

OC2019 A-054 - Åpen

Rapport

KNM "Helge Ingstad" - Miljøundersøkelse

Forvitringsegenskaper, kjemi og toksisitet

Forfatter(e)

Liv-Guri Faksness

Dag Altin



Foto: Kystverket

SINTEF Ocean AS

Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 46415000Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

KNM "Helge Ingstad" - Miljøundersøkelse

Forvitringsegenskaper, kjemi og toksisitet

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
OC2019 A-054	302004595	Final	2019-03-18

FORFATTER(E)
Liv-Guri Faksness
Dag Altin

OPPDRAGSGIVER(E)
Kystverket

OPPDRAGSGIVERS REF.	ANTALL SIDER:
Silje Berge og Hilde Dolva	23

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Åpen	Åpen	978-82-7174-355-0

SAMMENDRAG

Flere drivstoffprøver fra havaristen Helge Ingstad har blitt analysert mhp fysikalske egenskaper og kjemisk sammensetning: Diesel både fra nødlossing og tatt opp på sjø, samt en helikopter-fuel som var samlet opp på sjøen. I tillegg mottok SINTEF to vannprøver: En med fritt vann fra oppsamlingen som også inneholdt spor av diesel og en blandingsprøve med vann og helikopter-fuel. Vanninnholdet i dieselprøvene var lavt, mindre enn 0.2%, og vil derfor ikke ha betydning for oljeregnskapet. Tetthet og viskositet var som forventet for diesel. To av dieselprøvene ble toppet til 250 °C+ og kokepunktskurven viste at det var mer lette komponenter i dieselen fra nødlossingen enn den som var tatt opp på sjøen, med et fordampningstap på hhv 26 og 17%.

Akutt toksisitet (*Skeletonema costatum* og *Calanus finmarchicus*) og kjemiske sammensetning av den vannløselige fraksjonen (WAF) av fersk og forvitret diesel fra nødlossingen, samt prøven med fritt vann ble undersøkt. Det viste seg at vannprøven inneholdt en del oljedråper som kan ha bidratt til toksisiteten sammen med mulig oksygenmangel. Spesifikk toksisitet var den samme for WAF fra fersk og forvitret diesel fra nødlossingen, både for *Skeletonema* og *Calanus*. Ved sammenligning med testingen av MGO fra 2014, viste resultatene at den akutte toksisiteten av dieselen fra Helge Ingstad lå om lag i samme område. Teoretisk toksisitet, TU, for de to WAF-prøvene fra nødlossingen var mindre enn 1, noe som indikerer en forholdsvis lav teoretisk toksisitet. For vannprøven var TU (5.6) høyere enn WAF, trolig pga bidrag for de mindre vannløselige komponentene som kom fra oljedråpene.



UTARBEIDET AV
Liv-Guri Faksness

L.G. Faksness

KONTROLLERT AV
Per S. Daling

Per S. Daling

GODKJENT AV
Mimmi Throne-Holst

Mimmi Throne-Holst

Innholdsfortegnelse

Summary	3
1 Introduksjon.....	4
2 Mottatte oljer og vannprøver	5
3 Metoder	6
3.1 Begrenset forvittringsstudie.....	6
3.1.1 Topping/destillasjon	6
3.1.2 Fysikalske egenskaper	6
3.2 Tillaging av WAF.....	6
3.3 Kjemisk karakterisering.....	7
3.4 Akutt giftighet	7
3.4.1 Vekstinhiveringstester med <i>Skeletonema pseudocostatum</i>	7
3.4.2 Akutt giftighet for <i>Calanus finmarchicus</i>	7
3.4.3 Estimert giftighet av WAF uttrykt som "toxic unit" (TU)	8
4 Resultater og diskusjon	9
4.1 Forvittringsegenskaper.....	9
4.2 Sammenligning med MGO i SINTEF OWM.....	10
4.3 Kjemiske analyser av fritt vann	11
4.4 Kjemisk sammensetning av oljer, WAF og vannprøve.....	12
4.5 Toksisitet	14
4.5.1 Akutt toksisitet av WAF og vannprøve til marine organismer.....	14
4.5.2 Beregner toksisk unit (TU)	15
4.6 Sammenligner kjemi og toksisitet av WAF med andre fuels	16
5 Oppsummering og konklusjon	18
6 Referanser.....	19
A Vedlegg Resultater fra de kjemiske analysene	20
B Vedlegg Resultater fra giftighetstesting	21
C Vedlegg Oversikt over analyserte komponenter og komponentgruppene.....	23

Summary

On November 8, 2018, there was a collision involving the Norwegian frigate KNM Helge Ingstad and a laden commercial oil tanker Sola TS near the Sture terminal in Hjeltefjorden, Norway. The collision resulted in extensive damage to the frigate, leading to the abandoning of the ship and its sinking close to shore. Only minor damage was sustained by the tanker. The frigate had approximately 500 m³ oil products onboard, of which 460 m³ were marine gas oil (MGO). Around 143 m³ of fuel (diesel) has been pumped out of the damaged frigate (Kystverket, 2019).

The weathering properties of two diesel samples were studied, one from the frigate tanks and one collected on the water during the oil spill response operation. The diesels were artificially weathered to 250 °C+ residues, and the results show that there was a higher content of volatiles (b.p. < 250°C) in the diesel from the frigate tanks than the one from the water (26 vol% versus 17 vol%). This indicates that an evaporative loss of 10% had taken place of the oil recovered on the surface water. A third oil, a helicopter fuel (jet fuel), was also included in the study. Water content in the oil samples were low, less than 0.2%, indicating that it will not influence the oil mass balance. Density and viscosity were as expected for diesel, approximately 0.85 g/mL and 9 cP or lower. The jet fuel had a density of 0.82 g/mL and a viscosity of 3 cP.

The water accommodated fraction (WAF) of fresh and weathered diesel from the frigate tanks were studied with emphasis on chemistry and acute toxicity. Two pelagic species representing primary producers (the marine algae *Skeletonema sp.*) and the primary consumers (the copepod *Calanus finmarchicus*) were tested. Low-energy WAFs were prepared with an oil-to-water ratio of 1 to 40 to evaluate the potential impact of fresh and weathered diesel to the environment. A sample of free water in the storage tank from the skimmer operation was also tested.

The chemical composition and acute toxicity of the WAFs were as expected for a so-called "straight-run" distilled diesel. Total WAF concentration was higher in the WAF from fresh diesel than weathered (5.1 mg/L versus 3.3 mg/L), but the specific toxicity (normalised to total concentration) was the same for the two systems: EC₅₀ of 0.8 mg/L for *Skeletonema* and LC₅₀ of 1.7 mg/L for *Calanus*. Comparing these results with a previously tested MGO, indicated a similar toxicity level. Theoretical toxicity, expressed as toxic unit (TU), was also calculated, and both systems had a TU less than 1, WAF from fresh diesel being slightly more toxic than from weathered diesel (0.7 versus 0.2). The previously tested MGO had same TU for fresh WAF, but higher TU (2.0) for weathered WAF.

The total concentration in the water sample was 47.3 mg/L, and the chemical analysis showed that the water contained oil droplets. Specific toxicity was lower than in the WAFs from the corresponding diesel (EC₅₀ of 2.8 mg/L and LC₅₀ of 2.1 mg/L), but the toxic unit was higher (5.6). However, the water contained oil droplets, where the PAHs will contribute more to the toxicity than in a water containing only dissolved components.

This study indicates that a potential leakage of diesel from Helge Ingstad could have some impact on the local environment, but that the toxicity to the tested organisms are relatively low. A potential impact to the environment will depend e.g. the release conditions of the diesel and the dilution rate in the water.

1 Introduksjon

Den norske fregatten KNM Helge Ingstad og tankskipet Sola TS kolliderte i Hjeltefjorden, nord for Stureterminalen i Øygarden kommune i Hordaland klokken 04:02, torsdag 8. november. Det ble erklært statlig aksjon, som innebærer at Kystverket ledet oljevernaksjonen, mens Sjøforsvaret ledet arbeidet med bergingsoperasjonen for havaristen. Fregatten hadde 500 m³ oljeprodukter om bord, hvorav 460 m³ var marin diesel (MGO). Det ble nødlosset 143 m³ med drivstoff fra havaristen (Kystverket, 2019).

Kystverket ønsket mer informasjon om oljen (MGO) fra fregatten. Det ble derfor gjennomført et begrenset forvitningsstudie for å få mer informasjon om oljens fysikalsk-kjemiske egenskaper sett i relasjon til tidligere studier av ulike dieseloljer (e.g. Sørheim og Daling (2016); Helstrøm (2017)). Olje både fra nødlossingen og tatt opp fra sjø ble studert. Den vannløselige fraksjonen (WAF) av oljen fra nødlossingen og dennes toppede 250 °C+-fraksjon ble karakterisert, både mhp kjemi og akutte toksisitetstester på den marine algen *Skeletonema sp.* og hoppekrepsen *Calanus finmarchicus* (raudåte). I tillegg ble en vannprøve fra nødlossingen av oljen også karakterisert mhp kjemi og akutt toksisitet. Resultatene er sammenlignet med en MGO (SINTEF ID 2014-551) som det ble gjort tilsvarende analyser på i 2016 (Faksness og Altin, 2017).



Figur 1.1 KNM Helge Ingstad fotografert 8.november, 2018 (www.kystverket.no)

2 Mottatte oljer og vannprøver

Beskrivelse av de mottatte prøvene er gitt i Tabell 2.1 og vist i Figur 2.1. SINTEF har mottatt informasjon om prøvene fra Kystverket.

Tabell 2.1 Mottatte prøver med SINTEF ID og beskrivelse fra Kystverket.

