP), and more similar effectiveness in high energy test (MNS).
HDME 50 (hybrid oil)	2017-7835	2018-2019	C, D, O	No	No	5	No	No	Bench-scale: Low effectiveness < 10 % in low energy test (IFP), DOR 1:25. Corexit 9500 and OSR-52 higher effectiveness (74-75%) than Dasic NS (54 %), DOR 1:25, in high energy test (MNS).
Ultra-Low Sulphur Fuel Oils									
ULSFO (hybrid oil)	2016-0233	2016-2017	C, D, O	D	D	13	D	13	Bench-scale: Dasic NS and Corexit 9500 most effective dispersants. Dosage dependant effectiveness at low energy (IFP). Highest effectiveness DOR 1: 25 (52 %). High effectiveness at breaking waves (MNS; > 90 % for DOR 1:200-1:25). Reduced dispersibility with emulsion > 4000 mPa.s and no dispersible with viscosities > 9000 mPa.s. Meso-scale: Standard test (72 hours) before applying dispersant. Poor effectiveness (< 20 % of the oil was dispersed after 3 rounds with Dasic NS). Cumulative DOR: 1:11.
ULSFO (hybrid oil)	2016-0233	2016-2017	No	No	No	No	D	2	Meso-scale: Standard test (72 hours) before applying dispersant. Poor /reduced effectiveness. Solidification. Waxy lumps on surface. Cumulative DOR: 1:11.
ULSFO (hybrid oil)	2018-8145	2018-2019	C, D, O	C, D, O	No	13	No	No	Reduced dispersion in high energy test (MNS). Dynamic sampling: Dasic NS > Corexit 9500 > OSR-52. No effectiveness for screening of dispersants with MNS (high energy test)
ULSFO (hybrid oil)	2018-8145	2018-2019	No effect.	No effect.	No	5	No	No	No effectiveness at 5°C with IFP /MNS.

Heavy Fuel oils									
IFO-80	2013-0606	2014	C, D, O	C, D, O	C	13	No	No	Bench-scale: OSR-52 > Corexit 9500 > Dasic NS (IFP) DOR 1:25. 100 % effectiveness with static sampling. Minor difference DOR 1:10 and 1:25. Significant lower effectiveness DOR 1:50.
IFO-180LS	2013-0594	2014	C, D, O	C, D, O	C	13	C	13	Bench-scale: OSR-52 > Corexit 9500 > Dasic NS (IFP). 78-100 % effectiveness with static sampling (MNS). Minor difference DOR 1:10 and 1:25. Significant lower effectiveness DOR 1:50. Meso-scale: Weathering 2 and 20 hours in breaking waves conditions before applying dispersant (Corexit 9500). Effect 3/4 rounds with dispersant reduced viscosity and surface emulsion (cumulative DOR 1:35 and 1:8)
IFO-180LS	2018-3882	2018-2019	C, D, O	No	No	5	C, D	13	Bench-scale: IFP; Low effectiveness (18-25 %) Corexit and Dasic NS slightly better than OSR-52, DOR 1:25. MNS: static and dynamic sampling, not possible to distinguish. Meso-scale: Weathering 2 hours in breaking waves before applying dispersants (Dasic NS and Corexit 9500). Only minor differences between Dasic NS and Corexit 9500 under similar test conditions. Reduction of surface oil after 2. round with dispersant application. Cumulative DOR 1:11
IFO-180NS	2013-0792	2014	C, D, O	C, D, O	C	13	No	No	Bench-scale: OSR-52 > Corexit 9500 > Dasic NS (IFP), DOR 1:25. 85-100 % effectiveness with static sampling (MNS).
IFO-380	2013-0610	2014	C, D, O	C, D, O	C	13	No	No	Bench-scale: OSR-52 > Corexit 9500 > Dasic NS. Low effectiveness MNS (< 35 %). In general, showed Corexit 9500 and OSR-52 slightly better effectiveness than Dasic NS on IFO-grades, particularly for high viscosity IFO.

* C: Corexit 9500

*D: Dasic NS

*O: OSR-52

** Systematic dispersibility testing to determine the viscosity limits from effectiveness testing IFP/MNS. Input to OWM to predict the time-window for effective application of dispersant

11 Referanser

Bocard, C., Castaing, C. G. and Gatellier, C. 1984. Chemical oil dispersion in trials at sea and in laboratory tests: The key role of the dilution process. In: Oil spill chemical dispersants: Research Experience and recommendations, ASTM STP 840. (T. E. Allen, ed.), Philadelphia, USA, pp. 125-142.