Mottatt	SINTEF ID	Prøve ID	Prøve	Beskrivelse
23.nov	2018-10291	5L plastkanne	Vann	Fritt vann som har fulgt med oppsamlingen med Foxtail og inn på tanken på OV Utvær. Vannfasen som fulgte med olje 2018-10293. Prøve tatt når sugebil fra Norsk Gjenvinning leverte til avfallsmottaket.
23.nov	2018-10292	1L glassflaske	Vann/olje	Egentlig olje som har vært sluppet ut på sjøen og blitt samlet opp med absorberende lense. Lensen ble lagt i en konteiner og prøven er fra avrenning som samlet seg i bunnen av konteineren. Prøve tatt på avfallsmottaket.
23.nov	2018-10293	20 L plastkanne	Olje	Prøve tatt av Norsk Gjenvinning ved tømning av oppsamlet olje fra OV Utvær ved avfallsmottaket. Opprinnelig olje som har vært sluppet ut på sjøen og blitt samlet opp med Foxtail og inn på tank på OV Utvær. Benevnes "olje fra sjø" i rapporten.
23.nov	2018-10294	10 L plastkanne	Olje	Olje som har vært sluppet ut på sjøen og blitt samlet opp med absorberende lense. Dette er olje som aktivt er presset ut av absorbenten. Prøve tatt på avfallsmottaket.
03.des	2018-10211	20L rød dunk	Olje	Prøve tatt i forbindelse med tømning av drivstoff fra Helge Ingstad. Dette er diesel som er hentet direkte ut fra havaristen og har ikke vært på sjøen. Det er flere drivstofftanker, men det er delvis forbindelse mellom flere av tankene. Benevnes "olje fra nødlossing" i rapporten.



Figur 2.1 Mottatte prøve: Rød kanne fra nødlossingen (20 L, 2018-10211), prøver som ble tatt opp på sjøen er vist i høyre bilde: Vannprøve (5L, 2018-10291), vann-oljeprøve (1 L, 2018-10292), olje (20 L, 2018-10293) og olje (5 L, 2018-10294).

3 Metoder

3.1 Begrenset forvittringsstudie

For å få mer informasjon om oljen fysiske egenskaper ble det gjort en begrenset forvittringsstudie både på oljen fra nødlossingen (2018-10211) og oljen som ble tatt opp fra sjøen (2018-10293), begge var MGO.

3.1.1 Topping/destillasjon

Avdamping av de letteste komponentene ble utført med en modifisert ASTM ett-trinns destillasjonsmetode (Stiver og Mackay, 1984). Generelt anses topping av oljer til 150, 200 og 250 °C å simulere fordampningstap etter henholdsvis 0.5 til 1 time, 0.5 til 1 dag og ca 0.5 til 1 uke på sjøen. Her ble oljene toppet til 250 °C+.

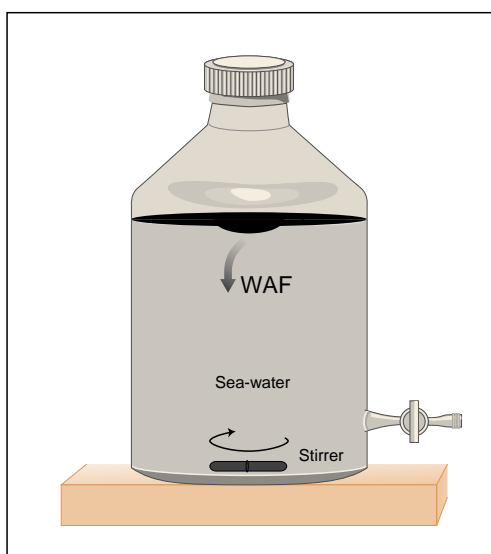
3.1.2 Fysiske egenskaper

Tetthet og viskositet ble målt både på de ferske oljene og de toppede fraksjonene. Tetthet ble bestemt ved standard temperatur (15.56 °C) og viskositet ved 10 °C med skjærhastighet 10. I tillegg ble vanninnholdet målt i de ferske oljene med Karl Fisher titrator.

3.2 Tillaging av WAF

Water Accommodated Fraction (WAF) benyttes som betegnelse på "vannløselig fraksjon" av olje. Lavenergi WAF (LE-WAF) ble laget i henhold til retningslinjer anbefalt av CROSERF (Chemical Response to Oil Spills – Ecological Effects Research Forum). Retningslinjene ble utarbeidet for å standardisere WAF-tillaging for å bestemme akutt giftighet av de vannløselige komponentene i oljen (Aurand og Coelho, 2005), både mhp anbefalinger for tillaging av LE-WAF, giftighetstester og kjemiske analyser. LE-WAF kan defineres som en vannløselig fraksjon av løste oljekomponenter laget i lukket system med lav røring uten dannelsen av vortex og oljedråper i løsningen (illustrert i Figur 3.1).

WAF ble satt opp ved 10 °C med et olje til vannforhold på 1 til 40 (25 g olje/L vann). Etter tre dager ble det tatt prøver av vannfasen til akutte giftighetstester og kjemiske analyser. Det ble gjennomført studier både på oljen fra nødlossingen (2018-10211) og den toppede fraksjonen av samme oljen (til 250 °C+, som tilsvarer fra ca 1 døgn på sjøen).



Figur 3.1

System for tillaging av WAF (vannløselig fraksjon fra oljen)

3.3 Kjemisk karakterisering

Kjemiske analyser ble gjort på vannprøver fra WAF (Tabell i Vedlegg C) og i utgangsoljene, samt i de øvrige oljeprøvene:

- Kvantifisering av ~30 flyktige organiske komponenter (VOC, inkludert BTEX) ved "Purge & Trap" gasskromatografi med massespektrometrisk deteksjon (P&T GC-MS)
- Kvantifisering av ~60 semiflyktige organiske komponenter (SVOC, inkludert PAH, NPD og fenoler) ved gasskromatografi med massespektrometrisk deteksjon (GC-MS).
- Bestemmelse av totale ekstraherbare hydrokarboner (THC) ved gasskromatografi med flammeionisasjonsdeteksjon (GC-FID).

3.4 Akutt giftighet

Akutte giftighetstester med både den marine algen *Skeletonema pseudocostatum* og hoppekrepsen *Calanus finmarchicus* (raudåte) ble anbefalt, da de dekker ulike, men essensielle, trofiske nivåer i sjøen. *Skeletonema* er en primærprodusert som raudåta og andre dyreplankton beiter på, mens raudåta er mat til mange fiskearter. I tillegg ble giftighet prediktert ved bruk av toxic unit (TU). Giftighetstestene ble gjennomført på WAF av fersk og forvitret olje fra nødlossingen, samt på en av vannprøvene fra aksjonen (2018-20291).

3.4.1 Vekstinhiberingstester med *Skeletonema pseudocostatum*

Testene ble gjennomført etter en modifikasjon av metoden beskrevet i ISO 10253 (2006), med vekstinhibering og biomasseproduksjon som endepunkter (EC_{50}). Den originale metoden er ikke designet for løsninger med flyktige forbindelser, slik at metoden er modifisert for testing av WAF ved at gasstette testrør i glass (13 mL) brukes i stedet for åpne systemer.

Som eksperimentell design ble et fast fortyningsskjema med en faktor på 1.6 mellom hver fortyning anvendt (fra ufortynnet 100 % WAF ned til 3% WAF). Totalt 8 ulike fortyninger, med 6 replikater for hver fortyning, ble inokulert med det samme volumet av eksponentielt voksende *S. pseudocostatum* (klon NIVA BAC-1) og næringsløsning. Som negativ kontroll ble 12 testrør i hvert bioassay fylt med autoklavert sjøvann og inokulert med samme alge-næringsblanding. *In vivo* fluorescens ble målt med et Turner TD700 fluorometer etter tillaging. Testrørene ble deretter plassert horisontalt på et vippebord i et klimarom ved 20 ± 2 °C og konstant lys tilpasset testen.

I løpet av eksponeringsperioden på 72 timer ble *in vivo* fluorescens målt daglig. På slutten av eksponeringsperioden ble pH målt i en blandingsprøve av tre kontroller, samt fra de ulike fortyningene. De beregnede verdiene er normalisert mot responsen i kontrollserien ved at den settes til 100% for vekstrate og deretter beregne effekten fra 0 til 100% relativt til kontrollserien.

3.4.2 Akutt giftighet for *Calanus finmarchicus*

Testmetoden for akutt giftighet er basert på en modifikasjon av ISO 14669 (1999) med dødelighet som endepunkt. Den opprinnelige metoden er ikke designet for testing av løsninger med flyktige forbindelser slik den er beskrevet og er blitt modifisert for å kunne gjennomføres under gasstette betingelser og med større organismer. For å sikre at de observerte effektene representerer en stabilisering av effektinivået for organismene over tid, er eksponeringstiden økt til 96 timer ved 10 ± 2 °C.

En fortyningsserie med triplikater av 7 konsentrasjoner med en faktor på 1.7 mellom hver fortyning ble laget fra WAF-prøvene. Denne fortyningsserien dekker området fra ufortynnet WAF (100%) til 4% WAF i

sjøvann. For vannprøven (2018-10294) ble det laget fortyninger direkte fra prøven etter filtrering. Pga at denne prøven hadde en høyere observert giftighet enn forventet, ble det her benyttet en fortykningsserie på 9 konsentrasjoner som dekket område fra uforynnet (100%) til 1.4% i sjøvann. Seks flasker med kun sjøvann ble brukt som negative kontroller og en fast konsentrasjon på 0.8 mg/L med 3,5-diklorofenol ble benyttet som positiv kontroll. Til hver eksponeringsflaske ble det tilsatt 7 hoppekreps av stadie kopepoditt V, som er siste stadie før de blir voksne. Dødelighet ble registrert visuelt etter 24, 48, 72 og 96 timer. Testorganismene fikk ikke næring i eksponeringsperioden. De kalkulererte verdiene er ikke korrigert for dødelighet i kontrollseriene.

3.4.3 Estimert giftighet av WAF uttrykt som "toxic unit" (TU)

Oljeeksponering kan føre til ulike skadelige effekter på marine organismer. Det antas at de lavmolekylære forbindelsene (f.eks. BTEX) og 2-3 rings PAH, som er både forholdsvis vannløselige og dermed mer tilgjengelige for organismene, er de mest skadelige ved korte eksponeringer. Komponentenes relative giftighet kan relateres til fordelingskoeffisienten for oktanol-vann, K_{ow} . De mest hydrofobe komponentene er mest toksisk, men da de er mindre vannløselige, blir deres bidrag ved eksponering til marine organismer mindre. Forbindelser med $\log K_{ow} > 6$ blir ansett som lite vannløselige, og dermed antatt som utilgjengelige for akvatisk biota ved opptak fra den vannløselige fraksjonen (McCarty et al. (1992) og Neff et al. (2002)).

En enkel tilnærming for teoretisk å prediktere effektkonsentrasjoner, som LC_{50} , for komplekse løsninger er å sammenligne estimerte LC_{50} -verdier av enkeltkomponenter i WAF'en til deres målte konsentrasjoner i den totale WAF. Dette uttrykkes som "Toxic unit", TU (e.g. DiToro et al., 2007). Den samlede giftigheten av en WAF er avhengig av hvilke komponenter som er tilstede og konsentrasjonen av disse. Det ser ut til å være en lineær negativ sammenheng mellom $\log LC_{50}$ til de marine organismene og $\log K_{ow}$ for de forbindelsene som gir opphav til giftighet ved ikke-spesifikk narkose (McCarty et al. 1993 og Di Toro et al. 2007). Sammenhengen kan beskrives ved lineær regresjon av $\log LC_{50}$ (mM/L) mot $\log K_{ow}$ for enkeltkomponenter:

$$\log LC_{50} = m \log (K_{ow}) + b$$

Stigningstallet, m , $\log K_{ow}$, og y -intercept, b , for ulike komponentgrupper (feks MAH, PAH og fenoler) er beskrevet i bl.a. McCarty (1993) og Neff et al. (2002).

Ligningen over ble brukt for å beregne LC_{50} (mg/L) for hver enkelt komponent. Estimert giftighet av den totale WAF'en er bestemt ved summen av TU for alle komponentgruppene. Dersom $TU > 1$, indikerer dette at WAF systemet kan potensielt medføre 50% dødelighet hos testorganismene. Jo høyere TU, desto mer giftig er blandingen.

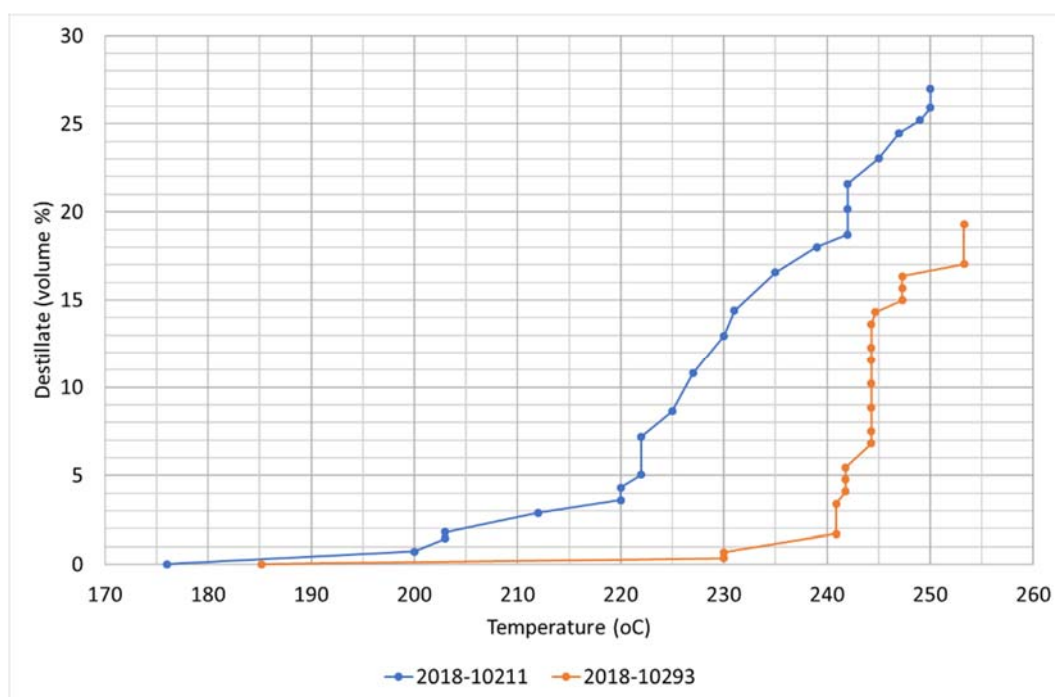
4 Resultater og diskusjon

For å få mer informasjon om oljen fysiske egenskaper ble det gjort en begrenset forvitningsstudie både på oljen fra nødlossingen (2018-10211) og oljen som ble tatt opp fra sjøen (2018-10293), begge var diesel.

Studier av kjemisk sammensetning og toksisitet av WAF ble gjennomført på oljen fra nødlossingen (2018-10211) og dennes toppede fraksjon til 250 °C+. I tillegg ble det gjort tilsvarende studier av vannprøven (2018-10291). WAF-resultatene er sammenlignet med MGO (2014-0551) rapportert i Faksness og Altin (2017). Mer detaljerte resultater er gitt i Vedlegg A (kjemi) og B (toksisitet).

4.1 Forvitringsegenskaper

De to oljene fra hhv nødlossingen av Helge Ingstad (2018-10211) og tatt opp fra sjøen av OV Utvær (2018-10293) ble toppet til 250 °C+. Gasstemperaturen over oljen ble avlest jevnlig og avdampet volum notert. En kokepunktsskurve basert på disse avlesningene er vist i Figur 4.1.

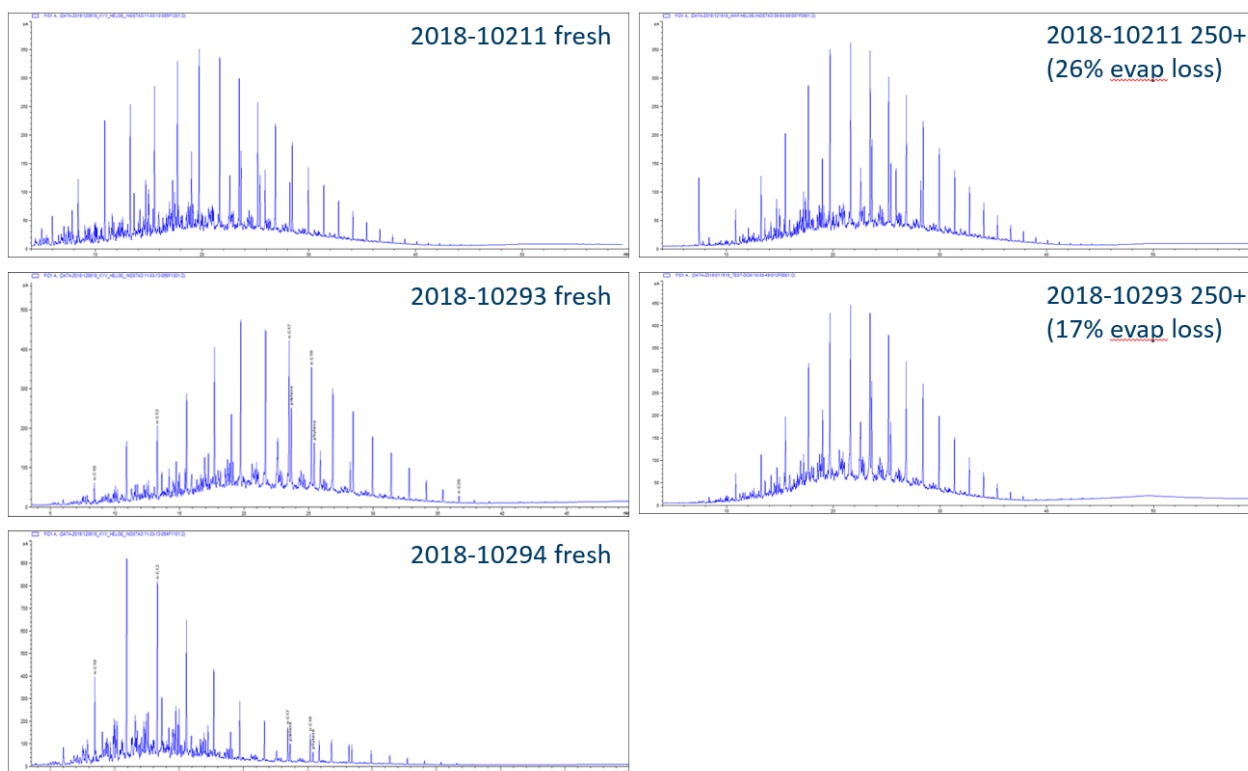


Figur 4.1 Kokepunktsskurve av olje (MGO) fra nødlossingen (2018-10211) og tatt opp fra sjø (2018-10293).

Avdampet volum ved 250 °C+ var høyere for oljen fra nødlossingen (26%) enn for oljen fra sjøen (17%), noe som også sees fra GC-kromatogrammene i Figur 4.2. Etter topping til 250 °C+, er de to oljene forholdsvis like. Tetthet, viskositet og vanninnhold av oljene er gitt i Tabell 4.1. GC-kromatogrammer av oljene er vist i Figur 4.2: To av oljene var diesel (2018-10211 og 2018-10293), mens den tredje oljen (20181-10294) hadde et lavere kokepunktssområde (140-206 °C) og er trolig helikopter-fuel. Vanninnholdet var lavt i alle oljene (maks 0.21%) og vil derfor ikke ha betydning for oljeregnskapet. Tetthet og viskositet var som forventet for diesel, med lavere tetthet for helikopter-fuelen enn de to dieselpøvene.

Tabell 4.1 Oljenes fysiske egenskaper. Tetthet er målt ved 15.56 °C, viskositet med skjærhastighet 10 på 10 °C, og vanninnhold er bestemt med Karl Fisher titrator.

Prøve ID	Beskrivelse	Tetthet (g/mL)	Viskositet (cP)	Vanninnhold (%)
2018-10211 fresh	Olje fra nødlossing	0,846	6	0,20
2018-10211 250 °C+	Olje fra nødlossing, toppet til 250 °C+	0,854	10	
2018-10293 fresh	Olje fra sjø (OV Utvær)	0,844	9	0,21
2018-10293 250 °C+	Olje fra sjø (OV Utvær), toppet til 250 °C+	0,848	11	
2018-10294	Olje fra sjø (OV Utvær), trolig helikopterfuel	0,819	3	0,03



Figur 4.2 GC kromatogrammer av ferske og toppede oljer (prøve 2018-10294 ble ikke toppet).