Daling, P.S., Brandvik, P.J., Mackay, D. and Johansen, Ø. 1990. Characterization of crude oils for environmental purposes. Paper at the 13th AMOP seminar, Edmonton, Canada 1990. DIWO-report no. 8. IKU report 02.0786.00/08/90. 22 p.
Open.

Guyomarch, J., O. Kerfourn, and F.-X. Merlin: 1999: Dispersants and Demulsifiers: Studies in the Laboratory, Harbor and Polludrome. Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference, API, Washington D.C., pp.195 – 202.

Faksness L-G., Leirvik, F., M. Johansen. 2018. Antennelse av oljer til OPV. SINTEF rapport: OC2018 A-065.

Faksness, L-G., D. Krause. 2018: Olje på vann 2018: Analyse av residue, sot og røykgasser fra *in-situ* brenning. SINTEF rapport: OC2018-A-096

Fiocco, R.J., P.S. Daling, G. DeMarco, R.R. Lessard 1999A: Advancing Laboratory/Field Dispersant Effectiveness Testing. Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference, API, Washington D.C., pp.177-185.

Fiocco, R.J., P. S. Daling, G. DeMarco, R.R. Lessard, G.P. Canevari, 1999: Chemical Dispersibility Study of Heavy Bunker Fuel Oils. In: Proceedings of the 22nd Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, June 2 to 4, 1999, Calgary Alberta, pp.173-186

Hellstrøm, K.C., Daling, P.S., Brønner, U., Sørheim, K.R., Johnsen, M., Leirvik, F., 2017. Memo report. SINTEF rapport OC2017-A123 2017.

Hellstrøm, K.C. 2017. Weathering properties and toxicity of Marine Fuel Oils. Summary report. SINTEF report OC2017-A124

Hokstad, J. N., Daling, P. S., Lewis, A., Strøm-Kristiansen, T. 1993: Methodology for testing water-in-oil emulsions and demulsifiers Description of laboratory procedures. In: Proceedings Workshop on Formation and Breaking of W/O Emulsions. MSRC, Alberta June 14-15 24p.

Mackay, D. and Szeto, F. 1980. Effectiveness of oil spill dispersants - development of a laboratory method and results for selected commercial products. Institute of Environmental Studies, University of Toronto, Publ. no. EE-16.

Mackay, D. and Zagorski, W. 1982. "Studies of W/o Emulsions". Report EE-34: Environment Canada, Ottawa, Ontario.

Miljødirektoratet. Veileder. Retningslinje for bruk av dispergeringsmidler som beredskapstiltak (2017)

Lewis, A., P.S. Daling, T. Strøm-Kristiansen, A. Nordvik, R.J. Fiocco, 1995: Weathering and Chemical

Dispersion of Oil at Sea. Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference, API, Washington D.C., pp.157-164.

NIVA 2019. Test report-Determination of the 72 hours toxicity of Radiagreen OSD to the marine algae *Skeletonema pseudocostatum*. Rapport number: 180302/1, January 2019,

Singsaas, I., Daling, P. S. and Jensen, H., 1993. "Meso-scale laboratory weathering of oils". IKU report 22.2042.00/04/93, IKU, Trondheim, Norway, 81 p

Stiver, W. and Mackay, D. 1984. "Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures." Environ, Sci. Technol., vol. 18 (11), pp. 834-840.