4.2 Sammenligning med MGO i SINTEF OWM

Pr. i dag er det forvitningsdata på tre typer marine diesel i forvitningsmodellen (versjon 10.0.1). Forvitningsdata på 2014-0492 og 2014-0551 er rapportert i Sørheim og Daling (2015). Sistnevnte MGO er det også gjennomført en mer utvidet forvitningsstudie på for Kystverket (Hellstrøm, 2017), inkludert et WAF og toksisitetsstudie (Faksness og Altin, 2017). I og med at forskjellene mellom de tre MGO er forholdsvis liten, bør det være uproblematisk å bruke 2014-0551 som en "modellolje" (kalles "MGO 2014" her) dersom det skal gjøres prediksjoner med forvitningsmodellen, også med tanke på at denne MGO har vi mye kunnskap om. Avdamping og tetthet på dieselen fra nødlossingen (2018-10211) er litt lavere enn for MGO 2014, men det antas at dette ikke vil ha signifikante utslag på forvitningsprediksjonene.

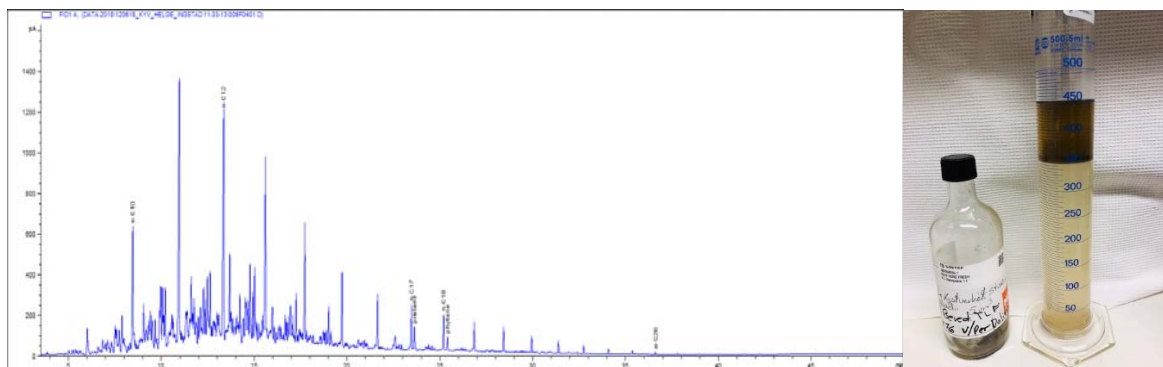
Tabell 4.2 Fysiske egenskaper til fersk og forvitret diesel fra nødlossing av KNM Helge Ingstad (2018-10211) sammenlignet med tre ulike MGO i SINTEF OWM. Viskositet er målt ved 10 eller 13 °C.

Prøve ID	Beskrivelse	Residue	Avdampet (%)	Tetthet (g/mL)	Viskositet (cP)
1991	Marine Diesel (IKU) i OWM	fresh		0,843	4
	Marine Diesel (IKU)	250 °C+	34	0,858	11
2014-0492	MGO 2017 i OWM	fresh		0,849	7
	MGO 2017	250 °C+	29	0,864	14
2014-0551	MGO 500 ppm S 2016 i OWM	fresh		0,852	6
	MGO 500 ppm S 2016	250 °C+	31	0,868	13
2018-10211	Diesel fra nødlossing	fresh		0,846	6
	Diesel fra nødlossing	250 °C+	26	0,854	10

4.3 Kjemiske analyser av fritt vann

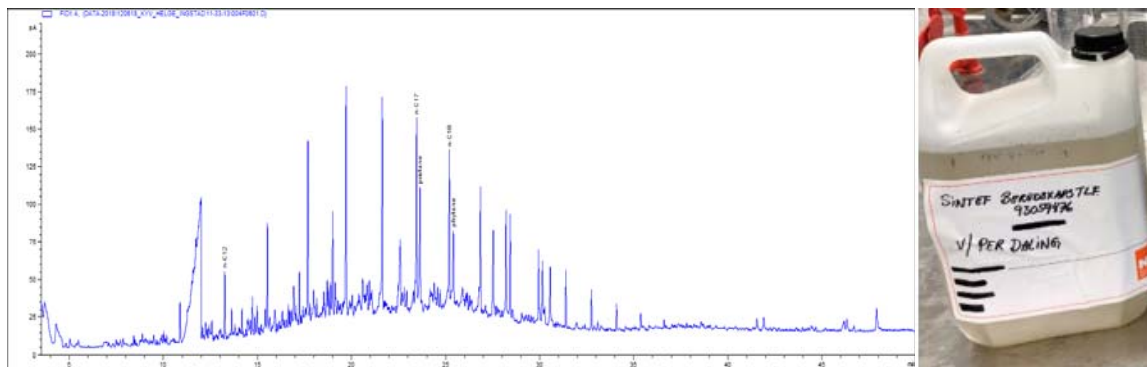
To vannprøver ble mottatt (Figur 2.1), og det ble avtalt at det i tillegg til kjemi, også skulle gjøres giftighetstesting på den største vannprøven (ca 5 L, 2018-10291).

Den minste vannprøven (2018-10292) ble surgjort med HCl før ekstraksjon (standard prosedyre), og da skilte oljefasen seg ut (Figur 4.3). Det viste seg at denne prøven egentlig var avrenning av olje og vann fra en absorberende lense. Oljefasen ble tatt vare på og analysert for kjemi, mens vannfasen dessverre ble tømt ut. GC-analysen av oljefasen indikerer at dette er helikopterfuel som ligner på oljeprobe 2018-10294 (Figur 4.2). Det ble estimert at vannprøven inneholdt 22% olje. Den kjemiske sammensetningen av oljefasen er vist i Figur 4.6 og er gitt i Tabell A 1 (Vedlegg A).



Figur 4.3 GC kromatogram av dieselfase i vannprøve (SINTEF ID 2018-10292). Trolig helikopter-fuel (ligner 2018-10294). Det ble estimert at vannprøven inneholdt 22% fuel/L vann.

Den største vannprøven (2018-10291) ble filtrert gjennom GF/D filter (2.7 µm) før ca 3.5 L ble tatt ut til giftighetstester. Det resterende volum (ca 0.8 L) ble surgjort og ekstrahert for kjemiske analyser, samt analysert for volatiles. GC-kromatogrammet er vist i Figur 4.4 og viser at vannet inneholder dispergert diesel. I tillegg ble en uidentifisert topp detektert mellom C11 og C12. En GC/MS-fullscananalyse indikerer at den uidentifiserte toppen kan være en organisk syre (2-etylhexanonic acid, eller tilsvarende). Total ekstraherbart materiale (THC, dvs både løste komponenter og dispergert diesel) i vannprøven ble kvantifisert til 47.3 mg/L vann (den uidentifiserte toppen er ikke inkludert). Den kjemiske sammensetningen av vannprøven er gitt i Figur 4.7 og i Tabell A 2 (Vedlegg A).

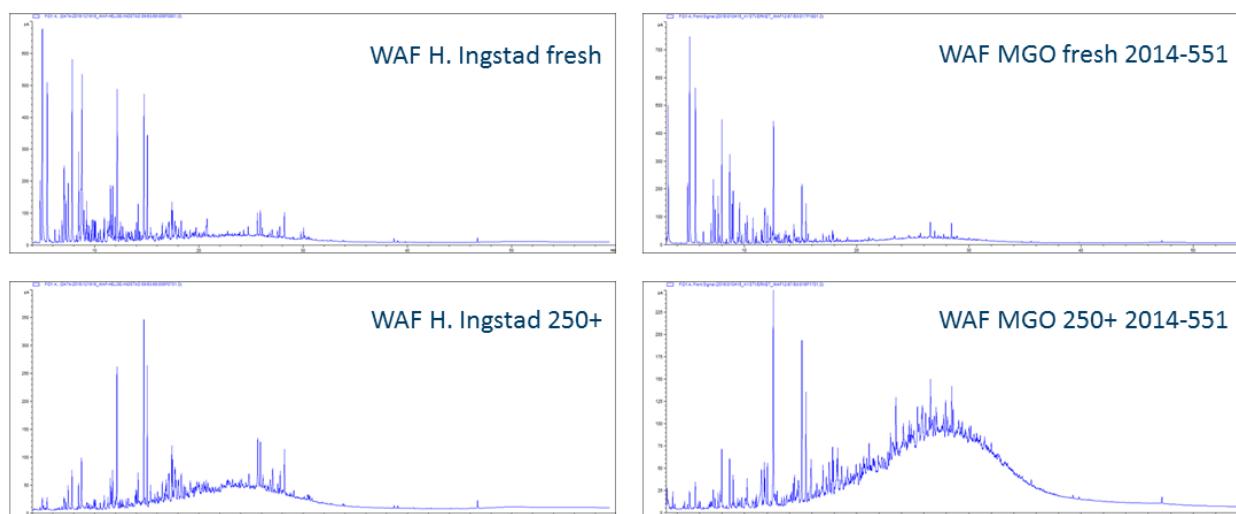


Figur 4.4 GC kromatogram vannprøve 5L (2018-10291). Diesel, men uidentifisert topp mellom C11 og C12. Litt mer avdampet enn for eksempel 2018-10211. Vannprøven inneholdt 47.3 mg diesel/L vann.

4.4 Kjemisk sammensetning av oljer, WAF og vannprøve

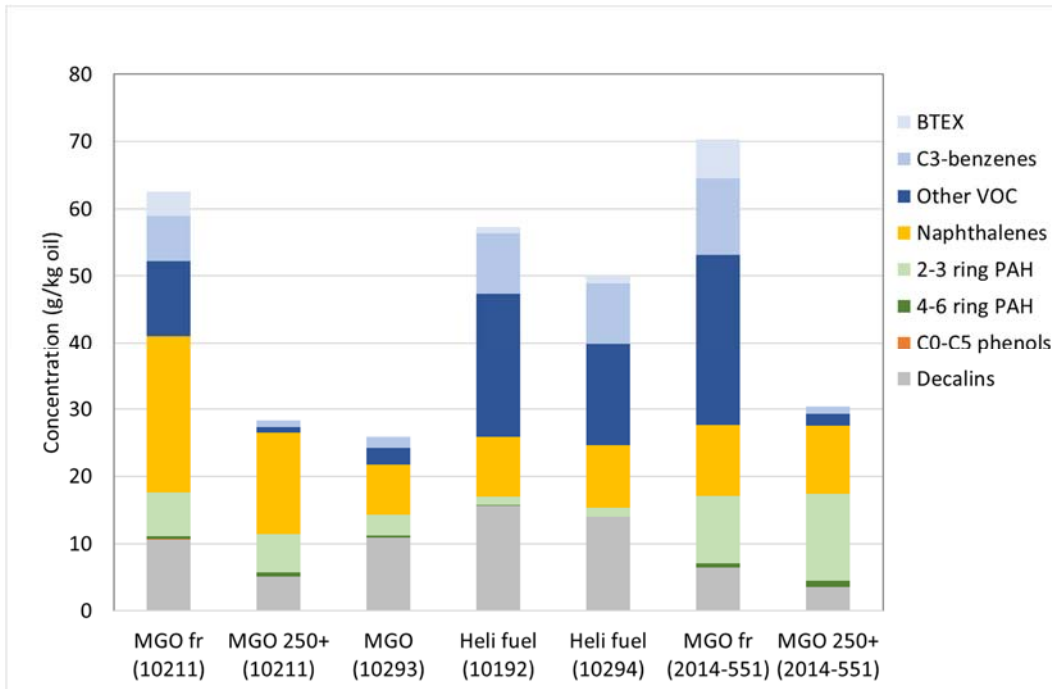
En oppsummering av de kjemiske analysene er gitt i Vedlegg A, Tabell A 1 for oljene og Tabell A 2 for WAF-systemene og vannprøven.