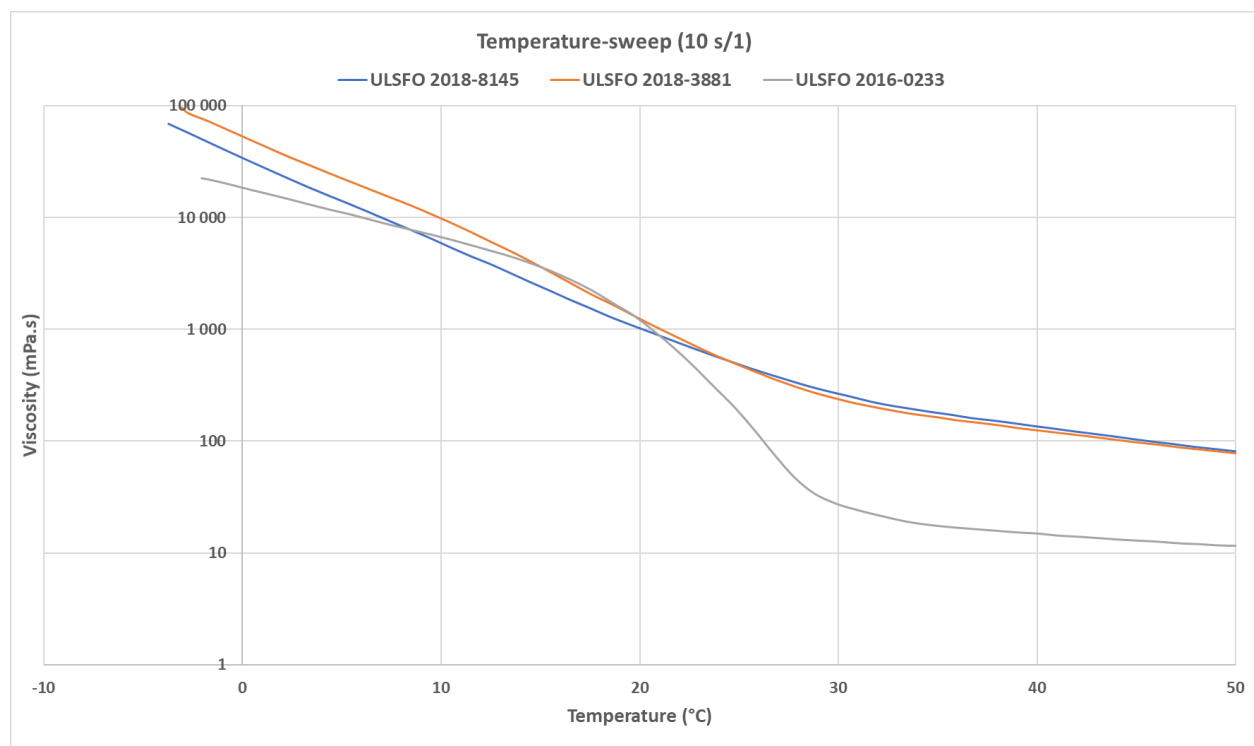
Sørheim, K.R og Daling, P.S., 2015. Fysikalsk-kjemiske analyser og emuleringsegenskaper av ulike dieselkvaliteter. SINTEF rapport A27122. ISBN: 978-82-14-05844-4.

Sørheim, K.R, Daling, P.S., Pettersen, T.-A., and Johnsen, M., 2014. Dispergerbarhet av bunkersoljer. Report no. A26179, ISBN: 9788214057409

A Temperatursveip ULSFO

Viskositeten til for en olje med høyt stivnepunkt være påvirket av forbehandlingen av oljen, og at dette vil kunne gi ulike viskositetstall avhengig av om det utføres et temperatursveip eller om at oljen kondisjoneres på en bestemt temperatur.

Temperatursveip for ULSFO med SINTEF ID 2018-8145, 2018-3881 og 2016-0233) er gitt i Figur A 1.

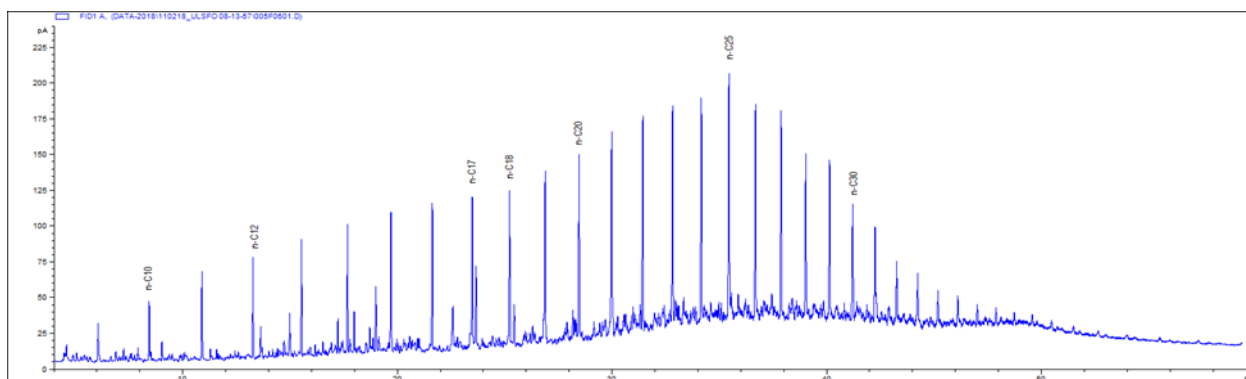


Figur A 1 *Temperatursveip for ULSFO (2018-8145) benyttet i dette prosjektet, en tidligere tilsvarende batch av ULSFO (2018-3881), samt en batch fra 2016 (2016-0233). Y-akse: Logaritmisk skala*

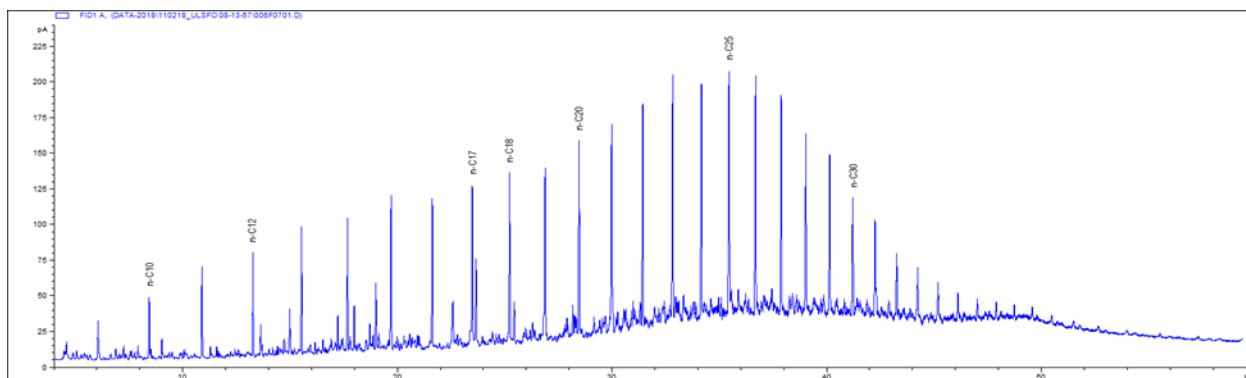
B Gasskromatografisk analyse (GC-FID)

B.1 ULSFO

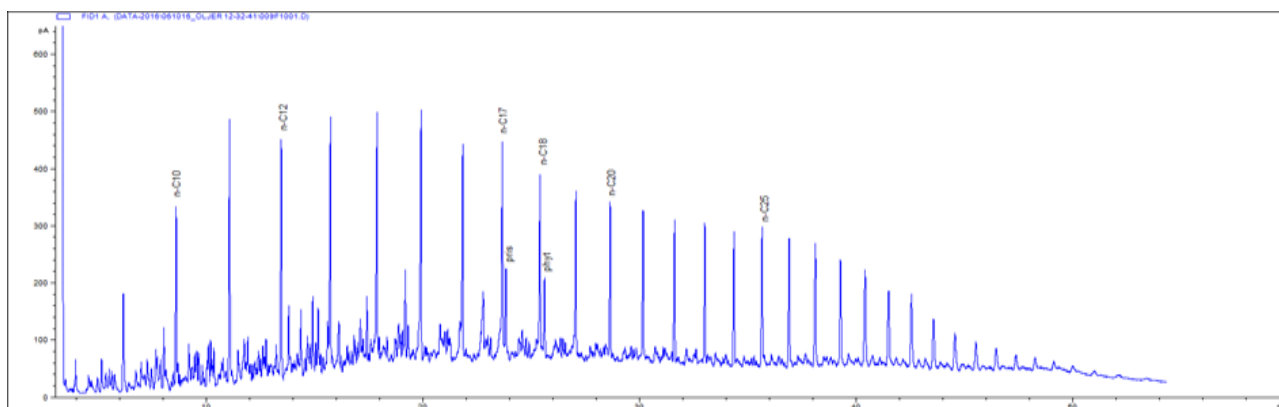
Sammenligning av gasskromatografisk analyser av to like batcher av ULSFO tilsendt fra Kystverket fra 2018 (Figur B 1 og Figur B 2), samt annen type ULSFO-kvalitet fra 2016 (Figur B 3).