GC-kromatogrammene for oljeprøvene er vist i Figur 4.2 og for vannprøven (10291) i Figur 4.4. Figur 4.5 viser kromatogrammene for de to WAF-systemene med hhv fersk og forvitret diesel fra nødlossingen av Helge Ingstad, samt at resultater fra et tidligere utført studie av en fersk og forvitret MGO (2014-551) også er tatt med.



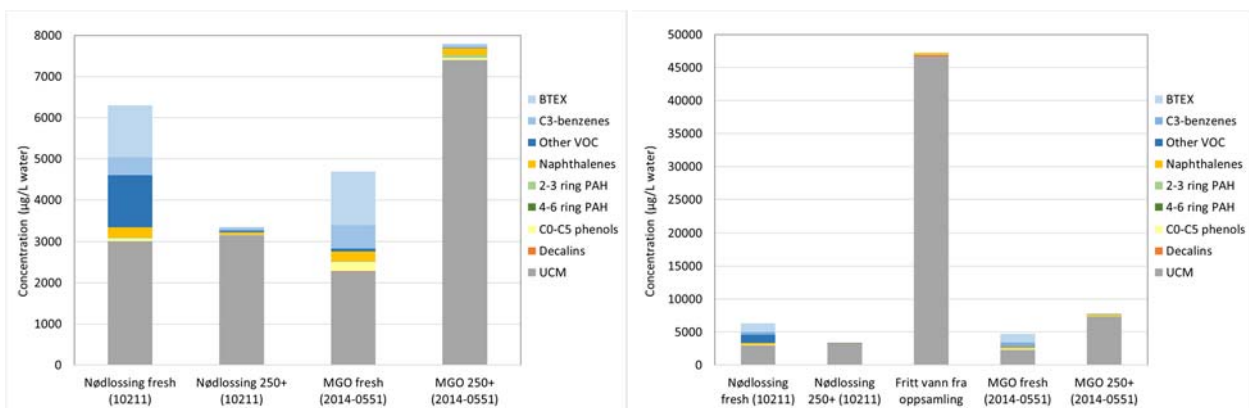
Figur 4.5 GC-kromatogrammer av WAF-systemene av fersk og forvitret diesel fra nødlossingen av Helge Ingstad (til venstre) og av WAF fra fersk og forvitret MGO fra et tidligere Kystverket-prosjekt (til høyre).

Figur 4.6 og Tabell A 1 (Vedlegg A) viser den kjemiske sammensetningen av de ulike drivstoffproduktene fra Helge Ingstad presentert som komponentgruppene gitt i Vedlegg C, samt en MGO fra et tidligere Kystverket-prosjekt (Faksness og Altin, 2017). De to prøvene med helikopter-fuel inneholder mer volatiles, men mindre naftalener og PAH enn dieselen. Totalkonsentrasjonen av aromatenene i dieselen fra nødlossingen av Helge Ingstad, både den ferske og toppede, er forholdsvis lik MGO'en fra 2014, men inneholder litt mindre flyktige komponenter, men mer naftalener. Dieselen som er tatt opp fra sjøen ligner mer på den toppede nødlossede dieselen, i og med at de mest flyktige komponentene har fordampet.



Figur 4.6 Kjemisk sammensetning av utvalgte komponentgrupper (aromater) av de ulike drivstoffproduktene: Diesel fra nødlossing (MGO fr (10211)), toppet diesel fra nødlossing (MGO 250+ (10211)), diesel tatt opp fra sjøen (MGO (10293)), helikopterfuel fra sjøen (heli fuel (10292)), helikopterfuel presset ut av lense (heli fuel (10294)), samt MGO fresh og 250+ (2014-0551) fra et tidligere prosjekt for Kystverket.

Den "kjemiske profilen" av en WAF er forskjellig fra profilen av oljen på grunn av at de ulike komponentene i oljen har forskjellig løselighet i vann. Det ble laget WAF av dieselen fra nødlossingen, samt den toppede fraksjonen. Sammensetningen av WAF-systemene og MGO fra 2014 er vist i Figur 4.7 og er gitt i Tabell A 2. Vannprøven (2018-10291) ble også analysert, og er vist sammen med vannprøvene fra WAF-systemene i figuren til høyre. Den lave konsentrasjon av flyktige forbindelser (dvs BTEX, C3-benzener og Other VOC) i vannet (0.05 mg/L) bidro lite til totalkonsentrasjonen på 47.3 mg/L, hvorav 46.7 mg/L er såkalt UCM, dvs den delen av vannet som ikke er kvantifisert som PAH eller VOC. Her representerer dette bl.a. dispersert diesel.



Figur 4.7 WAF-sammensetning av fersk og toppet (250+) diesel fra nødlossing (10211), samt MGO fresh og 250+ (2014-0551) fra et tidligere Kystverket-prosjekt. Figuren til høyre (med annen skalering på y-aksen) viser i tillegg sammensetning av vannprøven som ved oppsamling med Foxtail fulgte med inn på tanken på OV Utvær.

4.5 Toksisitet

En oppsummering av resultatene fra giftighetstesting av vannprøven og de to WAF-systemene, samt beregning av Toxic Unit er gitt i Tabell B 1 i Vedlegg B. Mer detaljerte resultater fra de akutte toksisitetstestene med *S. pseudocostatum* og *C. finmarchus* er også gitt i Vedlegg B.

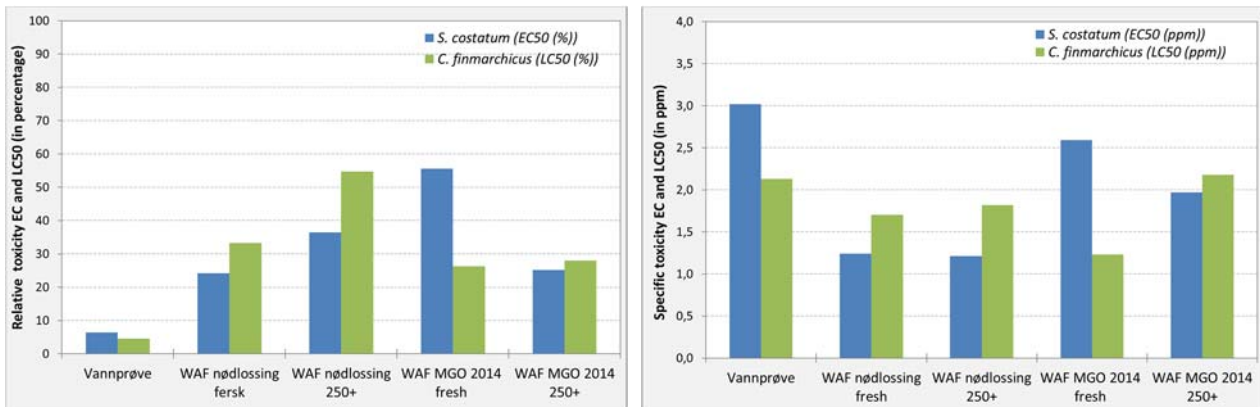
4.5.1 Akutt toksisitet av WAF og vannprøve til marine organismer

Det er flere måter å presentere akutt giftighet på. Toksisiteten kvantifiseres vanligvis som EC_{50} - eller LC_{50} -verdier, som defineres som den konsentrasjonen som medfører at 50% av de testede organismene dør (LC_{50}) eller viser en signifikant negativ effekt (EC_{50}) relativt til en kontrollgruppe når de eksponeres for en gitt konsentrasjon i en bestemt tidsperiode. EC_{50} og LC_{50} kan presenteres som prosent fortykning av den ufortynnede eksponeringsløsningen, for eksempel en WAF, og kalles da relativ toksisitet som vist i venstre graf i Figur 4.8 og i Figur 4.9. Dersom resultatene rapporteres som spesifikk toksisitet, er den relative toksisiteten normalisert til konsentrasjonen i en ufortynnet eksponeringsløsning, som vist i høyre graf i Figur 4.8. Lave verdier for EC_{50} og LC_{50} indikerer høyere toksisitet både når det kommer til prosent fortykning og spesifikk toksisitet.

I Figur 4.8 er relativ toksisitet (venstre graf) og spesifikk toksisitet (høyre graf) både for *Skeletonema* (EC_{50} , blå søyler) og *Calanus* (LC_{50} , grønne søyler) til vannprøve og WAF fra nødlossing av Helge Ingstad, samt en MGO fra 2014. Relativ toksisitet er gitt i prosent fortyknet prøve, og resultatene indikerer at vannprøven er mest toksisk for begge de testede organismene, og at *Calanus* er noe mer sensitiv enn *Skeletonema*. Spesifikk toksisitet er normalisert til den totale WAF-konsentrasjonen, og er den tradisjonelle måten å uttrykke toksisitet på. Imidlertid tas det ikke høyde for at selv om totalkonsentrasjonen kan være den samme, kan sammensetningen i ulike WAF variere avhengig av den kjemiske sammensetningen til utgangsoljen.