Figur B 1 ULSFO: 2018-8145 (Fersk olje). Batch benyttet som testolje i dette prosjektet



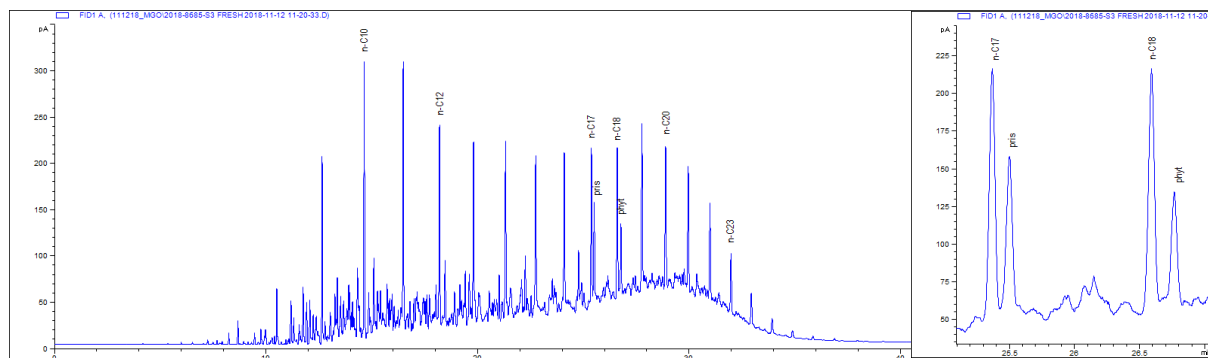
Figur B 2 ULSFO: 2018-3881 (Fersk olje). Batch benyttet under OPV 2018 (Faksness et al.2018)



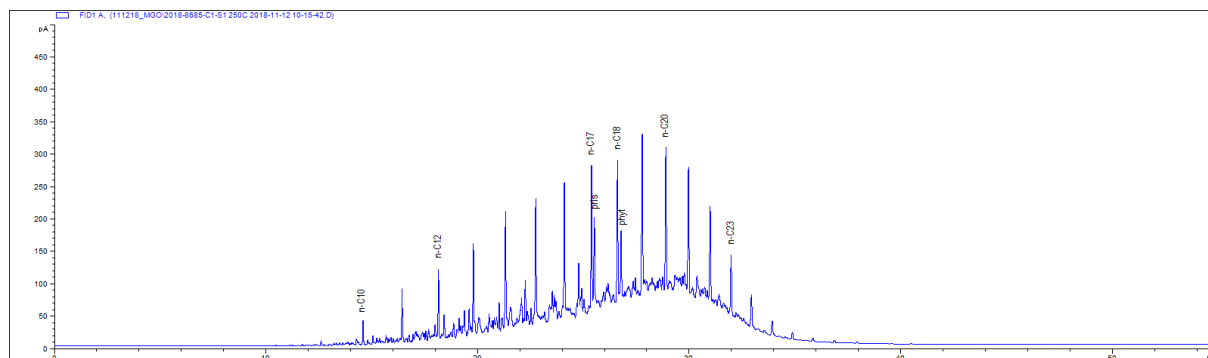
Figur B 3 ULSFO: 2016-0233 (Fersk olje) (Hellstrøm 2017)

B.2 MGO

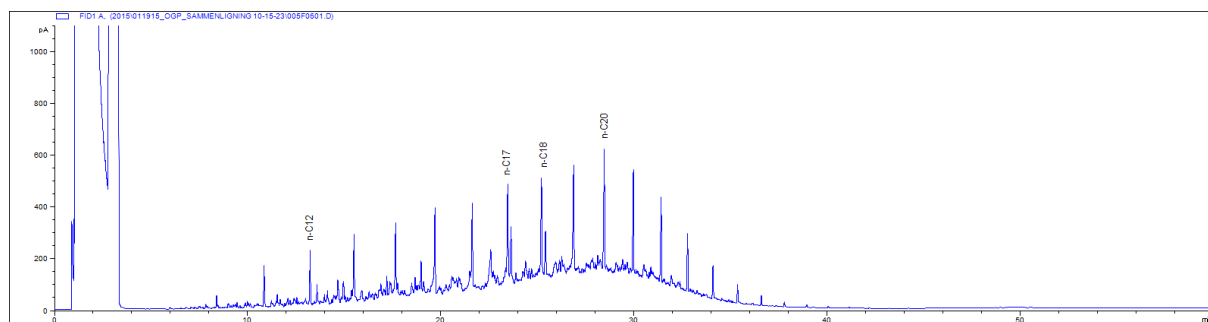
Sammenligning av gasskromatografisk analyser av samme batch av MGO 500ppm som ble toppet og analysert i 2014 og 2018 (Figur B 4, Figur B 5 og Figur B 6)