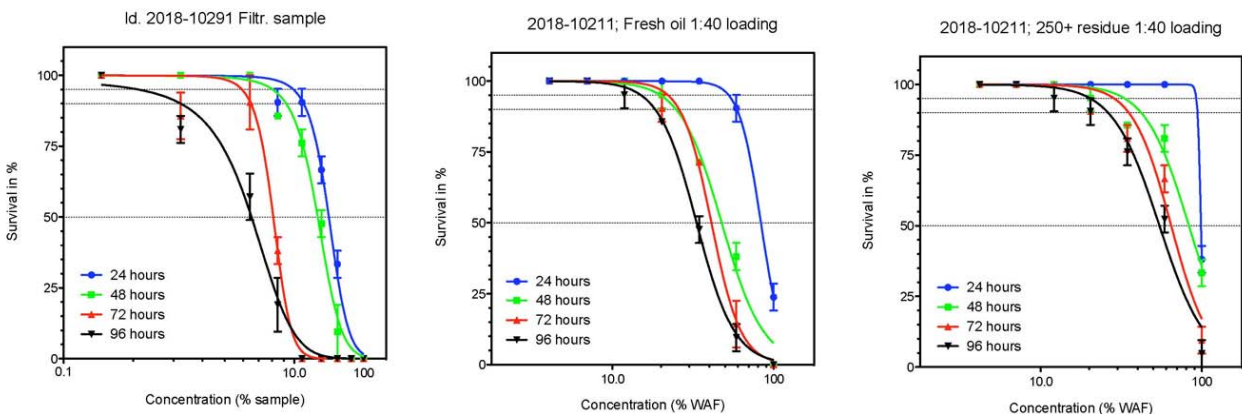
Totalkonsentrasjonen i vannprøven var om lag 10 ganger høyere enn i WAF fra nødlossingen (47.3 mg/L, versus 5.1 mg/L (fersk) og 3.3 mg/L (250+)). I tillegg hadde vannprøven et atypisk egenforbruk av oksygen som indikerer at den kan inneholde reaktive kjemiske forbindelser som oksideres og på den måten fjerner oksygen fra løsningen, eventuelt også i samvirke med mikrobiell nedbrytning. Dette er observert tidligere ved testing av giftighet av ubehandlet produsertvann fra installasjoner offshore med *Calanus* hvor giftigheten var en blandings-effekt av ikke vannløst olje, løste forbindelser fra oljen, tilsatte kjemikalier og gradvis synkende oksygeninnhold gjennom eksponeringsperioden. I slike forsøk er det ikke uvanlig at alt tilgjengelig oksygen forbrukes, og den drivende faktoren for toksisiteten etter 96 timer er fravær av oksygen i løsningen. Etter 96 timers eksponering hadde prøven med 7% vannprøve fortyknet i sjøvann et oksygeninnhold på 1.9 mg/L, noe som tilsvarer ca 20% metning. Dette var også den høyeste konsentrasjonen i rekken hvor det ble observert levende dyr etter 96 timer. På grunn av historikken til vannprøven, så vil ikke toksisiteten som beregnes kunne relateres til løste oljekomponenter alene, da det vil være andre forhold som også bidrar, men som ikke kommer fram i analysene.

Når den relative toksisiteten normaliseres til totalkonsentrasjonen, indikerer dette at de to WAF-systemene er mer toksisk enn vannprøven, og at toksisiteten er om lag den samme for fersk og forvitret diesel fra nødlossingen. Ved sammenligning med testingen av MGO fra 2014, viser resultatene at den akutte toksisiteten av dieselen fra Helge Ingstad ligger om lag i samme område.



Figur 4.8 I venstre figur er relative toksisitet av vannprøve og WAF vist som EC_{50} (*Skeletonema*, blå søyler) og LC_{50} (*Calanus*, grønne søyler) gitt i prosent fortykning av 100% WAF. I figuren til høyre er spesifikk toksisitet gitt normalisert til total WAF-konsentrasjon. Lavere søyler indikerer høyere toksisitet.

Figur 4.9 viser testforløpet for *Calanus*, presentert som prosent overlevelse (y-akse) som funksjon av fortynnet totalkonsentrasjon, altså relativ toksisitet. Grafene viser at andel døde dyr øker med tiden, og at alle dyrene var døde etter 96 timer både for vannprøven og WAF fra fersk diesel.



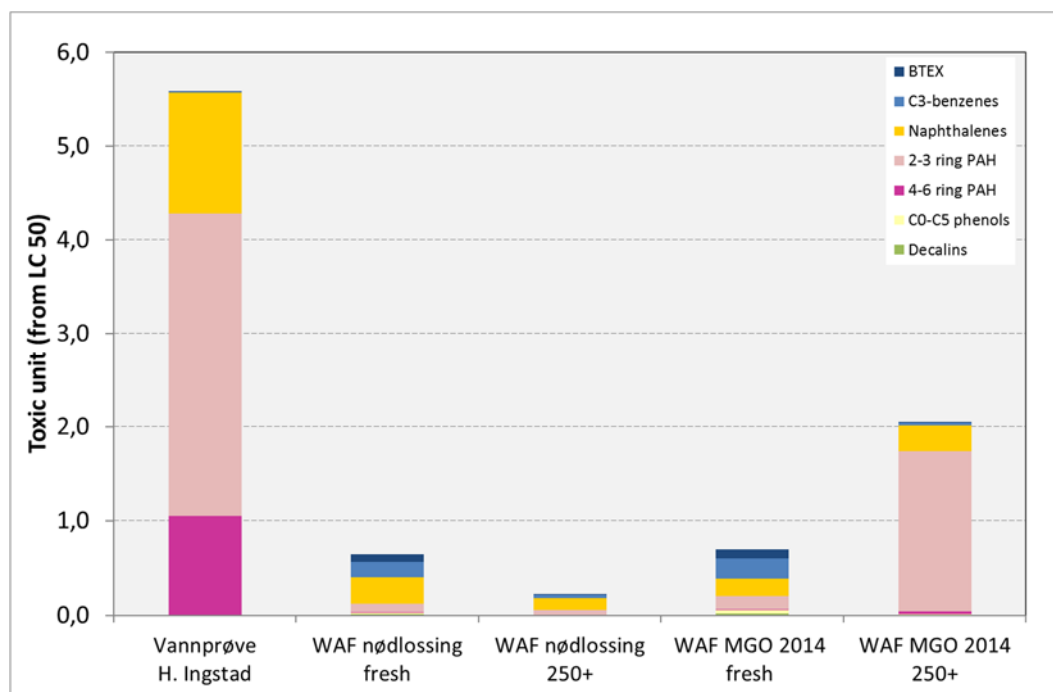
Figur 4.9 Overlevelse av *Calanus finmarchicus* (y-akse) som funksjon av fortynnet totalkonsentrasjon (x-akse) etter hhv. 24, 48, 72 og 96 timer. Vannprøven til venstre, og de to WAF-systemene i midten (fersk) og til høyre (250+).

4.5.2 Beregner toksisk unit (TU)

TU ble beregnet for de to WAF-systemene og vannprøven (Figur 4.10). I og med at vannprøven inneholdt en del oljedråper, var bidraget fra dekaliner såpass høyt at det ikke ble tatt med i beregningene: TU for C_0 til C_4 -dekaliner var 589, hvor bidraget fra C_2 og C_3 -dekaliner var 113 og bidraget fra C_4 -dekaliner var 474, noe som også reflekterer at gjennomsnittlig oktanol-vann-koeffisient ($\log K_{ow}$) er høy for disse forbindelsene (hhv 6.2, 6.8 og 7.3). Dette indikerer at de er lite vannløselige og dermed antatt som lite tilgjengelige for marine organismer ved opptak fra den vannløselige fraksjonen (e.g. Neff et al., (2002).

Figur 4.10 viser det teoretiske bidraget til toksisiteten fra de ulike komponentgruppene, og indikerer at vannprøven er mest toksisk. Som nevnt over, vannet inneholdt en del oljedråper, slik at det teoretiske bidraget fra de to PAH-gruppene, spesielt 4-6 ring PAH, er høyere enn det ville vært for en prøve med kun de vannløselige oljekomponentene. TU for de to WAF-prøvene fra nødlossingen er hhv 0.7 for fersk og 0.2 for 250+, altså < 1 , noe som indikerer at de har forholdsvis lav teoretisk toksisitet. WAF av forvitret MGO

fra 2014 hadde en høyere totalkonsentrasjon enn den forvitrede dieselen fra Helge Ingstad (7.8 mg/L versus 3.3 mg/L), og dermed også en høyere TU (2.0 versus 0.2).



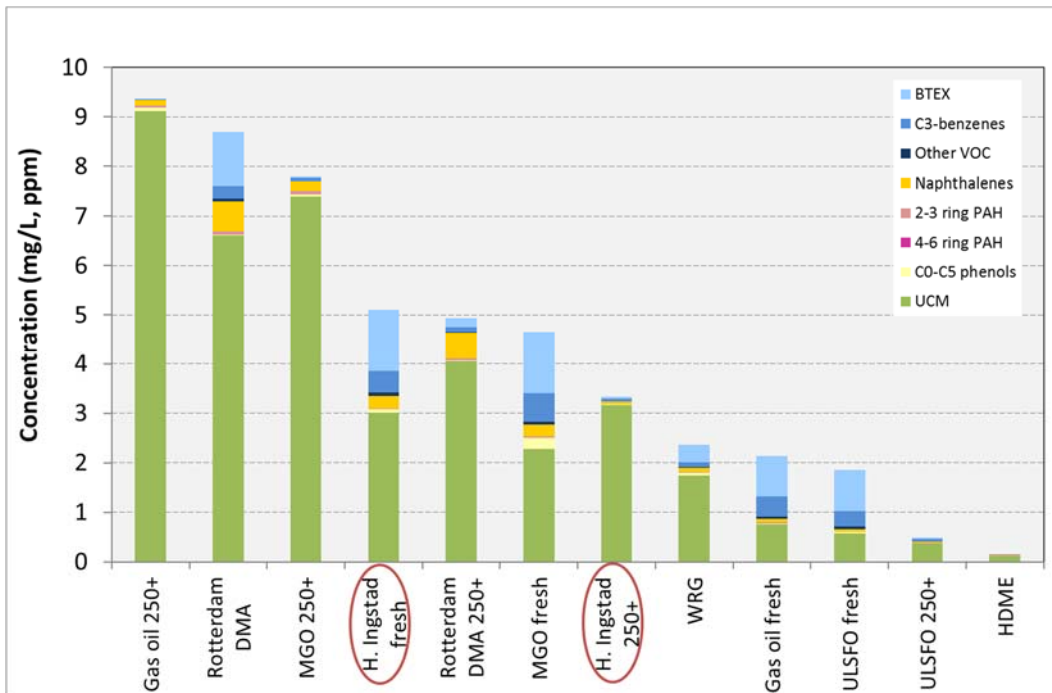
Figur 4.10 Beregnet TU for WAF fra fersk og forvitret diesel fra nødlossingen av Helge Ingstad og vannprøven fra oppsamlingen (uten bidrag fra dekaliner), samt WAF fra fersk og forvitret MGO fra et tidligere Kystverket-prosjekt (Faksness og Altin, 2017).