Figur B 4 MGO (Fersk olje) 2014-0551. Analysert i 2018 (registrert som 2018-8685 i LIMS)



Figur B 5 MGO (250°C+ residu) 2014-0551. Analysert i 2018 (registrert som 2018-8685 i LIMS)



Figur B 6 MGO (250°C+ residu) 2014-0551 (Sørheim og Daling, 2015)

C Analysemetoder og preparering av vann-i-olje emulsjoner

Oversikt over fysikalsk-kjemiske analysemetoder og prinsipper for roterende skilletrakter for preparering av v/o-emulsjon er gitt i Tabell C 1 og Figur C 1.

Tabell C 1 Oversikt over analysemetoder

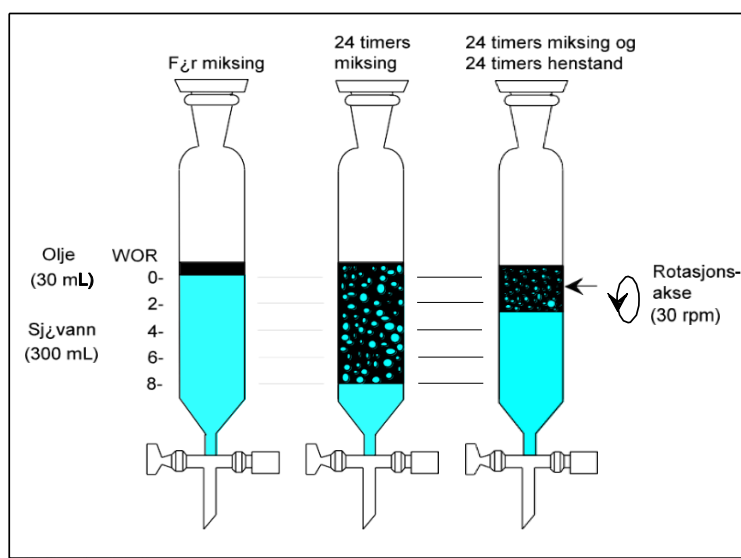
Egenskap	Analysemetode / Instrument
Tetthet	ASTM-metode D4052-81
Viskositet (dynamisk) + temperatursveip	Physica MCR300
Vanninnhold (meso-skala renna)	Prøven tilsettes 2000ppm emulsjonsbryter (Alcopol O 60%), plasseres på varmeplate. Avleser total høyde og vannhøyden før og etter tilsats av emulsjonsbryter. Beregner relativ fritt vann
Vanninnhold	Karl-Fischer titrering
Fordampningstap (meso-skala renna)	Tettheten av oljen er proporsjonal med vol. % fordampning. Beregnes ut fra tetthet.
Gasskromatografisk analyse (nC5-nC40)	Flammeionisasjonsdetektor (FID) 30m DB1 kolonne 0°C i 1min, 12 °C/min til 310 °C, hold tid på 10min, post temp. 315 °C i 2 min

Fordampning/topping

Avdamping av de letteste komponentene (til 150°C, 200°C og 250°C damptemperatur) utføres i laboratoriet vha. en modifisert ASTM ett trinns destillasjonsmetode (Stiver and Mackay, 1984). Dette simulerer fordampningstap etter ca. 0,5 til 1 time, ca. 0,5 til 1 dag og ca. 0,5 til 1 uke på sjøen.