4.6 Sammenligner kjemi og toksisitet av WAF med andre fuels

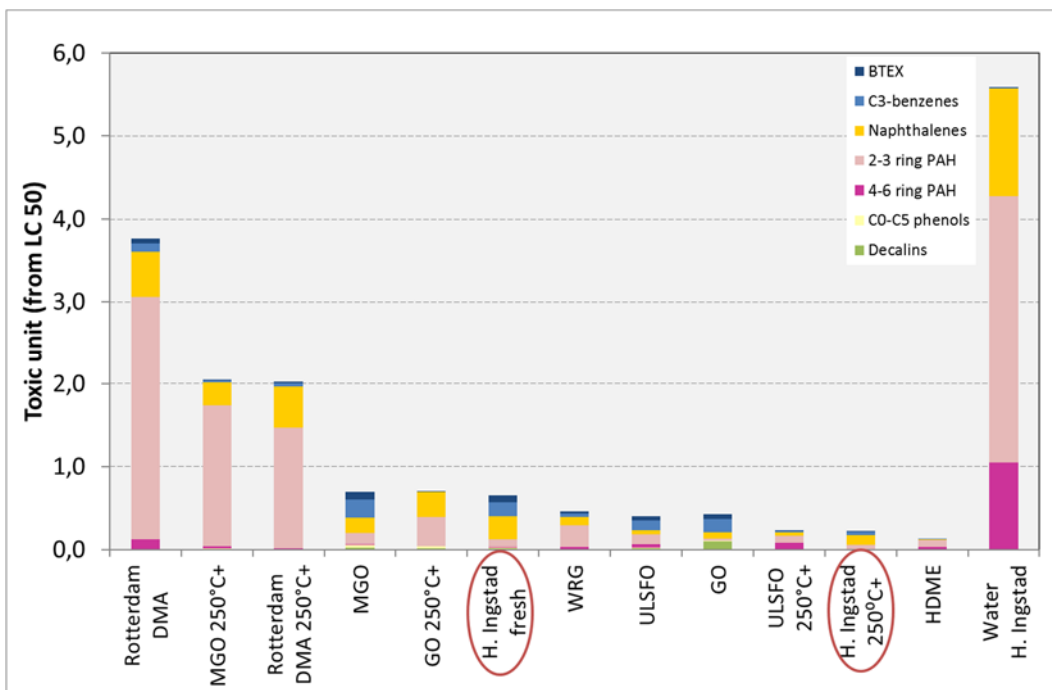
For å sammenligne prøvene fra Helge Ingstad med øvrige oljeprodukter, er de totale WAF-konsentrasjonene og TU for WAF (alle med olje-til-vann forhold på 1 til 40) vist i Figur 4.11 og Figur 4.12. Mer detaljer om de øvrige oljeproduktene er rapportert i Faksness og Altin (2017).

Den kjemiske sammensetningen av WAF-systemene er gitt i Figur 4.11, WAF av de to systemene med Helge Ingstad ligger i samme konsentrasjonsområde som øvrige MGO, men at den kjemiske sammensetningen er litt ulik.

Figur 4.12 viser TU for de samme oljeproduktene, og her er også vannprøven tatt med. Vannprøven har høyere teoretisk toksisitet enn WAF fra oljeproduktene, men som nevnt over, oljedråpene bidrar til TU. TU for WAF fra fersk diesel fra Helge Ingstad indikerer om lag samme toksisitet som for eksempel WAF fra fersk MGO og forvitret gas oil. WAF fra forvitret Ingstad-diesel har også forholdvis lav TU på nivå med for eksempel forvitret ULSFO og HDME. Dieselen fra Helge Ingstad og Gas Oil er begge såkalte straight-run destillat, mens for eksempel Rotterdam diesel (DMA) er et ikke-straight-run destillat, men inneholder cracked komponenter.



Figur 4.11 Kjemisk sammensetning av WAF fra diesel fra nødlossingen av Helge Ingstad (rød sirkel) sammenlignet med WAF fra andre drivstoffprodukter fra et tidligere Kystverket-prosjekt (Faksness og Altin, 2017). Vannprøven fra Helge Ingstad har såpass høy konsentrasjon (47.2 mg/L) at den er ikke vist.



Figur 4.12 Beregnet TU for WAF fra fersk og forvitret diesel fra nødlossingen av Helge Ingstad (rød sirkel), samt vannprøven fra oppsamlingen, sammenlignet med WAF fra andre drivstoffprodukter fra et tidligere Kystverket-prosjekt (Faksness og Altin, 2017).

5 Oppsummering og konklusjon

Tre oljeprodukter fra havaristen Helge Ingstad har blitt analysert mhp fysiske egenskaper og kjemisk sammensetning: Diesel både fra nødlossing og tatt opp på sjø, samt en helikopter-fuel som var samlet opp på sjøen. I tillegg mottok SINTEF to vannprøver: En med fritt vann fra oppsamlingen som også inneholdt spor av diesel og en blandingsprøve med vann og helikopter-fuel.

Vanninnholdet i dieselprøvene var lavt, mindre enn 0.2%, og vil derfor ikke ha betydning for oljeregnskapet. Tetthet og viskositet var som forventet for diesel, med tetthet for de tre dieselprøvene på ca 0.85 g/mL og viskositet på hhv 6 og 9 cP (ved 10 °C), mens prøven med helikopter-fuel hadde tetthet på 0.82 og viskositet på 3 cP.

To av dieselprøvene ble toppet til 250 °C+ og kokepunktsskurven viste at det var mer lette komponenter i dieselen fra nødlossingen enn den som var tatt opp på sjøen, hhv 26 og 17 vol% ved topping til 250 °C+. Dette indikerer at oljen som ble samlet opp på sjøen hadde fordampert omtrent 10%.

Akutt toksisitet (*Skeletonema pseudocostatum* og *Calanus finmarchicus*) og kjemiske sammensetning av den vannløselige fraksjonen (WAF) av fersk og forvitret diesel fra nødlossingen, samt prøven med fritt vann ble også undersøkt. Det viste seg at vannprøven inneholdt en del oljedråper som kan ha bidratt til toksisiteten i tillegg til løste komponenter og at løsningen hadde et meget høyt egenforbruk av oksygen, noe som kan ha bidratt vesentlig til den observerte effekten etter 96 timer. Den relative toksisiteten ble normalisert til totalkonsentrasjonen, og indikerte at toksisiteten var den samme for WAF fra fersk og forvitret diesel fra nødlossingen, både for *Skeletonema* og *Calanus*.

Ved sammenligning med testingen av MGO fra 2014, viste resultatene at den akutte toksisiteten av dieselen fra Helge Ingstad lå om lag i samme område. Teoretisk toksisitet, TU, for de to WAF-prøvene fra nødlossingen var hhv 0.7 for fersk og 0.2 for 250 °C+, altså mindre enn 1, noe som indikerer at de har forholdsvis lav teoretisk toksisitet. WAF av forvitret MGO fra 2014 hadde en høyere totalkonsentrasjon enn den forvitrede dieselen fra Helge Ingstad (7.8 mg/L versus 3.3 mg/L), og dermed også en høyere TU (2.0 versus 0.2). For vannprøven var TU (5.6) høyere enn WAF, trolig pga bidrag for de mindre vannløselige komponentene som kommer fra oljedråpene.

Dette studiet indikerer at en potensiell drivstofflekkasje fra Helge Ingstad, for eksempel under hevingen av fregatten, kan ha en viss lokal påvirkning på miljøet, selv om toksisiteten til de testede organismene var relativt lav. Imidlertid vil en potensiell miljøpåvirkning være styrt av bl.a. utslippsrate og fortynningspotensiale i sjøen.

6 Referanser

Aurand, D., and G. Coelho. 2005. Cooperative Aquatic Toxicity Testing of Dispersed Oil and the "Chemical Response to Oil Spills: Ecological Research Forum (CROSERF)". Ecosystem Management & Associates, Inc., Lusby, MD. Technical report 07-03, 105 pages + Appendices

DiToro, D.M., J.A. McGrath, and W.A. Stubblefield. 2007. Predicting the toxicity of neat and weathered crude oil: Toxic potential and the toxicity of saturated mixtures. *Environmental Toxicity and Chemistry*. 26: 24-36.

Faksness, L.G. og D. Altin (2017). WAF and toxicity testing of diesel and hybrid oils. SINTEF report OC2017-A122, ISBN 978-82-7174-297-3.

Hellstrøm, K.H. (2017). Weathering properties and toxicity of marine fuel oils. Summary report. SINTEF report OC2017-A124, ISBN 978-82-7174-299-7.

ISO [International Organization for Standardization] 1999. Water quality - Determination of acute lethal toxicity to marine copepods (Copepoda, Crustacea). ISO 14669:1999.

ISO [International Organization for Standardization] 2006. Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*. ISO 10253:2006.

Kystverket (2019). E-mail fra Hilde Dolva, 14.mars, 2019.

McCarty, L.S., Mackay, D., Smith, A.D., Ozburn, G.W., and Dixon, D.G. (1992). Residue-based interpretation of toxicity and bioconcentration QSARs from aquatic bioassays: Neutral narcotic organics. *Environmental Toxicology and Chemistry* 11, 917-930.

McCarty, L.S., D. Mackay, A.D. Smith, G.W. Ozburn, and D.G. Dixon. 1993. Residue-based interpretation of toxicity and bioconcentration QSARs from aquatic bioassays: Polar narcotic organics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 25, 253-270.

Neff, J.M. 2002. Bioaccumulation in marine organisms. Effects of contaminants from oil well produced water. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 452 p.

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

Sørheim, K.R, and P.S. Daling (2015). Fysikalsk-kjemiske analyser og emulgering av ulike dieselkvaliteter. Forstudie av dieselkvaliteter. SINTEF rapport A27122, ISBN 978-82-14-05844-4.