Prinsipper for roterende skilletrakter

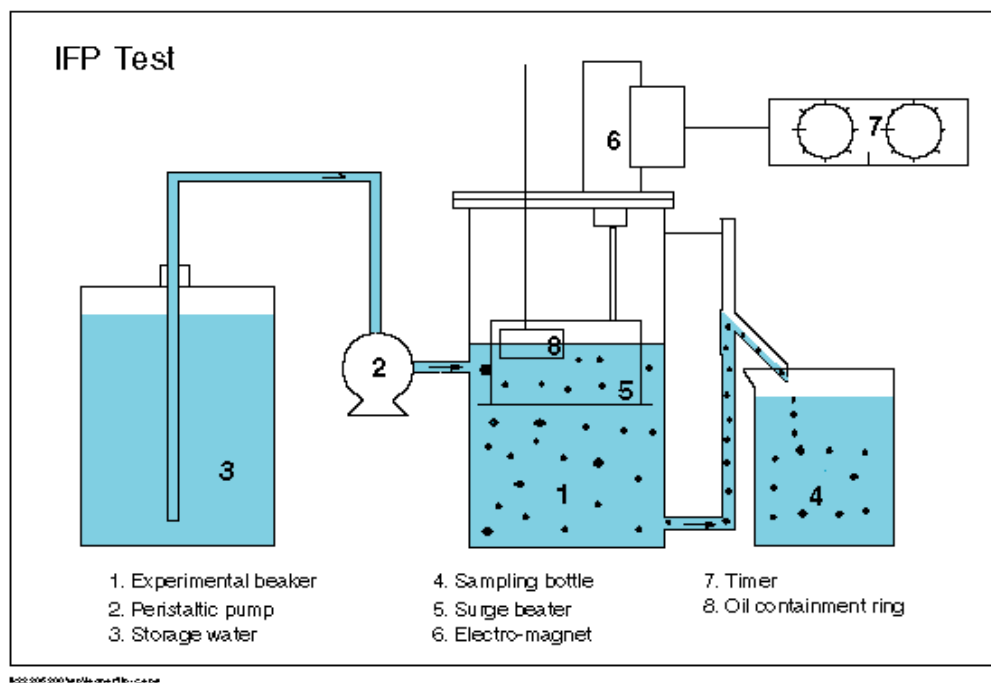
Prosedylene for testing av emulgerende egenskaper og laging av emulsjoner er detaljert beskrevet i Hokstad et al. 1993.



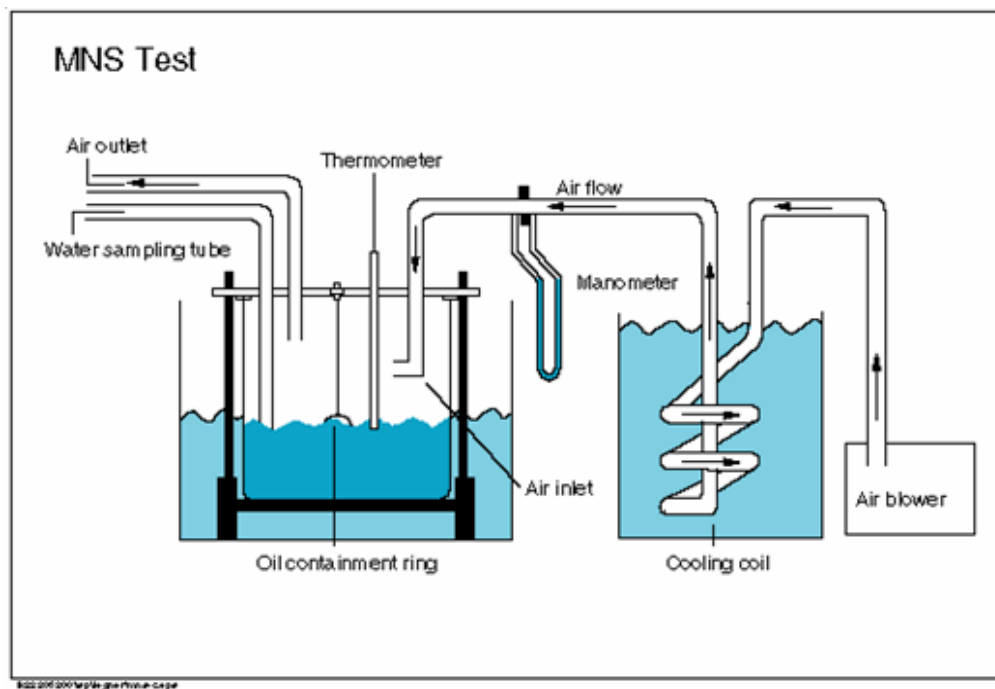
Figur C 1 Prinsipper for den roterende flaske metoden (Mackay and Zagorski, 1982)

D Skjematisk skisse av IFP og MNS apparaturen

Skjematisk skisse av IFP (lav-energitest) og MNS (høy-energitest) som ble benyttet for screening og doseringstesting. IFP og MNS testene benyttes også for å kartlegge tidsvindu for bruk av dispergeringsmidler.



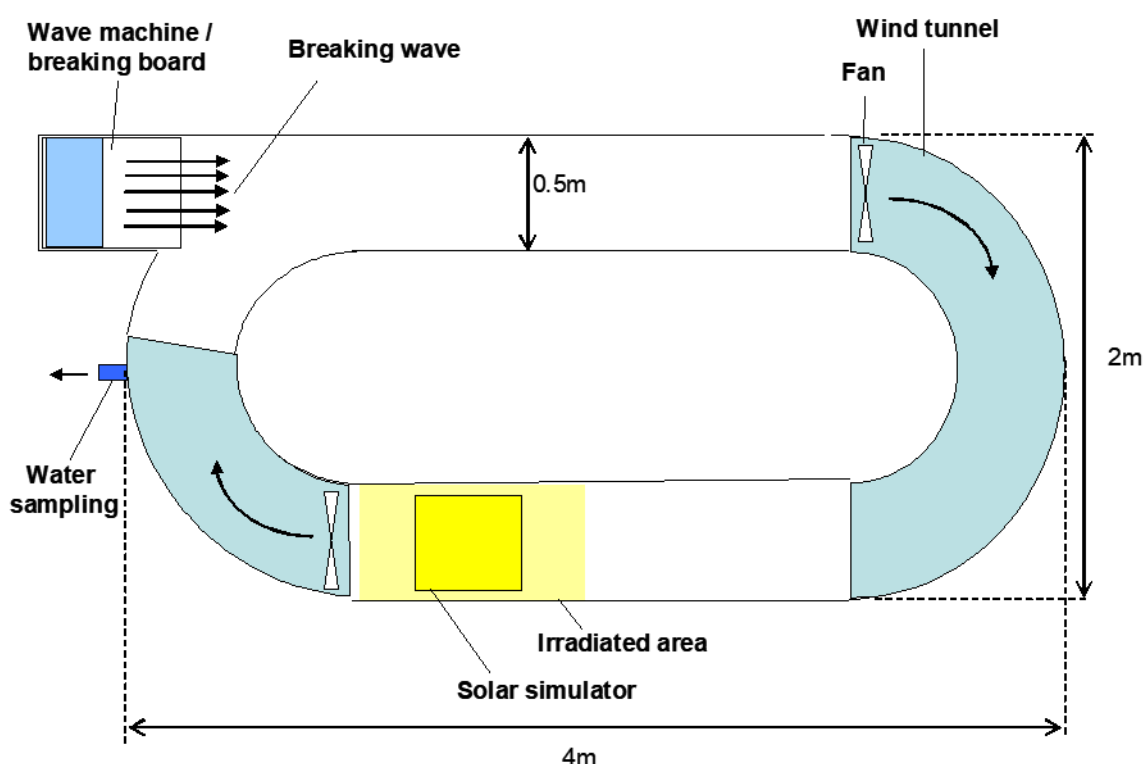
Figur D 1 IFP- effektivitetstesting av dispergeringsmidler



Figur D 2 MNS- effektivitetstesting av dispergeringsmidler

E Skjematisk skisse og kort beskrivelse av meso-skala renna

Skjematisk skisse av meso-skala renna er gitt i Figur E 1. Meso-skala renna ble bygd i 2006 og er plassert på SINTEF Sealab. Renna er i rutinemessig bruk for å studere forvitningsprosesser på sjø under kontrollerte betingelser. Meso-skala renna er 10 meter lang og det sirkuleres ca. 5 m³ sjøvann. Renna er plassert i et temperatur-kontrollert klimarom (0-20 °C). En bølgegenerator styrer overflateenergien for emulsjonsdannelse og for å dispergere olje ned i vannmassen. For å regulere fordampningen kan forskjellige vindhastigheter simuleres av to vifter plassert i to overbygde vindtunneler.



Figur E 1 Skjematisk skisse av meso-skala renna sett ovenfra



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no