A Vedlegg Resultater fra de kjemiske analysene

Tabell A 1 *Kjemisk sammensetning av de analyserte og toppede oljene fra KNM Helge Ingstad, samt en MGO fra et tidligere Kystverket-prosjekt.*

SINTEF ID	2018-10211	2018-10211	2018-10292	2018-10293	2018-10294	2014-0551	2014-0551
Olje	Nøddlossing	Nøddlossing 250+	Heli fuel sjø	Diesel sjø	Heli fuel lense	MGO	MGO 250+
	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Sum SVOC	41,0	26,5	25,8	21,8	24,6	27,6	27,6
Sum VOC	21,6	1,9	31,5	4,17	25,4	42,6	2,91
Decalins	10,6	5,10	15,6	11,0	13,9	6,4	3,5
Naphthalenes	23,5	15,0	8,92	7,5	9,30	10,6	10,2
2-3 ring PAH	6,41	5,69	1,22	3,04	1,35	9,96	12,9
4-6 ring PAH	0,44	0,63	0,08	0,22	0,07	0,71	0,93
C0-C5 phenols	0,04	ND	ND	ND	ND	222	45,9
BTEX	3,63	0,14	0,96	0,16	1,12	5,83	0,14
C3-benzenes	6,77	0,88	8,97	1,54	9,02	11,3	1,1
Other VOC	11,2	0,87	21,5	2,47	15,3	25,5	1,71

ND: Not detected

Tabell A 2 *Kjemisk sammensetning av fritt vann fra oppsamling med Foxtail og WAF fra fersk og forvitret diesel fra nøddlossingen av Helge Ingstad, samt WAF fra en tidligere studert fersk og forvitret MGO (data fra Faksness og Altin, 2017).*

SINTEF ID	2018-10291	2018-10211	2018-10211	2014-0551	2014-0551
	Vannprøve	WAF diesel fresh	WAF diesel 250+	WAF MGO fresh	WAF MGO 250+
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Tot WAF	47292	5109	3331	4661	7799
THC	47247	3346	3233	2764	7690
Sum SVOC	570	339	69,7	483	290
Sum VOC	45,3	1763	98,4	1897	108
UCM	46677	3007	3163	2281	7401
Decalins	278	0,29	0,04	6,00	0,13
Naphthalenes	172	249	53,5	236	173
2-3 ring PAH	79,9	11,3	5,77	23,9	68,8
4-6 ring PAH	7,39	0,12	0,08	0,30	1,57
C0-C5 phenols	32,8	78,2	10,3	222	45,9
BTEX	11,5	1260	36,4	1265	34,2
C3-benzenes	26,3	434	57,3	568	69,0
Other VOC	7,45	68,9	4,75	64,1	5,13

B Vedlegg Resultater fra giftighetstestingen

Tabell B 1 Resultater fra akutt giftighetstesting av fritt vann fra oppsamling med Foxtail og WAF fra fersk og forvitret diesel fra nødlossingen av Helge Ingstad, samt WAF fra en tidligere studert fersk og forvitret MGO (data fra Faksness og Altin, 2017). I tillegg er beregnet teoretisk toxic unit (TU) tatt med. For de akutte giftighetstestene er de laveste verdiene mest giftig, mens jo høyere verdi for TU, desto mer toksisk.

	2018-10291	2018-10211	2018-10211	2014-0551	2014-0551
	Vannprøve	WAF diesel fresh	WAF diesel 250+	WAF MGO fresh	WAF MGO 250+
Tot WAF (ppm)	47,3	5,11	3,33	4,66	7,80
<i>Skeletonema</i> (reduction in growth rate) EC50 (%)	6,4	24	36	56	25
<i>Skeletonema</i> (reduction in growth rate) EC50 (ppm)	3,0	1,2	1,2	2,6	2,0
<i>Skeletonema</i> (red in biomass production) EC50 (%)	6,0	16	24	40	18
<i>Skeletonema</i> (red in biomass production) EC50 (ppm)	2,8	0,8	0,8	1,9	1,4
<i>Calanus V</i> (LC50 (%))	4,5	33,3	54,7	26,3	28
<i>Calanus V</i> (LC50 (ppm))	2,1	1,7	1,8	1,2	2,2
Toxic Unit (TU)	5,6*	0,7	0,2	0,7	2,0

*Bidrag fra dekaliner ikke tatt med

Tabell B 2 Akutt giftighetstesting av *Skeletonema costatum* vist som endring i vekstrate etter 72 timer. Konfidensintervallet (95%CL) indikerer usikkerheten i målingene.

WAF-system:	EC ₅₀ (% WAF)	95%CI	EC ₅₀ (mg/L TEM)	95%CI	% reduksjon i vekstrate i ufortynnet WAF ved slutt:
2018-10291:					
Vannprøve					
Kons: 47 292 µg/L	6,39	6,17 - 6,62	3,02	2,92 - 3,13	100
2018-10211:					
WAF Fersk 1:40					
Kons: 5 109 µg/L	24,2*	Ikke beregnet	1,23*	Ikke beregnet	100
WAF 250+ 1:40					
Kons: 3 331 µg/L	36,4	35,5 - 37,4	1,21	1,18 - 1,25	100

* Verdi usikker pga, kurveforløpet,

Tabell B 3 Akutt giftighetstesting av *Skeletonema costatum* vist som endring i biomasseproduksjon etter 72 timer. Konfidensintervallet (95%CL) indikerer usikkerheten i målingene.

WAF-system:	EC ₅₀ (% WAF)	95%CI	EC ₅₀ (mg/L TEM)	95%CI	% reduksjon i biomasse i ufortynnet WAF ved slutt:
2018-10291:					
Vannprøve					
Kons: 47 292 µg/L	5,96	5,75 - 6,18	2,82	2,72 - 2,92	91,4
2018-10211:					
WAF Fersk 1:40					
Kons: 5 109 µg/L	16,3	15,7 - 16,8	0,830	0,804 - 0,857	98,7
WAF 250+ 1:40					
Kons: 3 331 µg/L	24,4	23,6 - 25,2	0,814	0,788 - 0,840	98,8

Tabell B 4 Akutt giftighetstesting av *Calanus finmarchicus* vist som dødelighet etter 96 timer. Konfidensintervallet (95%CL) indikerer usikkerheten i målingene.

WAF-system:	LC ₅₀ (% WAF)	95%CI	LC ₅₀ (mg/L TEM)	95%CI	% dødelighet i ufortynnet WAF ved slutt:
2018-10291:					
Vannprøve					
Kons: 47 292 µg/L	4,50	4,05 - 4,99	2,13	1,92 - 2,36	100
2018-10211:					
WAF Fersk 1:40					
Kons: 5 109 µg/L	33,3	31,6 - 35,2	1,70	1,61 - 1,80	100
WAF 250+ 1:40					
Kons: 3 331 µg/L	54,7	49,3 - 60,5	1,82	1,64 - 2,02	95,2

C Vedlegg Oversikt over analyserte komponenter og komponentgruppene

Tabell C 1 Analyserte komponenter (SVOC: Semi volatile organic compounds, VOC: Volatile organic compounds, TPH: Total petroleum hydrocarbons, UCM: Unresolved organic materials).

Gruppe	Compound	Abb	Gruppe	Compound	Abb
SVOC	Decalin	DE	C0-C5 phenols	Phenol	PH
	C1-decalins	DE1		C1-phenols	PH1
	C2-decalins	DE2		C2-phenols	PH2
	C3-decalins	DE3		C3-phenols	PH3
	C4-decalins	DE4		C4-phenols	PH4
Naphthalenes	Naphthalene	N		C5-phenols	PH5
	C1-naphthalenes	N1	Other VOC	Isopentane	
	C2-naphthalenes	N2		n-C5 (Pentane)	
	C3-naphthalenes	N3		Cyclopentane	
C4-naphthalenes	N4	2-methylpentane			
2-3 ring PAHs	Benzo(b)thiophene	BT		3-methylpentane	
	Biphenyl	B		n-C6 (Hexane)	
	Acenaphthylene	ANY		Methylcyclopentane	
	Acenaphthene	ANA		Cyclohexane	
	Dibenzofuran	DBF		2,3-dimethylpentane	
	Fluorene	F		3-methylhexane	
	C1-fluorenes	F1		n-C7 (Heptane)	
	C2-fluorenes	F2		Methylcyclohexane	
	C3-fluorenes	F3		2,4-dimethylhexane	
	Phenanthrene	P		2-methylheptane	
	Anthracene	A		n-C8 (Octane)	
	C1-phenanthrenes/anthracenes	P1	n-C9 (Nonane)		
	C2-phenanthrenes/anthracenes	P2	n-C10 (Decane)		
	C3-phenanthrenes/anthracenes	P3	n-Butylbenzene		
	C4-phenanthrenes/anthracenes	P4	1,2,4,5-tetramethylbenzene		
4-6 ring PAHs	Dibenzothiophene	D	n-pentylbenzene		
	C1-dibenzothiophenes	D1	BTEX	Benzene	
	C2-dibenzothiophenes	D2		Toluene	
	C3-dibenzothiophenes	D3		Ethylbenzene	
	C4-dibenzothiophenes	D4		<i>m</i> -xylene	
	Fluoranthene	FL		<i>p</i> -xylene	
	Pyrene	PY	<i>o</i> -xylene		
	C1-fluoranthrenes/pyrenes	FL1	C3-benzenes	Propylbenzene	
	C2-fluoranthrenes/pyrenes	FL2		1-methyl-3-ethylbenzene	
	C3-fluoranthrenes/pyrenes	FL3		1-methyl-4-ethylbenzene	
	Benz[<i>a</i>]anthracene	BA		1,3,5-Trimethylbenzene	
	Chrysene	C		1-methyl-2-ethylbenzene	
	C1-chrysenes	C1		1,2,4-trimethylbenzene	
	C2-chrysenes	C2		1,2,3-trimethylbenzene	
	C3-chrysenes	C3			
C4-chrysenes	C4				
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	BBF	TPH	C10-C36		
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	BKF		WAF	Sum of VOC and TPH	
Benzo[<i>e</i>]pyrene	BEP			TPH - SVOC	
Benzo[<i>a</i>]pyrene	BAP	UCM			
Perylene	PE				
Indeno[1,2,3- <i>c,d</i>]pyrene	IN				
Dibenz[<i>a,h</i>]anthracene	DBA				
Benzo[<i>g,h,i</i>]perylene	BPE				